UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores

Carlos Eduardo Tavares

Uberlândia
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

UMA ESTRATÉGIA COMPUTACIONAL PARA A ANÁLISE TÉCNICA DE PEDIDOS DE RESSARCIMENTO DE DANOS A CONSUMIDORES

Tese apresentada por Carlos Eduardo Tavares à Universidade Federal de Uberlândia para a obtenção do título de Doutor em Ciências. Aprovada em 26 de maio de 2008.

BANCA EXAMINADORA:

José Carlos de Oliveira, **PhD - UFU (Orientador)**
Arnulfo Barroso de Vasconcellos, **Dr - UFMT**
Carlos Alberto Calixto Mattar, **Eng - ANEEL**
Ivan Marques de Toledo Camargo, **PhD - UnB**
José Wilson Resende, **PhD - UFU**
Kleiber David Rodrigues, **Dr - UFU**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Tavares, Carlos Eduardo, 1976-
T231e Uma estratégia computacional para a análise técnica de pedidos de ressarcimento de danos a consumidores / Carlos Eduardo Tavares. - 2008.

183 f. : il.

Orientador: José Carlos de Oliveira.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Inclui bibliografia.

1. Energia elétrica - Qualidade - Teses. I. Oliveira, José Carlos de. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 621.311

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

UMA ESTRATÉGIA COMPUTACIONAL PARA A ANÁLISE TÉCNICA DE PEDIDOS DE RESSARCIMENTO DE DANOS A CONSUMIDORES

Carlos Eduardo Tavares

Tese apresentada por Carlos Eduardo Tavares à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Prof. José Carlos de Oliveira, PhD (Orientador) – UFU	Prof. Darizon Alves de Andrade, PhD Coordenador do Curso de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha querida e eterna mãe Francisca (in memorian) e ao meu pai Gastão, aos meus irmãos Sérgio, Firmino e Zoraya, à minha amada companheira esposa Angélica, aos meus amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para mais esta conquista. Todo apoio, compreensão, amor, cumplicidade, força e incentivo foram essenciais para a realização desta dissertação, bem como para a transposição todos os demais obstáculos e desafios superados em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por mais um objetivo alcançado. Pela concessão da graça da vida, pela constante companhia nos momentos mais difíceis e por me conduzir com seus maravilhosos dons.

De maneira muito especial, apresento meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Professor **José Carlos de Oliveira** por todo incentivo, colaboração, amizade, confiança, apoio logístico e constantes ensinamentos, fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores **Kleiber David Rodrigues, Antônio Carlos Delaiba, Marcelo Lynce R. Chaves e José Wilson Resende** pelo auxílio, amizade e consultorias cedidas de tão bom grado possibilitando o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Qualidade da Energia **Marcus Vinícius Borges Mendonça**, **Isaque Nogueira Gondim, Ivandro Antônio Bacca e Gabriel Sansevero Dias** pelo companheirismo, cumplicidade, competência, profissionalismo e, acima de tudo, pela grande amizade cada vez mais solidificada pela superação conjunta dos desafios e obstáculos, bem como pelas divertidas horas de descontração e divertimento.

Aos colegas **André Roger, Elise, Sérgio, Carlinhos, José Nelson, Jackson, Fernando, Eduardo, Gláucia e a toda a galera da Pós** pela amizade e apoio.

À minha esposa **Angélica** por tanta paciência, pela constante motivação, ajuda, cumplicidade, compreensão, companheirismo e reconhecimento que, juntamente com seu amor, me fizeram persistir nesta caminhada com força para vencer, dia-a-dia, cada obstáculo encontrado e a compartilhar os bons momentos e a alegria de cada dificuldade superada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFU, através de seus professores, pela oportunidade deste aprendizado. À **Kátia** e **José Mari**a e à **Marli, Valéria e Mary** pela simpatia e presteza nos encaminhamentos junto à secretaria da Pós-Graduação.

A **FAPEMIG** pelo suporte financeiro.

A **Companhia Energética de Brasília – CEB** pelo apoio logístico através de projeto de P&D firmado com a UFU no tema da pesquisa apresentada por esta tese.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a viabilização desta tese de doutorado.

RESUMO

O novo modelo que rege o setor elétrico estabelece as bases do relacionamento entre as partes: fornecedor, consumidor e regulador. Às concessionárias cabe o papel do fornecimento da energia de forma segura, confiável e em consonância com as leis vigentes. Ao consumidor, o compromisso do atendimento às determinações impostas pelos contratos por adesão. Ao Estado, a tarefa de estabelecer regras e padrões de serviços, fiscalizar e coibir seu descumprimento, e outras funções. Dentro deste contexto, surge a questão do relacionamento entre os agentes envolvidos. Neste particular, uma questão bastante controversa e que assume crescente importância no cenário nacional, é a área conhecida por PID (Pedidos de Indenização por Danos). Este seguimento tem por meta a identificação da causa real dos acontecimentos e a emissão de pareceres conclusivos sobre a consistência ou não das solicitações. Para tanto, faz-se necessário o estabelecimento de critérios para a análise, fundamentados em princípios técnicos em que pese a isenção de interesses particulares. Na atualidade, os processos seguem procedimentos relativamente simples, normalmente baseados em laudo técnico de uma assistência autorizada, que sugere uma possível origem para o defeito. A concessionária, muitas vezes, opta por pagar as despesas para evitar desgaste perante o público consumidor. No entanto, a disseminação do conhecimento dos direitos do consumidor, somada às reclamações de boa ou má fé, têm levado a um aumento alarmante no total de indenizações pagas.

À luz destes fatos, urge a necessidade da busca de outros procedimentos que possam contribuir neste cenário. É, pois, dentro deste contexto que se insere a presente tese de doutorado, a qual se encontra direcionada à proposição de uma metodologia, culminando em um aplicativo computacional que visa correlacionar os distúrbios com os padrões de suportabilidade dos mais distintos produtos que perfazem um complexo elétrico.

Palavras-Chave: Ressarcimento de danos, Qualidade da Energia, modelagem

ABSTRACT

The new Brazilian electric sector model establishes the basis for the relationship amongst the three partners: supplier, consumer and regulatory agencies. The utilities are to deliver electric energy so as to satisfy safety and trustworthy in accordance with the regulation. The consumer assumes the commitment of the attendance of determinations imposed by adhesion contracts. The State, represented by the regulatory agencies, remains the task to establish rules and standards of services. Within this area emerges a controversial subject related to "Refunding Request for Damages". This pursuing has for goal the identification of the real cause of events and the emission of conclusive reports on the consistency or not of the requests of damage compensation suffered by the consumer.

Nowadays, the processes follow simple procedures, normally based on technician assistance survey that suggests a possible origin of damage. In this way, utilities, many times, opts to paying the consumer prejudices to avoid disagreement with them. However, the dissemination of the knowledge of the consumer rights has led to an alarming increase in the total price paid for it. The aggravating circumstance is that many utilities do not have records of electric magnitudes associated with the majority of the occurrences. Consequently, the agreement or contestation of the request under analysis becomes extremely difficult, remaining to the utilities just the verification of the causal nexus and the supposition of severity of the impacts of the occurred event on the complained products.

Due to the increasing number of refunding requests, the high amount of financial resources involved and the necessity of having a technical and impartial approach to help the final decision, this thesis deals with a computational method which has been developed and implemented to avoid the consumer dissatisfaction.

Keywords: Refunding Request for Damages, Power Quality, Modeling

SUMÁRIO

Capítulo I

Introdução geral

1.1 – Considerações iniciais 16
1.2 – Contextualização do tema 18
1.3 – Estado da arte 19
1.4 – Contribuições oferecidas por esta tese 28
1.5 – A estrutura metodológica para o processo de análise 29
1.6 – Estrutura da tese 32

Capítulo II

Modelagem computacional dos aparelhos eletroeletrônicos, da rede de distribuição e dos distúrbios

2.1 – Considerações iniciais 35
2.2 – Modelagem dos distúrbios típicos da rede de distribuição 37
2.3 – Modelagem dos equipamentos eletroeletrônicos 39
2.4 – Modelagem dos componentes e dispositivos elétricos do sistema de distribuição 73
2.5 – Considerações finais 74

Capítulo III

Metodologia para a análise de consistência dos pedidos de ressarcimento

3.1 – Considerações iniciais 75
3.2 – Cálculo das solicitações dielétricas e térmicas 76
3.3 – Características de suportabilidade dos equipamentos 79
3.4 – Correlação dos impactos das solicitações dielétricas e térmicas com os limites de suportabilidade dos equipamentos 84
3.5 – Avaliação da consistência da metodologia proposta 86
3.6 – Considerações finais 97

Capítulo IV

O aplicativo computacional APR

4.1 – Considerações iniciais 98
4.2 – Estrutura do aplicativo computacional APR 100
4.3 – Exemplos de utilização do APR 123
4.4 – Considerações finais 142

Capítulo V

Avaliação da consistência da metodologia através de casos reais

5.1 – Considerações iniciais 143
5.2 – Casos estudados 144
5.3 – Considerações finais 161

Capítulo VI

Conclusões

Conclusões 162

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 170

ANEXOS 175
(a) Modelos computacionais dos distúrbios 175
- *Descarga atmosférica* *175*
- *Distorções harmônicas* *175*
- *Curto-circuito* *177*
- *Flutuações de tensão (Flicker)* *178*
- *Variações de tensão de curta duração (VTCD's)* *179*

(b) Modelo computacional do televisor 180

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Síntese das etapas do processo de análise. 30
Figura 2.1 – Modelos dos distúrbios elétricos desenvolvidos no ATP. 38
Figura 2.2 – Televisor utilizado nos estudos. 41
Figura 2.3 – Vista interna do televisor. 42
Figura 2.4 – Foto detalhada da fonte do televisor. 42
Figura 2.5 – Circuito elétrico da fonte de alimentação. 43
Figura 2.6 – Circuito elétrico equivalente do televisor. 44
Figura 2.7 – Circuito elétrico equivalente do televisor implementado no ATP. 44
Figura 2.8 – Modelo representativo do aparelho televisor no ATPDraw 45
(A) Microcomputador destinado ao controle da fonte 47
(B) Fonte geradora de sinais HP Series 6800 47
Figura 2.9 – Conjunto microcomputador-fonte utilizado para os ensaios. 47
Figura 2.10 – Montagem laboratorial para os ensaios de validação dos modelos 48
a) Forma de onda da tensão na entrada do televisor - computacional 49
b) Forma de onda da tensão na entrada do televisor - experimental 49
Figura 2.11 – Formas de onda da tensão na entrada do televisor 49
a) Forma de onda da corrente na entrada do televisor - computacional 50
b) Forma de onda da corrente na entrada do televisor - experimental 50
Figura 2.12 – Formas de onda da corrente na entrada do televisor 50
a) Espectro harmônico da corrente de entrada - computacional 51
b) Espectro harmônico da corrente de entrada - experimental 51
Figura 2.13 – Espectros harmônicos da corrente na entrada do televisor 51
(a) Forma de onda da tensão no elo CC - computacional 52
(b) Forma de onda da tensão no elo CC - experimental 52
Figura 2.14 – Formas de onda da tensão no elo CC 52
a) Forma de onda da tensão do CI de controle e chaveamento - computacional 53
b) Forma de onda da tensão do CI de controle e chaveamento - experimental 53
Figura 2.15 – Formas de onda da tensão do CI de controle e chaveamento 53
Figura 2.16 – Tensão e corrente de entrada - distorção total de tensão de 20% - Computacional 55
Figura 2.17 – Tensão e corrente de entrada - distorção total de tensão de 20% - Experimental 56
Figura 2.18 – Tensão no elo CC - tensão de suprimento com distorção total de 20% - Computacional 57
Figura 2.19 – Tensão no elo CC - tensão de suprimento com distorção total de 20% - Experimental 57
Figura 2.20 – Tensão de alimentação e corrente de entrada - flutuação de tensão de PST=5 - Computacional 59
Figura 2.21 – Tensão de alimentação e corrente de entrada - flutuação de tensão de PST=5 - Experimental 59
Figura 2.22 – Tensão no elo CC - flutuação de tensão de PST=5 - Computacional 60
Figura 2.23 – Tensão no elo CC - flutuação de tensão de PST=5 - Experimental 60
Figura 2.24 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - afundamento de tensão para 60% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Computacional 62
Figura 2.25 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - afundamento de tensão para 60% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Experimental 62

Figura 2.26 – Tensão no elo CC - afundamento de tensão para 60% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Computacional....63
Figura 2.27 – Tensão no elo CC - afundamento de tensão para 60% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Experimental....64
Figura 2.28 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - interrupção da tensão - duração de 10 ciclos - Computacional....65
Figura 2.29 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - interrupção da tensão - duração de 10 ciclos - Experimental....65
Figura 2.30 – Tensão no elo CC – interrupção da tensão - duração de 10 ciclos - Computacional....66
Figura 2.31 – Tensão no elo CC - interrupção da tensão - duração de 10 ciclos - Experimental 67
Figura 2.32 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - elevação de tensão para 120% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Computacional....68
Figura 2.33 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - elevação de tensão para 120% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Experimental....68
Figura 2.34 – Tensão no elo CC - elevação de tensão para 120% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Computacional 69
Figura 2.35 – Tensão no elo CC - elevação de tensão para 120% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Experimental 70
Figura 2.36 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - elevação transitória na tensão de fornecimento - Computacional 71
Figura 2.37 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV – elevação transitória na tensão de fornecimento - Experimental 71
Figura 2.38 – Tensão no elo CC - elevação transitória na tensão de fornecimento - Computacional....72
Figura 2.39 – Tensão no elo CC - elevação transitória na tensão de fornecimento - Computacional - Experimental....72
Figura 3.1 – Tensão de suprimento contendo um transitório oscilatório 77
Figura 3.2 – Curva típica para a suportabilidade dielétrica ou térmica de um equipamento. ..81
Figura 3.3 – Representação da curva de suportabilidade dielétrica / térmica. 82
Figura 3.4 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento. 85
Figura 3.5 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento. 85
Figura 3.6 – Tensão de alimentação sob um transitório impulsivo de 4kV. 88
Figura 3.7 – Corrente de entrada do televisor sob um transitório impulsivo de 4kV....89
Figura 3.8 – Níveis de suportabilidade dielétrica versus solicitação dielétrica calculada para um transitório impulsivo de 4kV 90
Figura 3.9 – Curva de suportabilidade térmica versus solicitação térmica calculada para um transitório impulsivo de 4kV 90
Figura 3.10 – Tensão de alimentação sob um transitório impulsivo de 2kV. 91
Figura 3.11 – Corrente de entrada do televisor sob um transitório impulsivo de 2kV....92
Figura 3.12 – Níveis de suportabilidade dielétrica versus solicitação dielétrica calculada para um transitório impulsivo de 2kV 92
Figura 3.13 – curva de suportabilidade térmica versus solicitação térmica calculada para um transitório impulsivo de 2kV 93
Figura 3.14 – Tensão de alimentação sob uma elevação momentânea de tensão. 94
Figura 3.15 – Corrente de entrada do televisor para uma elevação momentânea de tensão. ...94

Figura 3.16 – Níveis de suportabilidade dielétrica versus solicitação dielétrica calculada para uma elevação momentânea de tensão 95
Figura 3.17 – Curva de suportabilidade térmica versus solicitação térmica calculada para uma elevação momentânea de tensão 96
Figura 4.1 – Estrutura do aplicativo APR. 101
Figura 4.2 – Interface Gráfica do APR 103
Figura 4.3 – Dados de entrada - fonte de tensão. 104
Figura 4.4 – Dados de entrada - transformadores 106
Figura 4.5 – Dados de entrada - cabos. 111
Figura 4.6 – Dados de entrada - banco de capacitores. 112
Figura 4.7 – Dados de entrada - disjuntores. 113
Figura 4.8 – Dados de entrada - chave. 114
Figura 4.9 – Dados de entrada - carga P + jQ. 115
Figura 4.10 – Configuração dos parâmetros da descarga atmosférica. 117
Figura 4.11 – Configuração dos parâmetros do curto-circuito. 118
Figura 4.12 – Configuração dos parâmetros das distorções harmônicas. 119
Figura 4.13 – Configuração dos parâmetros das flutuações de tensão. 120
Figura 4.14 – Configuração dos parâmetros das variações de tensão de curta e longa duração. 121
Figura 4.15 – Escolha dos equipamentos avaliados. 122
Figura 4.16 – Sistema elétrico simulado. 124
Figura 4.17 – Configuração da descarga atmosférica 126
Figura 4.18 – Impulso de corrente associado com a descarga atmosférica aplicada 127
Figura 4.19 – Seleção dos equipamentos do consumidor sob a análise de ressarcimento. 128
Figura 4.20 – Definição da curva de suportabilidade do equipamento analisado. 129
Figura 4.21 – Tensão na entrada do televisor - descarga atmosférica 130
Figura 4.22 – Corrente na entrada do televisor - descarga atmosférica 131
Figura 4.23 – Solicitações dielétricas versus suportabilidade do equipamento - descarga atmosférica. 131
Figura 4.24 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento - descarga atmosférica. 132
Figura 4.25 – Configuração do curto-circuito monofásico 134
Figura 4.26 – Tensão no barramento de baixa tensão - curto-circuito monofásico 135
Figura 4.27 – Tensão na entrada do televisor - curto-circuito monofásico. 135
Figura 4.28 – Corrente na entrada do televisor - curto-circuito monofásico 136
Figura 4.29 – Solicitações dielétricas versus suportabilidade do equipamento - curto-circuito monofásico. 136
Figura 4.30 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento - curto-circuito monofásico. 137
Figura 4.31 – Configuração do banco de capacitores 138
Figura 4.32 – Tensão na barra de 34,5 kV - energização do banco de capacitores. 139
Figura 4.33 – Tensão na entrada do televisor - energização do banco de capacitores. 140
Figura 4.34 – Corrente na entrada do televisor - energização do banco de capacitores 140
Figura 4.35 – Solicitações dielétricas versus suportabilidade do equipamento - energização do banco de capacitores. 141
Figura 4.36 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento - energização do bando de capacitores. 141
Figura 5.1 – Sistema elétrico simplificado referente ao Caso 1. 147
Figura 5.2 – Configuração da atuação do religador - Caso 1. 148
Figura 5.3 – Tensão na entrada do DVD sob uma descarga atmosférica - Caso 1 149

Figura 5.4 – Corrente de entrada do DVD sob uma descarga atmosférica - Caso 1. 149
Figura 5.5 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob uma descarga atmosférica - Caso 1. 150
Figura 5.6 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob uma descarga atmosférica - Caso 1. 150
Figura 5.7 – Tensão na entrada do televisor sob uma descarga atmosférica - Caso 1. 151
Figura 5.8 – Corrente de entrada do televisor sob uma descarga atmosférica - Caso 1. 152
Figura 5.9 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob uma descarga atmosférica - Caso 1. 152
Figura 5.10 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob uma descarga atmosférica - Caso 1. 153
Figura 5.11 – Sistema elétrico sob análise - Caso 2. 156
Figura 5.12 – Configuração de abertura da fase A através de chave-fusível - Caso 2. 157
Figura 5.13 – Tensão na entrada do televisor sob a abertura da fase A - Caso 2. 158
Figura 5.14 – Corrente de entrada do televisor a abertura da fase A - Caso 2. 158
Figura 5.15 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob a abertura da fase A - Caso 2. 159
Figura 5.16 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob a abertura da fase A - Caso 2. 159

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Quadro resumo de trabalhos realizados na área de sensibilidade e/ou suportabilidade de equipamentos.....20
Tabela 2.1 – Ensaios para a validação dos modelos computacionais representativos. 46
Tabela 2.2 – Quadro comparativo entre os resultados computacionais e experimentais sob condições ideais e nominais de suprimento.....54
Tabela 2.3 – Síntese das grandezas observadas - distorção harmônica total de tensão de 20%. 58
Tabela 2.4 – Síntese das principais grandezas observadas - flutuação de tensão de PST=5....61
Tabela 3.1 – Casos Estudados 87
Tabela 4.1 – Curva B x H da chapa utilizada. 108
Tabela 4.2 – Dados dos componentes do sistema elétrico. 125
Tabela 5.1 – Dados dos componentes do sistema elétrico do Caso 1. 146
Tabela 5.2 – Dados dos componentes do sistema elétrico sob análise.....155

LISTA DE SÍMBOLOS

DHT - Distorção harmônica total [%]

Pst - *Probability short term* [pu]

V - Tensão

I - Corrente

I_n % - Corrente harmônica de ordem n em porcentagem da fundamental [%]

I_1 - Corrente fundamental [A]

t_1, t_1, - Instantes de tempo [s]

Δt - 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_i - 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]

α, β - Constantes que definem o formato da curva de suportabilidade dielétrica e térmica dos equipamentos [V] ou [A];

P - Potência ativa [W]

Q - Potência reativa [Var]

S - Potência aparente [VA]

S_n - Potência aparente nominal [VA]

Scc - Potência de curto-circuito [MVA]

R - Resistência [Ω]

L - Indutância [H]

C - Capacitância [F]

Z - Impedância [Ω]

Z_b - Impedância de base [Ω]

Z% - Impedância percentual

f - Freqüência [Hz]

X - Reatância [Ω]

X_C - Reatância Capacitiva [Ω]

X% - Reatância percentual [Ω]

R% - Resistência percentual [Ω]

B - Densidade de fluxo magnético [T]

H - Intensidade de campo magnético [Ae/m]

I_0 - Corrente de magnetização do transformador

$I_{0\%}$ - Corrente percentual de magnetização do transformador

λ - Fluxo para distintos pontos da curva de magnetização de transformadores [Wb]

θ - Diferença angular entre tensão e corrente [Graus]

CAPÍTULO I

Introdução geral

1.1 – Considerações iniciais

Os rápidos avanços da tecnologia viabilizam a concepção e comercialização de modernos equipamentos, especialmente os eletroeletrônicos, encontrados nos vários setores da sociedade, desde os produtivos até os domésticos. De um modo geral estes dispositivos melhoram o conforto, a segurança, a produção e trazem outros benefícios. No entanto, apesar das vantagens oferecidas, muitos destes produtos exibem grande dependência da qualidade da energia elétrica de suprimento [1].

De fato, a dinâmica operacional de um sistema elétrico, provocada, dentre outros motivos, pelas atuações dos dispositivos de proteção, entrada e saída de cargas de elevadas potências, partida de grandes motores, ocorrência de curtos-circuitos, forte presença de cargas não-lineares e incidência de descargas atmosféricas ocasiona distúrbios e fortes impactos sobre as características operacionais de muitos equipamentos [2]. Sob a ação destes fenômenos, muitas vezes tratados sob a designação de condições não-ideais de operação, os aparelhos elétricos podem vir a operar de maneira inadequada ou, em caso extremo, sofrer danos físicos que exigem a pronta substituição de peças ou do produto como um todo [3, 4 e 5].

Diante desta realidade, muitas vezes, estão os consumidores e as concessionárias em permanente contenda. Os primeiros, cada vez mais cientes de seus direitos, solicitando ressarcimentos pelos prejuízos físicos e operacionais apresentados por seus equipamentos, supostamente devido aos fenômenos manifestados nas redes. Do outro lado, as concessionárias, buscando a identificação da real correlação entre os distúrbios e os danos para que o processo de ressarcimento seja focado à luz de critérios que primem pela coerência e justiça.

O agravante desta situação é que muitas das empresas de energia elétrica não possuem registros de grandezas elétricas associadas à maioria das ocorrências e tampouco processos sistematizados que permitam correlacionar os fenômenos com os padrões de suportabilidade dos produtos. Consequentemente, a concordância ou contestação dos pedidos encaminhados para análise torna-se extremamente difícil, restando às concessionárias apenas a verificação do nexo causal e a suposição da severidade dos impactos do evento ocorrido nos produtos reclamados. A busca de uma solução para estas questões tem alcançado grande importância no fórum técnico/científico visto que, nos últimos anos, tem-se verificado um crescente número dos pedidos de indenização e conseqüente montante financeiro envolvido no processo de ressarcimento. Dentro deste cenário, o número de indeferimento das indenizações tem sido cada vez maior, transformando-se em longas e dispendiosas ações judiciais com proporcional insatisfação dos consumidores [6].

Isto posto, fica evidenciada a necessidade de conhecimentos técnicos e ferramentas confiáveis que possam balizar adequadamente as decisões das concessionárias quanto aos pedidos de ressarcimento de danos evitando o desgaste da empresa junto ao consumidor e o envolvimento em ações judiciais caras e demoradas.

1.2 – Contextualização do tema

Como resultado das questões levantadas, sobretudo no que tange aos direitos dos consumidores diante dos serviços oferecidos pelas empresas do setor, diversos grupos de trabalhos têm sido criados para a discussão do assunto e, dentre outros pontos, padronizar a qualidade mínima dos suprimentos elétricos e definir regras para a análise de processos de ressarcimento. Este é o caso da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Operador Nacional do Sistema (ONS).

Focando especificamente a questão dos danos e pedidos de ressarcimento, ressaltam-se documentos já elaborados, a exemplo da Resolução Normativa 61, de 29 de abril de 2004 da ANEEL. Esta estabelece as disposições relativas ao ressarcimento de danos em equipamentos elétricos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbação ocorrida no sistema elétrico. O documento, apesar da sua importância no cenário em foco, não preenche todos os aspectos da matéria e, com certeza, o tema é ainda merecedor de maiores investigações com vistas ao estabelecimento de critérios mais sistemáticos para análise e parecer sobre as solicitações de ressarcimento. Estas preocupações ficam fortalecidas ao se observar o crescente número de pedidos de indenizações que ocorrem na atualidade, e ainda, com as perspectivas futuras da intensificação desta demanda.

Sistemas de monitoração da qualidade de energia também têm sido o foco das atenções em diversos eventos do setor, promovendo discussões e pesquisas de forma bastante acentuada. Entretanto, alguns dos efeitos provocados na rede elétrica, por serem de curta duração e/ou alta intensidade, são também de difícil medição e registro, demandando equipamentos sofisticados e caros. Este fato justifica a grande dificuldade das empresas distribuidoras em instalarem

dispositivos de medição e monitoração de energia em toda a malha de distribuição de energia, exigindo investimentos vultosos.

Dessa forma, a simulação em ambiente computacional para avaliar o desempenho de um sistema típico de distribuição e, consequentemente, qualificar e quantificar os seus efeitos, propagações e impactos nos equipamentos conectados ao mesmo, apresenta-se como uma ferramenta importante para a análise técnica de pedidos de ressarcimento a consumidores.

1.3 – Estado da arte

Após exaustivos estudos da bibliografia atual encontrada pelos meios tradicionais de acesso, obteve-se um conjunto de informações que orientam sobre os mais distintos trabalhos de pesquisa e avanços do conhecimento no contexto aqui enfocado. Os levantamentos bibliográficos conduziram a uma série de documentos versando sobre:

- Conceitos Gerais associados com Qualidade da Energia

Nas referências [1, 2, 7, 8 e 9] podem ser encontrados conceitos, definições e uma extensa descrição dos distúrbios relacionados com a qualidade da energia elétrica. Complementarmente, a referência [10] apresenta formas para categorizar problemas relativos à qualidade de energia.

- Normas/recomendações sobre Qualidade da Energia

A referência [11] tem por objetivo estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia em sistemas de distribuição de energia elétrica. Define os conceitos e os parâmetros envolvidos dando mecanismos que possibilitem à

ANEEL estabelecer valores-limite para os indicadores de Qualidade da Energia Elétrica. Em [12] são apresentados os padrões de qualidade recomendados para a rede básica.

- Sensibilidade e Suportabilidade de Equipamentos

A Tabela 1.1 apresenta, de forma resumida, os trabalhos de pesquisa realizados por diversas instituições nacionais e internacionais a respeito da sensibilidade e suportabilidade de equipamentos, quando submetidos a suprimento de energia com qualidade comprometida. São explicitados os efeitos sobre o desempenho dos mesmos e, dependendo do caso, traçadas as respectivas curvas de sensibilidade e/ou suportabilidade. Observa-se que grande parte dos estudos realizados avalia os desempenhos de equipamentos de tecnologia mais recente, e ainda, utiliza de apenas um dos indicadores da qualidade do suprimento de energia, no caso, as elevações ou afundamentos temporários de tensão. Outros trabalhos estão focados apenas em dois ou três itens de conformidade da tensão e, somente as referências [13], [14] e [15] consideram o desempenho de equipamentos abordando praticamente todos os indicadores de qualidade.

Tabela 1.1 – Quadro resumo de trabalhos realizados na área de sensibilidade e/ou suportabilidade de equipamentos.

Instituições e/ou Autores	Equipamento	Tipo de estudo	Resultados
Santos, Ana Claudia Daroz - UFU [13]	Fontes lineares e fontes chaveadas	Afundamentos de tensão, elevações de tensão, interrupções e flutuações de tensão, distorção harmônica	Ambas as fontes apresentam boa suportabilidade aos distúrbios aplicados.

Instituições e/ou Autores	Equipamento	Tipo de estudo	Resultados
Tavares, Carlos Eduardo - UFU [14]	TV, VCR e Aparelho de som	Distorção harmônica de tensão, flutuações de tensão, VTCD's e transitórios oscilatórios	Boa suportabilidade física para os níveis dos distúrbios aplicados sem, contudo, considerar o tempo de exposição.
Peniche, Rodrigo Antônio - UFU [15]	Telefone sem fio, aparelho de fax e DVD *player*.	Distorção harmônica de tensão, flutuações de tensão, VTCD's e transitórios oscilatórios	Boa suportabilidade física para os níveis dos distúrbios aplicados sem, contudo, considerar o tempo de exposição.
EPRI [16]	Controladores de resfriamento	Afundamentos de tensão	Afundamentos de tensão acima de 20%, independentes da duração, afetam o funcionamento normal (0.8Vn)
	Testadores de Chips eletrônicos	Afundamentos de tensão	Afundamentos acima de 80%, ficam fora de operação (0.2Vn)
	Acionadores CC	Afundamentos de tensão	Interferência no funcionamento a partir de 12% de afundamento (0.88Vn)
	CLP's antigos	Afundamentos de tensão	Por serem mais robustos suportam, por até 15 ciclos, afundamentos de 100% de tensão.
	CLP's modernos	Afundamentos de tensão	Apresentam problemas a partir de 40 a 50% de afundamento (0.6 a 0.5 Vn)
	Robôs	Afundamentos de tensão	Saem de operação a partir de 10% de afundamento (0.9Vn).
	Computadores pessoais	Afundamentos de tensão e interrupções	Este tipo de equipamento, devido aos cuidados tomados na fase de projeto, possui características de operação dadas por curvas de tolerância, função do valor do afundamento x o tempo de duração do mesmo.

Instituições e/ou Autores	Equipamento	Tipo de estudo	Resultados
W. Eduard Reid (IEEE Transactions on Industry Applications) [17]	Lâmpada de descarga de alta intensidade	Afundamento de tensão	Apaga para afundamentos de tensão a partir de 10 a 15%, demorando vários minutos para re-acender (0.90 a 0.85 Vn).
	CLP's utilizados em acionadores CC e CA	Afundamentos de tensão	Operação comprometida a partir de 15% de afundamento (0.85Vn)
	Controladores de velocidade	Afundamentos de tensão	Possuem faixa de operação estreita (± 10%), fora desta faixa começam a apresentar problemas.
	Bobina de contactores	Afundamentos de tensão	Apresentam sensibilidade para afundamentos entre 25 a 50%, com duração de 1 a 5 ciclos (0.75 a 0.5Vn)
PQTN [18]	CLP's	Afundamentos de tensão	Suportabilidade diferente para cada equipamento testado, variando de 15 a 65% de afundamento (0.85 a 0.35Vn)
Hermes R. P. M. de Oliveira., Nelson C. de Jesus, Manuel L. B. Martinez [19]	Televisores e Aparelhos de som, DVD *player*, microcomputadores e VCR.	Sobretensões e transitórios impulsivos	De uma maneira geral, os equipamentos apresentaram um boa suportabilidade para os transitórios impulsivos. Para os testes de sobretensão, verificou-se a queima de componentes da fonte de entrada na maioria dos casos estudados.
Hermes R. P. M. de Oliveira., Nelson C. de Jesus, Gustavo B. Viecili [20]	Televisor, aparelho de som portátil, microcomputador, refrigerador, aparelho de microondas	Afundamentos de tensão	Suportabilidade diferente para cada equipamento testado, sendo o aparelho de som portátil o de maior sensibilidade, desligando com 30% de afundamento em 6 ciclos

Instituições e/ou Autores	Equipamento	Tipo de estudo	Resultados
Mateus D. Teixeira, Ricardo L. Araújo, Nilton. R. Quorin, Leonardo M. Ardjomand, Alexandre R. Aoki, Pedro Sgobero e Ingo Wunderlich [4]	Televisores, rádios-relógio, DVD *player*, refrigerador, VCR, microcomputador	Interrupções, afundamentos de tensão e transitórios impulsivos	Foram obtidas curvas de sensibilidade e suportabilidade para cada um dos equipamentos avaliados
Smith, Lamoree, Vinett, Duffy e Klein [21]	Controladores de processos	Afundamentos de tensão	Sensibilidade variável para os equipamentos testados, desde muito sensíveis até totalmente imunes a afundamentos de tensão, por um determinado tempo. Depende do projeto do equipamento.
ITIC [22]	Equipamentos de tecnologia da informação	Afundamentos, interrupções e elevações de tensão	Este tipo de equipamento, devido aos cuidados tomados na fase de projeto, possui características de operação dadas por curvas de tolerância como função do valor do afundamento x tempo de duração do mesmo.
Sekine, Yamamoto, Mori, Saito e Kurokawa [23]	Computadores	Afundamentos e interrupções	Comparativamente aos estudos feitos pela EPRI, os resultados apresentam curvas com maior sensibilidade às interrupções e divergências quanto aos afundamentos.
Anderson & Bowes [24]	Vídeo cassetes, fornos de microondas e relógios digitais	Afundamentos e elevações de tensão, interrupções e sobre tensões transitórias	Tensões de suprimento com variação de amplitude, forma e duração, dentro dos limites impostos, demonstraram pouca influência na operação dos equipamentos testados.

Smith e Standler[25]	Relógios digitais, televisores, forno de micro ondas, fontes lineares e fontes chaveadas	Elevações de tensão de 0.5 a 6 kV	Televisores e fontes chaveadas apresentam danos a partir de 4 kV. Fontes lineares e forno de micro ondas, não sofreram danos. Relógios digitais, apresentam danos a partir de 1,5 kV.
Arseneau e Ouellette [26]	Lâmpadas fluorescentes compactas: reator eletromagnético com e sem correção de fator de potência e reator eletrônico	Distorção harmônica	Lâmpadas com reator eletromagnético, sem correção do FP, apresentam menor sensibilidade e menor geração de harmônicos, do que os com reator eletrônico ou com correção do FP.
Fuchs, Roesler e Kovacs [27]	Aparelhos de TV	Distorção harmônica e interharmônicos	Apresentam sensibilidade tanto da qualidade de imagem, como no aquecimento de componentes internos como capacitores, indutores, transformadores, etc.
Carvalho, Bismarck Castillo - UFU [28]	Aparelhos condicionadores de ar	Afundamentos de tensão, elevações de tensão, interrupções e flutuações de tensão, distorção harmônica	Apresenta sensibilidade para afundamentos abaixo de 70% da tensão nominal
Azevedo, Ana Cláudia - UFU [29]	Refrigeradores domésticos	Afundamentos de tensão, elevações de tensão, interrupções e flutuações de tensão, distorção harmônica	Apresenta sensibilidade para afundamentos abaixo de 70% da tensão nominal
Magalhães, Ricardo Nogueira - UFU [30]	CLP's	Afundamentos de tensão, elevações de tensão, interrupções e flutuações de tensão, distorção	Apresenta sensibilidade para afundamentos abaixo de 20% da tensão nominal e duração superior a 25 ciclos

Alguns dos trabalhos listados na Tabela 1.1, a exemplo de [4], seguem os procedimentos padrões das referências [31] e [32] para estabelecer os níveis de suportabilidade dos equipamentos estudados. Tais documentos apresentam uma metodologia de testes para avaliar o desempenho de equipamentos elétricos e eletrônicos frente às sobretensões impulsivas, elevações de tensão, afundamentos e interrupções. São também descritas as exigências mínimas de suportabilidade para estes equipamentos. O conteúdo destes últimos documentos define, de forma consistente e sistematizada, os procedimentos para os testes, o arranjo laboratorial e os níveis a serem aplicados.

A referência [17] consolida trabalhos realizados pelo EPRI, ITIC e CBEMA, descrevendo alguns dos resultados obtidos por estes organismos. Mais importante, contudo, é a conclusão dos pesquisadores quando colocam que, a questão da sensibilidade de equipamentos constitui-se em assunto cuja solução depende das duas partes envolvidas: concessionárias de energia elétrica e fabricantes de equipamentos. Os primeiros através de ações que objetivem o fornecimento de energia com níveis adequados de qualidade, dentro de limites pré-estabelecidos, passando inclusive pela fiscalização e controle de cargas poluidoras e; os segundos, projetando e produzindo equipamentos com a necessária robustez, de maneira a suportar níveis de deterioração, em amplitude e duração, também dentro dos limites definidos conjuntamente com as concessionárias.

- Normas, documentos e Trabalhos Realizados na Área de Ressarcimento de Danos

A referência [33] é a Resolução Normativa vigente sobre o tema enfocado e estabelece as disposições relativas ao ressarcimento de danos em

equipamentos elétricos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbação ocorrida no sistema supridor de energia.

Em [34] são propostos os critérios e procedimentos para padronizar a análise das responsabilidades pelos danos materiais, reclamados por terceiros, naqueles casos em que a concessionária possui a devida responsabilidade. A referência [35] tem por finalidade possibilitar a análise dos pedidos de ressarcimento feitos por consumidores de energia elétrica. A publicação também mostra aos agentes do setor elétrico, de forma explícita, o procedimento da ANEEL e das Agências Estaduais Conveniadas em relação ao tema, de modo a prevenir conflitos com consumidores.

O trabalho [6] 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, mostrando também que as agências de regulação percebem um número crescente de conflitos entre as partes, e que, atualmente, não dispõem de meios eficientes para resolvê-los. Para minimizar parte dos problemas, esta referência propõe ações envolvendo concessionárias e sociedade para a proteção do sistema, equilibrando responsabilidades pela instalação de dispositivos protetores para diminuir a solicitação de danos causados por surtos transitórios.

A referência [36] discute a questão do fluxo de correntes na terra e da tensão de surto entre dois aterramentos distintos quando da incidência de uma descarga atmosférica ou falta para a terra nas redes de distribuição. O documento exemplifica danos causados aos equipamentos eletroeletrônicos nestas situações, mostrando que a queima pode não ser atribuída, exclusivamente, por surtos de sobretensão provenientes da rede de alimentação da distribuidora, apontando para a necessidade de se analisar a influência dos sistemas de telefonia e das antenas de TV nas análises sobre a origem dos danos.

Em [37] são discutidas questões relativas aos custos decorrentes das descargas atmosféricas em sistemas de distribuição de energia à luz das mudanças no Código Civil, do Código de Defesa do Consumidor e das alterações na norma ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão – na sua última revisão de 2004. Ao longo do artigo são apresentados: o enfoque jurídico, as mudanças mais significativas ocorridas na NBR 5410 com referência ao assunto, as formas de custeio das interrupções de energia e informações relativas à evolução do número de pedidos de indenização por danos (PID) nos últimos anos, principalmente, após a publicação da Resolução Normativa nº 61 de 2004 da ANEEL.

A referência [38] mostra algumas propostas de desenvolvimentos sobre o tema em etapas: identificação das causas mais freqüentes que levam aos pedidos de ressarcimento; desenvolvimento de ferramenta computacional para estimar as sobretensões e subtensões quando da ocorrência de eventos; análise de religamentos e plano de ação para redução de queimas com um elenco de proposições para empresas e consumidores visando a redução de queimas de aparelhos elétricos.

Com relação a *softwares* específicos para análise de pedidos de ressarcimento, a referência [39] apresenta um Sistema Inteligente para auxílio à tomada de decisões. O sistema consta de interfaces para registro e caracterização de ocorrências de danos ao consumidor, ocorrências de perturbações de qualidade de energia na rede de distribuição e um módulo inteligente para apoio a tomada de decisão quanto à responsabilidade por danos elétricos em equipamentos do consumidor, baseado em Rede Neural Artificial tipo IAC – *Interactive Activation and Competition*. Contudo, a decisão é tomada com base em experiências vivenciadas pela concessionária que vão formando um banco de dados generalizado.

1.4 – Contribuições oferecidas por esta tese

Procurando contribuir na lacuna de conhecimentos anteriormente caracterizada, 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.

Seguindo esta estratégia, os trabalhos aqui desenvolvidos oferecem as seguintes contribuições:

- Estabelecimento de uma metodologia para o processo de análise dos pedidos de ressarcimento;
- Desenvolvimento de modelos computacionais representativos para equipamentos eletroeletrônicos no simulador ATP;
- Desenvolvimento de modelos que reproduzem os mais distintos distúrbios de Qualidade da Energia Elétrica no simulador ATP;
- Representação de um sistema típico de distribuição de energia elétrica considerando todos os seus elementos, incluindo dispositivos de proteção e chaveamento, bem como os equipamentos eletroeletrônicos e os distúrbios passíveis de ocorrência no *software* ATP;

- Proposição de uma sistemática para o cálculo dos impactos dielétricos e térmicos associados aos distúrbios aplicados nos equipamentos;
- Proposição de critérios para a análise de consistência dos pedidos de ressarcimento, baseados na correlação das solicitações dielétricas e térmicas com suas respectivas suportabilidades;
- Sistematização das ações anteriores através de um aplicativo computacional dedicado à análise de pedidos de ressarcimento, cujos cálculos e processamentos internos utilizam as rotinas do *software* ATP. Através de uma interface gráfica amigável e de fácil manuseio, os resultados obtidos são manipulados objetivando disponibilizar uma orientação técnica para a emissão de um parecer final sobre o caso analisado.

1.5 – A estrutura metodológica para o processo de análise

Conforme destacado, o processo de análise a ser desenvolvido fundamenta-se em correlacionar os distúrbios ocorridos nas redes elétricas (traduzidos em solicitações dielétricas e térmicas) com os padrões de suportabilidade dos produtos considerados. Nestas circunstâncias, o processo avaliativo proposto compreende o conjunto de ações sintetizadas na Figura 1.1.

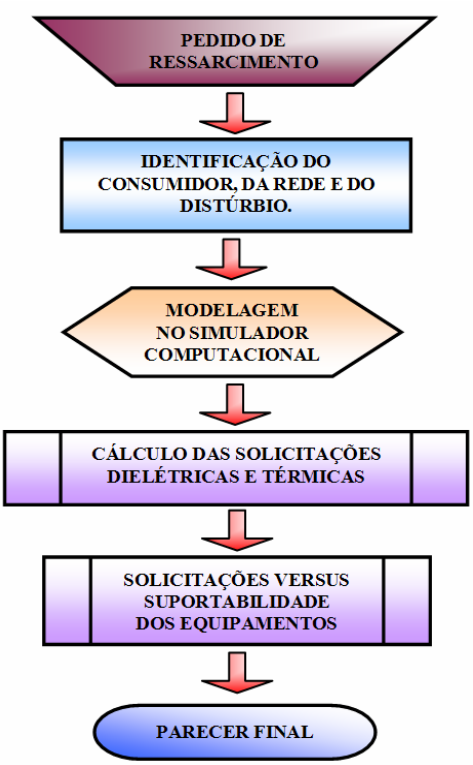


Figura 1.1 – Síntese das etapas do processo de análise.

As ações a serem executadas, desde o recebimento do pedido de ressarcimento até a emissão do parecer final, deverão compreender os seguintes passos:

- **Etapa 01** – ***Registro da reclamação do consumidor:*** Esta fase inicial segue os procedimentos de cadastro do pedido de ressarcimento de acordo com os termos estabelecidos pela concessionária de energia elétrica;

- **Etapa 02** – ***Identificação do alimentador associado ao pedido de ressarcimento e respectivo modelo computacional:*** Na seqüência, procede-se a identificação do consumidor reclamante perante o complexo de distribuição da empresa. Como resultado disto, quer seja através de um modelo da rede pré-estabelecido ou via montagem pelo operador do APR, procede-se o estabelecimento da

modelagem da rede sob enfoque. O detalhamento representativo deverá abranger a topologia da rede de distribuição compreendida entre o ponto de conexão do consumidor e o suposto ponto de ocorrência do distúrbio vinculado ao pedido;

- **Etapa 03** – ***Identificação do distúrbio e implementação no aplicativo computacional APR:*** Uma vez caracterizada e modelada a rede de distribuição, na seqüência, deve ser feita a identificação do fenômeno (curto-circuito, energização, descarga atmosférica, etc), ao qual estaria envolvido com o pedido de ressarcimento em pauta. O fenômeno é então selecionado e utilizado como sinal de distúrbio via recursos disponibilizados no aplicativo APR;

- **Etapa 04** – ***Inserção do equipamento objeto do pedido de ressarcimento no APR:*** Configurada a rede de distribuição e o suposto distúrbio causador dos danos, os trabalhos prosseguem através da inserção, no modelo computacional, dos equipamentos a serem investigados para a emissão do parecer técnico. Findada esta etapa, o simulador APR já estaria considerando a modelagem da rede de distribuição, o eventual distúrbio responsável pelo pedido e a representação dos produtos destacados no pedido de ressarcimento;

- **Etapa 05** – ***Cálculo das solicitações dielétricas e térmicas impostas aos equipamentos:*** Os distúrbios manifestados nas redes elétricas são convertidos em indicadores de desempenho e representados por curvas de solicitação dielétrica e térmica impostas aos dispositivos focados no processo de ressarcimento;

- **Etapa 06** – ***Processamento dos estudos investigativos dos impactos dos distúrbios sobre os equipamentos e emissão de parecer conclusivo:*** Esta última etapa, realizada pelo aplicativo computacional APR, corresponde aos estudos de desempenho do conjunto: distúrbio-rede-equipamento, objetivando concluir se os impactos elétricos manifestados sobre os equipamentos atingiram ou não seus limites de suportabilidade. Ao final desta análise, emite-se um parecer técnico embasado nesta correlação.

Para que esta proposta seja exeqüível e confiável, torna-se imperativo a utilização de modelos computacionais apropriados para a representação dos equipamentos eletroeletrônicos, dos elementos constituintes da rede de distribuição e dos distúrbios passíveis de ocorrência em uma plataforma computacional no domínio do tempo. Portanto, objetivando atingir esta meta, os capítulos ou unidades componentes desta tese de doutorado detalham os desenvolvimentos próprios até a obtenção do produto final almejado: o Analisador de Pedidos de Ressarcimento.

1.6 – Estrutura da tese

Diante do exposto, além do presente capítulo introdutório, a tese será desenvolvida conforme a seguinte estrutura:

Capítulo II – Modelagem Computacional dos aparelhos eletroeletrônicos, da rede de distribuição e dos distúrbios.

Este capítulo fornece todos os procedimentos empregados na obtenção dos circuitos elétricos equivalentes para a representação computacional dos dispositivos tipicamente

usados nas redes elétricas. Os modelos deverão primar por respostas condizentes com os mais diversos fenômenos que podem ocorrer nas redes utilizando a plataforma ATP.

Capítulo III – Metodologia para a análise de consistência dos pedidos de ressarcimento.

Neste capítulo são definidos os princípios adotados para a conversão dos distúrbios manifestados nas redes elétricas de distribuição de energia em indicadores de solicitações dielétricas e térmicas para posterior comparação com os limites de suportabilidade dos equipamentos eletroeletrônicos.

Capítulo IV – O aplicativo computacional APR.

Esta unidade encontra-se direcionada ao detalhamento do Aplicativo computacional APR, desenvolvido para incorporar os modelos computacionais representativos do sistema elétrico, dos equipamentos e dos distúrbios passíveis de ocorrência. Também, são apresentados os princípios da correlação entre os níveis dos distúrbios aplicados e os padrões de suportabilidade dos produtos contemplados na pesquisa.

Capítulo V – Avaliação da consistência da metodologia através de casos reais.

Esta seção destina-se a avaliar o desempenho do mesmo quando da análise de casos reais de pedidos de ressarcimento. Os resultados obtidos pelo APR serão comparados com as decisões tomadas pelos procedimentos convencionais fornecendo bases

para uma análise crítica da consistência da metodologia proposta.

Capítulo VI – Conclusões.

Por fim, procede-se a apresentação de uma síntese dos principais pontos e conclusões relacionados com o trabalho como um todo. Além disso, serão ressaltadas questões vinculadas às principais contribuições deste trabalho, bem como sugestões para futuros desenvolvimentos.

CAPÍTULO II

Modelagem computacional dos aparelhos eletroeletrônicos, da rede de distribuição e dos distúrbios

2.1 – Considerações iniciais

Sendo a proposta desta tese uma estratégia computacional para análise de pedidos de ressarcimento, torna-se indispensável o desenvolvimento de modelos computacionais representativos para os dispositivos que constituem o sistema de distribuição de energia elétrica e dos equipamentos eletroeletrônicos analisados em uma plataforma computacional que utiliza técnicas no domínio do tempo. Neste sentido, a confiabilidade dos resultados finais obtidos, que conduzirão ao parecer conclusivo sobre a consistência dos pedidos de indenização, está fortemente ligada à qualidade da representação dos circuitos elétricos destes equipamentos.

A plataforma computacional utilizada para esta tarefa corresponde ao ATP (*Alternative Transients Program*). Sendo uma das versões do EMTP (*Electromagnetic Transients Program*) adaptada para a utilização em microcomputadores, este *software* é distribuído em diversas partes do mundo

pelo grupo de usuários do EMTP (*User Group*) completamente livre de "*royalties*".

No Brasil, o ATP é distribuído pelo Comitê Brasileiro de Usuários do EMTP (CBUE) com sede em Furnas Centrais Elétricas S.A. no Rio de Janeiro. Em princípio, qualquer pessoa ou empresa pode se associar ao CBUE, bastando para isso entrar em contato com a coordenação do mesmo e se cadastrar como usuário.

Diante de todos os recursos amplamente conhecidos e oferecidos pela base computacional selecionada, o programa requer do usuário conhecimentos específicos sobre o tema e as técnicas apropriadas para o desenvolvimento e incorporação de novos modelos, o que confere certa complexidade quanto à sua utilização.

Atualmente, empresas do setor elétrico, universidades e centros de pesquisa de todo o país e exterior têm utilizado amplamente o ATP como estratégia para realização dos mais diversificados tipos de estudos pertinentes ao sistema elétrico. Os resultados obtidos têm se mostrado bastante confiáveis, tanto para investigações de regime transitório quanto permanente.

Não obstante a reconhecida qualidade em trabalhar com sistemas de potência, é oportuno destacar que o ATP, na sua versão original, não disponibiliza, em sua biblioteca, modelos de equipamentos eletroeletrônicos e de alguns distúrbios de qualidade da energia. Diante deste cenário, a estratégia e os desenvolvimentos para superar os desafios encontrados para a representação computacional destes dispositivos e fenômenos também se apresentam como contribuições oferecidas por esta tese.

Utilizando tal base computacional, os trabalhos desenvolvidos neste capítulo contemplam os seguintes pontos:

- Modelagem computacional dos mais diversos fenômenos de qualidade da energia passíveis de ocorrência em redes de distribuição de energia elétrica. Serão utilizadas as ferramentas disponibilizadas pelo ATP para a elaboração de rotinas específicas para tal fim;
- Modelagem computacional dos componentes típicos das redes elétricas. Estes, com maioria já disponibilizada no ATP, serão avaliados e modificados para o atendimento dos propósitos almejados por esta tese;
- Obtenção dos circuitos elétricos equivalentes e implementação computacional dos dispositivos eletroeletrônicos envolvidos nos pedidos de indenização;
- Apresentação de uma estratégia qualitativa e quantitativa para os testes de desempenho que representem de forma apropriada os mais distintos fenômenos associados aos indicadores de conformidade definidos pelos critérios da qualidade de energia;
- Realização de testes experimentais representativos das condições ideais e não-ideais de suprimento para fins de validação dos modelos computacionais focados na pesquisa.

2.2 – Modelagem dos distúrbios típicos da rede de distribuição

Como o ATP utilizado nos estudos não dispõe em sua biblioteca todos os recursos necessários para uma pronta representação dos fenômenos aos quais estariam atrelados os pedidos de ressarcimento, tornou-se fundamental a elaboração de programas específicos que representassem ocorrências como

aquelas já mencionadas anteriormente. Assim procedendo e inserindo tais recursos na base computacional selecionada, tornou-se então possível a reprodução, dentro de uma rede de distribuição ou outra qualquer, dos fenômenos típicos do problema em foco. Para tanto, além do uso de fontes e dispositivos convencionais, muitos dos modelos foram configurados com o auxílio das funções TAC's (*Transient Analysis of Control Systems*) e, posteriormente, implementados na base computacional através de cartões específicos. A Figura 2.1 apresenta os componentes resultantes deste processo, os quais foram implementados na biblioteca do ATPDraw. Dentro deste aspecto, além dos fenômenos de energização e de chaveamentos, o programa passa a dispor de recursos para contemplar distúrbios do tipo: distorções harmônicas, flutuações de tensão, variações de tensão de curta duração, curtos-circuitos e transitórios diversos ocasionados por manobras e descargas atmosféricas. Estes podem ser aplicados a qualquer ponto da rede e o programa se incumbe de propagar o distúrbio até o ponto de localização do equipamento sob análise.

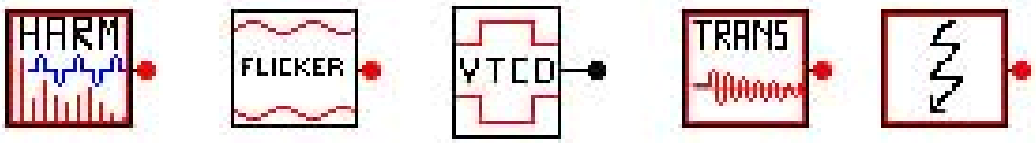


Figura 2.1 – Modelos dos distúrbios elétricos desenvolvidos no ATP.

Maiores exemplificações destes recursos ocorrerão quando da utilização dos mesmos para os estudos avaliativos de desempenho dos produtos eletroeletrônicos diante dos distúrbios de rede, como será feito nas unidades subseqüentes. Também, os modelos desenvolvidos e respectivos "cartões" representativos destes fenômenos encontram-se fornecidos no Anexo (a) deste documento.

2.3 – Modelagem dos equipamentos eletroeletrônicos

A modelagem computacional dos equipamentos eletroeletrônicos compreendeu uma gama de 27 (vinte e sete) produtos considerados de grande difusão comercial. Reconhecendo a natureza e os princípios que regem os seus aspectos construtivos, os mesmos foram subdivididos em quatro grandes grupos, a saber:

a) Equipamentos supridos através de Fontes Chaveadas

- Microcomputador;
- Televisor;
- Videocassete;
- Vídeo Projetor;
- Aparelho de DVD;
- Aparelho de Fax;
- Fonte de Carregador de Notebook;
- Vídeo Porteiro;
- Fonte de Carregador de Celular.

b) Equipamentos alimentados por Fontes Lineares

- Micro System;
- Home Theater;
- Telefone sem fio;
- Secretária Eletrônica;
- Sistemas de Alarme;
- Interfone;
- Portão Eletrônico;
- Receptor de Sinal de TV via Satélite;

c) Outras tecnologias para o suprimento elétrico das unidades

- Fornos de Microondas;
- Sistemas de Iluminação Eletrônica;
- UPS - No Break;
- Estabilizador.

d) Equipamentos que utilizam Força Motriz (Motores Elétricos)

- Geladeira;
- Freezer;
- Máquina de Lavar Louças;
- Máquina de Lavar Roupas;
- Sistema de Bombeamento;
- Motor Universal e Assíncrono.

Os modelos computacionais representativos para os produtos mencionados anteriormente consistem, basicamente, na derivação de circuitos equivalentes simplificados, com destaque para os primeiros dispositivos localizados na entrada do equipamento. Esta estratégia foi estabelecida em função da complexidade dos circuitos internos, que utilizam tecnologia microeletrônica, servos-mecanismos e outras. Além disso, algumas referências, a exemplo de [4] e [40], que fizeram testes destrutivos em equipamentos eletroeletrônicos, revelaram que as anormalidades de natureza elétrica que ocorrem na rede de suprimento de energia, salvo raríssimas exceções, são transferidas pelas suas fontes de entrada para os elementos mais internos. Estas constatações foram confirmadas por meio de consultas com prestadores de serviços de manutenção autorizados. Portanto, a partir dos circuitos complexos são derivados outros arranjos mais simples, sem que isto limite ou invalide os

estudos aqui considerados. Para tanto, foram respeitadas as características operacionais dos produtos como, por exemplo, a utilização de módulos de potência constante para representar os circuitos internos de produtos à fonte chaveada e a utilização de impedâncias para representar circuitos internos dos equipamentos à fonte linear.

Tendo em vista a grande quantidade de produtos contemplados neste trabalho, para fins ilustrativos, serão mostrados os procedimentos de modelagem e validação apenas para um exemplar: o aparelho televisor. As informações peculiares aos outros produtos poderão ser obtidas nas referências [41], [42] e [43], advindas dos trabalhos aqui considerados.

2.3.1 – Modelagem computacional do aparelho de TV

A Figura 2.2 mostra o televisor em cores convencional de 20 polegadas utilizado nos estudos.

Figura 2.2 – Televisor utilizado nos estudos.

Para maior clareza dos circuitos elétricos a serem representados computacionalmente, as Figuras 2.3 e 2.4 mostram os aspectos construtivos do aparelho de TV e a sua respectiva fonte de alimentação.

Figura 2.3 – Vista interna do televisor.

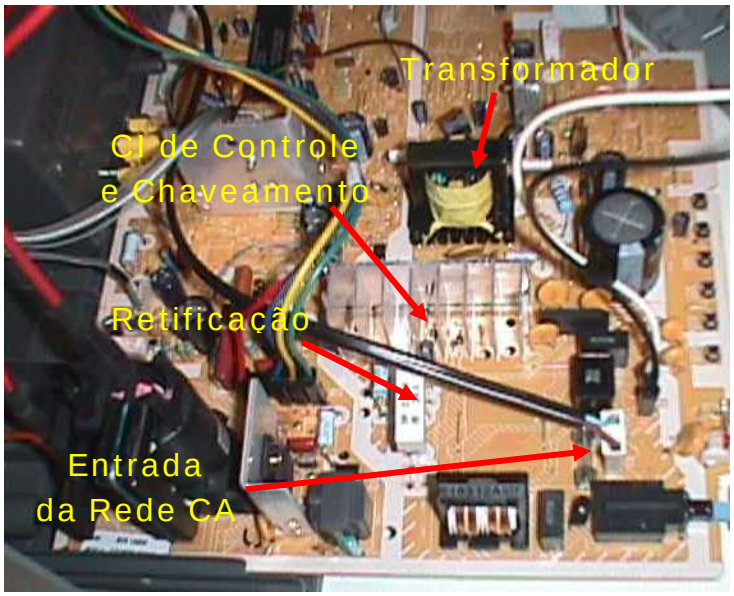


Figura 2.4 – Foto detalhada da fonte do televisor.

Como pode ser visto na Figura 2.4, a fonte do aparelho de TV é essencialmente constituída pela entrada da rede de alimentação, uma ponte retificadora, um transformador e um CI (Circuito Integrado) para controle e regulação dos níveis de tensão. A Figura 2.5 apresenta o seu respectivo circuito elétrico.

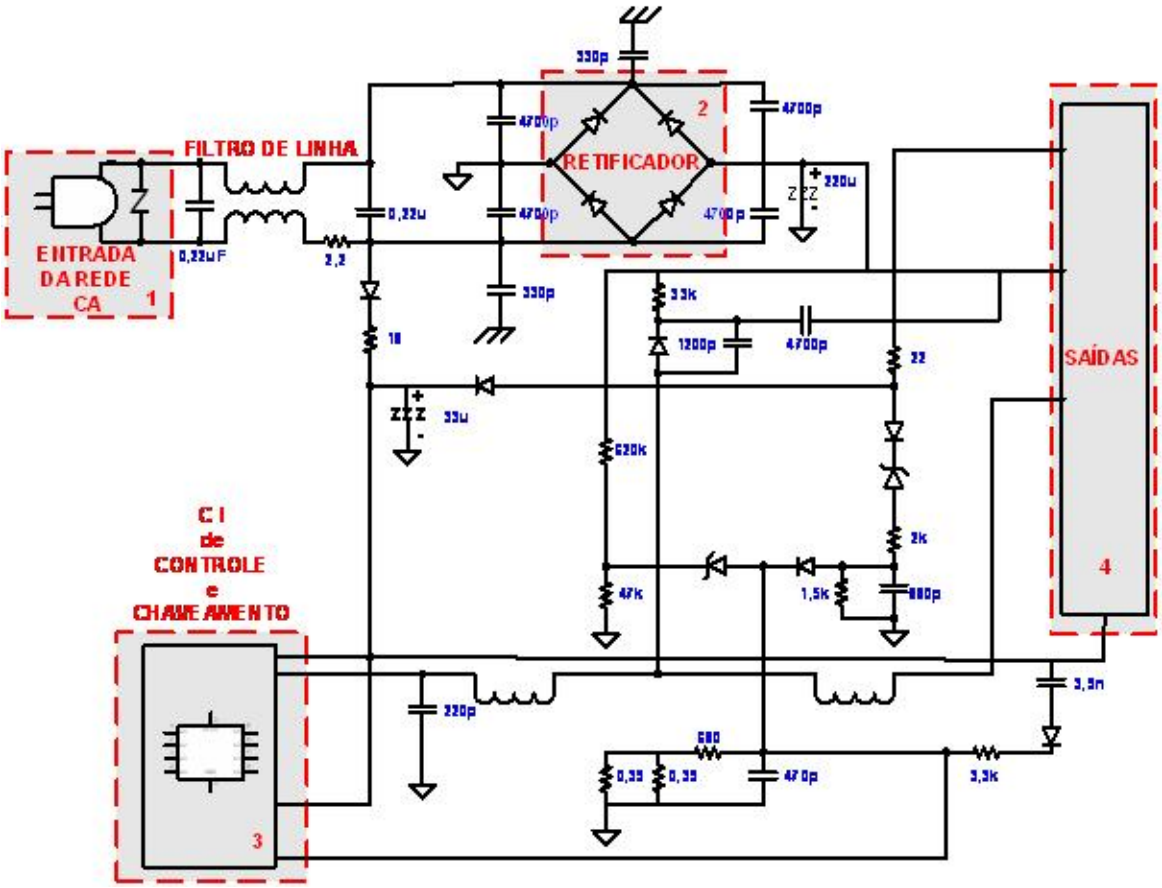


Figura 2.5 – Circuito elétrico da fonte de alimentação.

O conhecimento prévio do circuito elétrico da fonte chaveada do aparelho de TV, aliado a toda descrição supracitada, permite a implementação computacional da mesma, utilizando para tanto, o simulador ATP. Conforme já mencionado, os blocos que resumem os arranjos eletrônicos de saída são tratados na forma de uma carga de potência constante. Diante do exposto, a

Figura 2.6 resume o circuito elétrico equivalente do televisor. O circuito implementado computacionalmente no ATPDraw encontra-se ilustrado na Figura 2.7.

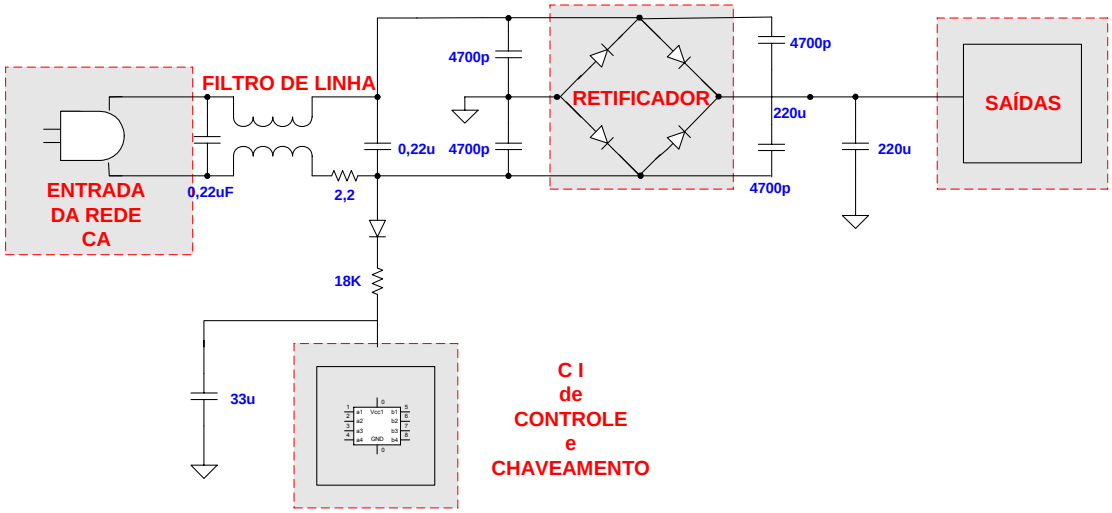


Figura 2.6 – Circuito elétrico equivalente do televisor.

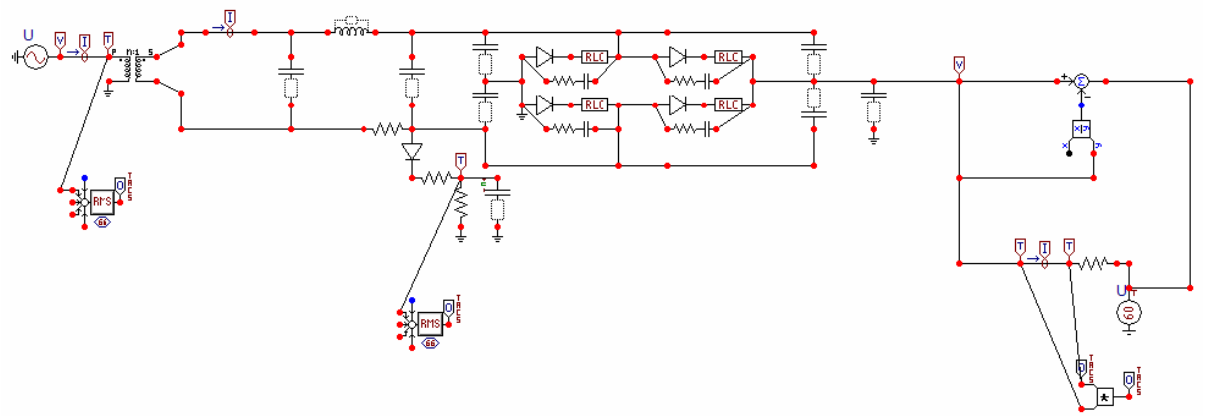


Figura 2.7 – Circuito elétrico equivalente do televisor implementado no ATP.

Este circuito gerou o componente elaborado para representar o aparelho televisor no ATPDraw, mostrado na Figura 2.8. Mais uma vez, o "cartão" representativo do produto encontra-se no Anexo (b).

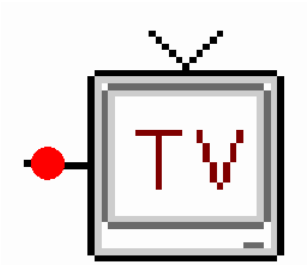


Figura 2.8 – Modelo representativo do aparelho televisor no ATPDraw

Como os desenvolvimentos e estudos apresentados nesta tese estão focados, exclusivamente, na análise da possibilidade de danos em equipamentos devido a distúrbios manifestados nas redes de distribuição, o circuito de entrada de recepção dos sinais de comunicação (antena) e o ponto de conexão ao sistema de aterramento não foram considerados no modelo computacional obtido.

2.3.2 – Ensaios utilizados para fins de validação dos modelos computacionais

Para validar o modelo computacional implementado, foi utilizado um arranjo experimental que permitisse reproduzir, em laboratório, resultados similares àqueles passíveis de extração dos trabalhos computacionais. Isto possibilita estabelecer termos comparativos entre as formas de onda obtidas através das duas estratégias (computacional e experimental) e concluir sobre a adequação dos modelos em relação ao desempenho do produto real.

No que tange aos testes de desempenho selecionados, estes foram extraídos da proposta contida em [44]. Os testes formam um conjunto de experimentos, que são classificados em 5 (cinco) condições operacionais, sendo cada uma delas relacionada a um tipo de distúrbio. A Tabela 2.1 descreve as principais características dos ensaios feitos.

Tabela 2.1 – Ensaios para a validação dos modelos computacionais representativos.

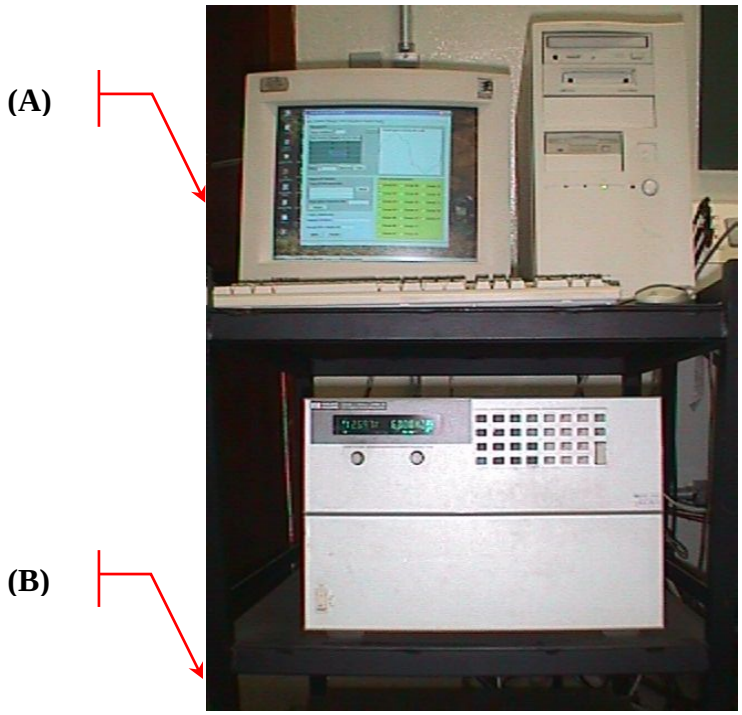
Alimentação	***Objetivo***	***Características***
Condições Ideais	Tensão de fornecimento ideal	• Tensão nominal trifásica equilibrada de 220 V, fase-neutro, rms, 60 Hz; • Puramente Senoidal.
Harmônicos	Distorção harmônica composta superposta à tensão fundamental	• Tensão fundamental de 220 V, rms, 60 Hz; • Distorção Harmônica Total - DHT = 20%; • Sinal constante ao longo do tempo; • Duração do ensaio de 30 min.
Flutuação de Tensão	Flutuação da tensão nominal	• Tensão fundamental de 220 V, rms, 60 Hz e Pst = 5,0pu; • Sinal constante ao longo do tempo; • Duração do ensaio de 30 min.
Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD)	Afundamento da tensão nominal. Somente 1 evento	• Tensão nominal de 220 V, rms, 60 Hz; • Afundamento para 60% da tensão nominal; • Duração do evento de 10 ciclos.
	Interrupção da tensão nominal	• Tensão nominal de 220 V, rms, 60 Hz; • Interrupção da tensão; • Duração do evento de 10 ciclos.
	Elevação da tensão nominal. Somente 1 evento	• Tensão nominal de 220 V, rms, 60 Hz; • Elevação para 120% da tensão nominal; • Duração do evento de 10 ciclos.
Transitórios de Tensão	Superposição de tensão oscilatória e amortecida	• Tensão nominal de 220 V, rms, 60 Hz; • Valor de pico da tensão oscilatória de 480V; • Freqüência de oscilação de 1 kHz; • Constante de tempo equivalente a ½ ciclo da freqüência fundamental

2.3.3 – Estrutura laboratorial utilizada

Um dos mais tradicionais recursos disponibilizados no mercado para a realização de ensaios que compreendem a reprodução de um suprimento elétrico sob a ação de distúrbios de qualidade da energia elétrica consiste no emprego de fontes de potência com características programáveis, sendo esta, portanto, o elemento principal da estrutura laboratorial utilizada. O produto utilizado

corresponde à fonte *6800A AC Power Source/Analysers da Hewlett Packard* que permite a programação e implementação dos mais diferentes distúrbios relacionados ao fornecimento da energia elétrica. Ademais, possibilita a reprodução, em laboratório, de situações reais de operação encontradas nos sistemas elétricos.

Esta e os seus recursos periféricos para a realização dos ensaios experimentais encontram-se ilustrados na Figura 2.9.



(A) Microcomputador destinado ao controle da fonte

(B) Fonte geradora de sinais HP Series 6800

Figura 2.9 – Conjunto microcomputador-fonte utilizado para os ensaios.

2.3.4 – Montagem experimental

A Figura 2.10 ilustra o correspondente arranjo laboratorial.

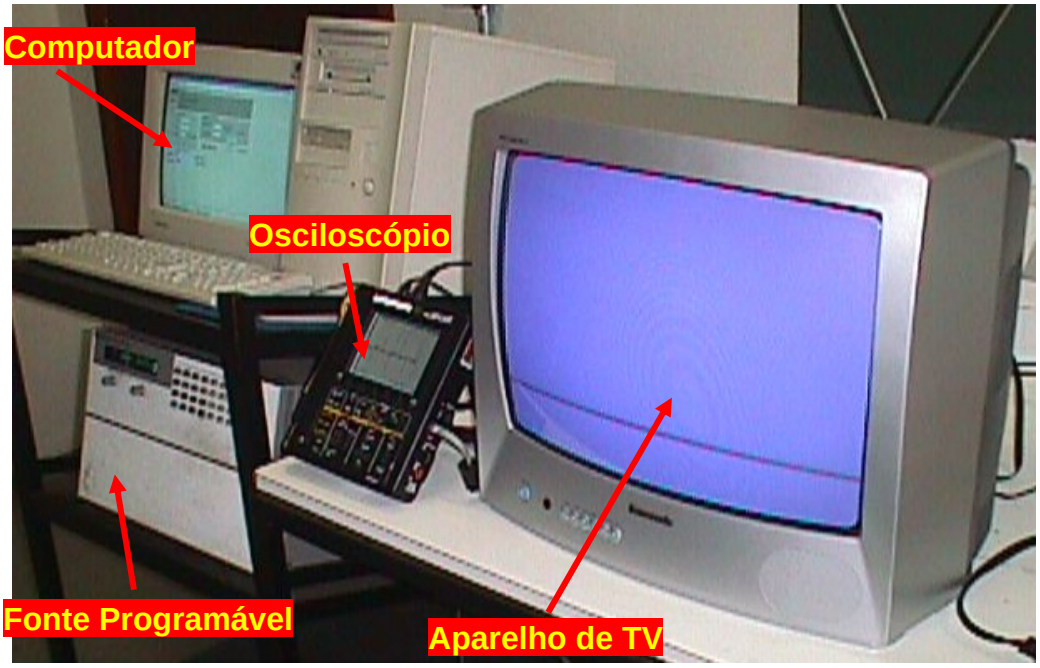


Figura 2.10 – Montagem laboratorial para os ensaios de validação dos modelos.

No que tange aos pontos físicos do equipamento para fins de comparação das tensões, estes são:

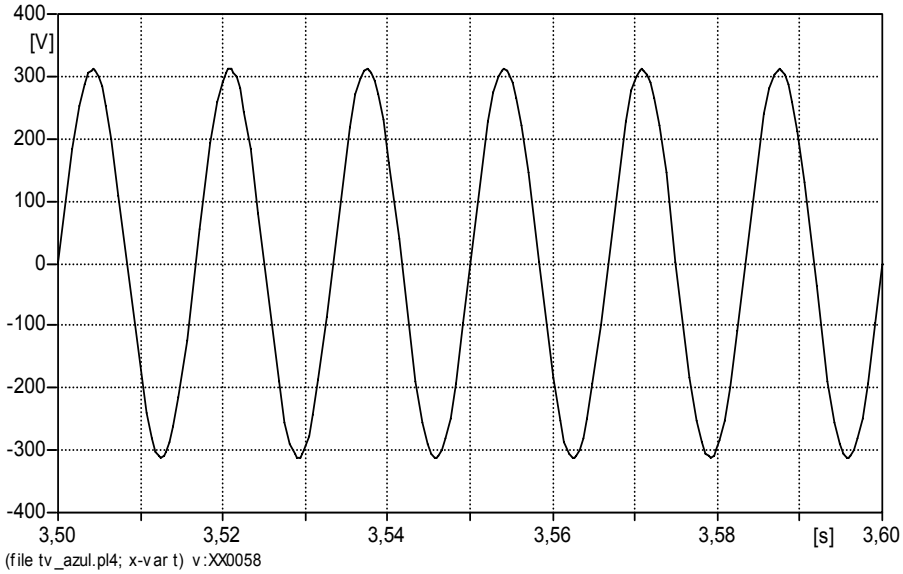
- Entrada do equipamento;
- Elo CC, onde a tensão de alimentação se encontra na forma contínua;
- Pino Vcc do CI de controle e chaveamento onde o mesmo é também alimentado em tensão contínua.

Quanto às correntes, apenas a grandeza na entrada do equipamento foi monitorada. Isto se deve à complexidade do circuito interno, aliada às limitações de ordem técnica quanto à sua aquisição.

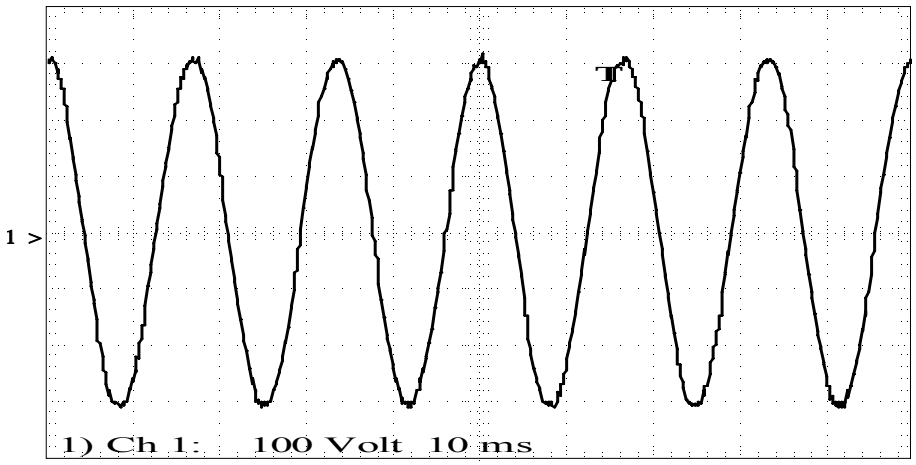
2.3.5 – Validação do modelo computacional - condições ideais e nominais

(a) Grandezas elétricas na entrada do televisor

As Figuras 2.11 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as formas de onda da tensão empregadas para os estudos computacionais e experimentais.



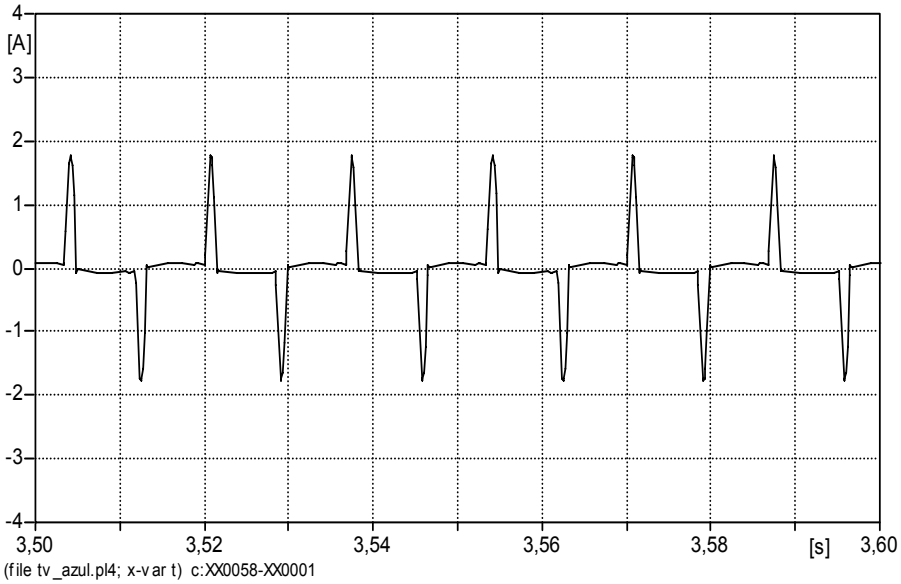
a) Forma de onda da tensão na entrada do televisor - computacional



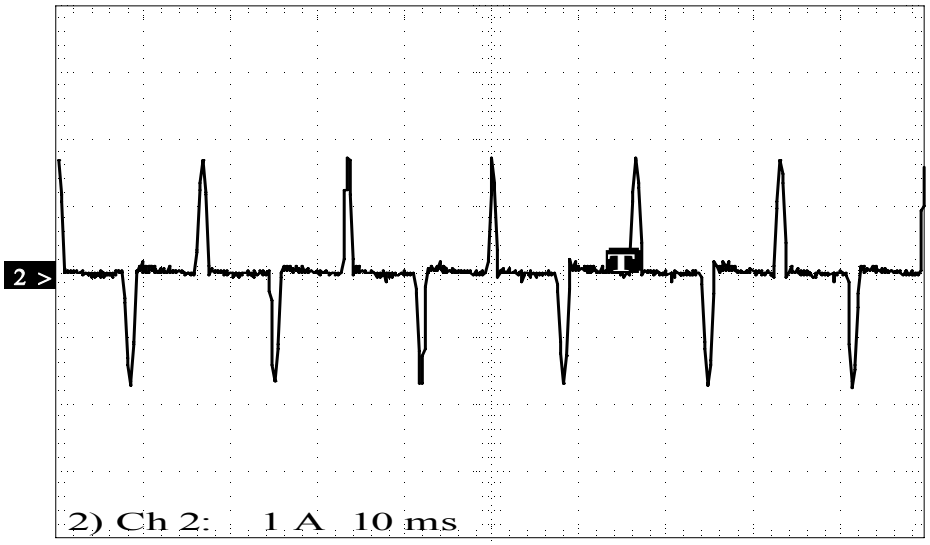
b) Forma de onda da tensão na entrada do televisor - experimental

Figura 2.11 – Formas de onda da tensão na entrada do televisor

Por outro lado, as Figuras 2.12 (a) e (b) mostram as correspondentes formas de onda da corrente na entrada do equipamento. Os seus respectivos espectros harmônicos são indicados nas Figuras 2.13 (a) e (b).

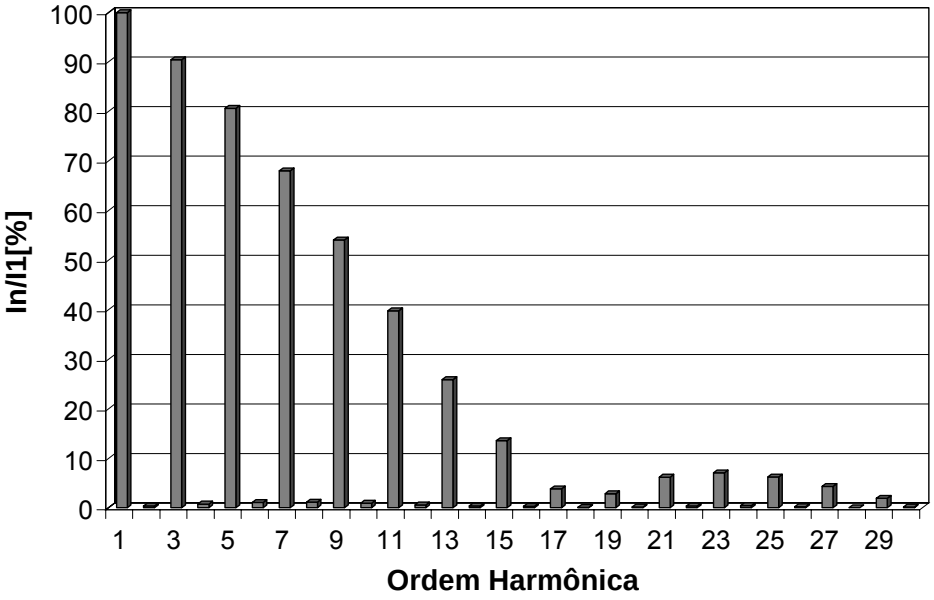


a) Forma de onda da corrente na entrada do televisor - computacional

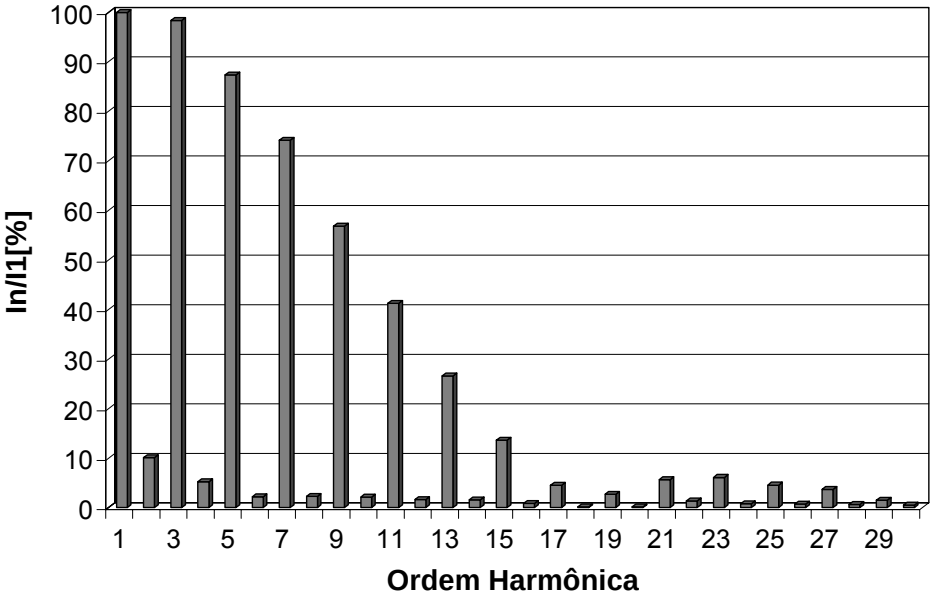


b) Forma de onda da corrente na entrada do televisor - experimental

Figura 2.12 – Formas de onda da corrente na entrada do televisor



a) Espectro harmônico da corrente de entrada - computacional

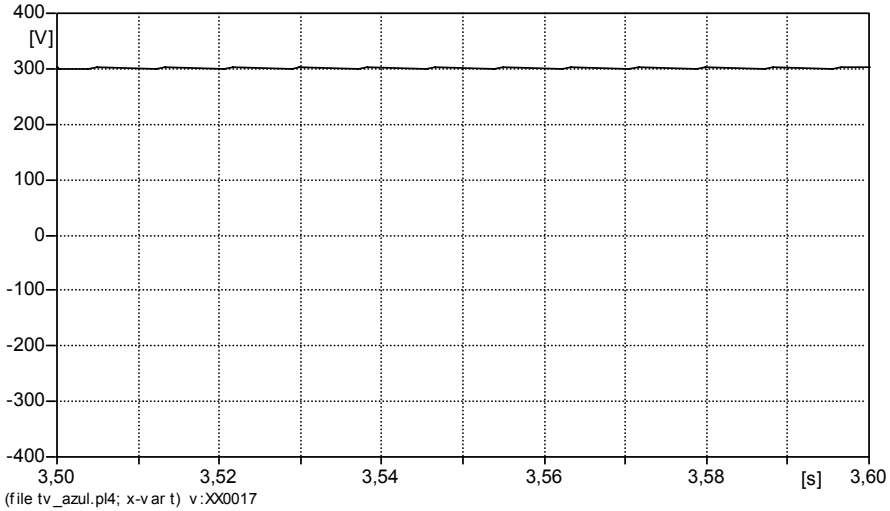


b) Espectro harmônico da corrente de entrada - experimental

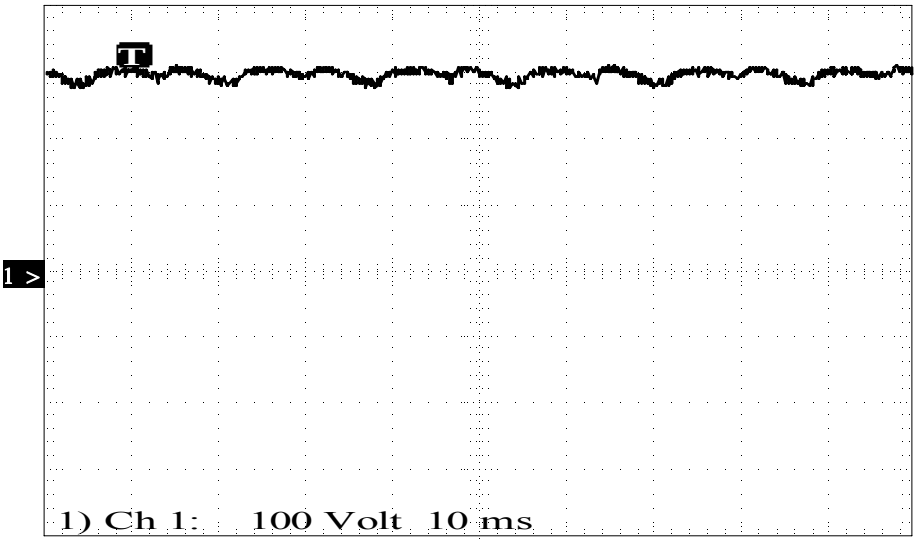
Figura 2.13 – Espectros harmônicos da corrente na entrada do televisor

(b) Grandezas elétricas no elo CC

As formas de onda da tensão contínua no elo CC são apresentadas nas Figuras 2.14 (a) e (b), respectivas aos estudos computacionais e experimentais.



(a) Forma de onda da tensão no elo CC - computacional

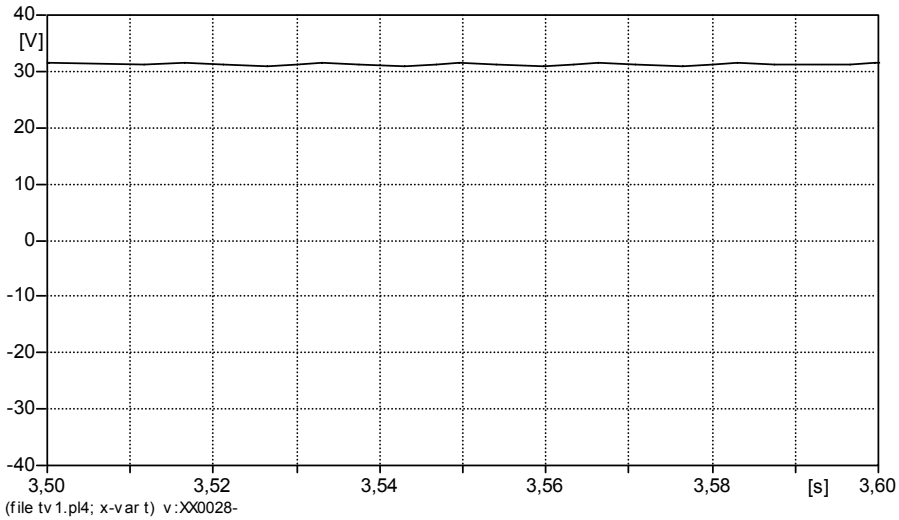


(b) Forma de onda da tensão no elo CC - experimental

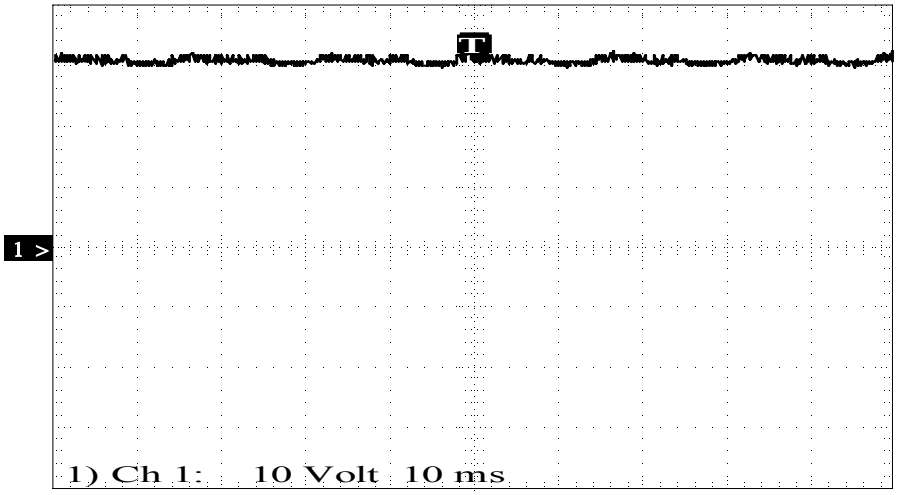
Figura 2.14 – Formas de onda da tensão no elo CC

(c) Grandezas elétricas no CI de controle e chaveamento

As formas de onda da tensão contínua que alimenta o CI de chaveamento e controle da fonte do aparelho televisor são apresentadas nas Figuras 2.15 (a) e (b) associadas, respectivamente, aos estudos computacionais e experimentais.



a) Forma de onda da tensão do CI de controle e chaveamento - computacional



b) Forma de onda da tensão do CI de controle e chaveamento - experimental

Figura 2.15 – Formas de onda da tensão do CI de controle e chaveamento

(d) Quadro comparativo

A Tabela 2.2 resume as principais grandezas monitoradas no circuito do aparelho televisor.

Tabela 2.2 – Quadro comparativo entre os resultados computacionais e experimentais sob condições ideais e nominais de suprimento

Local	***Grandeza***			***Simulação***	***Experimental***	***Diferença***
Entrada	Corrente	Valor eficaz (mA)		514,00	483,00	6,41 %
		Harmônicas mais significativas (%)	3ª	90,42	98,37	8,08 %
			5ª	80,65	87,36	7,68 %
		THD (%)		157,66	170,17	7,35 %
		Valor de Pico (A)		1,76	1,72	2,27 %
Elo CC	Tensão	Valor Médio (V)		300,00	296,00	1,35 %
CI	Tensão	Valor Médio (V)		31,30	31,2	0,32 %

Finalmente, constata-se que os resultados apresentados no quadro comparativo da Tabela 2.2 evidenciam que o modelo computacional proposto e implementado possui boa correlação qualitativa e quantitativa com as características elétricas reais de operação do produto. Isto, em primeira instância, ratifica o modelo computacional desenvolvido para representar o aparelho televisor.

2.3.6 – Validação do modelo computacional - condições não ideais de suprimento

(a) Distorções harmônicas de tensão

As Figuras 2.16 a 2.19 mostram os resultados computacionais e experimentais obtidos quando o equipamento é alimentado por uma fonte supridora contendo distorções harmônicas de tensão. São apresentados os oscilogramas das tensões e correntes para uma distorção harmônica total (DHT) igual a 20% da tensão fundamental. O valor adotado, como é sabido, supera em muito os padrões recomendados pela legislação.

As Figuras 2.16 e 2.17 correspondem às tensões aplicadas e respectivas correntes fornecidas ao aparelho de TV para os casos computacional e experimental, respectivamente.

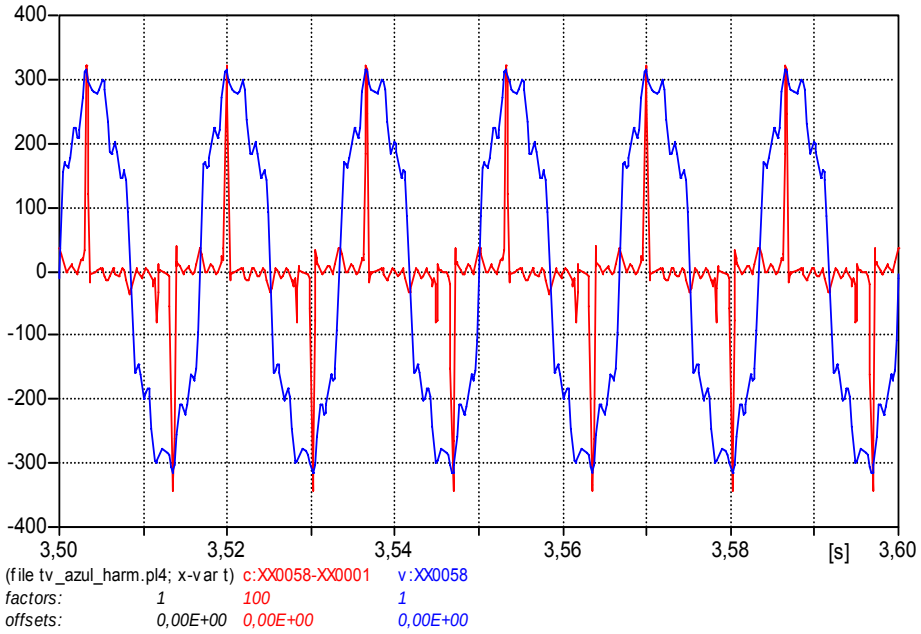


Figura 2.16 – Tensão e corrente de entrada - distorção total de tensão de 20% - Computacional

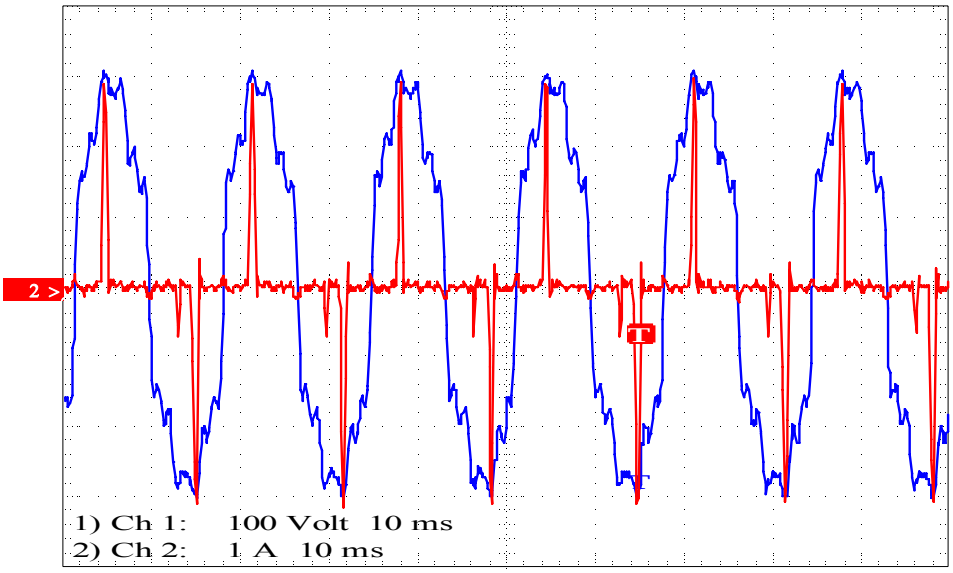


Figura 2.17 – Tensão e corrente de entrada - distorção total de tensão de 20% - Experimental

As figuras evidenciam uma boa concordância entre as respostas obtidas pelos dois métodos, fato este que, mais uma vez, corrobora a adequação do modelo implementado computacionalmente.

Na seqüência são apresentadas as Figuras 2.18 e 2.19. Estas correspondem, respectivamente, os oscilogramas computacional e experimental para a tensão no elo CC. No que se refere aos resultados obtidos para o CI de chaveamento e controle, mais uma vez as respostas se mostram inalteradas, motivo pelo qual não são aqui repetidas, nem para os próximos casos.

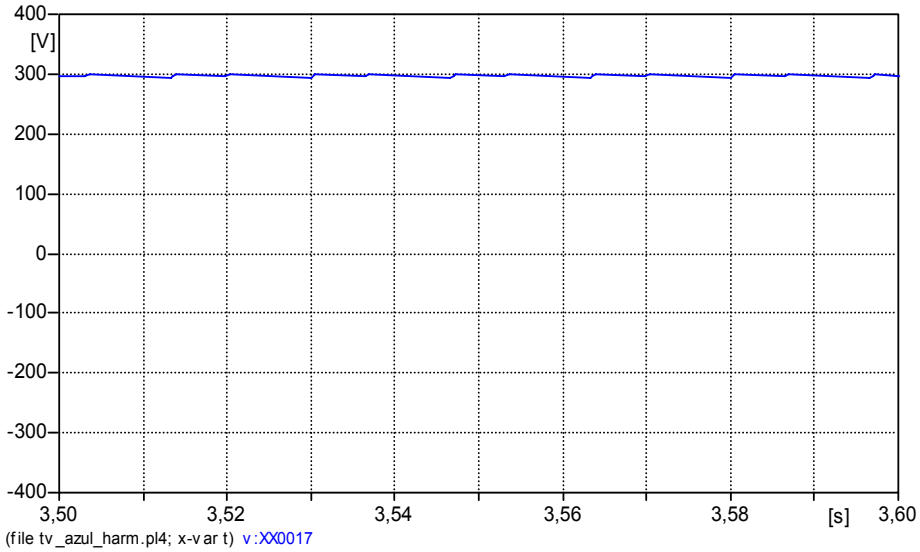


Figura 2.18 – Tensão no elo CC - tensão de suprimento com distorção total de 20% - Computacional

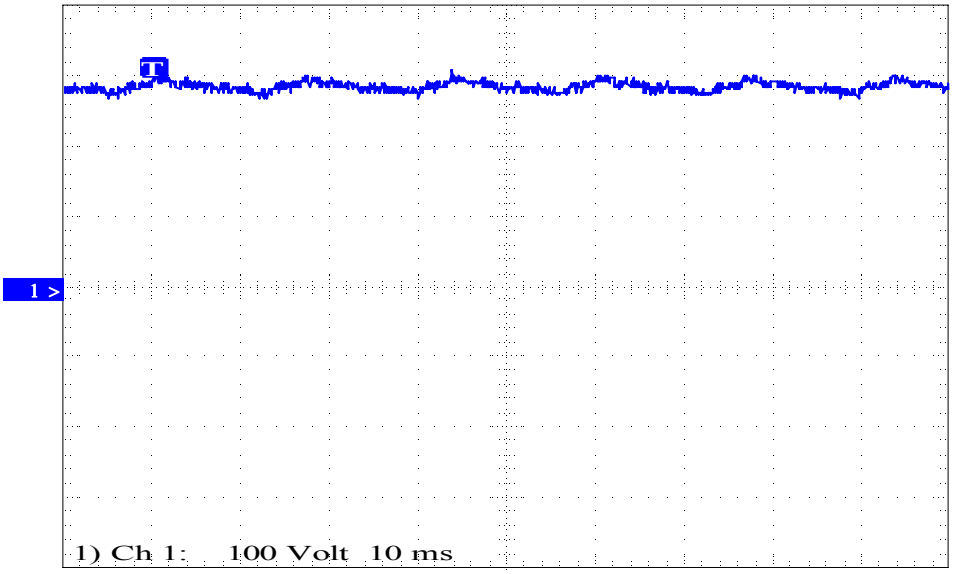


Figura 2.19 – Tensão no elo CC - tensão de suprimento com distorção total de 20% - Experimental

Também para esta grandeza, constata-se uma grande semelhança entre as formas de onda apresentadas.

A Tabela 2.3 sintetiza os resultados obtidos das análises computacionais e experimentais. Como esclarecido, estes refletem a operação do equipamento sob condições distorcidas para a tensão de alimentação. Os erros detectados entre as respostas computacionais e experimentais evidenciam uma concordância entre os valores, mostrando, assim, que o modelo proposto apresenta uma boa correlação com o funcionamento real do produto.

Tabela 2.3 – Síntese das grandezas observadas - distorção harmônica total de tensão de 20%.

Local	***Grandeza***			***Computacional***	***Experimental***	***Diferença***
Entrada	Corrente	Valor eficaz (mA)		687,0	641,0	7,17 %
		Valor de Pico (A)		3,20	2,96	8,1 %
		Harmônicas mais significativas (%)	3ª	46,72	48,20	3,07 %
			5ª	29,56	27,81	6,29 %
		THD (%)		241,24	239,15	0,87 %
Elo CC	Tensão	Valor Médio (V)		296,0	284,0	4,05 %

(b) Flutuações de tensão (Flicker)

As Figuras 2.20 a 2.21 expressam os resultados obtidos para as simulações e os ensaios experimentais realizados para tal condição de alimentação. Para fins do presente ensaio, a fonte de suprimento disponibilizou um suprimento contendo uma flutuação de tensão responsável por um indicador de cintilação luminosa (Pst) da ordem de 5pu (muito acima dos limites recomendados).

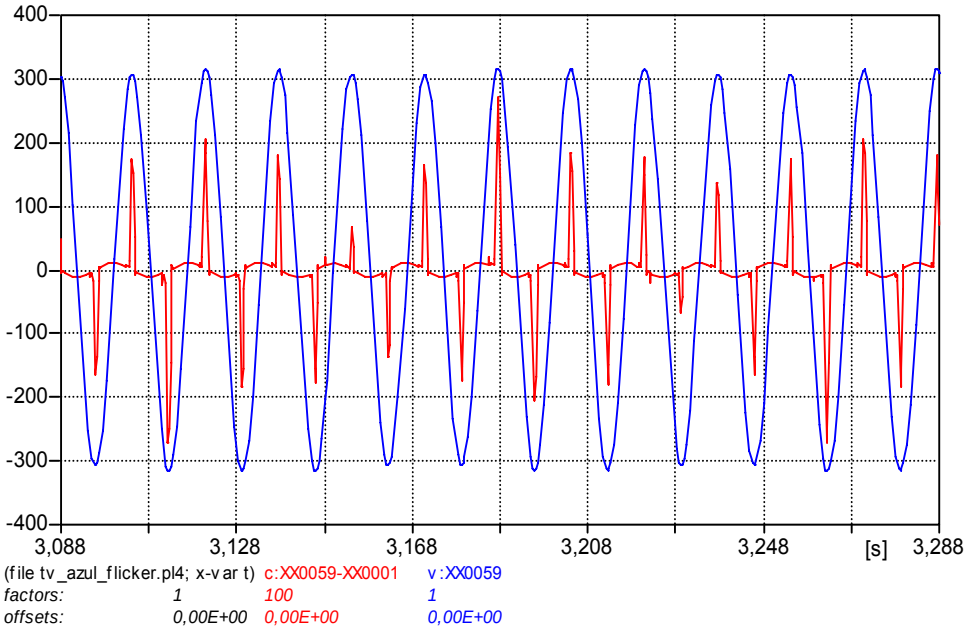


Figura 2.20 – Tensão de alimentação e corrente de entrada - flutuação de tensão de PST=5 - Computacional

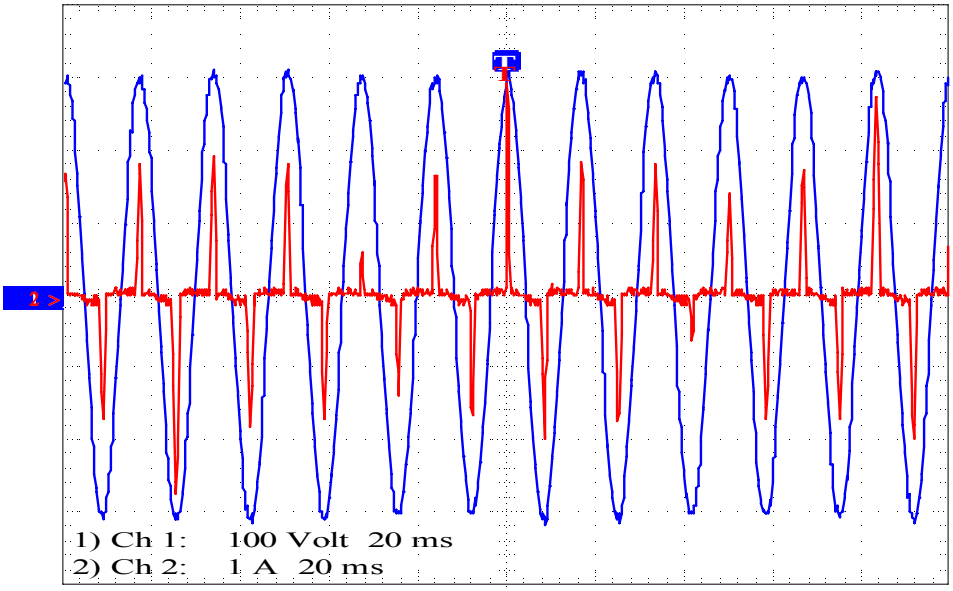


Figura 2.21 – Tensão de alimentação e corrente de entrada - flutuação de tensão de PST=5 - Experimental

Como pôde ser observado nas Figuras 2.20 e 2.21, a corrente na entrada do equipamento apresenta, como seria esperado, variações no seu valor de pico. Este comportamento está em consonância com as oscilações das correspondentes tensões.

As Figuras 2.22 e 2.23 apresentam os resultados para a tensão no elo CC do equipamento.

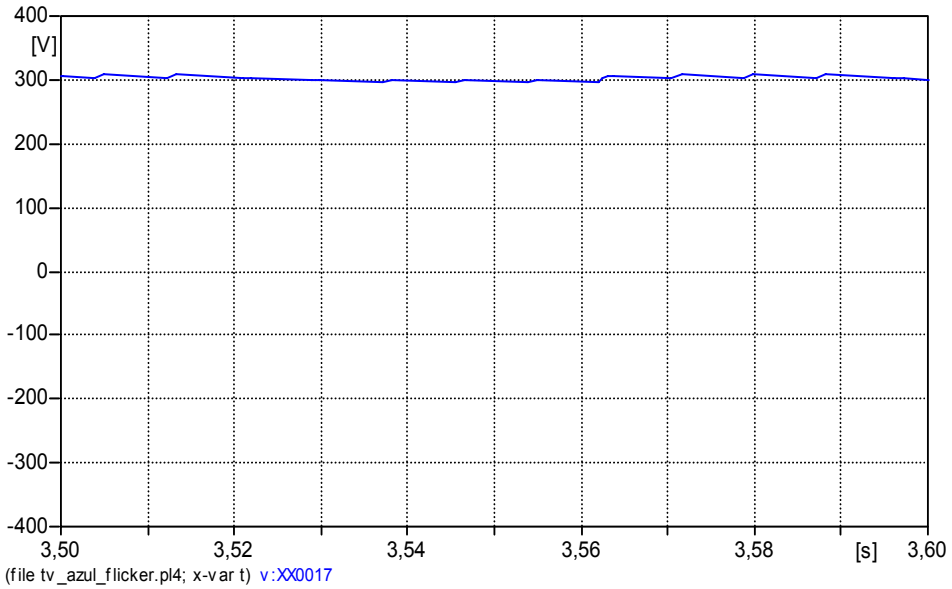


Figura 2.22 – Tensão no elo CC - flutuação de tensão de PST=5 - Computacional

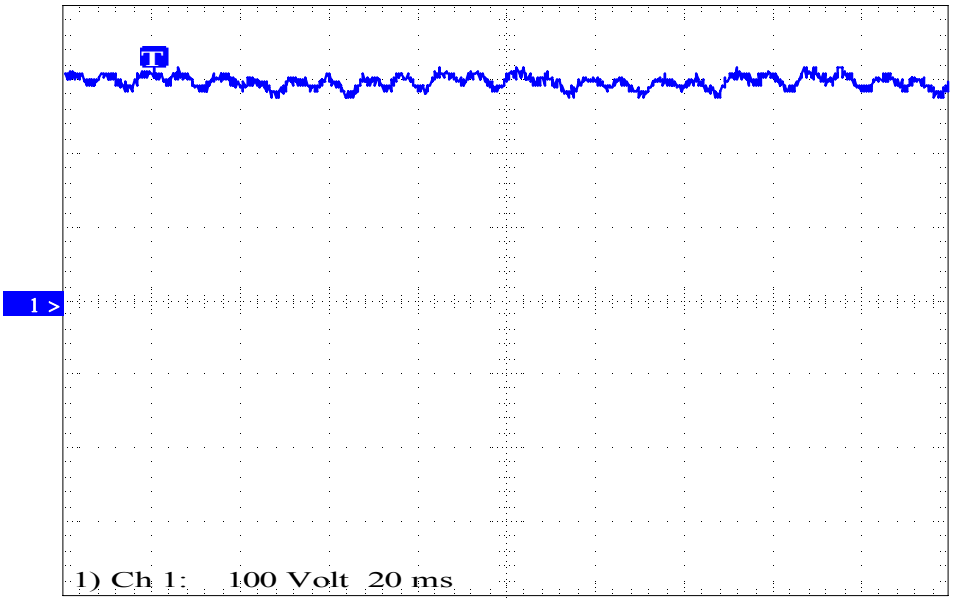


Figura 2.23 – Tensão no elo CC - flutuação de tensão de PST=5 - Experimental

A Tabela 2.4 sintetiza os principais resultados computacional e experimental para o suprimento contendo oscilação de tensão nos níveis adotados no presente estudo. As discrepâncias são bastante pequenas e a modelagem, novamente, é ratificada.

Tabela 2.4 – Síntese das principais grandezas observadas - flutuação de tensão de PST=5

Local	***Grandeza***		***Computacional***	***Experimental***	***Diferença***
Entrada	Corrente	Valor eficaz (mA)	541,0	550,0	1,63 %
		Valor de Pico (A)	3,03	2,92	3,76 %
Elo CC	Tensão	Valor Médio (V)	299,17	297,0	0,73 %

(c) Variações de tensão de curta duração (VTCD's)

Como estabelecido na proposta de testes, estes fenômenos se dividem em três categorias:

- Afundamentos;
- Elevações;
- Interrupção.

Os resultados obtidos dos ensaios e correspondentes simulações, para cada um dos itens descritos, são considerados na seqüência.

c.1) Afundamento de tensão

As Figuras 2.24 a 2.27 ilustram o comportamento computacional e experimental do aparelho televisor, contemplando as formas de onda da tensão

de suprimento e da corrente de entrada, quando da aplicação de um afundamento para 60% da tensão nominal com duração de 10 ciclos.

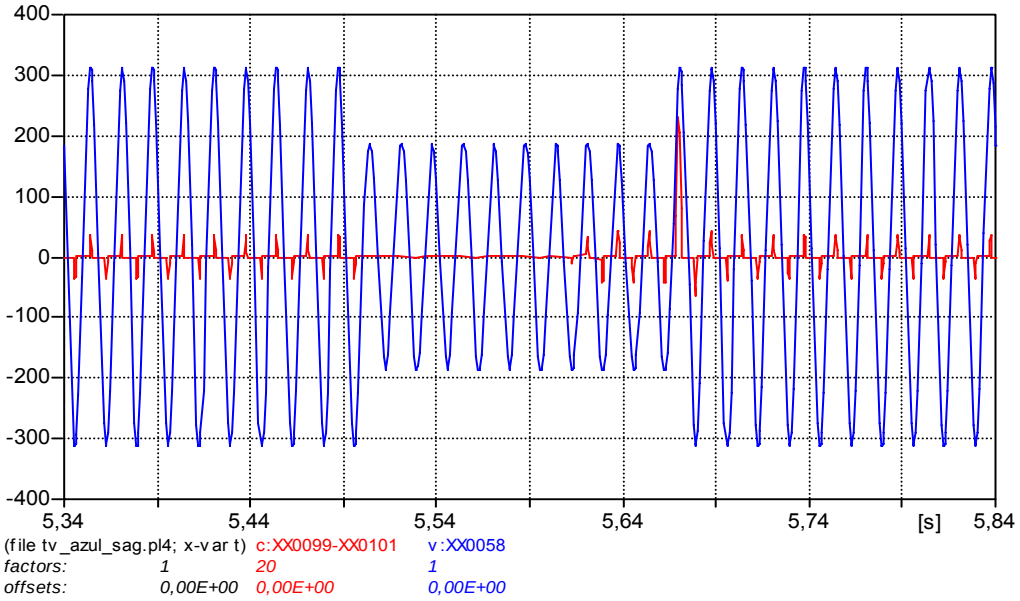


Figura 2.24 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - afundamento de tensão para 60% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Computacional

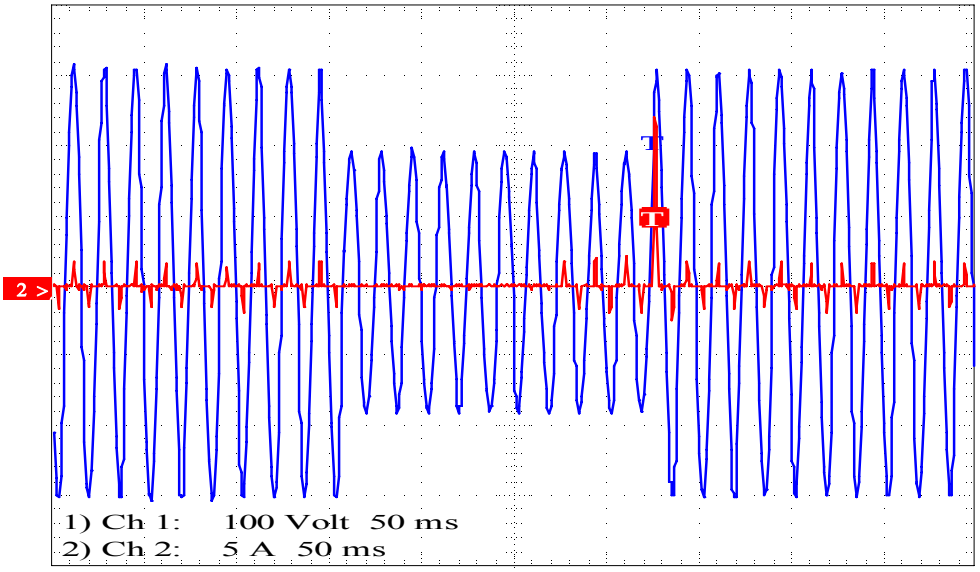


Figura 2.25 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - afundamento de tensão para 60% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Experimental

Em decorrência do afundamento de tensão, a corrente solicitada pelo aparelho de TV se anula pela polarização reversa dos diodos da ponte retificadora, permanecendo nesta condição por quase toda a duração do fenômeno. Uma vez restabelecida a tensão, como se constata na figuras anteriores, ocorre um pico de corrente (cerca de 7 vezes o valor nominal) devido à recarga do capacitor, restabelecendo a condição de regime permanente após alguns ciclos.

As Figuras 2.26 e 2.27 ilustram as formas de onda da tensão de alimentação e da tensão no elo CC do aparelho, obtidas pelo método computacional e experimental, respectivamente, para o afundamento supra referido.

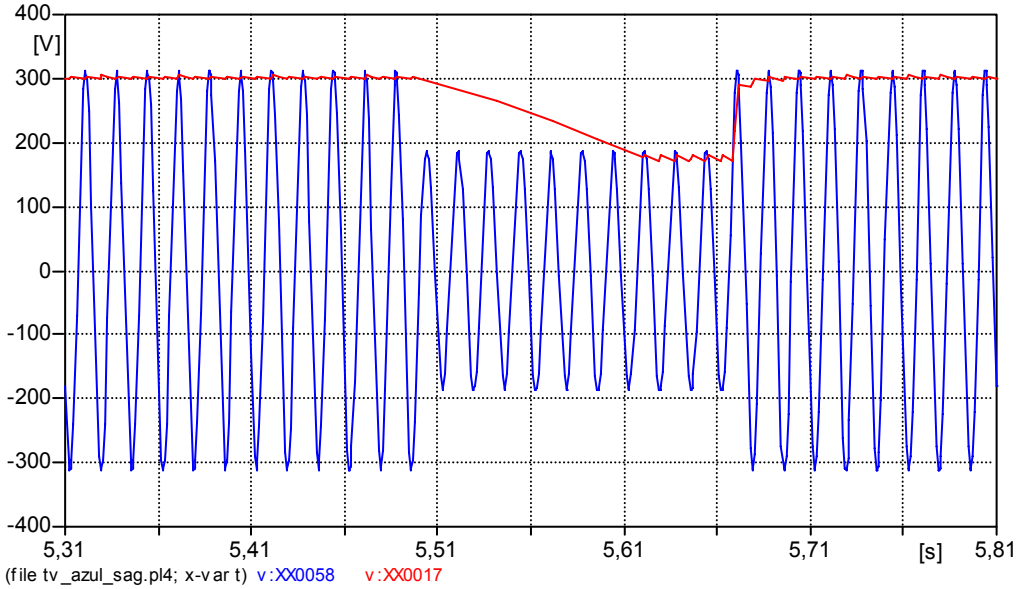


Figura 2.26 – Tensão no elo CC - afundamento de tensão para 60% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Computacional

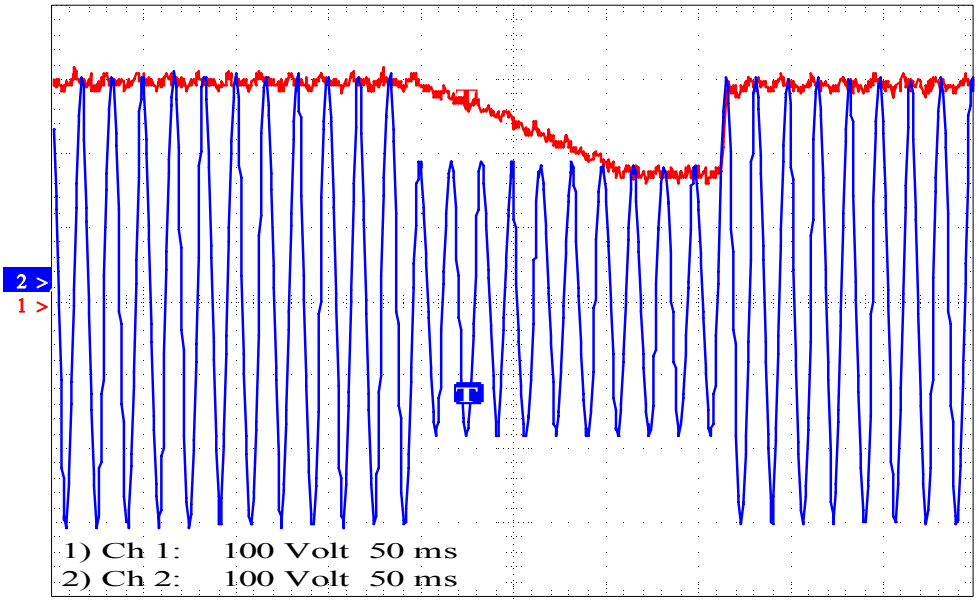


Figura 2.27 – Tensão no elo CC - afundamento de tensão para 60% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Experimental

Observa-se, nas figuras, que a tensão no elo CC acusou um afundamento correspondente, apresentando um decréscimo em seu valor para um nível compatível com aquele apresentado pela tensão de alimentação. Analogamente, a tensão retorna ao seu patamar inicial quando a tensão da rede restabelece seu valor nominal.

Da análise dos resultados anteriores observa-se, mais uma vez, uma boa concordância qualitativa e quantitativa entre os resultados.

c.2) Interrupção da tensão

Os estudos computacional e experimental realizados nesta seção objetivam analisar o desempenho do modelo computacional do televisor sob condições de interrupção do fornecimento de energia elétrica. O padrão do distúrbio está em sintonia com as orientações da Tabela 2.1

As Figuras 2.28 e 2.29 ilustram os oscilogramas da tensão de suprimento e da corrente solicitada pelo dispositivo, obtidos pelos métodos computacional e experimental. Os resultados evidenciam uma interrupção por 10 ciclos, findo a qual a tensão é restaurada ao seu valor nominal.

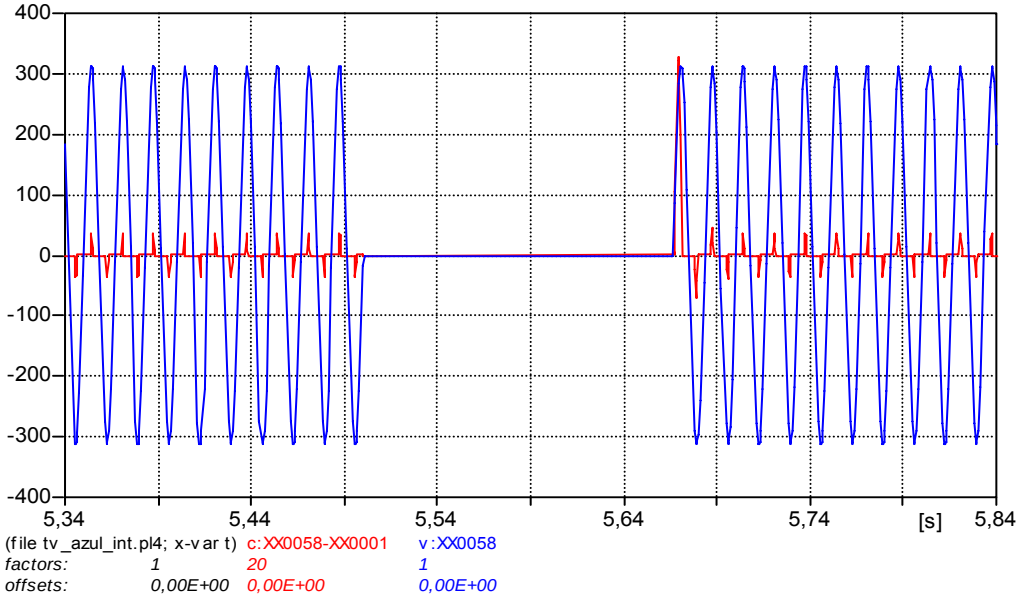


Figura 2.28 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - interrupção da tensão - duração de 10 ciclos - Computacional

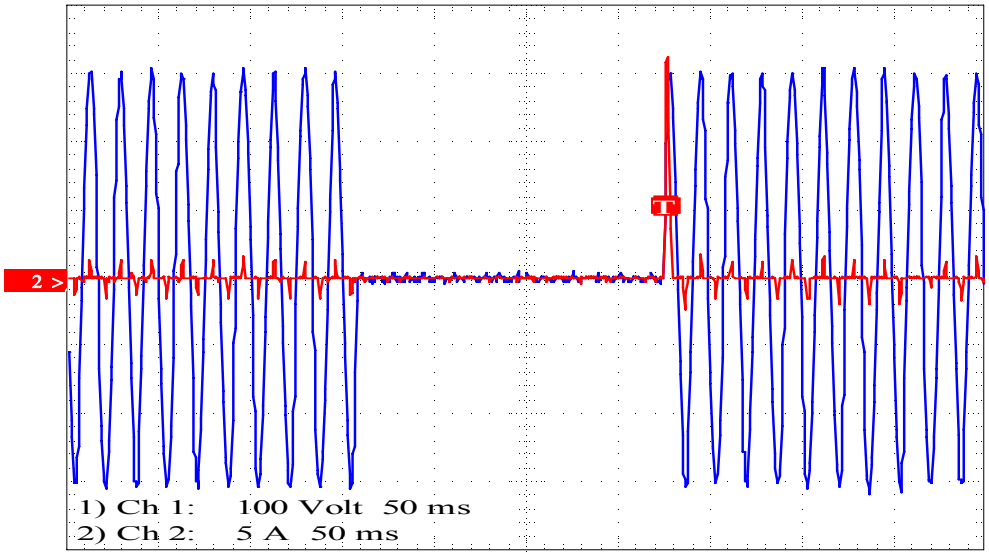


Figura 2.29 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - interrupção da tensão - duração de 10 ciclos - Experimental

Observa-se nas duas figuras anteriores que, novamente, no instante da aplicação da interrupção, a corrente na entrada do aparelho de TV se anula, permanecendo nesta situação enquanto perdura o distúrbio, de modo semelhante ao que foi apresentado anteriormente para o caso de afundamento de tensão. No instante do restabelecimento da tensão aos padrões de regime permanente, o pico de corrente atinge 9 vezes o seu valor sob condições normais de operação.

As Figuras 2.30 e 2.31 ilustram as formas de onda da tensão de alimentação e da tensão no elo CC do aparelho, obtidas pelo método computacional e experimental, respectivamente.

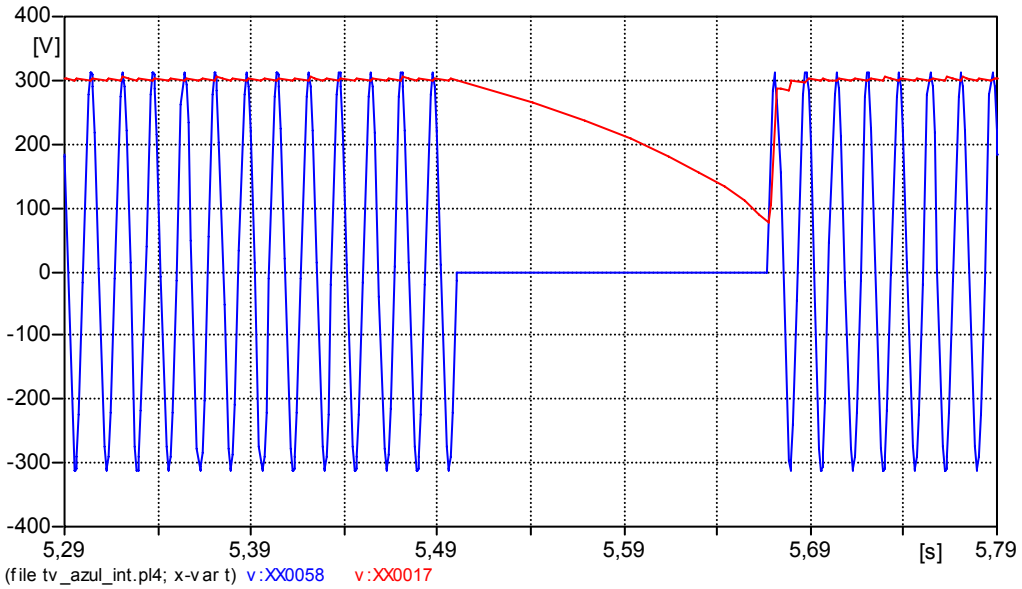


Figura 2.30 – Tensão no elo CC – interrupção da tensão - duração de 10 ciclos - Computacional

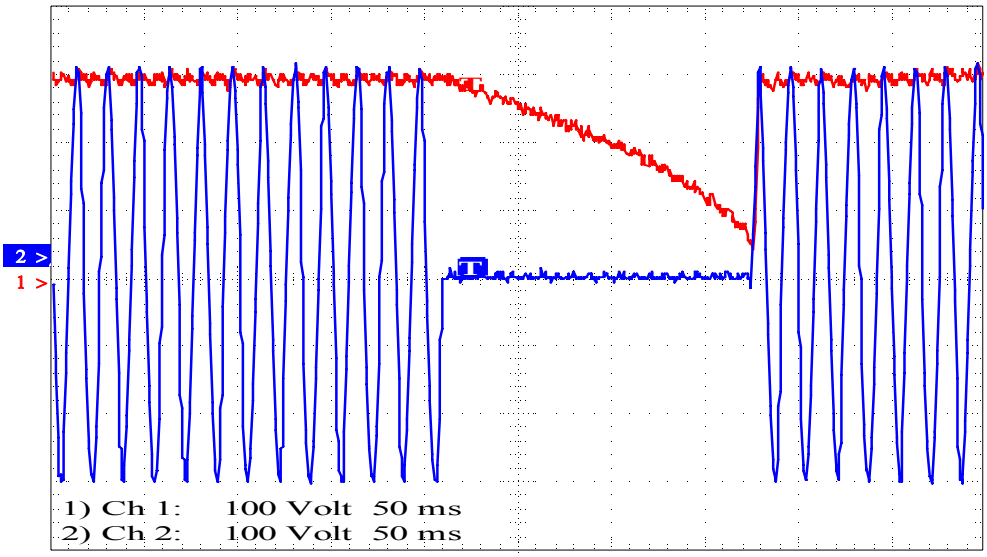


Figura 2.31 – Tensão no elo CC - interrupção da tensão - duração de 10 ciclos - Experimental

Com relação às figuras que ilustram o comportamento da tensão no elo CC, verifica-se a repetição do que se observou no caso já apresentado de afundamento de tensão, ou seja, uma queda na tensão no elo CC. Entretanto, antes que esta grandeza atingisse o valor da tensão de alimentação (nulo), a interrupção foi extinta. Como conseqüência deste fenômeno, o equipamento não sofreu nenhuma alteração em seu funcionamento. Isto se justifica pela sustentação oferecida pelo capacitor situado na entrada do equipamento.

Constata-se, novamente, uma grande semelhança entre os resultados obtidos por ambos os métodos, fato este que ratifica o desempenho do modelo computacional implementado.

c.3) Elevação de tensão

Esta investigação tem por objetivo verificar o desempenho do modelo computacional representativo do televisor sob a ação de uma elevação momentânea de tensão para 120% do valor nominal, com duração de 10 ciclos.

As Figuras 2.32 e 2.33 mostram as formas de onda da tensão de suprimento e da corrente de entrada do dispositivo, para os casos computacional e experimental, respectivamente.

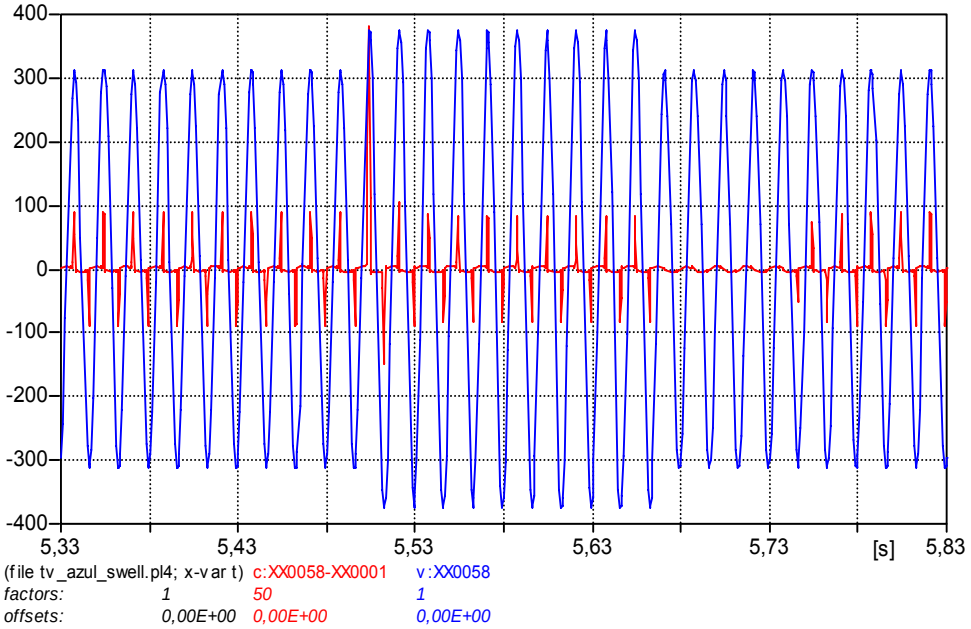


Figura 2.32 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - elevação de tensão para 120% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Computacional

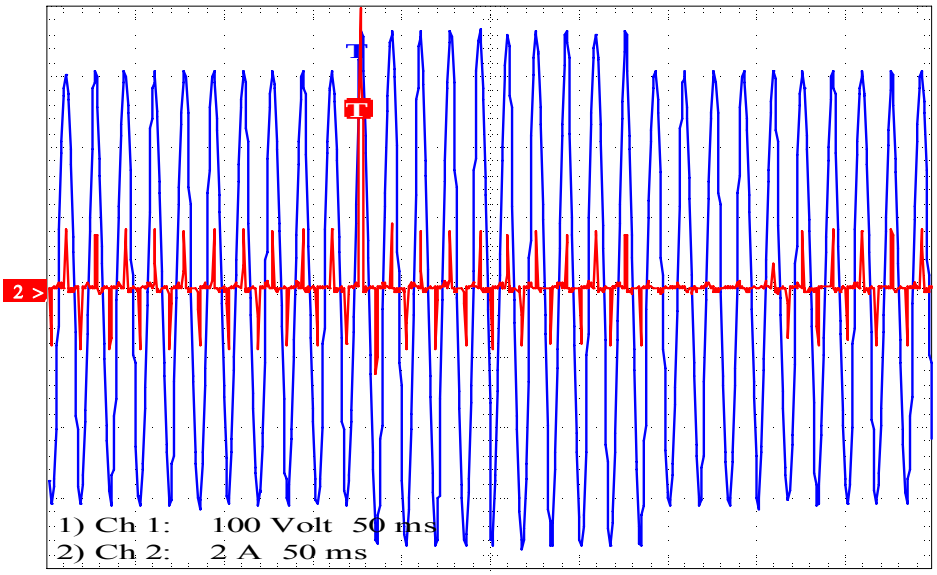


Figura 2.33 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - elevação de tensão para 120% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Experimental

Observa-se nas Figuras 2.32 e 2.33, que no instante da elevação da tensão ocorre um pico de corrente (cerca de 8 vezes o valor nominal), oriundo da operação do capacitor existente no elo CC do equipamento. Ao término da perturbação a corrente se anula por alguns ciclos, assumindo os valores de regime permanente em seguida.

Esse fenômeno se reflete na tensão do elo CC contrariamente ao afundamento de tensão analisado. Isto ocasiona o comportamento ilustrado nas Figuras 2.34 e 2.35. Os resultados mostram-se semelhantes para ambos os métodos utilizados.

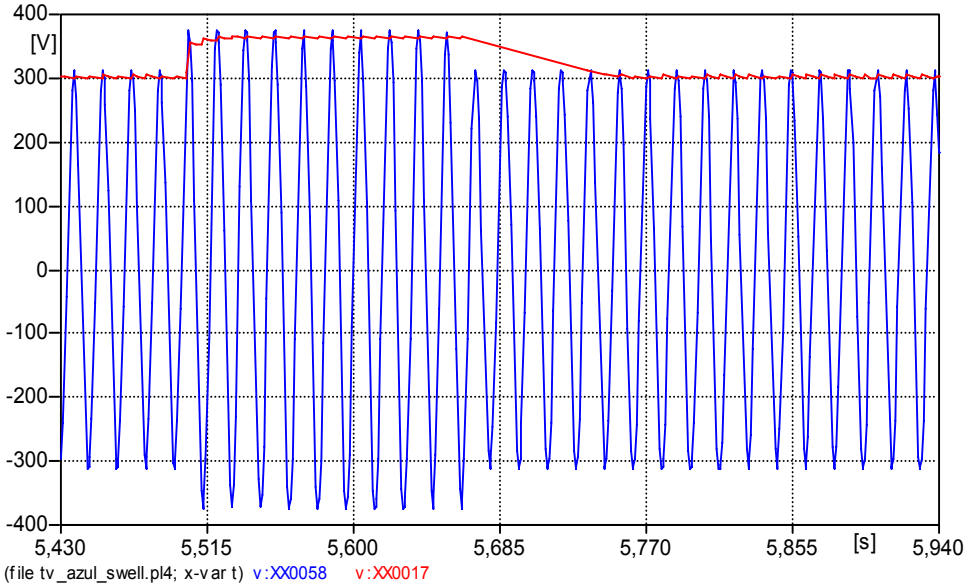


Figura 2.34 – Tensão no elo CC - elevação de tensão para 120% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Computacional

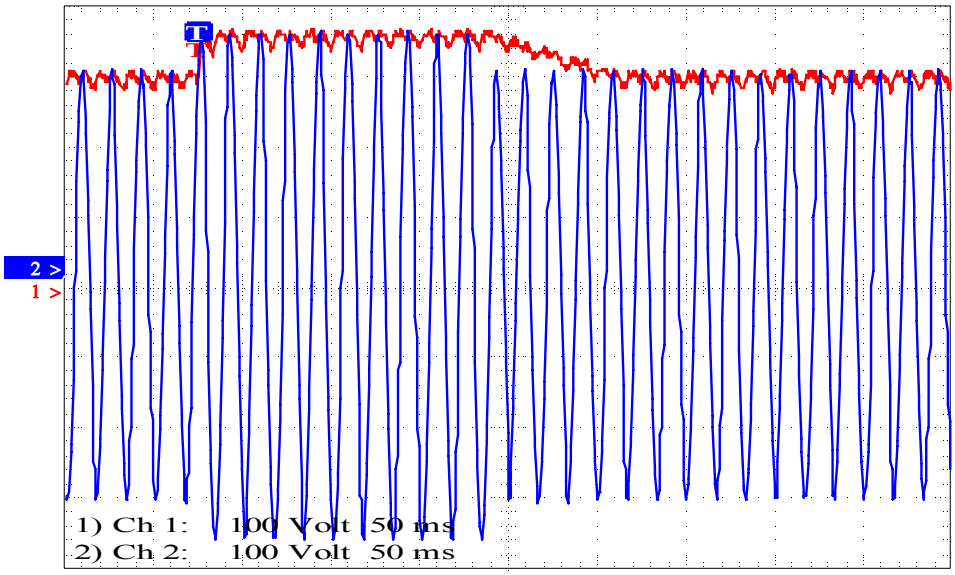


Figura 2.35 – Tensão no elo CC - elevação de tensão para 120% do valor nominal - duração de 10 ciclos - Experimental

(d) Transitórios

Este item tem por objetivo analisar o desempenho do aparelho de TV quando o mesmo é subitamente exposto a distúrbios de natureza transitória.

As Figuras 2.36 e 2.37 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão aplicada, com as características fornecidas pela Tabela 2.1, juntamente com a corrente solicitada pela carga para os casos computacional e experimental.

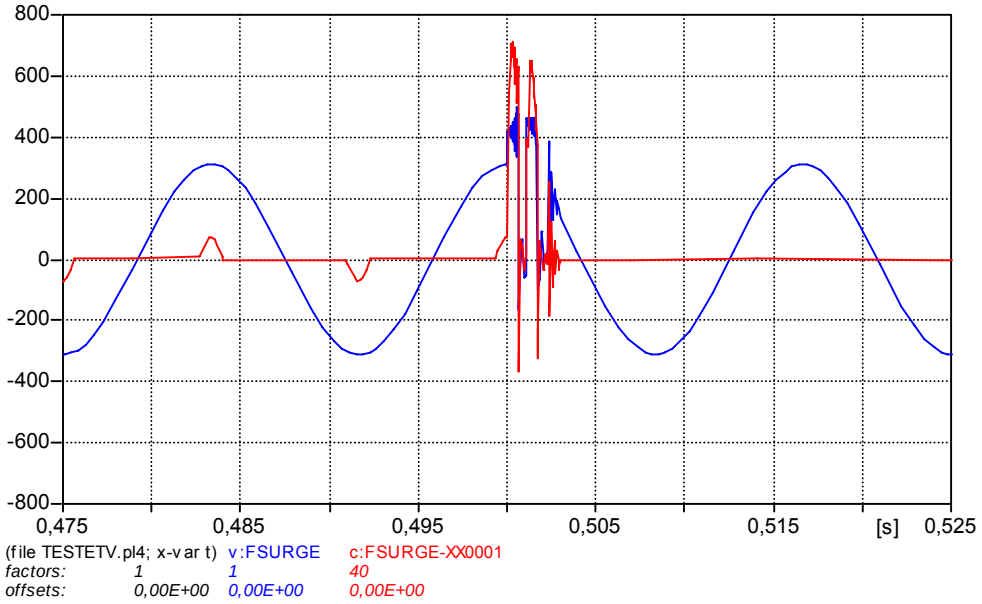


Figura 2.36 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV - elevação transitória na tensão de fornecimento - Computacional

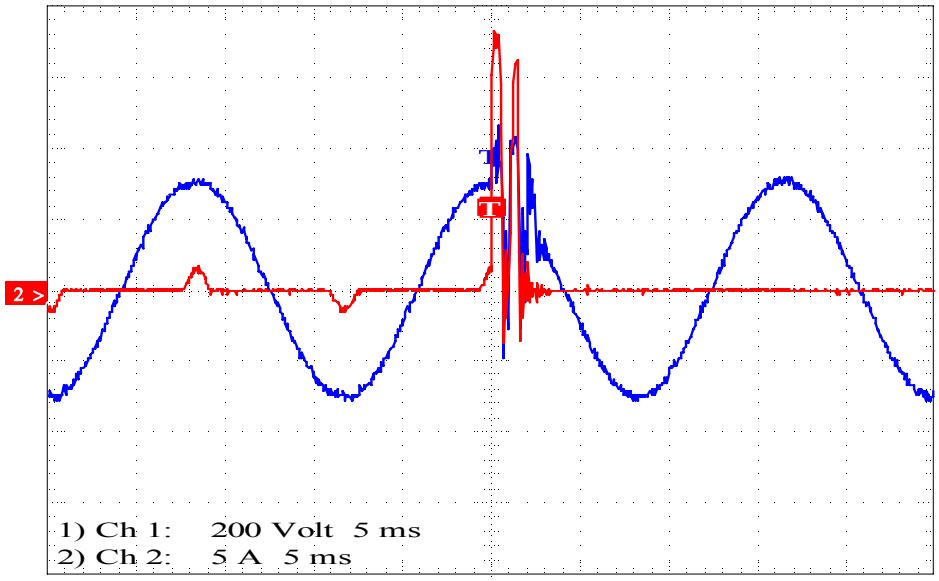


Figura 2.37 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da TV – elevação transitória na tensão de fornecimento - Experimental

Observa-se, através das figuras, que o televisor solicita um elevado pico de corrente em resposta a elevação súbita na tensão de fornecimento. Sob as condições impostas a corrente alcançou um pico que atingiu cerca de 11 vezes o valor nominal.

As Figuras 2.38 e 2.39 mostram, respectivamente, os oscilogramas da tensão no elo CC para os testes computacional e experimental.

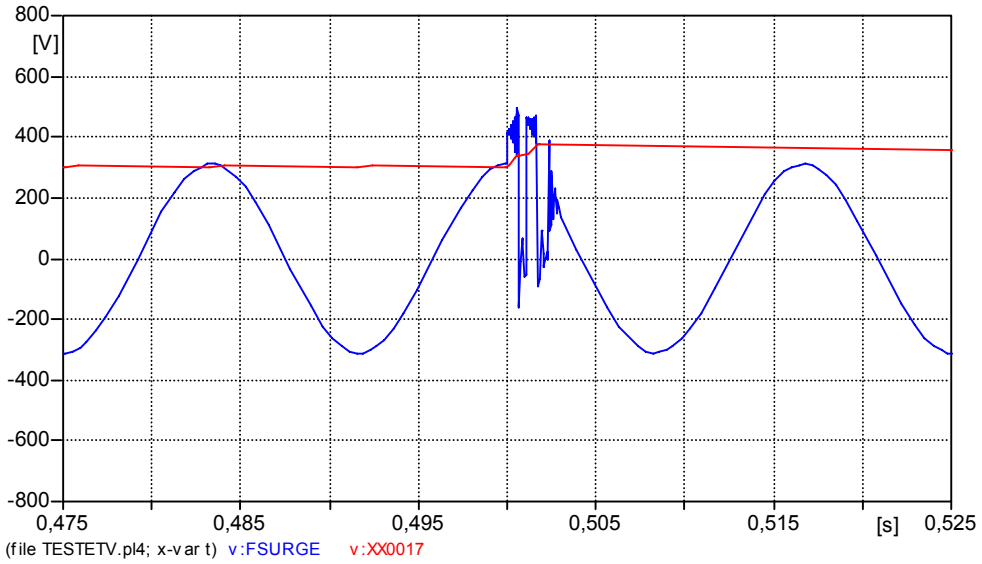


Figura 2.38 – Tensão no elo CC - elevação transitória na tensão de fornecimento - Computacional

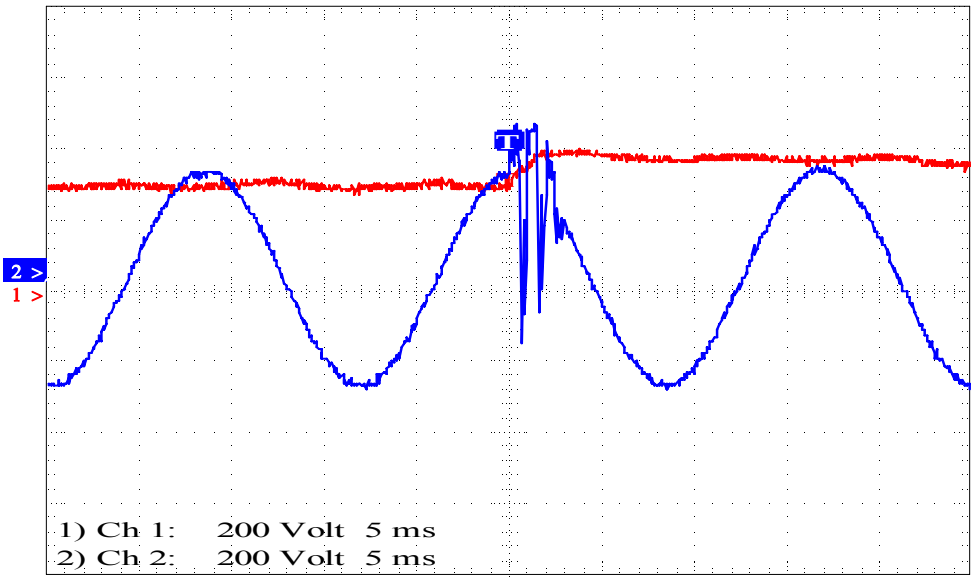


Figura 2.39 – Tensão no elo CC - elevação transitória na tensão de fornecimento - Computacional - Experimental

Neste último ensaio, assim como nos demais, verifica-se uma boa concordância entre as respostas obtidas pelos dois métodos, fato este que confirma a adequação do modelo implementado computacionalmente para as

mais diversas condições operacionais decorrentes dos mais variados distúrbios passíveis de ocorrência nas redes elétricas de distribuição de energia.

2.4 – Modelagem dos componentes e dispositivos elétricos do sistema de distribuição

Uma vez esclarecidos os princípios que nortearam a modelagem dos equipamentos contemplados na pesquisa, o próximo passo consiste em simular a rede elétrica na qual são conectados os dispositivos.

Neste particular, novamente é conveniente lembrar que o ATP, na sua estrutura original, já possui uma expressiva biblioteca de recursos. Utilizando tais recursos, os componentes de rede (transformadores, cabos, chaves, etc) foram então meramente empregados para a composição do complexo elétrico desejado nos estudos. Não obstante tal comentário, é importante destacar que alguns complementos foram realizados, afim de melhor adequar os modelos existentes às necessidades da tese. Este é, por exemplo, o caso da inserção de capacitâncias de fuga nos modelos pré-existentes de alguns dispositivos, etc.

Assim procedendo tornou-se factível a representação do sistema de distribuição no qual foram inseridos os modelos individuais dos equipamentos e dos distúrbios destacados anteriormente. Maiores esclarecimentos quanto ao uso destes recursos serão dados no Capítulo IV.

2.5 – Considerações finais

O presente capítulo apresentou os fundamentos utilizados para a obtenção de circuitos equivalentes para representar as redes de distribuição de energia elétrica, os distúrbios passíveis de ocorrência e dos equipamentos a serem analisados à luz dos pedidos de ressarcimento. Como visto, a modelagem da rede elétrica obedeceu aos princípios clássicos disponibilizados pela biblioteca do ATP enquanto que os trabalhos relativos à modelagem dos equipamentos e dos distúrbios constituíram-se nos pontos centrais das atividades, que compreenderam as seguintes ações:

- Obtenção de circuitos equivalentes simplificados para representar 27 produtos eletroeletrônicos;
- Implementação computacional e validação dos circuitos equivalentes na plataforma ATP;
- Desenvolvimento dos recursos computacionais próprios à inserção de distúrbios típicos atrelados com a área da Qualidade da Energia.
- Validação dos modelos equivalentes obtidos para cada equipamento através de ensaios experimentais sob condições ideais e não ideais de suprimento e posterior comparação dos desempenhos reais com os obtidos via simulação computacional

Para exemplificar os procedimentos, um aparelho de televisor foi detalhadamente considerado, muito embora os trabalhos tenham sido realizados seguindo a mesma metodologia os outros 26 produtos. Por motivos relacionados com o volume deste documento apenas o “cartão” obtido para o aparelho televisor foi adicionado na forma de anexo.

CAPÍTULO III

Metodologia para a análise de consistência dos pedidos de ressarcimento

3.1 – Considerações iniciais

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 principio básico da metodologia proposta por esta tese tem por fundamento a correlação entre os impactos associados aos distúrbios advindos da rede e os padrões de suportabilidade dos produtos sob análise.

Dentro deste contexto, o processo elaborado está alicerçado na determinação de duas grandezas básicas atreladas ao funcionamento dos equipamentos. Uma delas tem por propósito expressar as exigências dielétricas impostas ao equipamento, e a outra, as condições térmicas oriundas de anormalidades ocorridas na rede. Uma vez obtidas tais informações, estas são confrontadas com os níveis de suportabilidade dos equipamentos contemplados na análise.

Nestes termos, os impactos de tensão devem ser avaliados à luz da suportabilidade dielétrica dos produtos e, os de corrente, devem ser comparados com as correspondentes suportabilidades térmicas.

Obedecendo tal estratégia, este capítulo tem por foco as seguintes metas:

- Estabelecer os mecanismos voltados para a determinação dos indicadores dielétricos e térmicos ocasionados pelos fenômenos que se manifestam no ponto de conexão dos equipamentos contemplados nos pedidos de ressarcimento;
- Discutir e propor uma estratégia para a obtenção das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica dos equipamentos;
- Propor um critério para a análise da correspondência entre distúrbios e padrões de suportabilidade;
- Avaliar a consistência da metodologia proposta.

3.2 – Cálculo das solicitações dielétricas e térmicas

A Figura 3.1 apresenta um fenômeno hipotético ocorrido em uma tensão de suprimento que, como se constata, manifesta-se na forma de um transitório oscilatório. Como indicado na ilustração, este efeito persiste durante um intervalo de tempo compreendido entre os instantes t_1 e t_2. Também se observa que, durante o mencionado intervalo de tempo, os níveis atingidos demonstram variações bastante acentuadas de amplitude.

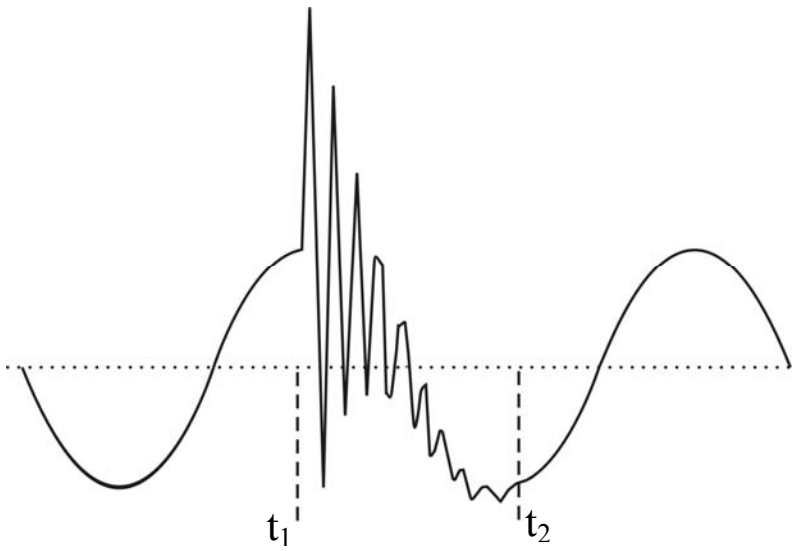


Figura 3.1 – Tensão de suprimento contendo um transitório oscilatório

Para a conversão do fenômeno mostrado em uma curva indicativa do comportamento da tensão ao longo do tempo, o procedimento proposto nesta tese 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, tal indicador pode ser calculado através da expressão (1), a qual possui, intrinsecamente, um significado físico similar ao cômputo 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 expressão mencionada, o intervalo de tempo é crescente, iniciando pelo instante em que o distúrbio se manifesta e sofrendo incrementos definidos pelo passo (Δt) escolhido. Esse passo de integração é o mesmo utilizado para simulações em software baseados em técnicas no domínio do tempo, como é o caso do ATP. Portanto, tal parâmetro deve ser definido de acordo com as características do fenômeno sob investigação. Além disso, para evitar erros de estimativa das solicitações

dielétricas para fenômenos transitórios, o instante em que a tensão alcança o seu valor máximo é adotado como instante inicial para os cálculos propostos pela expressão (1). Através deste procedimento, a curva de solicitação dielétrica é delineada com as mesmas características das curvas de suportabilidades dielétricas, as quais apresentam valores instantâneos nos primeiros pontos de tolerância e, a medida que o tempo passa, o significado da tensão vai se aproximando dos valores eficazes admissíveis pelo equipamento em questão.

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

onde:

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

Dentro do princípio exposto, a expressão (1) 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, oscilações de tensão, etc.

De forma similar ao apresentado para a tensão de suprimento, procede-se à transformação dos efeitos manifestados nas formas de onda das correntes de suprimento dos equipamentos em impactos térmicos. Para tanto, analogamente ao tratamento dado à tensão, adota-se como grandeza representativa das solicitações térmicas o valor eficaz da corrente.

Dentro dos princípios postulados, a informação vinculada aos efeitos térmicos pode ser obtida pela expressão (2).

$$I_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} I_i^2}{n}} \qquad (2)$$

onde:

- I_k - valor da solicitação térmica para um instante de tempo qualquer;
- I_i - valor instantâneo da corrente para um instante de tempo qualquer;
- n – número de amostras

As expressões (1) e (2) permitem a conversão das tensões e correntes manifestadas na entrada do equipamento em curvas de solicitações dielétricas e térmicas. Estas curvas, uma vez comparadas com os seus respectivos níveis de suportabilidade, oferecem as diretrizes para um parecer técnico sobre a consistência da possibilidade de danos em equipamentos conectados ao sistema elétrico supridor em que ocorreu um determinado fenômeno.

A validação e análise crítica desta metodologia serão discutidas no item 3.5 deste documento através de sua aplicação e posterior comparação dos resultados obtidos com aqueles extraídos de referências bibliográficas publicadas em eventos científicos e outros veículos associados com estudos reais em laboratório para o estabelecimento dos níveis de tolerância de equipamentos eletroeletrônicos frente aos distúrbios manifestados nas redes elétricas.

3.3 – Características de suportabilidade dos equipamentos

Muito embora se reconheça a existência de procedimentos de testes de aprovação de produtos que apontem para a direção do estabelecimento de curvas

de suportabilidade dos mais distintos produtos empregados no mercado, há de se destacar a inexistência de padrões a serem obedecidos pelos fabricantes de aparelhos eletroeletrônicos. Reconhecido este ponto, uma outra direção que poderia ser trilhada está na determinação experimental, para cada produto, dos indicadores de suportabilidade. Não obstante estas possibilidades, os levantamentos bibliográficos feitos revelam grande carência de trabalhos que atendam a tais necessidades. Desta forma, as informações relativas às curvas de suportabilidade são ainda extremamente embrionárias e não oferecem, até o momento, a devida segurança para consubstanciar os procedimentos aqui almejados. As dificuldades detectadas envolvem questões como: diversidade de fabricantes de produtos similares, inexistência de normas a serem atendidas, tempo de uso dos produtos, etc.

A maioria das publicações relacionadas ao tema utiliza como referência a curva ITIC publicada pelo comitê técnico 3 (TC3) do *Information Tecnology Industry Council* da *Computer & Business Equipment Manufacturers Association*, que estabelece uma região limítrofe dos níveis mínimos e máximos de tolerância física e operacional para os produtos [22]. Contudo, sendo originalmente elaborada para equipamentos da área de tecnologia da informação, novas buscas de limites suportáveis para outros equipamentos eletroeletrônicos têm sido motivadas pela crescente necessidade de procedimentos técnicos específicos para a análise de pedidos de ressarcimento. Recursos oriundos de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), bem como parcerias de universidades e/ou centros de pesquisas tecnológicas com o setor privado vêem favorecendo o avanço destas investigações.

As publicações técnicas que correlacionam os níveis de suportabilidade dielétrica e térmica e a duração dos fenômenos elétricos para os distintos

equipamentos empregados nas instalações residenciais, comerciais e industriais, indicam um comportamento físico similar ao indicado pela Figura 3.2. Esta ilustra um padrão hipotético de tensão ou corrente admitida por um produto qualquer. O eixo vertical, caracterizado pela função Y(t), corresponde à tensão ou à corrente admissível pelo equipamento.

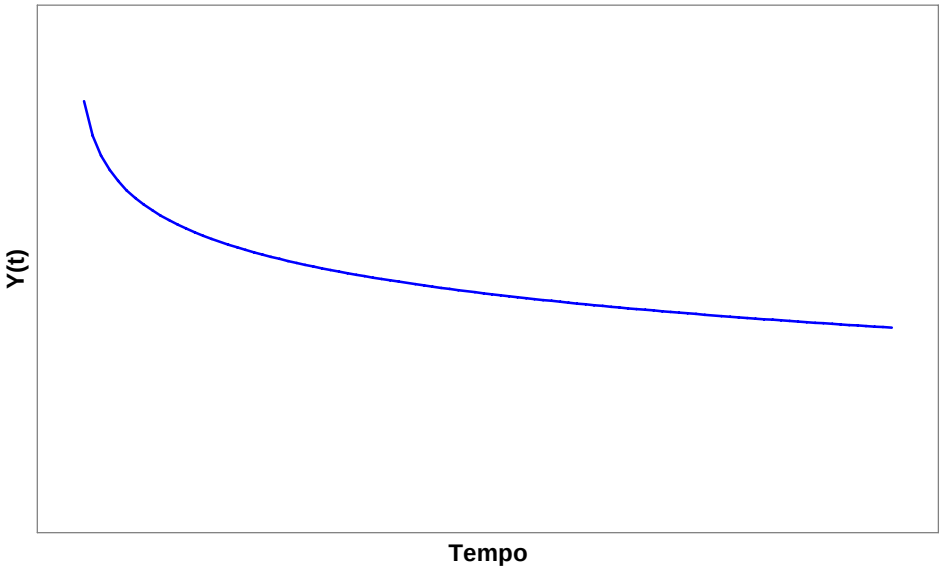


Figura 3.2 – Curva típica para a suportabilidade dielétrica ou térmica de um equipamento.

Para a figura anterior valem as seguintes observações:

- A curva delimita os níveis de tensão ou corrente que, estatisticamente, apresentam alta probabilidade de ocasionar danos físicos para o equipamento correspondente;
- 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 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, o ressarcimento pelo dano causado.

A análise das formas típicas encontradas para as curvas de suportabilidade sugere a utilização de funções logarítmicas para a sua representação matemática. Além disso, algumas ainda apresentam segmentos que caracterizam o formato global da curva ao longo do tempo. Dentro desta ótica, esta tese apresenta uma proposta para o equacionamento das mencionadas curvas de forma genérica, a qual se baseia na subdivisão em dois segmentos logarítmicos distintos e uma reta representativa das condições de suportabilidade em regime permanente. A Figura 3.3 apresenta esta composição.

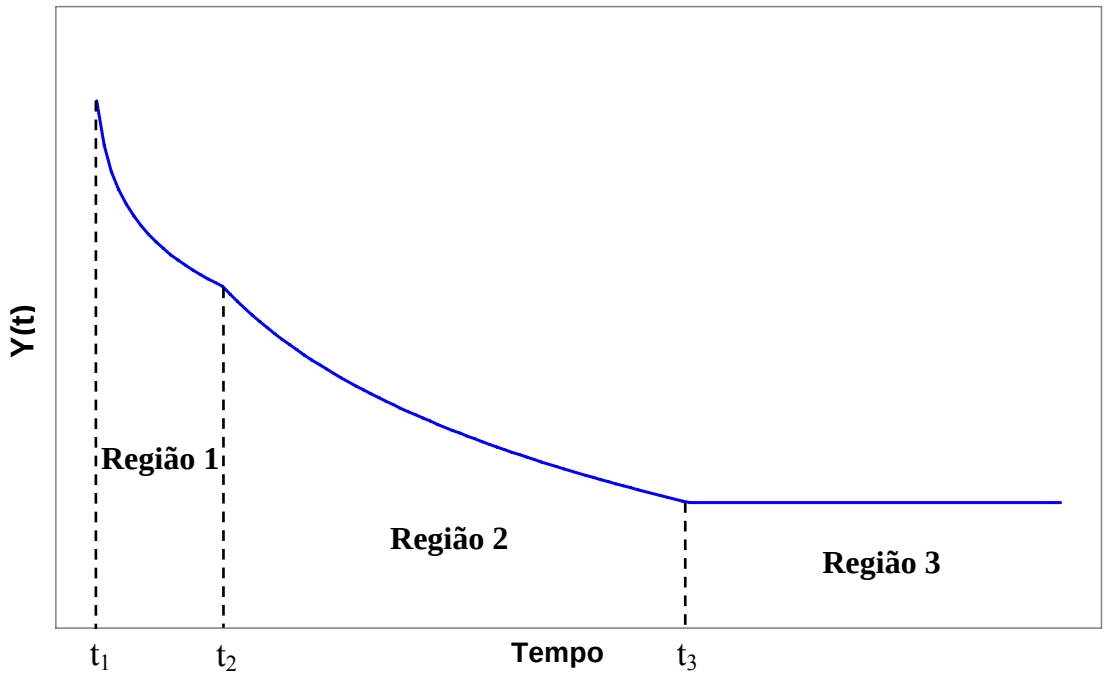


Figura 3.3 – Representação da curva de suportabilidade dielétrica / térmica.

As distintas regiões que compõem a curva caracterizada na Figura 3.3 são matematicamente descritas como:

- ***Região 1:***

$$Y(t) = \alpha_1 \cdot \log t + \beta_1 \tag{3}$$

onde:

$$\alpha_1 = \frac{Y(t_2) - Y(t_1)}{\log t_2 - \log t_1} \tag{4}$$

e

$$\beta_1 = Y(t_1) - \alpha_1 \cdot \log t_1 \text{ ou } \beta_1 = Y(t_2) - \alpha_1 \cdot \log t_2 \tag{5}$$

sendo:

Y(t_1) – valor da tensão/corrente admitida pelo equipamento durante um intervalo de tempo t_1;

Y(t_2) – valor da tensão/corrente admitida pelo equipamento durante um intervalo de tempo t_2.

- ***Região 2:***

$$Y(t) = \alpha_2 \cdot \log t + \beta_2 \tag{6}$$

onde:

$$\alpha_2 = \frac{Y(t_3) - Y(t_2)}{\log t_3 - \log t_2} \tag{7}$$

e

$$\beta_2 = Y(t_2) - \alpha_2 \cdot \log t_2 \text{ ou } \beta_2 = Y(t_3) - \alpha_2 \cdot \log t_3 \tag{8}$$

sendo:

Y(t_3) – valor da tensão/corrente admitida pelo equipamento a partir do instante de tempo t_3.

- ***Região 3:***

$$Y(t) = \beta_3 \tag{9}$$

sendo:

β_3 tem por significado o valor da tensão/corrente admitida pelo equipamento em regime permanente de operação.

As informações utilizadas para os cálculos anteriores são fornecidas pelos fabricantes ou extraídas de ensaios laboratoriais realizados até o nível de dano para os diversos produtos investigados. Esta sugestão permite que o usuário do produto final desta tese (o aplicativo APR) possa configurar, até mesmo sem informações detalhadas, curvas de suportabilidade para os produtos sob análise com um bom índice de confiabilidade.

3.4 – Correlação dos impactos das solicitações dielétricas e térmicas com os limites de suportabilidade dos equipamentos

Uma vez estabelecido o processo de conversão das tensões e correntes ao longo do tempo em curvas de solicitações dielétricas e térmicas, o critério para a análise da possibilidade de danos consiste na comparação destes indicadores com os respectivos níveis de suportabilidade do equipamento sob análise. Para melhor ilustrar este princípio, as Figuras 3.4 e 3.5 ilustram, de modo genérico, a aplicação da metodologia para um caso hipotético de um pedido de ressarcimento devido a um distúrbio qualquer ocorrido na rede de distribuição de energia elétrica.

Na Figura 3.4 é apresentada a comparação da solicitação dielétrica imposta ao equipamento (curva na cor vermelha) com a curva de suportabilidade dielétrica (curva em azul).

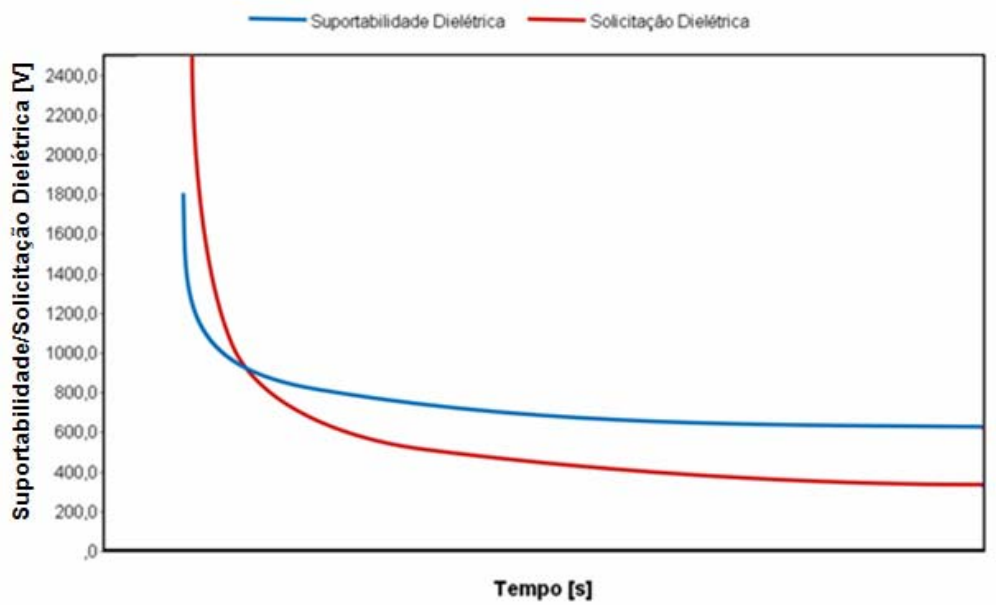


Figura 3.4 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento.

De forma similar, a Figura 3.5 indica a solicitação térmica (na cor vermelha) em comparação à suportabilidade térmica (em azul).

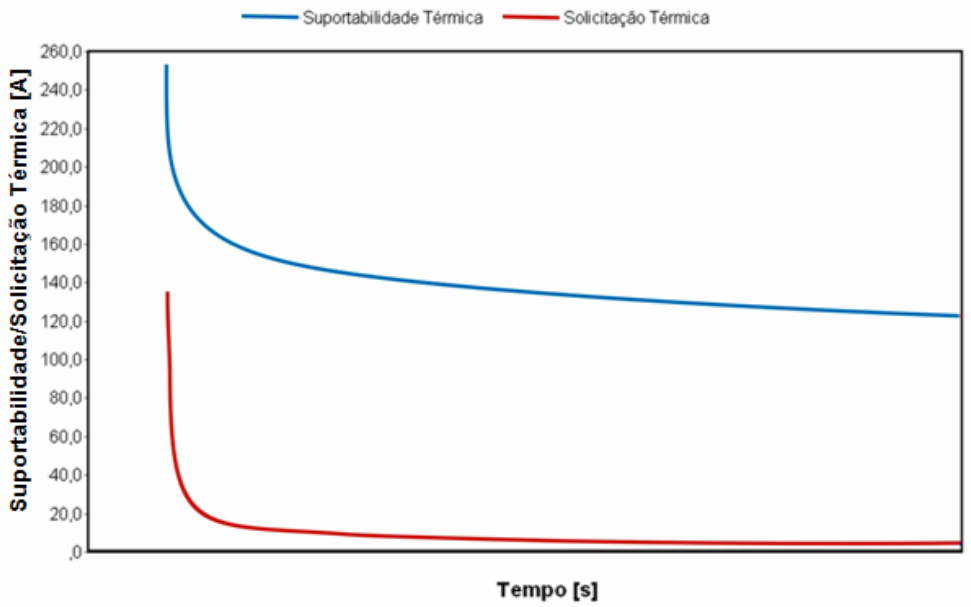


Figura 3.5 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento.

As informações advindas das figuras anteriores permitem, hipoteticamente, concluir que:

- De acordo com a Figura 3.4, para os primeiros instantes ocorre uma violação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento, portanto: ***há possibilidade de danos físicos na forma de rompimento da isolação do equipamento;***
- Quanto às questões térmicas, indicadas na Figura 3.5, em nenhum momento se verifica uma violação dos limites tolerados pelo equipamento, portanto: ***não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.***

3.5 – Avaliação da consistência da metodologia proposta

No intuito de verificar a consistência da metodologia proposta procede-se, na seqüência, a um estudo avaliativo da aplicabilidade do método através de casos de estudo baseados em testes experimentais de desempenho de aparelhos televisores. Estes casos, documentados nas referências [4] e [19], registraram resultados laboratoriais decorrentes da aplicação de impulsos de tensão, sobretensões à freqüência industrial e queima de equipamentos. Desta forma, esta primeira etapa avaliativa da consistência do processo tem por base os fenômenos e desempenhos descritos nestes artigos. Assim sendo, tais padrões foram empregados para a aplicação dos distúrbios e definição das curvas de suportabilidade utilizadas.

Iniciando pela caracterização dos limites de suportabilidade dielétrica, estas foram definidas de três formas, como a seguir:

- Curva de tolerância à eventos de tensão para um equipamento televisor, encontrada na referência [4], obtida experimentalmente, via ensaios de impulso e de variações de tensão em equipamentos eletroeletrônicos, como prescrevem os documentos IEC 61000-4-5 e IEC 61000-4-11.
- Curva de susceptibilidade de aparelhos televisores apresentada na referência [19], cujo levantamento também se deu através de ensaios laboratoriais aplicando sobretensões à freqüência industrial;
- Curva ITIC apresentada pela referência [22].

Quanto aos níveis de suportabilidade térmica, para os fins desta comparação, foram usados dados do fabricante (*datasheet*) da ponte retificadora empregada pela fonte chaveada do televisor contemplado nos estudos. Tal opção se justifica pelo fato que este elemento constitui a primeira unidade do equipamento que fica submetida aos fenômenos advindos da rede elétrica. Eventualmente, a curva representativa para este indicador pode ser também substituída pelos níveis de tolerâncias de qualquer outro componente que se mostre mais sensível aos distúrbios.

No que tange aos distúrbios estes estão sintetizados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Casos Estudados

Caso	***Características***
1 – Transitório de tensão impulsivo – 4kV	Valores de crista de 4kV Tempo de subida de 1,2μs Tempo de calda de 50 μs
2 – Transitório de tensão impulsivo – 2kV	Valores de crista de 2kV Tempo de subida de 1,2μs Tempo de calda de 50 μs
3 – Elevação momentânea de tensão	Tensão nominal de 220V RMS, 60Hz; Elevação de 200% da tensão nominal com duração de 100ms

Os resultados obtidos pela aplicação dos distúrbios mencionados e respectivas comparações com os limites de suportabilidade do televisor conduziram aos desempenhos apresentados e discutidos na seqüência.

3.5.1 – Caso 1 – Transitório impulsivo - Valor de crista igual a 4kV.

As formas de onda das tensões e correntes na entrada do equipamento são mostradas nas Figuras 3.6 e 3.7.

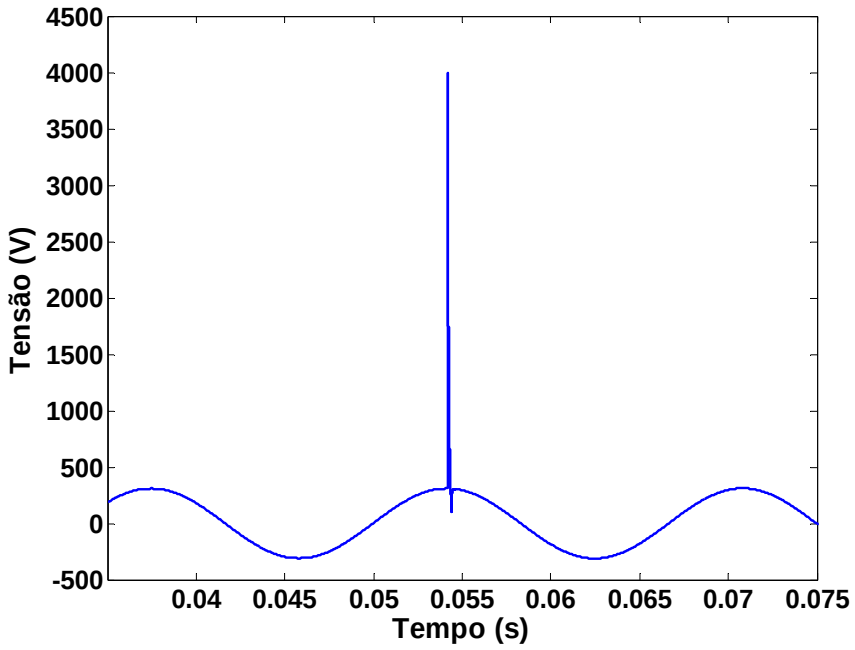


Figura 3.6 – Tensão de alimentação sob um transitório impulsivo de 4kV.

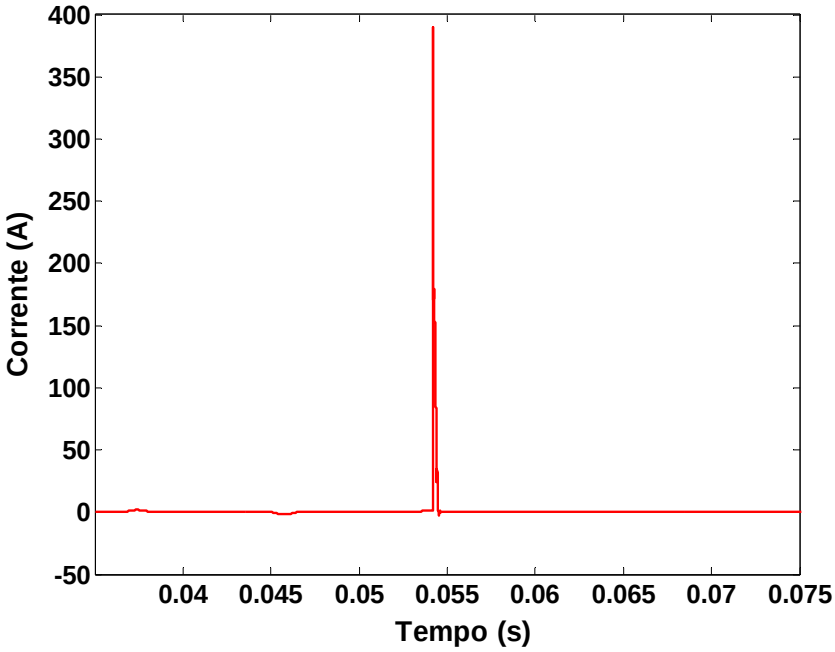


Figura 3.7 – Corrente de entrada do televisor sob um transitório impulsivo de 4kV.

As Figuras 3.8 e 3.9 indicam os níveis de solicitação dielétrica e térmica calculados pelas expressões (1) e (2) e, concomitantemente, as curvas de suportabilidade nos termos anteriormente descritos. Para o caso dos limites dielétricos são indicadas três curvas de referência, enquanto que para o limite térmico foi considerada uma única.

As informações necessárias à composição das figuras foram extraídas via processamentos preliminares do ATP e o tratamento dos dados foram realizados no MATLAB. Portanto, no presente estágio, ainda não se utilizou o aplicativo final desta tese, qual seja, o APR.

É importante observar que, devido às características do fenômeno em pauta, deve-se ter maior atenção na escolha do passo de integração (Δt), como já apontado anteriormente. De fato, dependendo do valor escolhido, os cálculos das solicitações dielétricas e térmicas obtidos pelas expressões (1) e (2) podem sofrer alterações em relação aos resultados oriundos do processamento com Δt's mais apropriados. Quanto aos demais fenômenos contemplados nos estudos, não

foi constatada qualquer influência significativa do passo de integração sobre os resultados obtidos.

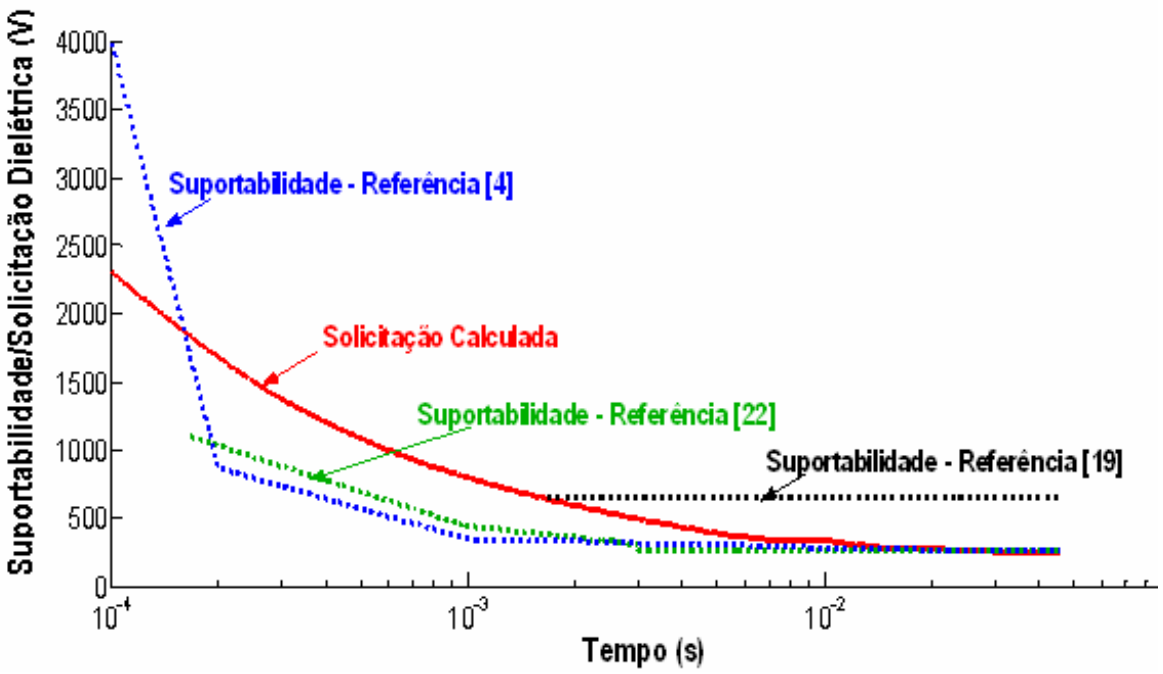


Figura 3.8 – Níveis de suportabilidade dielétrica versus solicitação dielétrica calculada para um transitório impulsivo de 4kV

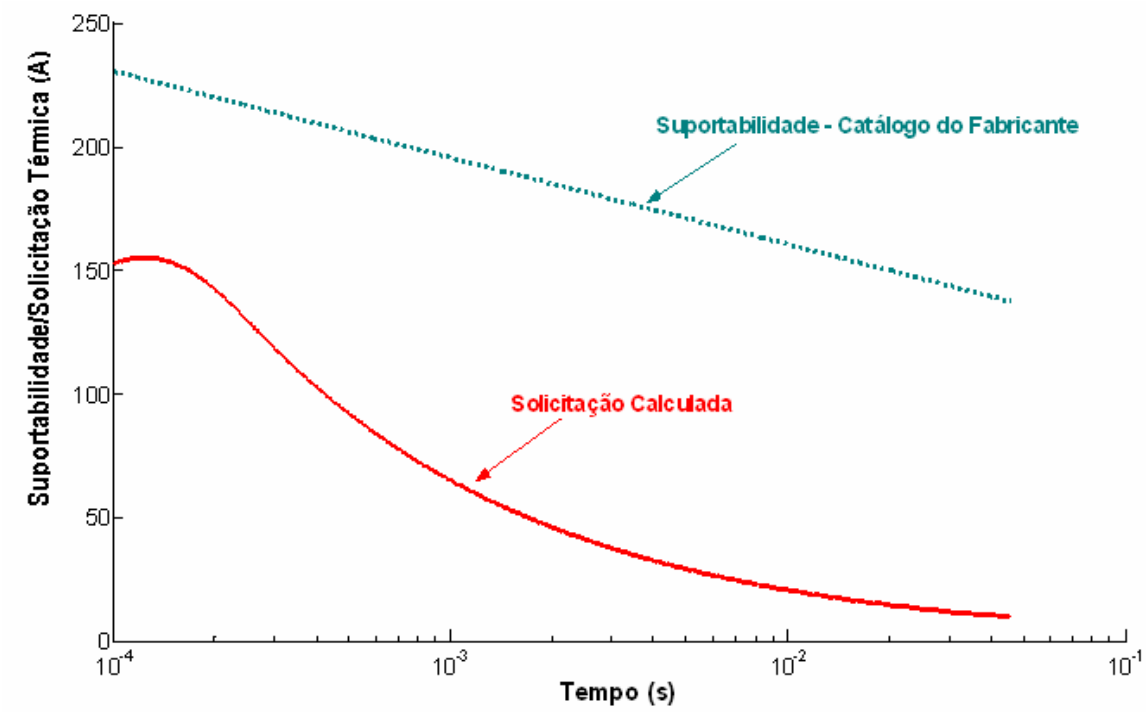


Figura 3.9 – Curva de suportabilidade térmica versus solicitação térmica calculada para um transitório impulsivo de 4kV

Observa-se nas figuras anteriores que a solicitação dielétrica calculada para o transitório impulsivo de 4kV, na maior parte do tempo, atingiu valores superiores aos limites de suportabilidade estabelecidos pelas referências [22] e [4]. Esta última constatou a queima de 4 entre 7 televisores analisados para ensaios experimentais com as mesmas características do Caso 1. Já os estudos da referência [19] não relataram a queima dos produtos sob as mesmas condições consideradas, fato este concordante com a curva de esforço calculado que ficou abaixo de sua curva de suportabilidade. Então, no que concerne ao processo inicial de validação da metodologia, constata-se uma boa consistência do processo proposto por esta pesquisa.

3.5.2 – Caso 2 – Transitório impulsivo - Valor de crista igual a 2kV.

As formas de onda das tensões e correntes na entrada do equipamento para este caso são mostradas nas Figuras 3.10 e 3.11.

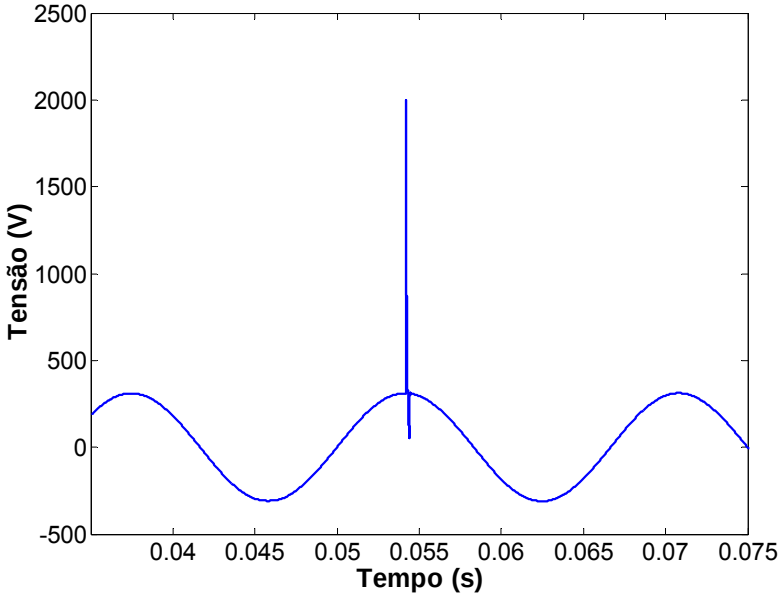


Figura 3.10 – Tensão de alimentação sob um transitório impulsivo de 2kV.

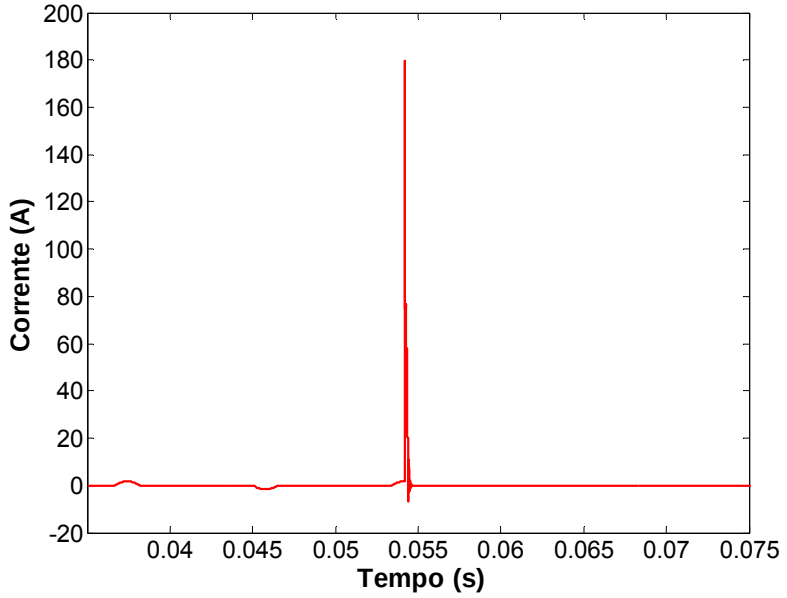


Figura 3.11 – Corrente de entrada do televisor sob um transitório impulsivo de 2kV.

As comparações das solicitações dielétrica e térmica calculadas com os níveis de suportabilidade do equipamento estão evidenciadas nas Figuras 3.12 e 3.13. As observações anteriormente feitas continuam inteiramente aplicáveis ao presente caso.

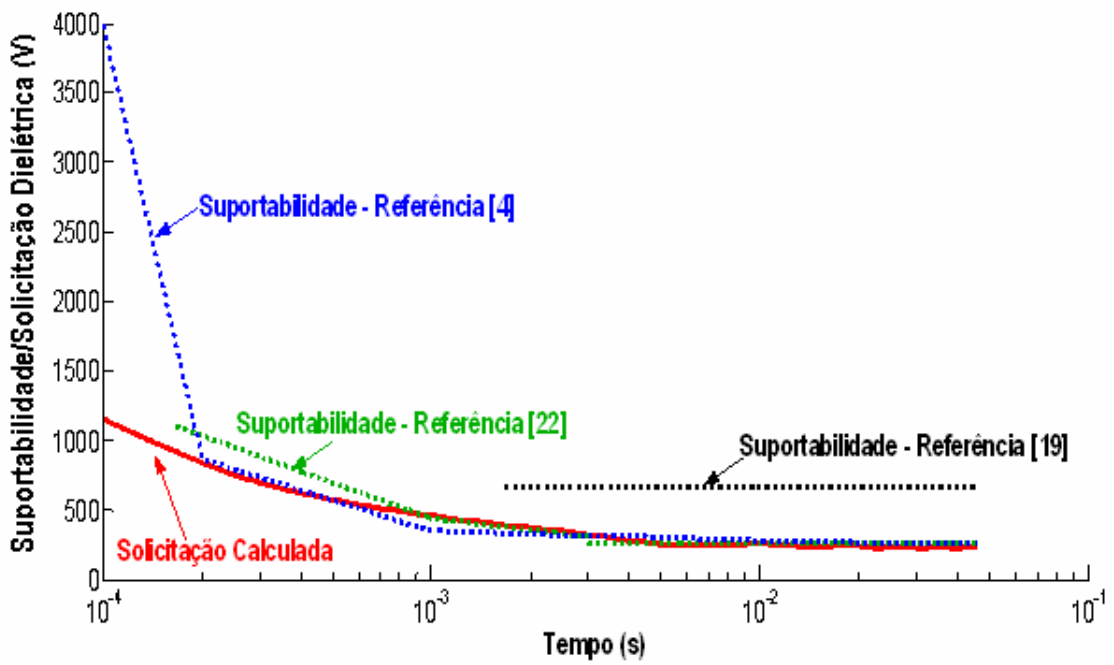


Figura 3.12 – Níveis de suportabilidade dielétrica versus solicitação dielétrica calculada para um transitório impulsivo de 2kV

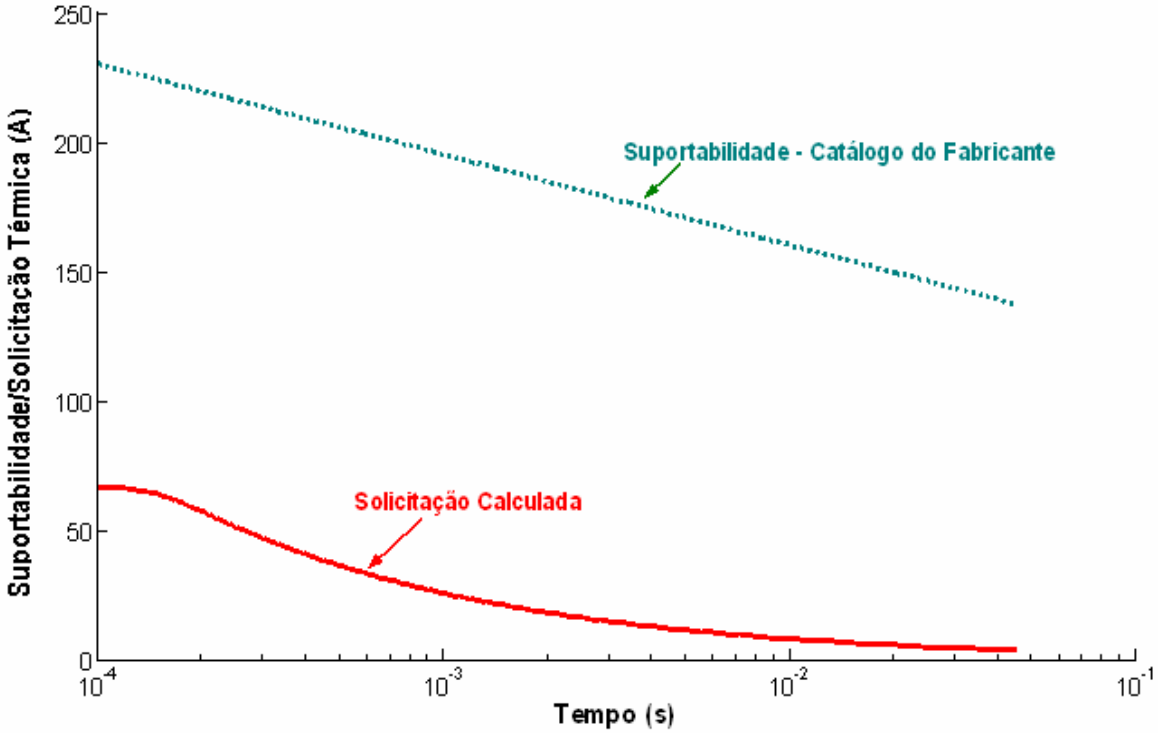


Figura 3.13 – curva de suportabilidade térmica versus solicitação térmica calculada para um transitório impulsivo de 2kV

Na aplicação do transitório oscilatório de 2kV, a curva de solicitação fica, praticamente, coincidente com as curvas de suportabilidade, indicando uma baixa probabilidade de dano do produto, assim como citado nas referências [4] e [19] sob condições similares à estudada. Nestes termos, novamente, verificou-se uma concordância entre os resultados da presente proposta e aqueles indicados nas publicações utilizadas.

3.5.4 – Caso 3 – Elevação de tensão

As Figuras 3.14 e 3.15 apresentam as formas de onda das tensões e correntes na entrada do equipamento sob análise quando experimenta uma elevação de tensão.

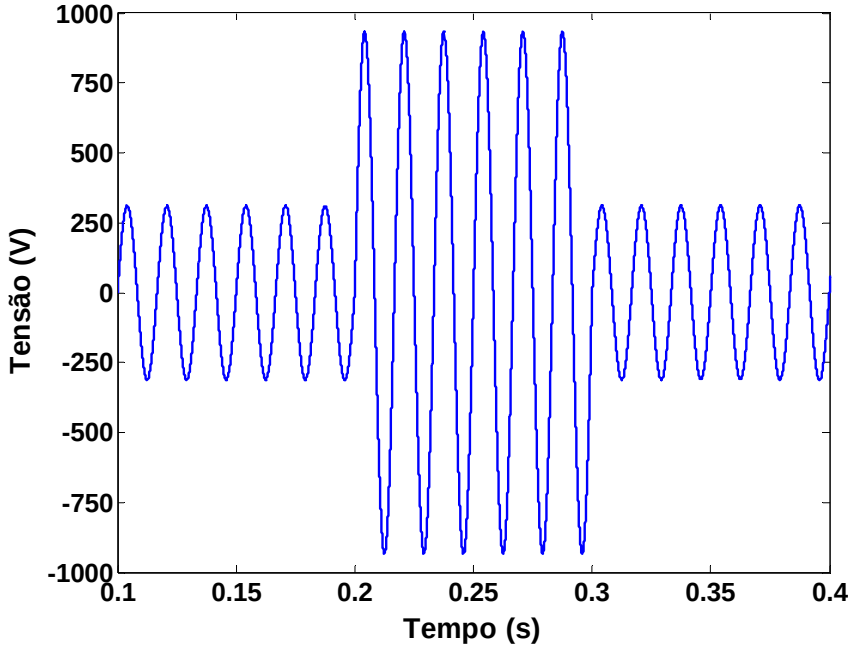


Figura 3.14 – Tensão de alimentação sob uma elevação momentânea de tensão.

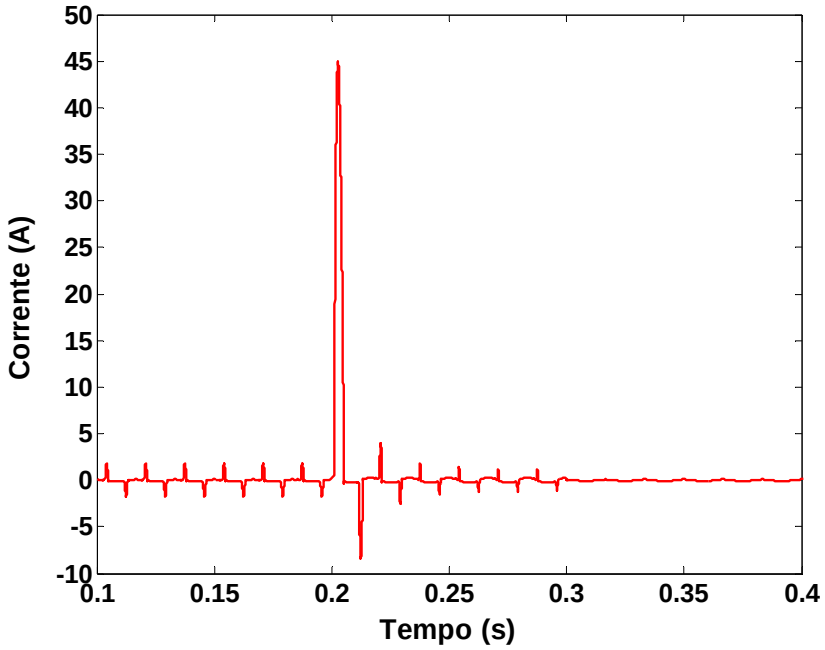


Figura 3.15 – Corrente de entrada do televisor para uma elevação momentânea de tensão.

As Figuras 3.16 e 3.17 mostram as curvas de solicitações dielétricas e térmicas calculadas para as condições operacionais impostas ao produto sobrepostas às respectivas curvas de suportabilidade adotadas pelas referências citadas.

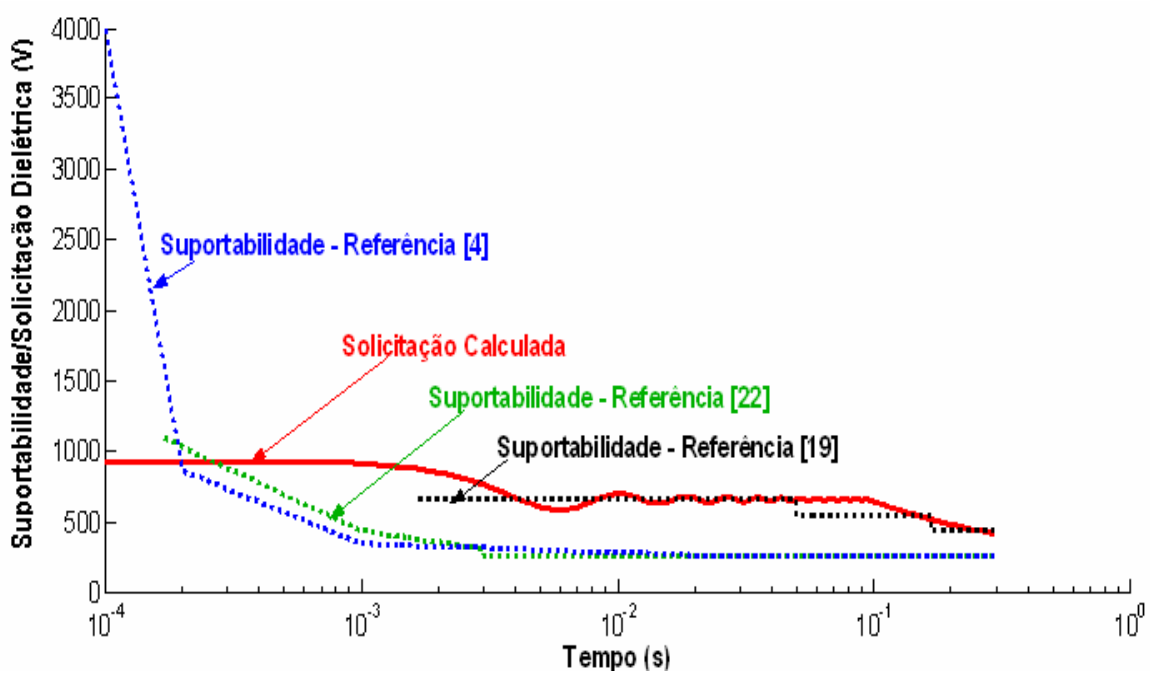


Figura 3.16 – Níveis de suportabilidade dielétrica versus solicitação dielétrica calculada para uma elevação momentânea de tensão

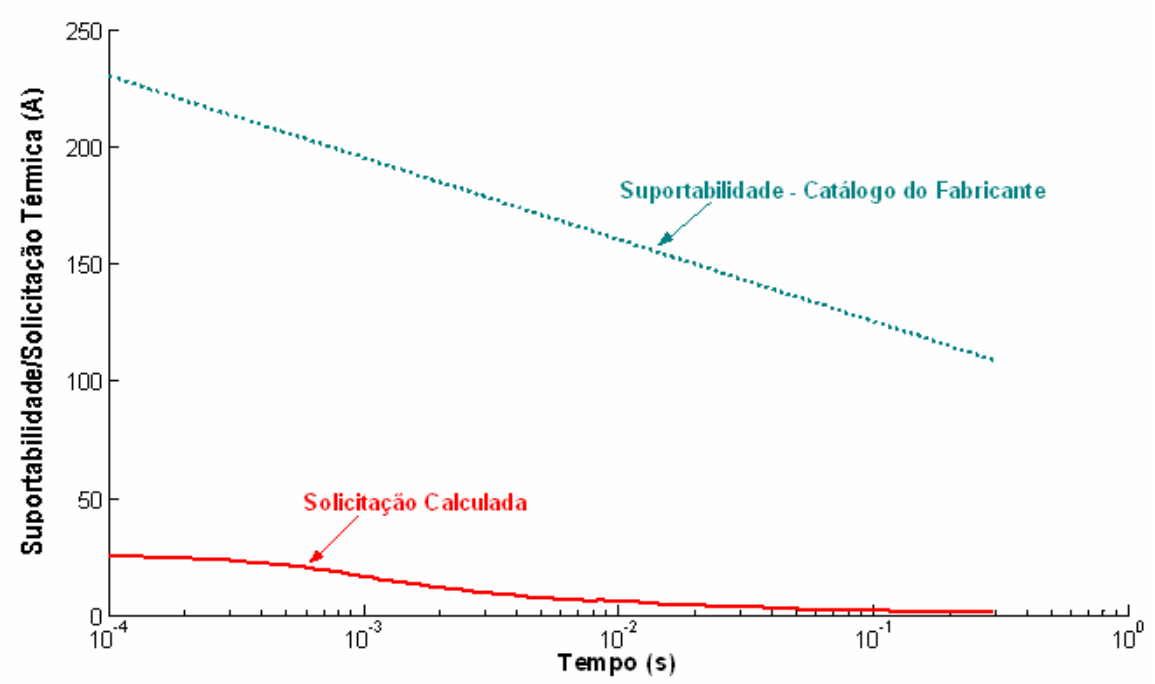


Figura 3.17 – Curva de suportabilidade térmica versus solicitação térmica calculada para uma elevação momentânea de tensão

Os estudos realizados para o Caso 3 apontaram para uma violação dos limites de suportabilidade de todas as referências utilizadas, justificando, assim, a consistência do pedido de ressarcimento e conseqüente necessidade de indenização ao consumidor reclamante. As referências [4] e [19], em seus ensaios experimentais, ratificam os resultados computacionais oriundos da estratégia proposta neste trabalho.

Diante destas constatações, pode-se afirmar que a metodologia proposta possui boa correlação com os resultados práticos apresentados pela literatura e, portanto, atende aos propósitos almejados por esta tese.

3.6 – Considerações finais

O presente capítulo sintetizou os desenvolvimentos realizados para o estabelecimento de uma estratégia computacional para a análise da consistência dos pedidos de ressarcimento. As atividades desenvolvidas neste capítulo constituíram-se nas seguintes ações:

- Estabelecimento de uma metodologia a ser utilizada para obter a relação entre distúrbios nas redes elétricas e conseqüentes impactos sobre os equipamentos. Neste particular, além da definição da estratégia, foram também apresentadas as bases matemáticas e físicas para se atingir aos propósitos delineados;
- Determinação dos impactos que os distúrbios podem proporcionar a um dado equipamento pela confrontação das solicitações dielétricas e térmicas causadas por um fenômeno com os seus níveis de suportabilidade estabelecendo, portanto, um mecanismo para a constatação ou não da violação dos limites de um dado produto sob qualquer tipo de ocorrência nas redes elétricas;
- Apresentação de exemplos ilustrativos para mostrar a praticidade na análise e emissão de um parecer final sobre a possibilidade ou não de danos em equipamentos através de uma comparação direta do desempenho dos mesmos sob condições não ideais de suprimento.

Os resultados finais mostraram a adequação da metodologia proposta através da comparação dos desempenhos por ela obtidos com aqueles publicados em conceituados fóruns de discussão sobre o tema, onde produtos reais foram submetidos a testes experimentais com os mesmos níveis qualitativos e quantitativos de distúrbios elétricos.

CAPÍTULO IV

O aplicativo computacional APR

4.1 – Considerações iniciais

Os capítulos anteriores, voltados para a modelagem computacional: das redes elétricas, dos distúrbios passíveis de ocorrência, dos equipamentos eletroeletrônicos, culminaram pelo estabelecimento de uma metodologia para correlacionar os impactos associados aos fenômenos elétricos com os níveis de suportabilidade dos produtos sob análise. Foram constituídas as bases para a elaboração do produto final desta tese de doutorado, a qual se constitui num aplicativo computacional que reúne todos estes desenvolvimentos num único *software* dedicado aos fins delineados nesta pesquisa.

Não obstante o ATP, na sua forma original, tenha uma inquestionável aceitação pela comunidade científica e profissional, este se apresenta com significativas dificuldades de utilização no dia a dia por profissionais não especializados. Estes obstáculos são decorrentes da ampla abertura à configuração e modelagem permitida pelo mesmo, exigindo assim, uma experiência mínima do operador. Além disso, o tratamento dos dados de saída do programa para conversão das formas de onda de tensão e corrente em indicadores de solicitações dielétricas e térmicas demanda o conhecimento de *softwares* apropriados, com ferramentas para traçar gráficos, realizar cálculos e armazenar de dados. Diante destes fatos, a operação cotidiana para a análise de

pedidos de ressarcimento implicaria, necessariamente, na mobilização de uma equipe técnica altamente especializada.

Visando disponibilizar uma estrutura computacional simples e eficaz, que utiliza o ATP como ferramenta de simulação e posterior tratamento dos resultados, este capítulo tem por objetivo incorporar todos os desenvolvimentos até então realizados em um aplicativo específico para a análise de pedidos de ressarcimento. O produto assim obtido, recebe, nesta pesquisa, a denominação APR (Analisador de Pedidos de Ressarcimento) e possui por propriedades principais a manutenção da estrutura confiável, segura e aceita do ATP, com a inserção dos procedimentos propostos por este projeto de tese, e ainda, o oferecimento de uma ferramenta de fácil operacionalidade, mesmo por aqueles não costumeiramente habituados com o uso de complexos recursos computacionais, como é o presente caso.

Para tanto, o presente capítulo está estruturado de forma a contemplar as seguintes atividades:

- Elaborar uma estrutura computacional responsável pela interação amigável entre o usuário e o ATP, com destaque aos objetivos aqui delineados;
- Incorporar os modelos computacionais dos equipamentos, dispositivos, distúrbios e produtos eletroeletrônicos desenvolvidos no capítulo II;
- Implementar configurações e bancos de dados típicos dos sistemas elétricos de forma a otimizar e simplificar o manuseio da ferramenta para análise de pedidos de ressarcimento;
- Apresentar exemplos ilustrativos do uso do *software* desenvolvido.

4.2 – Estrutura do aplicativo computacional APR

Devido às dificuldades já mencionadas, a estrutura do APR prima por ações, configurações e modelos matemáticos que minimizam a necessidade de conhecimentos específicos do usuário e a possibilidade de ocorrência de erros numéricos durante o processamento das simulações dos casos estudados. Vislumbrando um programa computacional de fácil manuseio específico para a análise de consistência de pedidos de ressarcimento, a estrutura do aplicativo APR deve contemplar as seguintes características:

- permitir uma interação amigável entre o usuário e o ATP;
- viabilizar a caracterização da rede elétrica através da configuração e edição dos parâmetros elétricos da mesma ou por acesso a banco de dados;
- disponibilizar os modelos dos componentes eletroeletrônicos alvo das avaliações;
- oferecer as fontes responsáveis por distúrbios típicos em redes de distribuição;
- realizar a montagem e arquivamento dos dados de entrada para a execução do ATP;
- executar e, posteriormente, importar os arquivos de saída do ATP;
- fazer o tratamento dos resultados para fornecer subsídios técnicos que permitam a tomada de decisão e emissão do parecer final sobre o pedido de ressarcimento.

Baseado nestas premissas, o diagrama ilustrado na Figura 4.1 apresenta a estrutura do sistema desenvolvido de forma a sintetizar as funções a serem desempenhadas pelo APR.

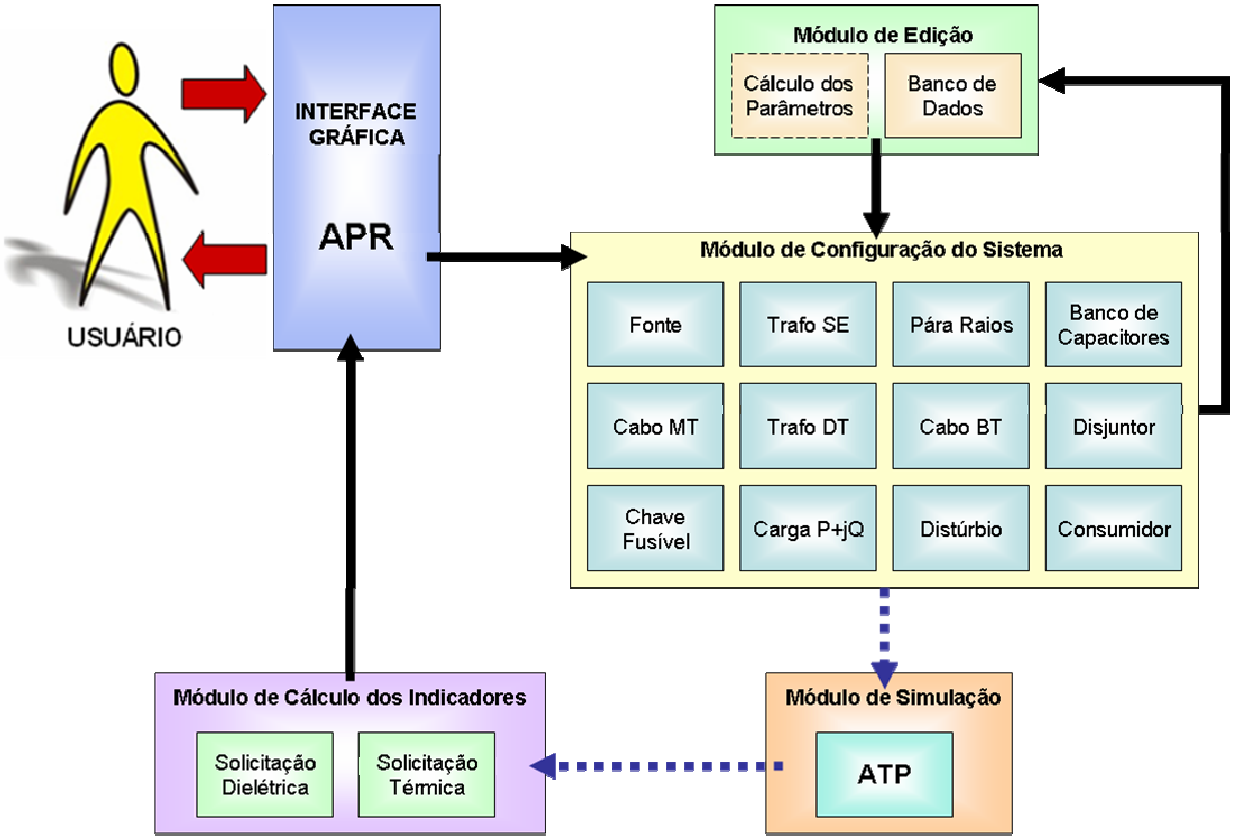


Figura 4.1 – Estrutura do aplicativo APR.

Conforme mostra o diagrama anterior, as setas contínuas representam ações diretas do operador através da interface gráfica. Por outro lado, as setas pontilhadas indicam processos de comunicação interna do *software*, independentes de ações interventoras do usuário. Desta forma, o usuário somente é responsável pela execução dos módulos para configuração e edição do sistema e pela visualização dos resultados, não tendo contato direto com o ATP, seus arquivos, os modelos matemáticos e o cálculo dos parâmetros internos de cada componente.

Os detalhes dos blocos constituintes da estrutura do sistema são descritos na seqüência.

4.2.1 – Interface gráfica do APR

Corresponde ao centro de comando da plataforma computacional de análise dos pedidos de ressarcimento e é responsável pela junção dos módulos de configuração do sistema elétrico de distribuição, edição de parâmetros dos componentes, simulação via ATP e tratamento dos resultados.

A interface gráfica do APR foi desenvolvida em *Borland Delphi* sendo composta por uma área de desenho para a representação do diagrama unifilar do sistema de energia. Nela, todos os comandos e campos são dispostos de forma direta e prática onde o usuário visualiza facilmente os instrumentos ou opções de trabalho e, através do arraste do *mouse,* puxando os componentes da barra de ferramentas para a área de desenho, efetua a montagem do sistema a ser analisado. A Figura 4.2 apresenta o *layout* desta área de desenho.

O acesso aos dados e a conseqüente edição de cada componente do diagrama unifilar sob análise podem ser realizados através de um duplo clique com o botão esquerdo do *mouse* no componente desejado. Adicionalmente, cada elemento de desenho, assim como sua descrição, pode ter sua cor e tamanho da fonte alterados através de um *menu* suspenso, acessado pelo botão direito do *mouse*. Este mesmo comando também permite acessar os resultados finais de cada elemento após a simulação.

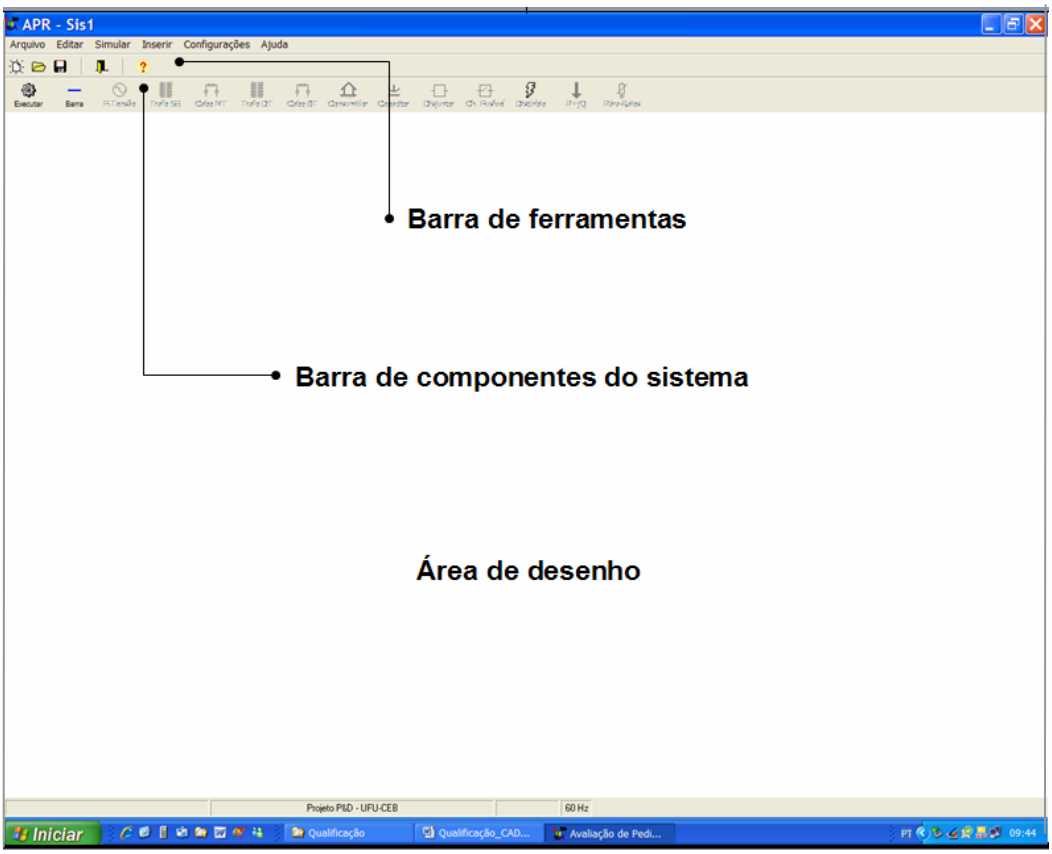


Figura 4.2 – Interface Gráfica do APR

Após a montagem e edição dos dados do sistema com as informações relativas ao pedido de ressarcimento, o mesmo poderá ser salvo em disco de forma a permitir avaliações futuras.

4.2.1 – Módulo para configuração do sistema e módulo de edição

Estes dois módulos, que estão diretamente interligados, são voltados para a representação das características peculiares ao sistema elétrico sob análise. No módulo de configuração do sistema são disponibilizados componentes como: fonte de tensão, transformadores, banco de capacitores, dispositivos de manobra e proteção (disjuntor, chave-fusível e pára-raios), cargas P e Q, cabos condutores de energia, distúrbios e o consumidor. Já o módulo de edição permite a

caracterização dos principais parâmetros dos dispositivos e fenômenos elétricos constituintes do sistema elétrico definido no módulo de configuração.

Para facilitar a montagem do sistema, cada componente solicita somente os dados essenciais de placa dos equipamentos selecionados, sendo as demais propriedades calculadas internamente através de equações clássicas, sem a intervenção do usuário. Este é, por exemplo, o caso das características não lineares de transformadores e pára-raios. Outra opção, ainda mais facilitadora, consiste na disponibilização de um banco de dados pré-definido, incluindo os dados de placa.

De forma a ilustrar estas características, são apresentadas na seqüência as janelas de edição dos parâmetros elétricos de cada um dos dispositivos mencionados.

(a) Fonte de Tensão

Este componente corresponde ao suprimento de tensão da rede elétrica sob estudo. A Figura 4.3 ilustra a janela de edição dos dados de entrada para a fonte de tensão.

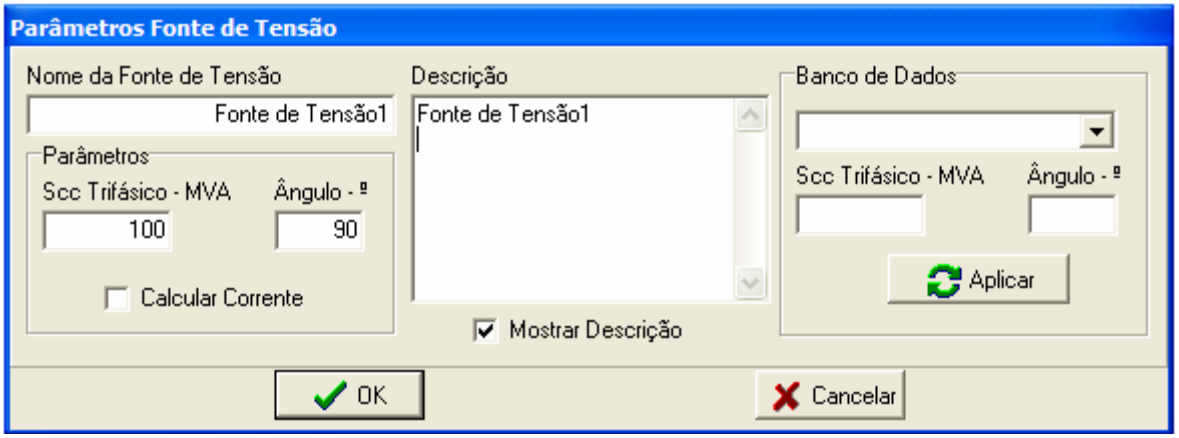


Figura 4.3 – Dados de entrada - fonte de tensão.

Como pode ser observado, para o preenchimento dos dados deste componente torna-se necessário o fornecimento dos seguintes parâmetros:

- Tensão de suprimento;
- Nível de curto-circuito.

Ao iniciar a edição dos dados da fonte de tensão, o usuário também poderá selecionar os parâmetros do grupo denominado "Banco de Dados" localizado no lado direito da janela de edição. Após a seleção da fonte de tensão adequada, o botão "Aplicar", no mesmo campo de informações, será responsável pela transferência dos valores selecionados para o componente atual, cujos parâmetros estão situados no lado esquerdo da janela. O botão "OK", localizado na parte inferior da tela, é responsável pela confirmação e armazenagem dos dados editados do componente atual, enquanto que o "Cancelar", anula a presente edição fechando a janela de dados.

Adicionalmente, o usuário deve indicar um nome para este componente e, também, poderá inserir um texto de descrição que será visualizado na área de desenho, caso a opção "Mostrar Descrição" esteja selecionada.

A partir do preenchimento dos dados necessários à configuração deste componente, utilizando-se de cálculos internos, o APR determina a impedância representativa do nível de curto-circuito. As expressões utilizadas para tal fim são:

$$Z = \frac{V^2}{S_{cc}} \qquad (10) \qquad\qquad X = \sqrt{Z^2 - R^2} \qquad (11)$$

$$R = Z \cdot \cos\theta \qquad (12) \qquad\qquad L = \frac{X}{2\pi \cdot f} \qquad (13)$$

onde:

Z – Impedância de curto-circuito;

V – Tensão de referência;

S_{cc} – Potência de curto-circuito;

R – Resistência de curto-circuito;

X – Reatância indutiva de curto-circuito;

L – Indutância de curto-circuito;

f – Freqüência de operação.

(b) Transformadores

Os transformadores estão divididos em dois tipos, a saber: de subestação e de distribuição; os quais são identificados por **Trafo SE** e **Trafo DT** respectivamente.

Da mesma forma que para a fonte de tensão, os parâmetros dos transformadores podem ser preenchidos ou escolhidos em um banco de dados.

A Figura 4.4 apresenta uma janela de edição de dados válida para ambos os tipos de transformadores.

Figura 4.4 – Dados de entrada - transformadores.

Para o preenchimento deste cartão, é necessário o fornecimento dos seguintes parâmetros:

- Potência Nominal;
- Nível de tensão no enrolamento primário;
- Nível de tensão no enrolamento secundário;
- Impedância percentual;
- Corrente a vazio.

A partir destas grandezas, também se utilizando de cálculos internos, o APR determina os dados necessários para a representação computacional do transformador no ATP. As expressões utilizadas são detalhadas na seqüência.

- Cálculo das impedâncias base para o primário e secundário do transformador:

$$Z_{b1} = \frac{V^2}{S_n}[\Omega] \qquad (14) \qquad\qquad Z_{b2} = \frac{V^2}{S_n}[\Omega] \qquad (15)$$

- Cálculo de L1:

$$X_1 = \frac{Z_{\%}}{100} \cdot \frac{Z_{b1}}{2}[\Omega] \qquad (16) \qquad\qquad L_1 = \frac{X_1}{2\pi \cdot f}[H] \qquad (17)$$

- Cálculo de L2:

$$X_2 = \frac{Z_{\%}}{100} \cdot \frac{Z_{b2}}{2}[\Omega] \qquad (18) \qquad\qquad L_2 = \frac{X_2}{2\pi \cdot f}[H] \qquad (19)$$

Sendo:

$Z_{\%}$ – Impedância percentual do transformador;

V – Tensão de fase;

S_n – Potência nominal do transformador por fase;

f – Freqüência de operação;

Z_{b1} e Z_{b2} – Impedância base dos enrolamentos primário e secundário do transformador, respectivamente;

L_1 e L_2 – Indutância dos enrolamentos primário e secundário do transformador, respectivamente;

X_1 e X_2 – Reatância indutiva dos enrolamentos primário e secundário do transformador, respectivamente.

Para a obtenção de um modelo computacional que represente as características não lineares de um transformador real, foi utilizada a curva de magnetização da chapa de aço silício de grãos orientados, conforme indicado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Curva B x H da chapa utilizada.

H [A/m]	B [T]
6,684	0,200
11,099	0,400
17,729	0,800
23,805	1,200
31,495	1,400
64,166	1,600
136,311	1,700
946,842	1,850
7419,427	2,000
30000,000	2,100

O ponto em destaque na tabela anterior representa aquele em que o efeito da saturação é iniciado, ou seja, o "joelho" da curva de saturação da chapa considerada. Os valores de corrente a vazio e de fluxo utilizados no modelo do transformador no ATP são obtidos a partir das seguintes equações:

$$I_{n1} = \frac{S_n}{V}[A] \quad (20) \qquad I_0 = \sqrt{2} \cdot \frac{I_{0\%}}{100} \cdot I_{n1}[A] \quad (21) \qquad \lambda_0 = \frac{V}{\frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f}[A] \quad (22)$$

Os demais pontos que perfazem a curva são obtidos pelas equações 23 e 24

$$I_i = \frac{I_0}{64{,}166} \cdot H_i[A] \quad (23) \qquad \lambda_i = \frac{\lambda_0}{1{,}600} \cdot B_i[Wb] \quad (24)$$

Onde:

I_{n1} – Corrente nominal do transformador;

$I_{0\%}$ – Corrente de magnetização em percentual do transformador;

I_0 – Corrente máxima de magnetização do transformador;

λ_0 – Valor de pico do fluxo nominal do transformador;

I_i – Corrente para distintos pontos da curva de magnetização;

λ_i – Fluxo para distintos pontos da curva de magnetização.

Além de contemplar o efeito da saturação magnética, foram também consideradas as impedâncias de aterramento e as capacitâncias de fuga das buchas e entre os enrolamentos do primário e secundário do transformador.

(c) Cabos

De forma semelhante aos transformadores, os cabos estão divididos em dois tipos: cabos de média tensão e de baixa tensão. No **APR** estes são identificados por: **Cabo MT** e **Cabo BT**, respectivamente.

Na janela de entrada de dados dos condutores, o usuário pode escolher a sua representação computacional pelo modelo PI ou por parâmetros distribuídos, sendo necessário o fornecimento das seguintes informações:

- Modelo PI
  - Resistência de seqüência positiva;
  - Resistência de seqüência zero;
  - Reatância indutiva de seqüência positiva;
  - Reatância indutiva de seqüência zero;
  - Reatância capacitiva de seqüência positiva;
  - Reatância capacitiva de seqüência zero;
  - Comprimento do cabo.

- Modelo de Parâmetros Distribuídos
  - Resistência de seqüência positiva;
  - Resistência de seqüência zero;
  - Impedância de surto de seqüência positiva;
  - Impedância de surto de seqüência zero;
  - Velocidade de propagação de seqüência positiva;
  - Velocidade de propagação de seqüência zero;
  - Comprimento do cabo.

Este componente também possui um banco de dados baseado em informações construtivas e operacionais de condutores tipicamente utilizados em sistemas de distribuição. Caso seja necessária a utilização de algum condutor específico, que não esteja relacionado neste banco de dados, os campos relativos às informações anteriores devem ser obrigatoriamente preenchidos.

A Figura 4.5 apresenta a janela de edição de dados válida para ambos os tipos de cabos.

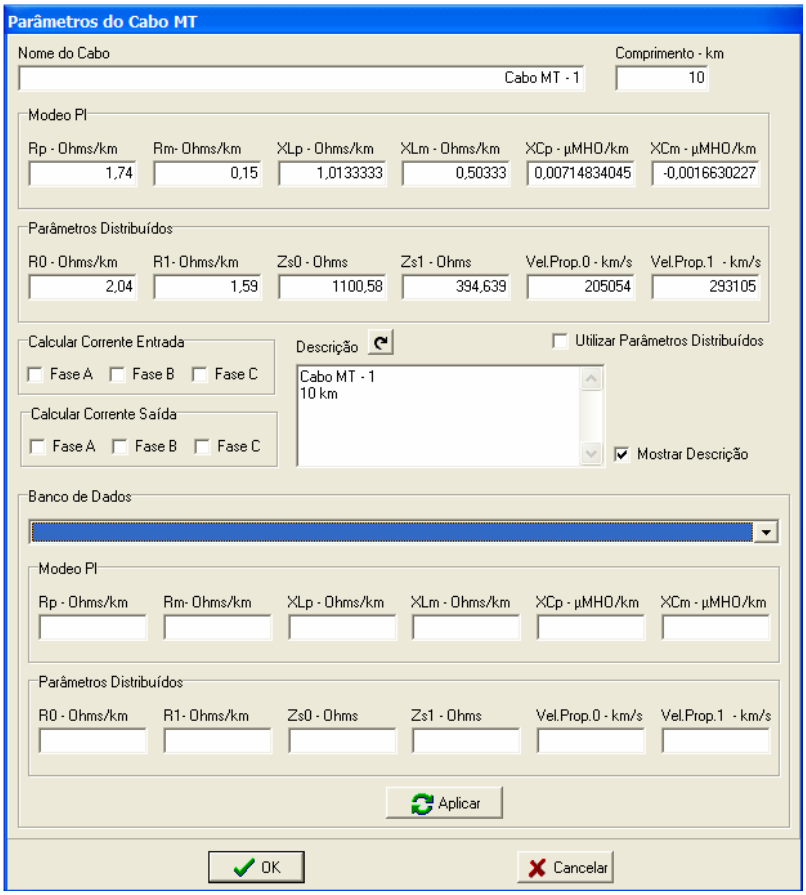


Figura 4.5 – Dados de entrada - cabos.

(d) Banco de Capacitores

Os parâmetros elétricos solicitados para o preenchimento deste componente correspondem à potência reativa nominal e à tensão nominal entre fases. Através destes dados a reatância e capacitância equivalente do banco de capacitores são calculadas pelas equações 25 e 26, respectivamente.

$$X_C = \frac{V^2}{Q} \qquad (25) \qquad\qquad C = \frac{1}{2\pi f X_C} \qquad (26)$$

sendo:

X_C – Reatância capacitiva;

V – Tensão da rede;

Q – Potência reativa da carga;

C – Capacitância.

f – Freqüência da rede.

A Figura 4.6 ilustra a janela de edição de dados para os capacitores.

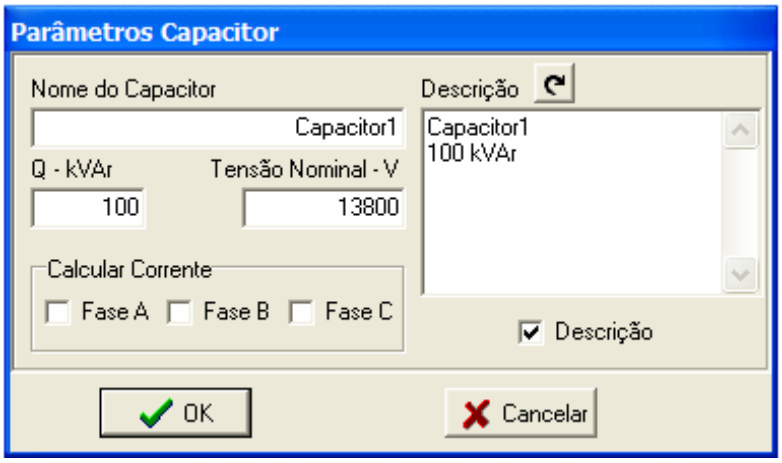


Figura 4.6 – Dados de entrada - banco de capacitores.

(e) Disjuntores

A representação dos disjuntores é fundamentada na configuração de uma chave com definição do tempo de abertura e de fechamento para cada fase. Esta situação permite operações de chaveamentos monopolares, bipolares ou mesmo tripolares. Com o intuito de evitar erros nos dados de entrada, uma rotina de verificação destes tempos é acionada quando da edição dos dados e quando da execução final do sistema sob análise. Esta função evita a utilização de tempos de abertura ou fechamento superiores ao tempo máximo de simulação.

A Figura 8 apresenta a janela de edição de dados utilizada para os disjuntores.

Figura 4.7 – Dados de entrada - disjuntores.

(f) Chave

A chave, para efeito de simulação, é modelada de forma semelhante ao disjuntor. No entanto, para este componente são permitidos até três chaveamentos, independentes por fase, durante o tempo total de simulação. Da mesma forma anterior, os tempos de abertura e fechamento são verificados de forma a evitar erros de entrada de dados.

A Figura 4.8 apresenta a janela de edição de dados utilizada na simulação de abertura e fechamento de chaves fusíveis.

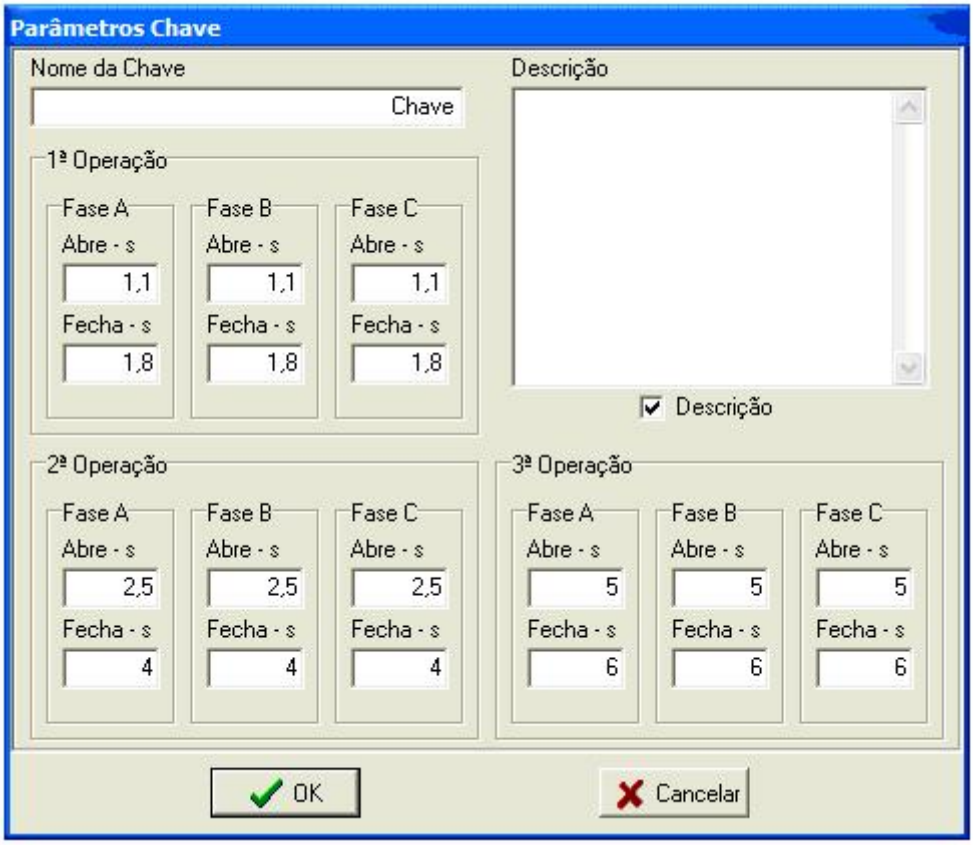


Figura 4.8 – Dados de entrada - chave.

(g) Pára-raios

Para tal componente é necessário apenas o fornecimento de sua tensão de operação. A partir deste dado, utilizando-se de cálculos internos, o APR determina os parâmetros necessários para a representação computacional do pára-raios do tipo ZnO no *software* ATP. As expressões empregadas para o preenchimento destas informações são:

$$I = p \times \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)^{q} \tag{27}$$

onde:

$$V_{ref} = 2 \times V_n \tag{28}$$

e:

I – Corrente de crista do pára-raios;

V – Tensão de operação do pára-raios;

V_{ref} – Tensão de referência;

$p = 26$

$q = 0{,}8$

(h) Carga tipo impedância constante

A Figura 4.9 ilustra a janela de edição de dados deste componente.

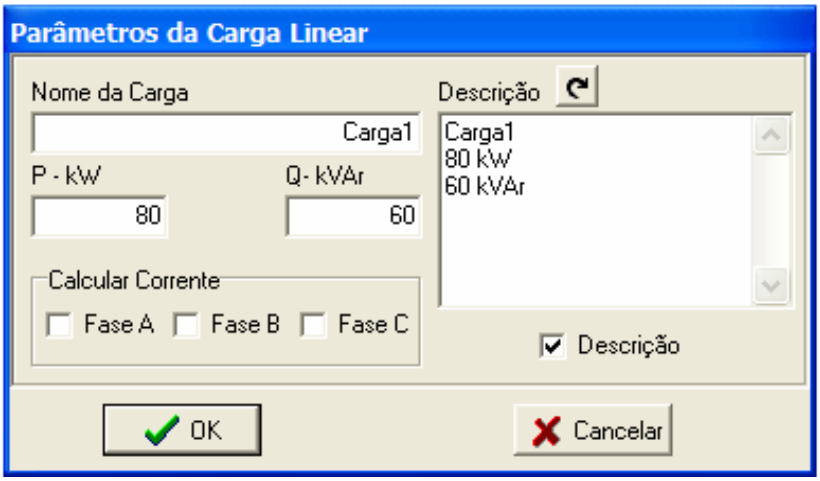


Figura 4.9 – Dados de entrada - carga P + jQ.

Para sua parametrização, é necessário o fornecimento dos seguintes dados:

- Potência ativa da carga;
- Potência reativa da carga.

O APR realiza internamente a conversão destas grandezas em impedâncias equivalentes, através das seguintes expressões:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (29) \qquad \theta = a\tan\left(\frac{Q}{P}\right) \quad (30) \qquad Z = \left(\frac{V^2}{S}\right) \quad (31)$$

$$R = Z \cdot \cos\theta \quad (32) \qquad X = Z \cdot sen\theta \quad (33) \qquad L = \frac{X}{2\pi f} \quad (34)$$

sendo:

S – Potência aparente da carga;

P – Potência ativa da carga;

Q – Potência reativa da carga;

θ – Diferença angular entre a tensão e a corrente.

Z – Impedância total da carga;

R – Resistência da carga;

X – Reatância da carga;

L – Indutância da carga;

f – Freqüência da rede;

(i) Distúrbios na rede elétrica

Os distúrbios da rede elétrica podem ser configurados pela caixa de diálogo específica, acessada através do componente "Distúrbios". Neste, estão listados os fenômenos passíveis de ocorrência em sistemas típicos de distribuição. A escolha dos distúrbios a serem aplicados é realizada através de um clique sobre uma das janelas específicas com a posterior configuração dos parâmetros do evento. As Figuras 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 mostram, respectivamente, a configuração para: descarga atmosférica, curto-circuito, distorções harmônicas, flutuações de tensão e variações de tensão de curta e longa duração.

✓ **Descarga atmosférica**

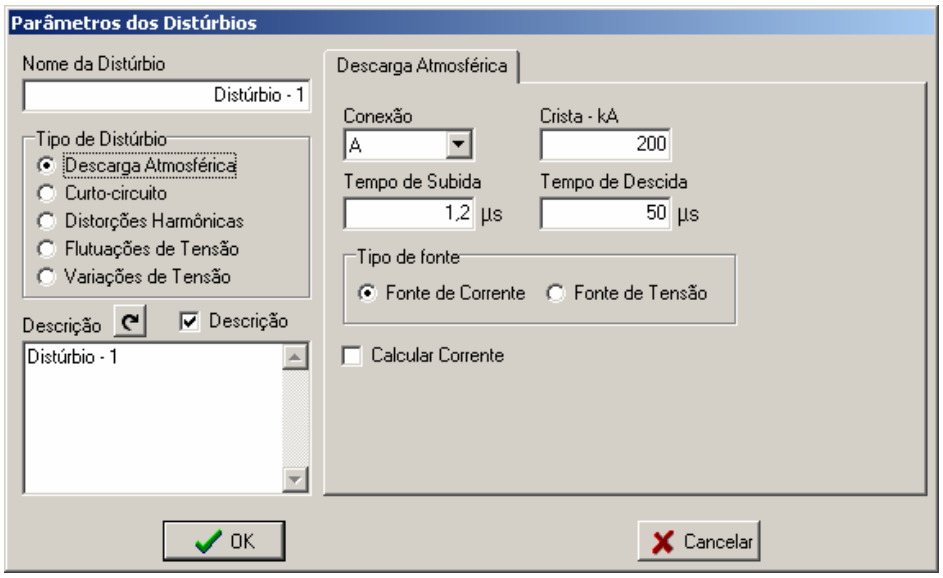


Figura 4.10 – Configuração dos parâmetros da descarga atmosférica.

Para a edição deste componente, é necessário o fornecimento dos seguintes parâmetros:

- Característica do fenômeno (fonte de tensão ou de corrente);
- Valor de crista da tensão ou da corrente de descarga;
- Tempo de subida (valor padrão de 1,2 µs);
- Tempo de descida (valor padrão de 50 µs)

✓ Curto-Circuito

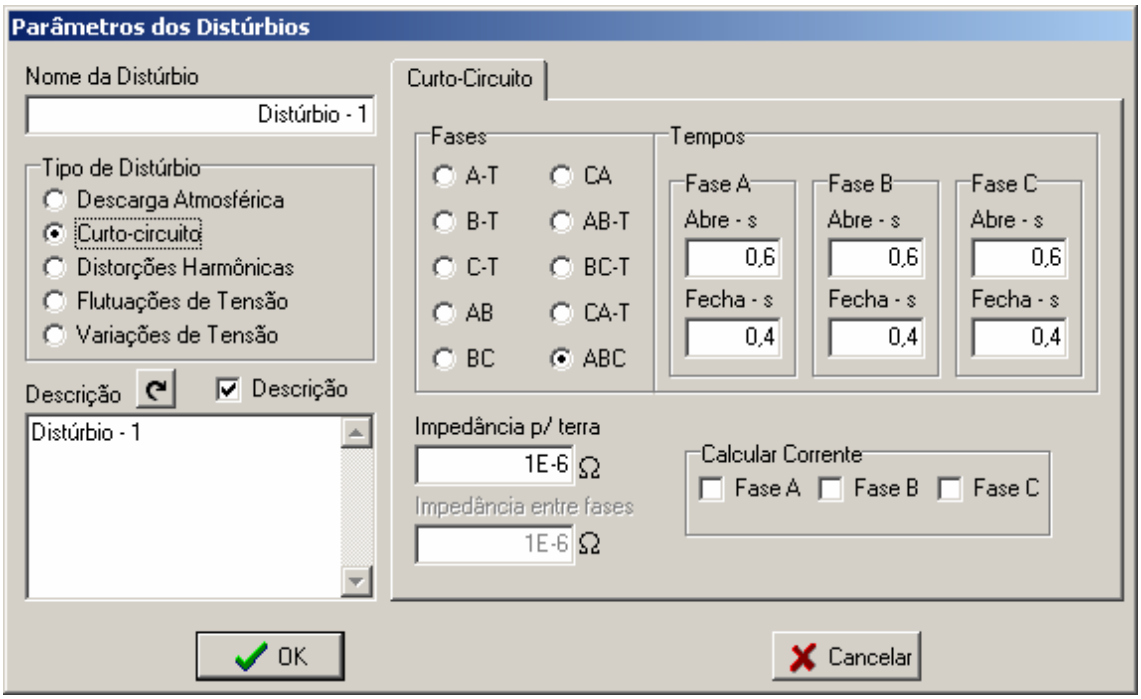


Figura 4.11 – Configuração dos parâmetros do curto-circuito.

Para este componente é necessário o fornecimento dos seguintes parâmetros:

- Instante de tempo do curto-circuito;
- Duração do evento;
- Característica do evento (monofásico, trifásico, entre frases, etc.);
- Impedância do curto.

✓ Distorções Harmônicas

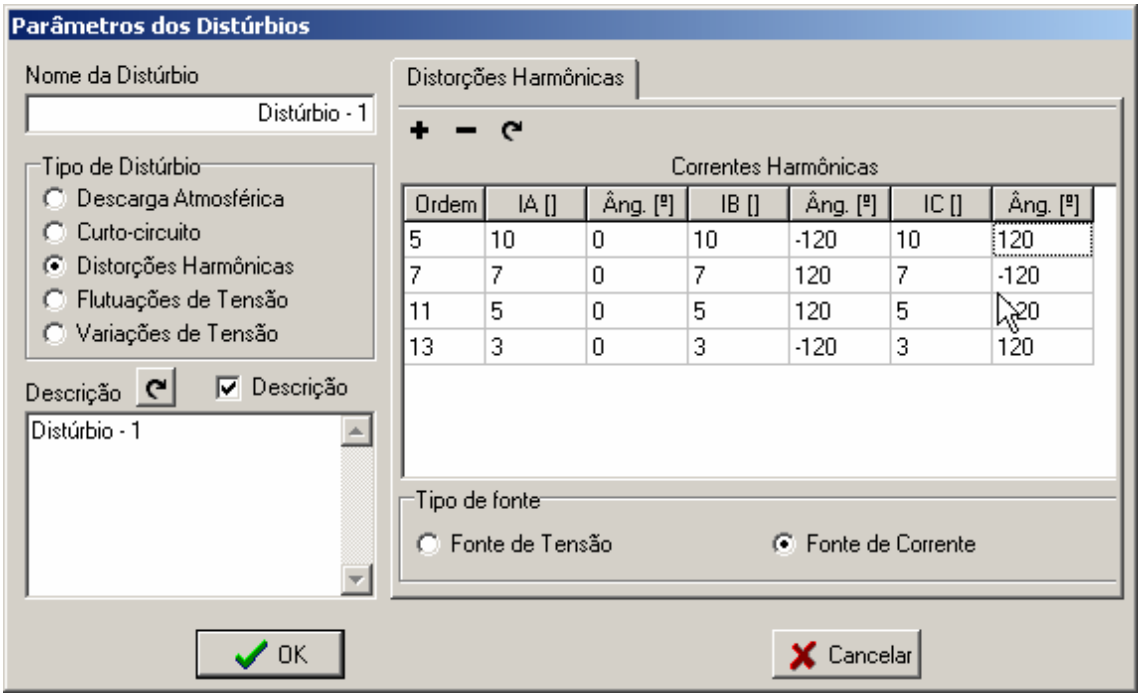


Figura 4.12 – Configuração dos parâmetros das distorções harmônicas.

Para o preenchimento dos dados relativos a este distúrbio, é necessário o fornecimento das seguintes informações:

- Amplitude das componentes harmônicas;
- Freqüência das componentes harmônicas;
- Ângulo das componentes harmônicas;

✓ Flutuações de tensão

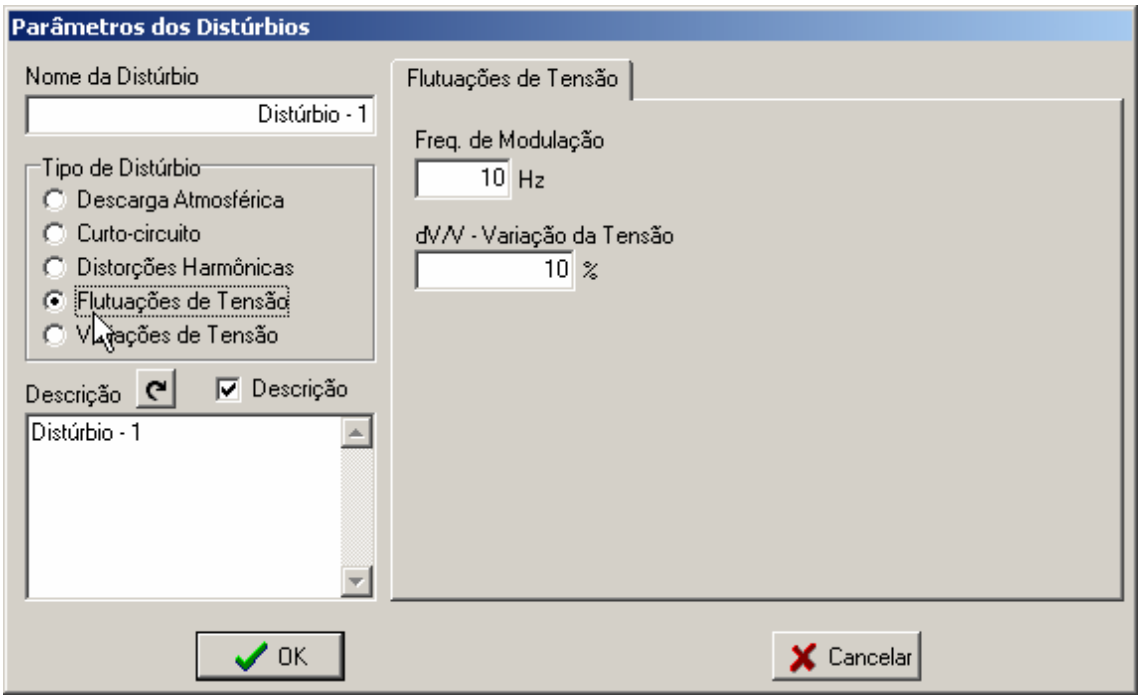


Figura 4.13 – Configuração dos parâmetros das flutuações de tensão.

Este componente solicita o preenchimento das seguintes informações:

- Amplitude da modulação;
- Freqüência da modulação;

✓ **Variações de Tensão**

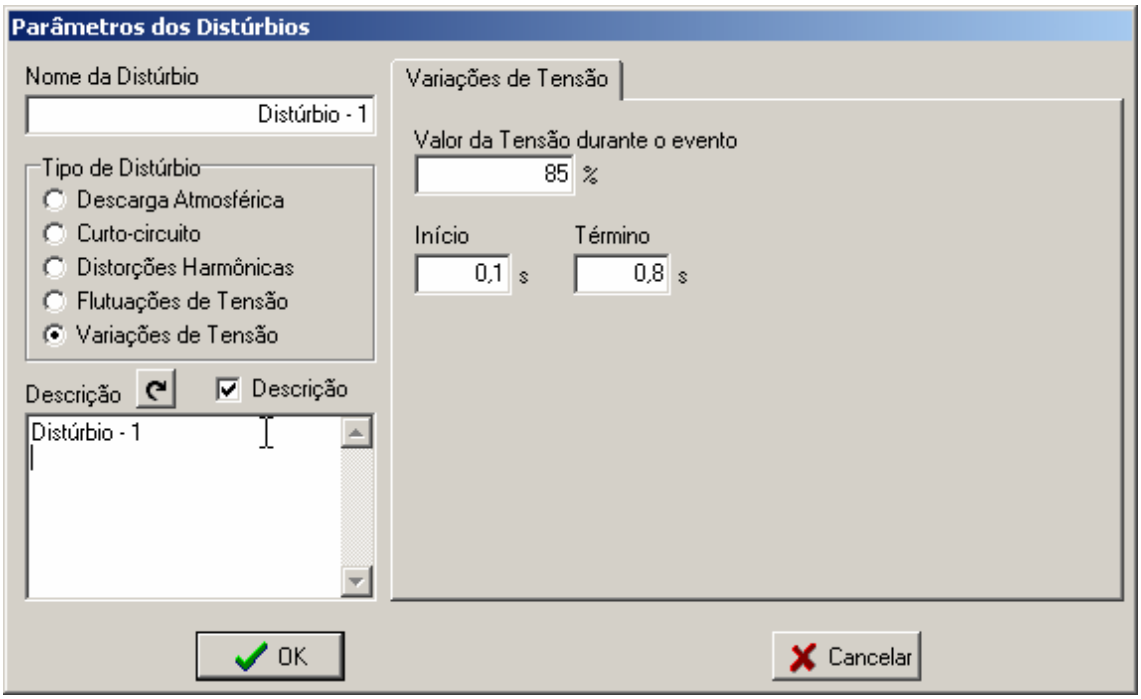


Figura 4.14 – Configuração dos parâmetros das variações de tensão de curta e longa duração.

Este componente solicita o preenchimento das seguintes informações:

- Valor da tensão durante o evento;
- Duração do evento através do tempo de início e término do mesmo.

(j) Equipamentos avaliados

Os equipamentos factíveis de análise dos pedidos de ressarcimento devem ser selecionados através do componente "Consumidor". Conforme mostrado na Figura 4.15, neste componente estão listados os 27 (vinte e sete) produtos

contemplados neste trabalho. A escolha dos mesmos é realizada através de um clique sobre o campo de seleção do equipamento desejado.

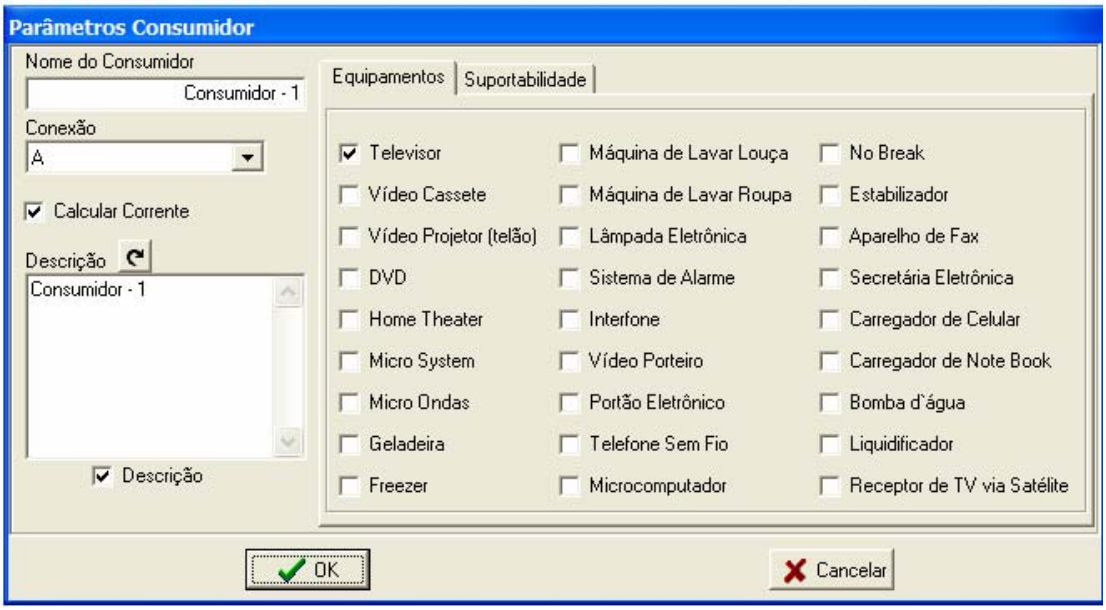


Figura 4.15 – Escolha dos equipamentos avaliados.

4.2.2 – Módulo de simulação

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 a respectiva avaliação diante 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 e simulado em segundo plano, 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 que efetua os devidos tratamentos

para fins da análise dos resultados através do módulo de cálculo dos indicadores de desempenho.

4.2.3 – Módulo de cálculo dos indicadores

Com os resultados obtidos pela simulação no ATP, este módulo 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.

4.3 – Exemplos de utilização do APR

Com a finalidade de ilustrar a usabilidade e a potencialidade do aplicativo APR, apresenta-se, na seqüência, exemplos de utilização do mesmo para a análise de consistência de alguns casos hipotéticos de pedidos de ressarcimento. Embora o APR permita simular as mais variadas situações de anormalidades nas redes elétricas, foram selecionados três casos, a saber:

- Descarga atmosférica de 10 kA;
- Curto-circuito monofásico na baixa tensão;
- Transitório associado com a energização de um banco de capacitores.

Em função do detalhamento já dispensado ao aparelho televisor nos capítulos anteriores, de forma a padronizar os estudos e facilitar os entendimentos, o mesmo será o produto empregado para exemplificar o funcionamento do APR na execução destes casos.

4.3.1 – Descarga atmosférica

Para este exemplo a situação se refere a danos ocorridos num televisor e a causa teria sido a incidência de uma descarga atmosférica de 10 kA e duração de 1,2x50 µs.

a) Configuração da rede de distribuição

O sistema elétrico alvo dos estudos e ao qual se encontra conectado o televisor é representado na Figura 4.16.

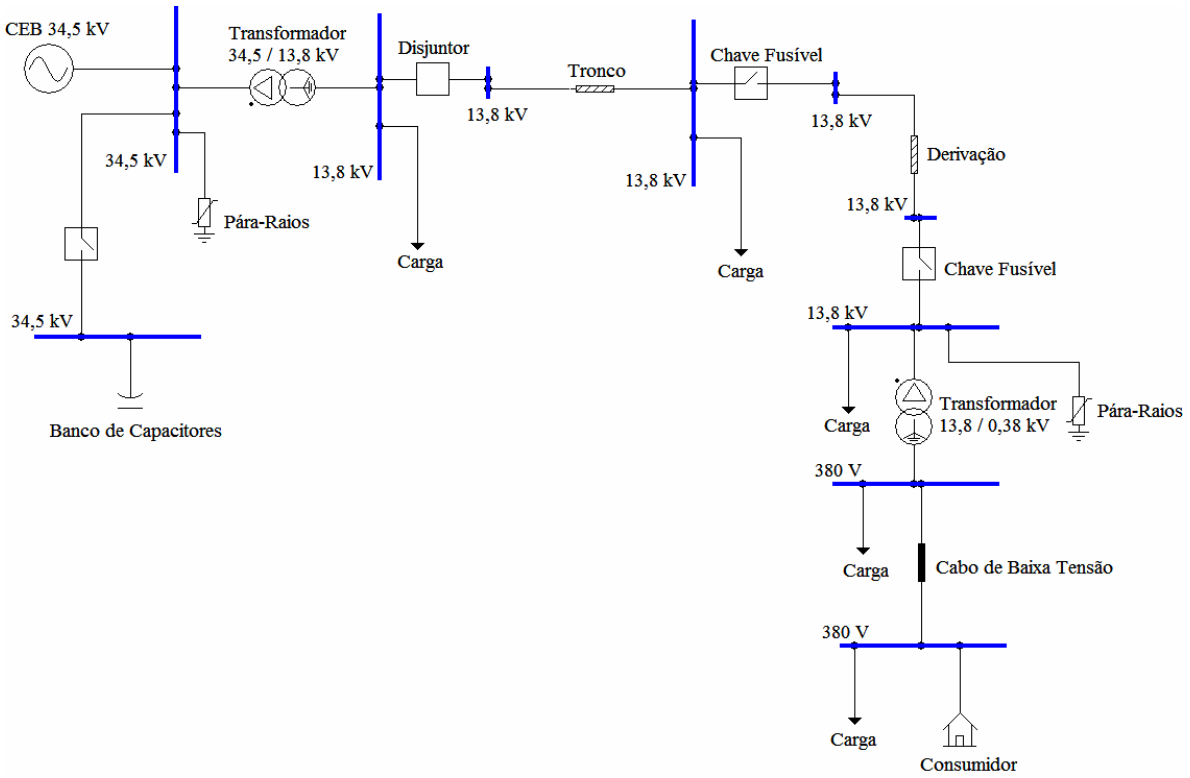


Figura 4.16 – Sistema elétrico simulado.

Os principais dados para o arranjo selecionado e seus componentes individuais são descritos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Dados dos componentes do sistema elétrico.

Concessionária	
Tensão	34,5 kV
Potência de curto-circuito	3000 MVA
Transformador de potência	
Potência	20 MVA
Relação de transformação	34,5/13,8kV
Impedância	6,1%
Tipo de conexão	Delta-estrela
Condutores de média tensão	
Resistência de seqüência positiva	0,33Ω/km
Resistência de seqüência zero	0,55Ω/km
Reatância de seqüência positiva	0,47Ω/km
Reatância de seqüência zero	1,93Ω/km
Condutores de baixa tensão	
Resistência de seqüência positiva	1,01Ω/km
Resistência de seqüência zero	1,14Ω/km
Reatância de seqüência positiva	0,47Ω/km
Reatância de seqüência zero	1,93Ω/km
Transformador de distribuição	
Potência	100kVA
Relação de transformação	13,8/0,38kV
Impedância	3,5%
Tipo de conexão	Delta-estrela
Banco de capacitores	
Potência	6,0 MVAr

b) Caracterização e parametrização do distúrbio

A Figura 4.17 ilustra a configuração da descarga atmosférica no aplicativo APR. Conforme mencionado, o barramento de 13,8 kV no final do tronco do alimentador de média tensão foi considerado como ponto de incidência do fenômeno, mais precisamente na fase A do sistema elétrico.

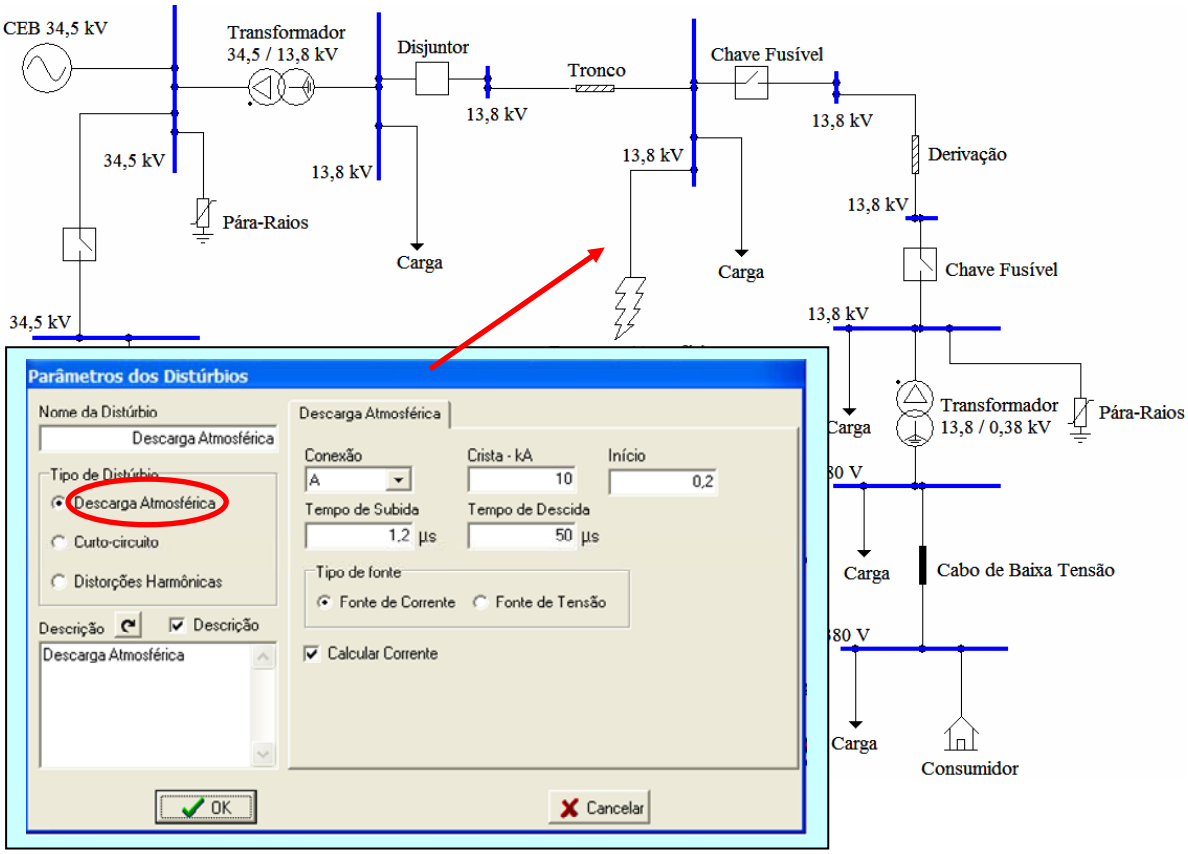


Figura 4.17 – Configuração da descarga atmosférica.

A Figura 4.18 mostra a corrente utilizada como fonte de distúrbio e evidencia uma forma de onda típica de uma descarga atmosférica.

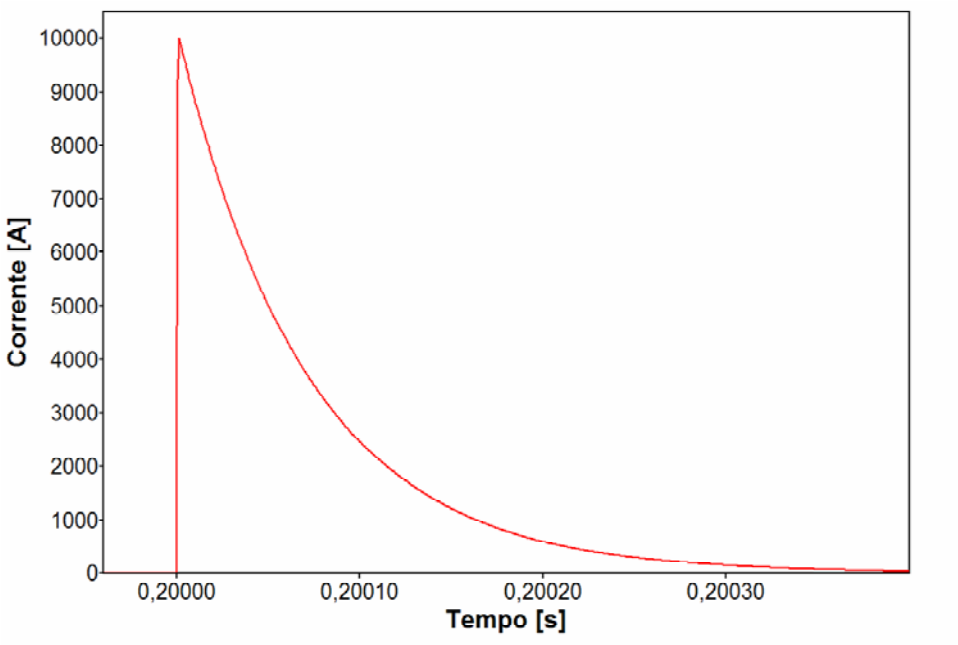


Figura 4.18 – Impulso de corrente associado com a descarga atmosférica aplicada.

c) Caracterização do equipamento objeto do pedido de ressarcimento

Considerando que o pedido sob análise compreende uma solicitação por danos em um aparelho televisor, a inclusão deste equipamento no APR consiste em realizar um duplo clique sobre o ícone "casa" e, na seqüência, definir o produto focado na investigação. Nestes termos a Figura 4.19 mostra a tela obtida do simulador utilizado, destacando a presença do aparelho eletroeletrônico a ser contemplado nos estudos. Para este caso foi considerado que o televisor está conectado na mesma fase onde ocorreu a descarga atmosférica (fase A).

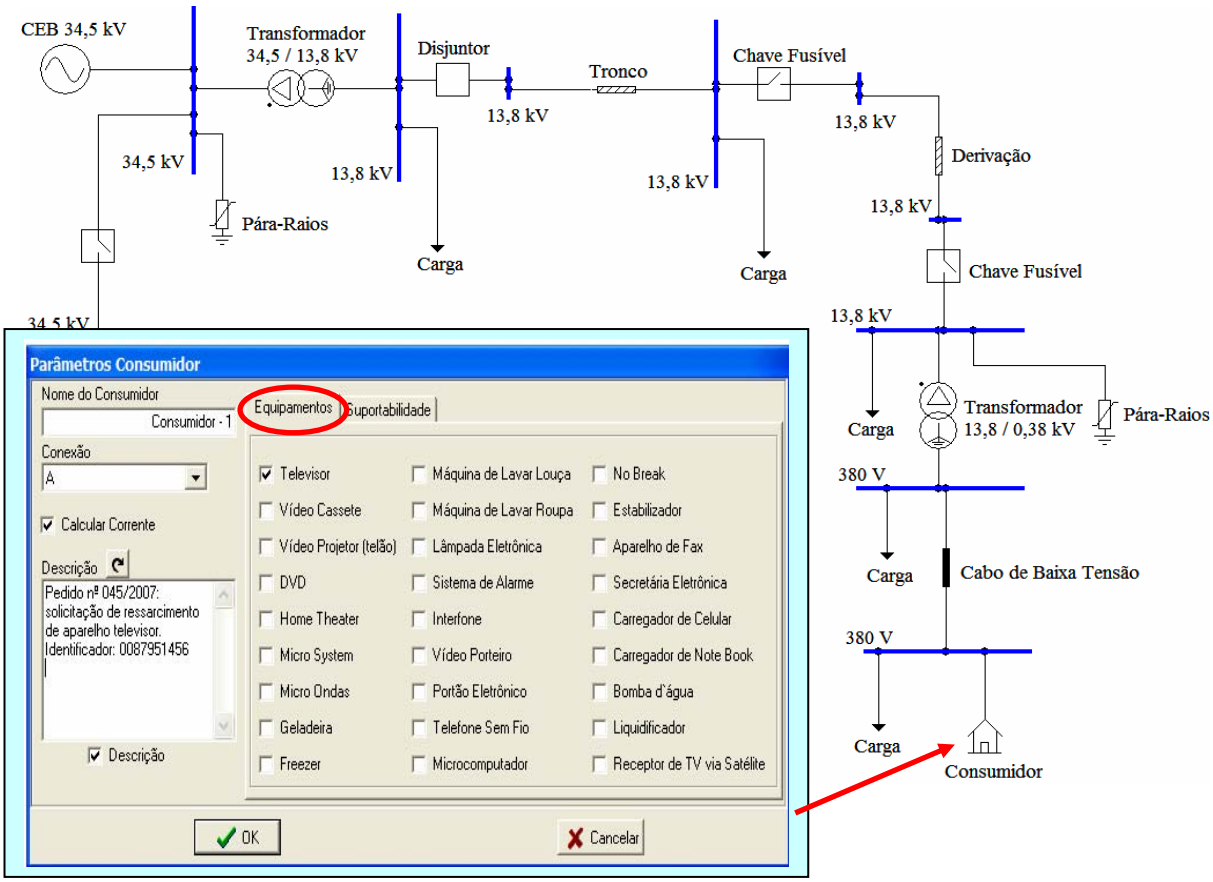


Figura 4.19 – Seleção dos equipamentos do consumidor sob a análise de ressarcimento.

d) Caracterização do limites de suportabilidade dielétrica e térmica do equipamento objeto do pedido de ressarcimento

O recurso no APR para configurar os limites de suportabilidade, quer seja dielétrico ou térmico, é exemplificado para o caso do aparelho de TV, através da Figura 4.20, obtida via um clique sobre a janela de configuração do aparelho televisor.

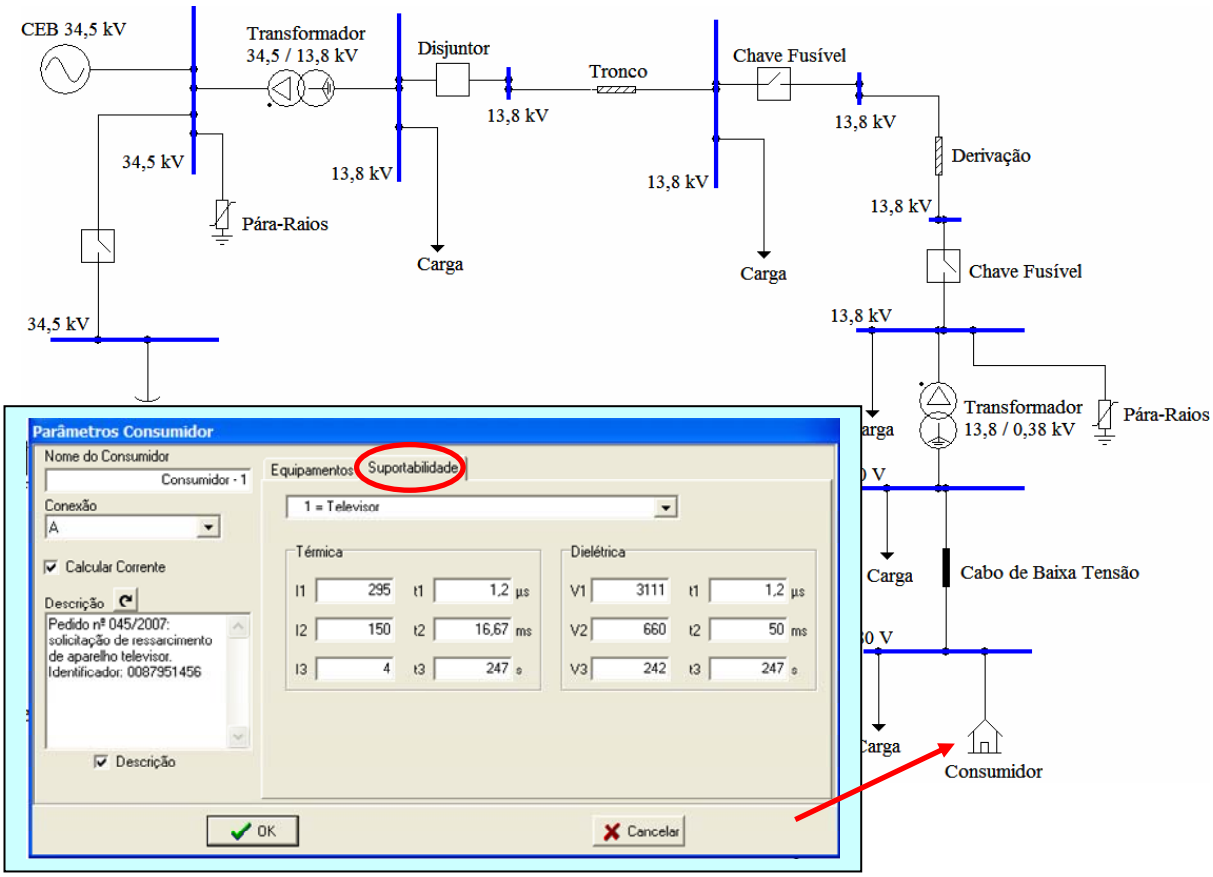


Figura 4.20 – Definição da curva de suportabilidade do equipamento analisado.

Conforme já mencionado, tais curvas podem ser disponibilizadas pelos fabricantes dos produtos ou serem obtidas através de ensaios de desempenho dos equipamentos. Para fins ilustrativos, são utilizadas as mesmas curvas de suportabilidade empregadas no capítulo III para a validação da metodologia, ou seja, os limites de suportabilidade disponibilizados pelas referências [4], [19] e [22].

e) Impactos sobre os equipamentos e parecer conclusivo

Esta compreende a última etapa no processo de avaliação da consistência do pedido de ressarcimento. Após a execução da simulação computacional no

ATP, o APR importa e faz o tratamento dos resultados disponibilizando 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 similar ao comentário acima, na entrada do equipamento sob análise;
- Curvas de suportabilidade dielétrica e térmica para o produto sob investigação;
- Curvas de solicitação dielétrica e térmica, obtidas a partir da tensão e corrente na entrada do dispositivo eletroeletrônico focado no pedido de ressarcimento.

Dentro deste contexto, as Figuras 4.21 e 4.22 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do televisor submetido ao distúrbio em questão.

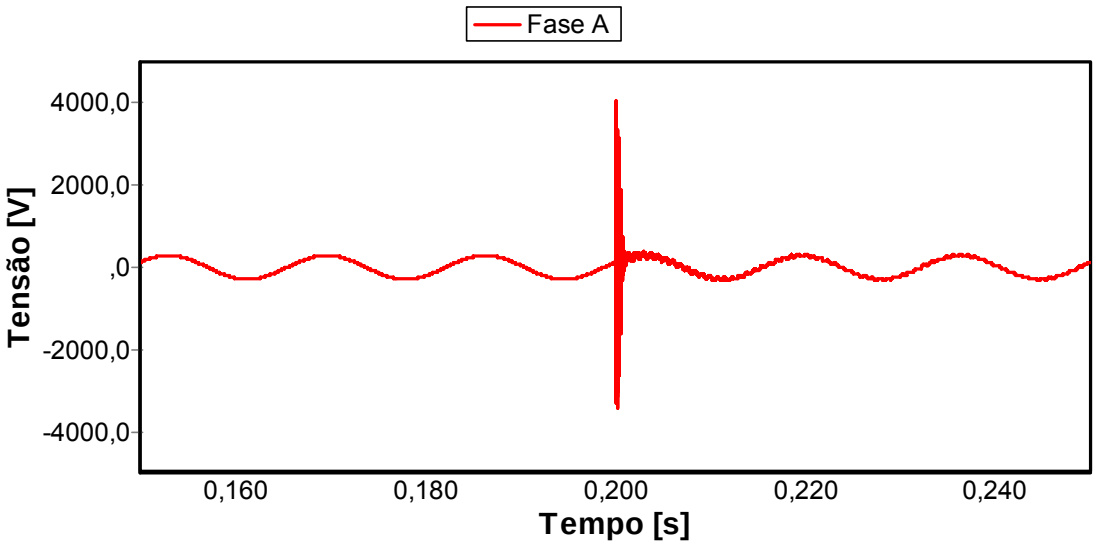


Figura 4.21 – Tensão na entrada do televisor - descarga atmosférica

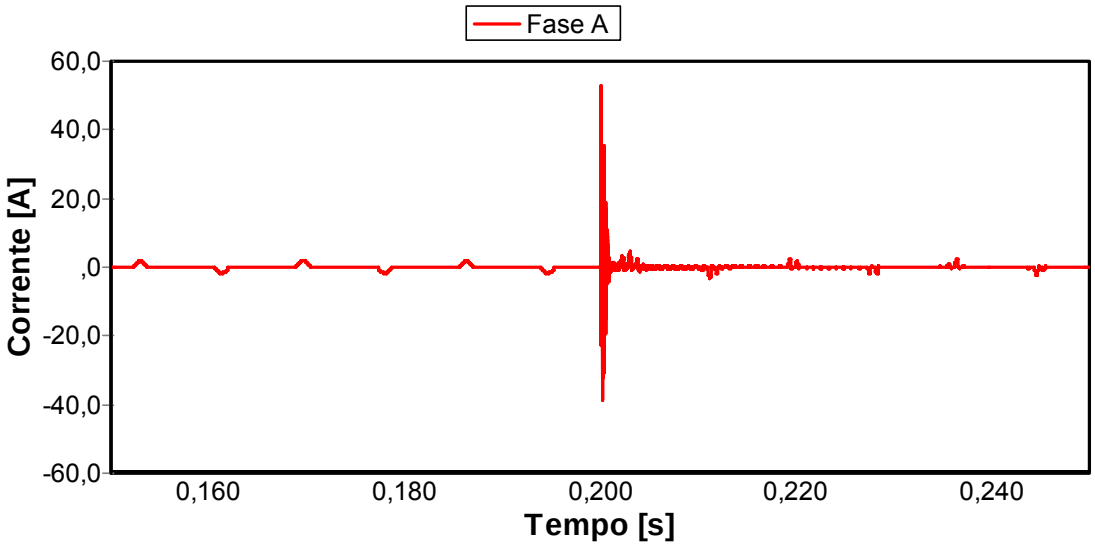


Figura 4.22 – Corrente na entrada do televisor - descarga atmosférica

Objetivando associar os resultados que expressam as solicitações impostas pelo distúrbio com as curvas de suportabilidade já apresentadas para o aparelho televisor, o APR conduz aos resultados finais indicados nas Figuras 4.23 e 4.24.

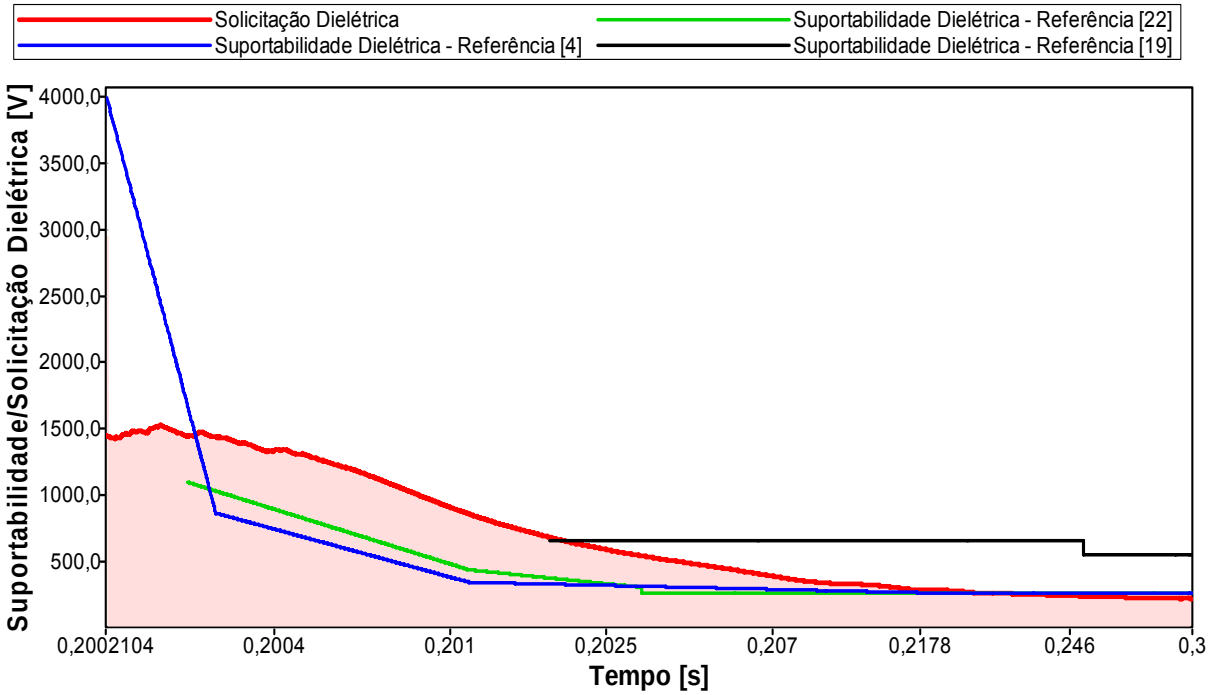


Figura 4.23 – Solicitações dielétricas versus suportabilidade do equipamento - descarga atmosférica.

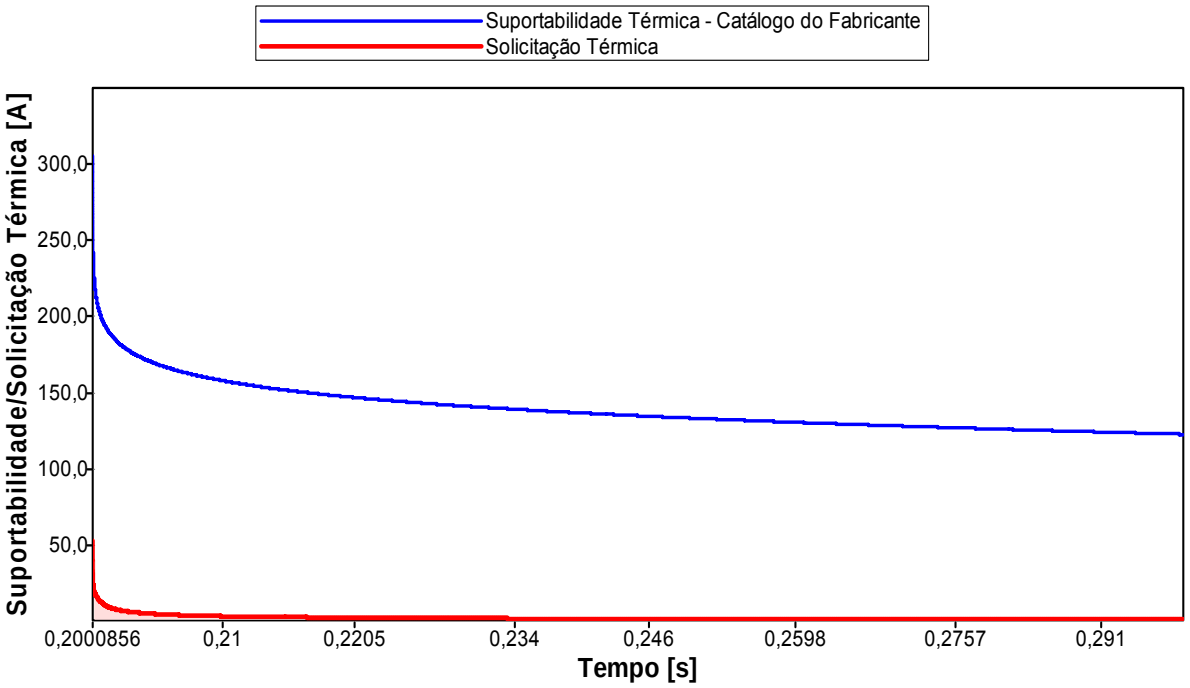


Figura 4.24 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento - descarga atmosférica.

Os resultados mostrados nas Figuras 4.23 e 4.24, evidenciando, respectivamente, uma síntese das avaliações de caráter dielétrico e térmico, permitem, via inspeção visual, constatar que:

- Para os primeiros instantes ocorreu uma violação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento. Portanto, quanto às questões dielétricas pode-se verificar que: ***há possibilidade de danos físicos na forma de rompimento da isolação do equipamento;***
- Quanto às questões térmicas, em nenhum momento ocorre uma violação dos limites tolerados pelo equipamento. Portanto, a respeito das questões atreladas às elevações de correntes e respectivos impactos térmicos pode-se verificar que: ***não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.***

4.3.2 – Curto-circuito

Nesta seção é realizado um estudo hipotético de um pedido de ressarcimento associado aos danos ocorridos em um aparelho de TV, os quais seriam atribuídos a um curto-circuito monofásico ocorrido no lado de baixa tensão do transformador de distribuição. O fenômeno sob análise ocorre num determinado instante, tem por duração 200 ms e, na seqüência, o sistema retoma a operação normal.

a) Configuração da rede de distribuição

Tendo em vista que a topologia de rede elétrica utilizada é a mesma, os detalhes podem ser observados no estudo anterior.

b) Caracterização e parametrização do distúrbio

O curto-circuito monofásico é aplicado na fase A do barramento de baixa tensão do transformador de distribuição. De forma similar ao evento aplicado anteriormente, a seleção e caracterização do fenômeno em pauta é feita através da inserção do componente “Distúrbio”. A Figura 4.25 ilustra o procedimento realizado.

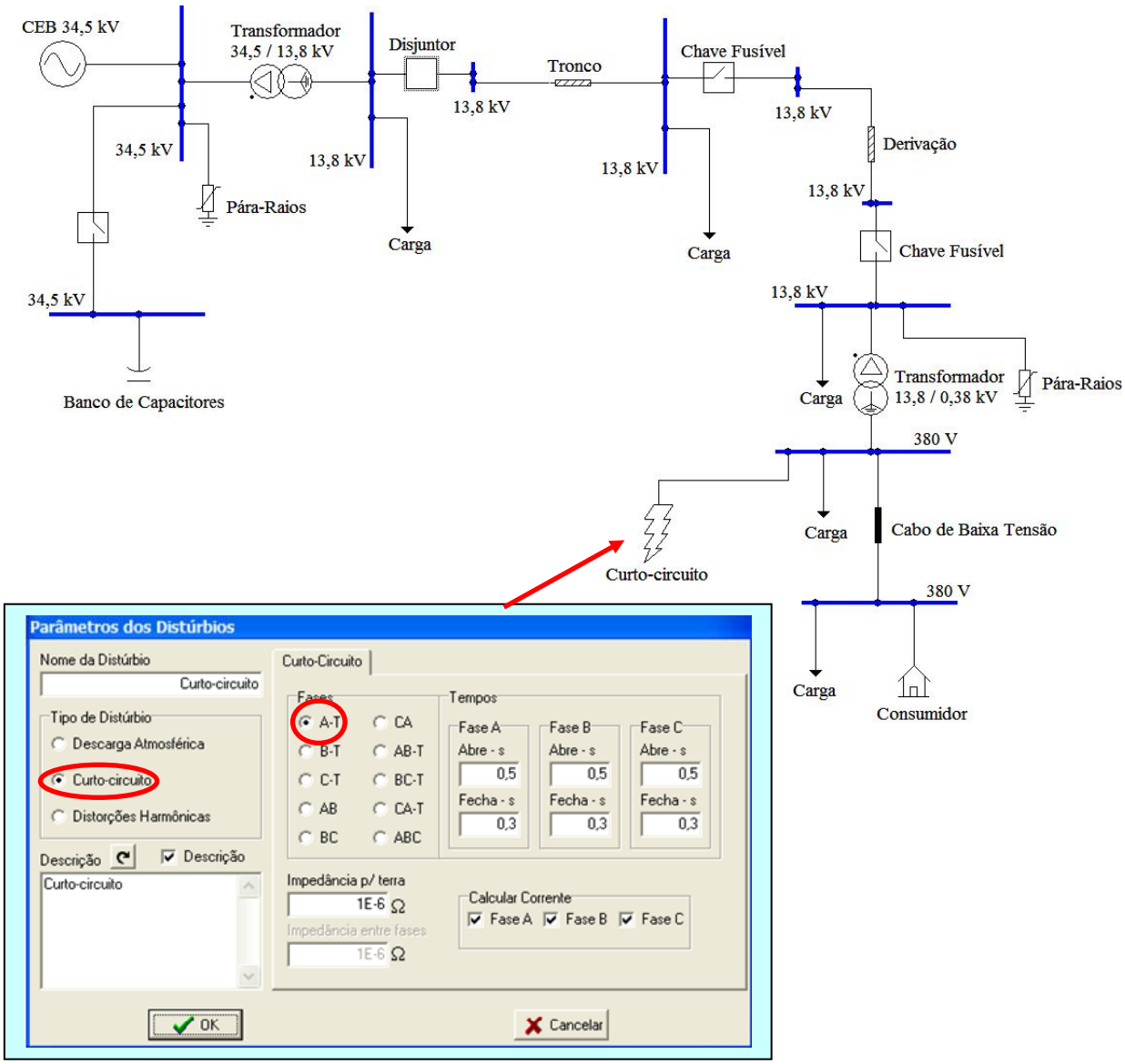


Figura 4.25 – Configuração do curto-circuito monofásico.

Em decorrência do fenômeno aplicado têm-se as formas de onda das tensões resultantes indicadas na Figura 4.26. Esta corresponde ao ponto de conexão do televisor. Vale destacar que o curto-circuito ocorreu na fase A, enquanto que o produto investigado encontra-se suprido via fase C.

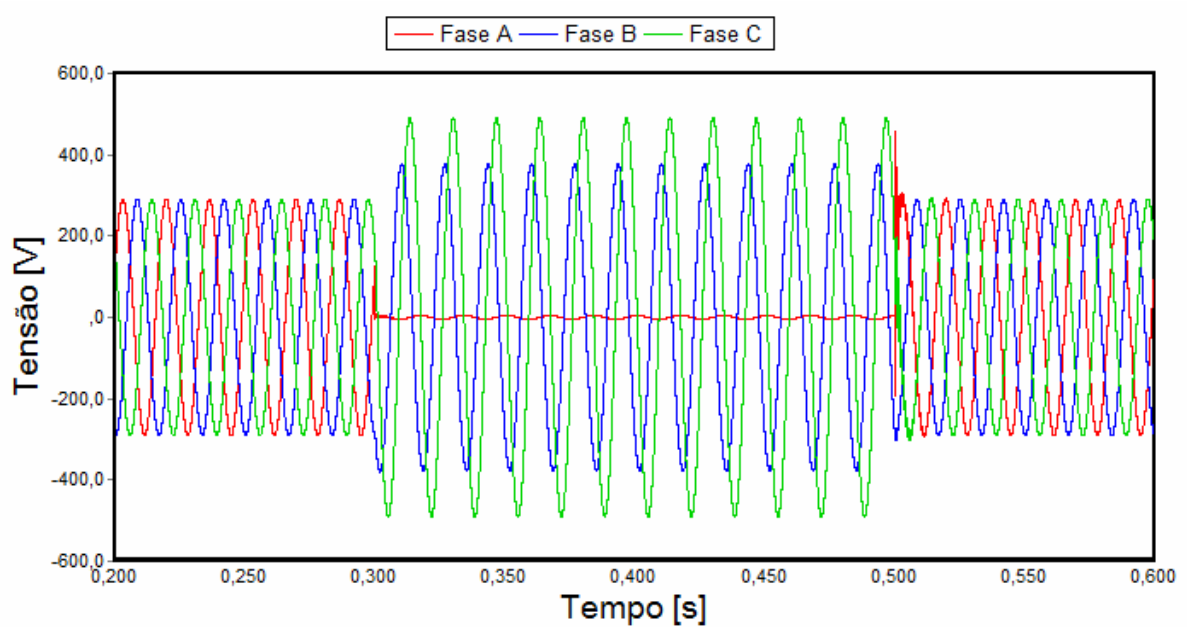


Figura 4.26 – Tensão no barramento de baixa tensão - curto-circuito monofásico.

c) Impactos sobre os equipamentos e parecer conclusivo

As Figuras 4.27 e 4.28 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente observadas na fase C, ou seja, no ponto de conexão do televisor.

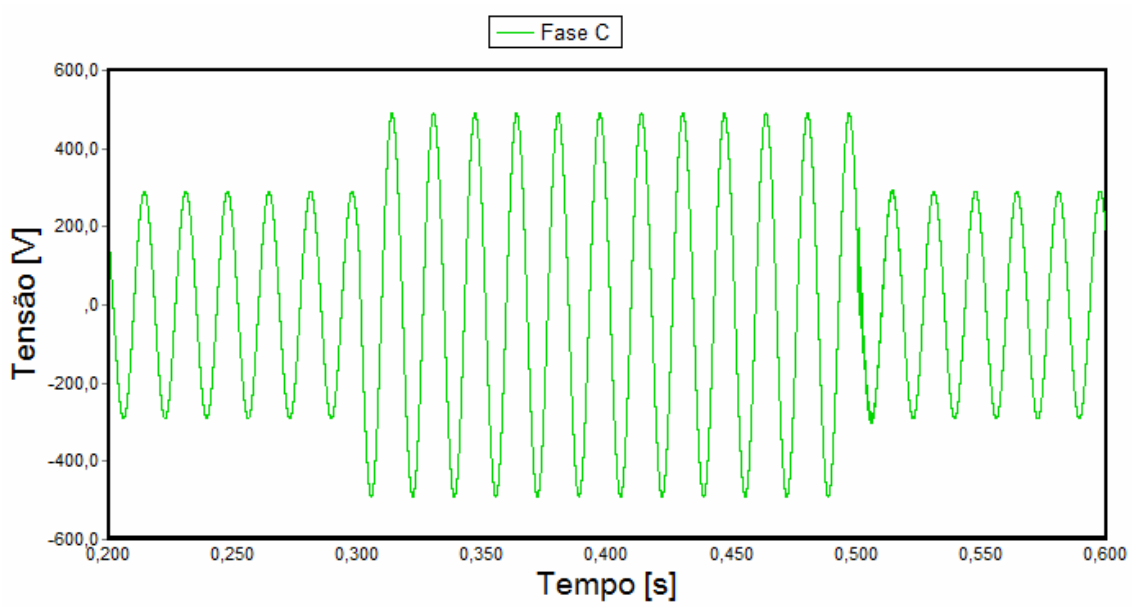


Figura 4.27 – Tensão na entrada do televisor - curto-circuito monofásico.

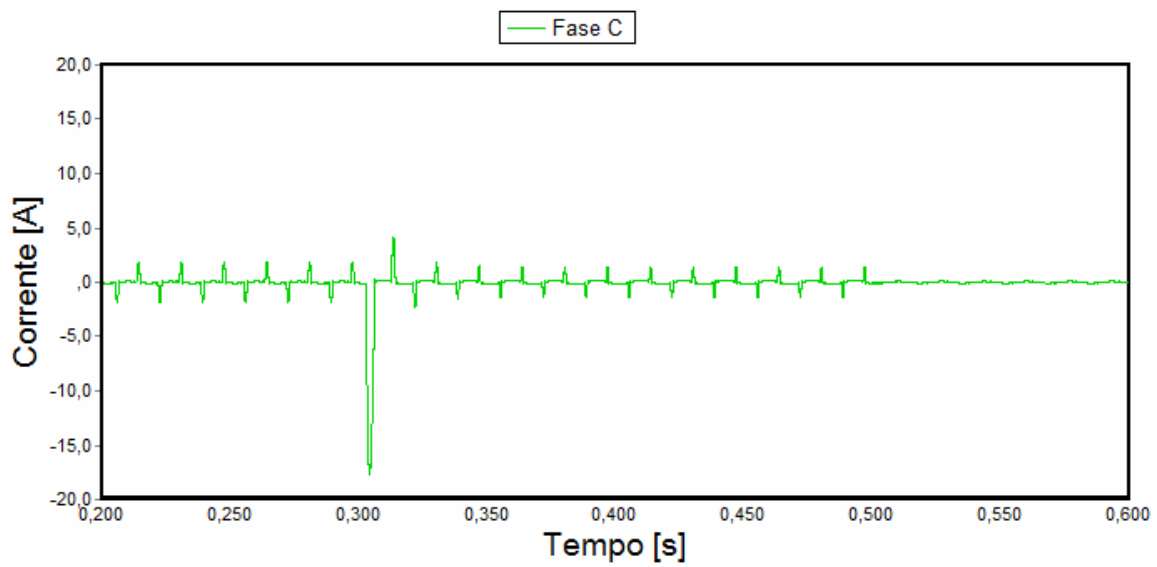


Figura 4.28 – Corrente na entrada do televisor - curto-circuito monofásico

As Figuras 4.29 e 4.30 mostram as curvas comparativas que correlacionam os impactos do fenômeno sob investigação e os padrões de suportabilidade do aparelho.

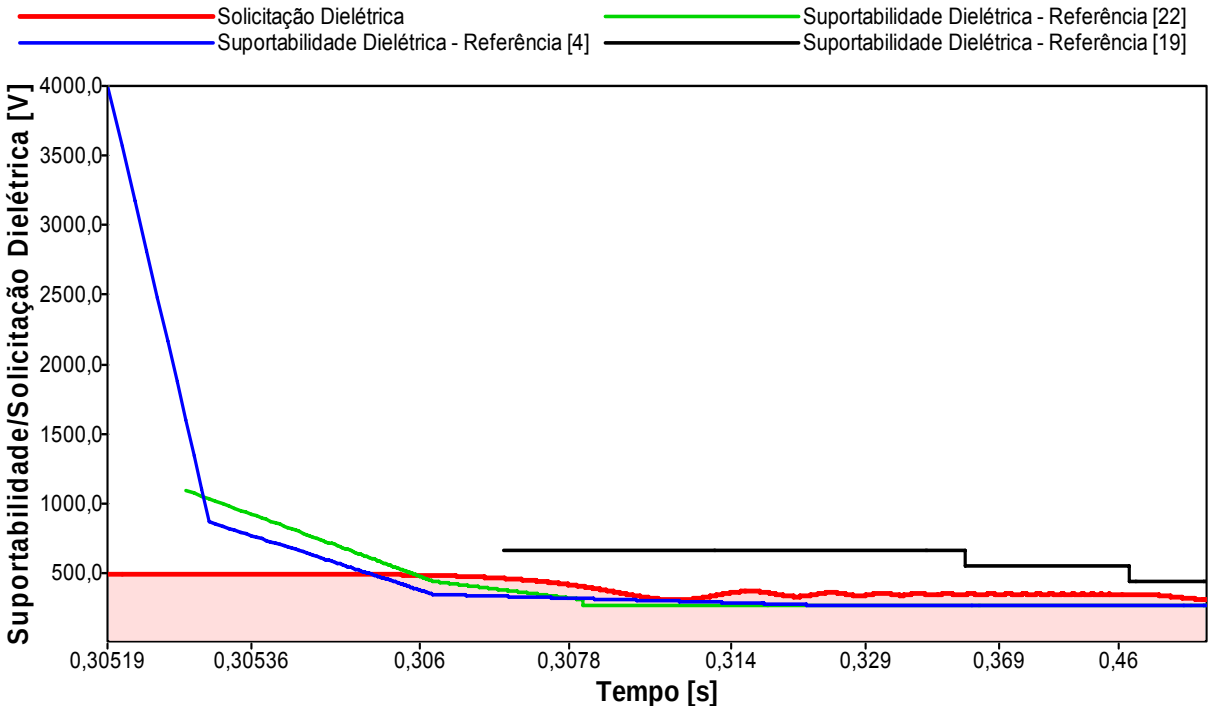


Figura 4.29 – Solicitações dielétricas versus suportabilidade do equipamento - curto-circuito monofásico.

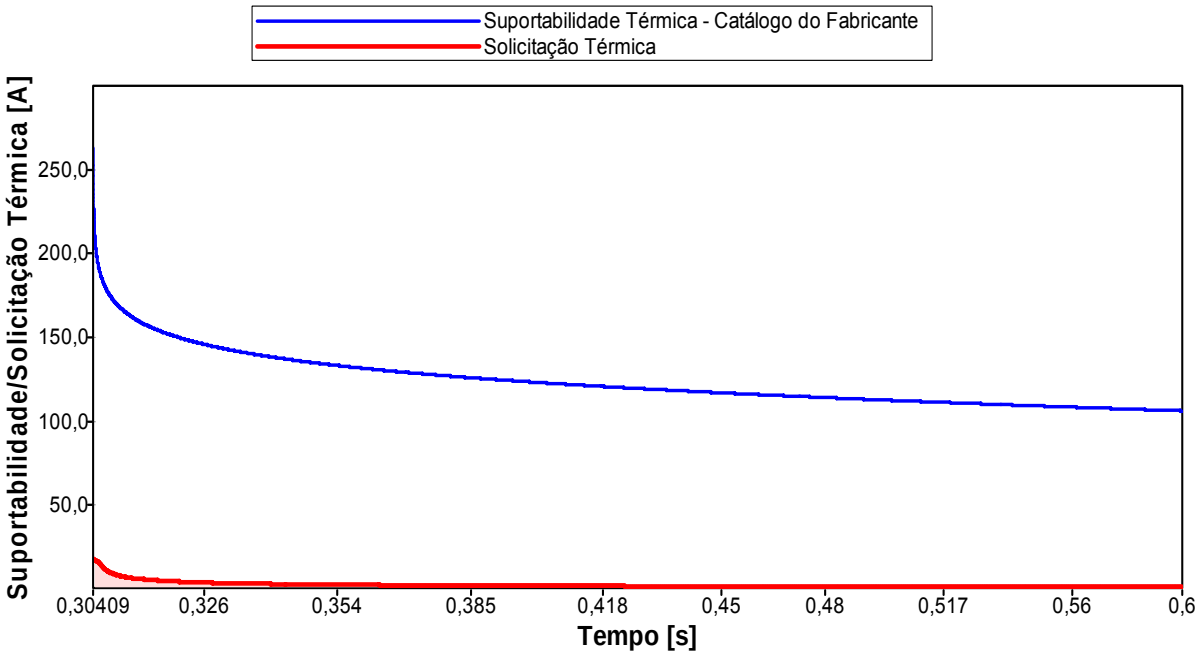


Figura 4.30 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento - curto-circuito monofásico.

Os resultados evidenciam que:

- Ocorre uma violação dos níveis de suportabilidade sugeridos pelas referências [4] e [22]. Portanto, no que tange às questões dielétricas pode-se verificar que, dependendo da referência adotada para as curvas de suportabilidade, ***existe a possibilidade de danos físicos na forma de rompimento da isolação do equipamento***;
- Em nenhum momento ocorre uma violação dos limites térmicos tolerados pelo equipamento. Portanto, quanto às elevações de correntes e respectivos impactos térmicos pode-se verificar que ***não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.***

4.3.3 – Energização de banco de capacitores

Desta feita é realizado um estudo hipotético de um pedido de ressarcimento relacionado com danos ocorridos em um televisor, os quais estariam, pelo nexo de causalidade, atrelados à energização do banco capacitores no barramento de 34,5kV.

a) Caracterização e parametrização do distúrbio

A Figura 4.31 ilustra a configuração dos parâmetros de chaveamento, de acordo com o aplicativo APR. A seleção do distúrbio em pauta é feita através de um duplo clique no ícone "Disjuntor" e, sequencialmente, o preenchimento das informações que definem o instante de fechamento do mesmo.

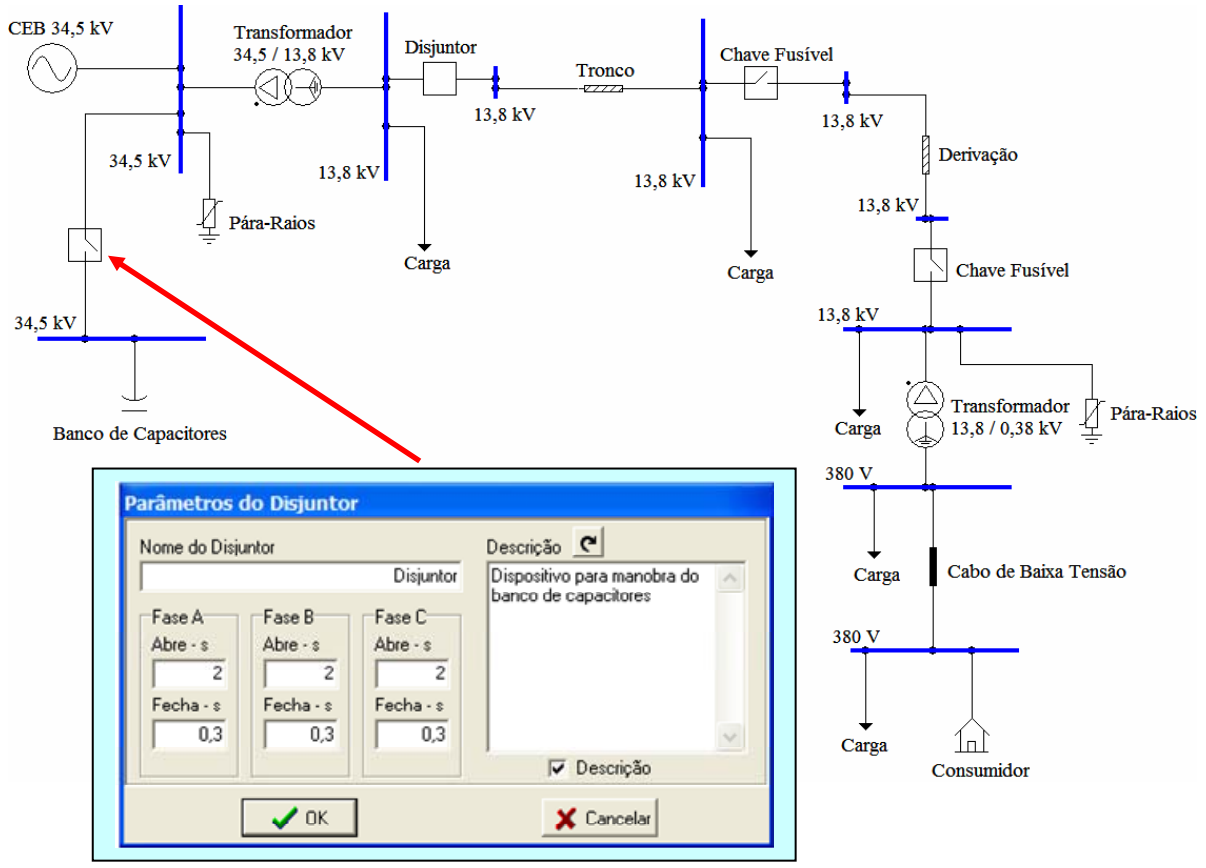


Figura 4.31 – Configuração do banco de capacitores.

A Figura 4.32 ilustra as tensões no barramento do alimentador principal evidenciando o momento da energização do banco de capacitores em 0,3 segundos.

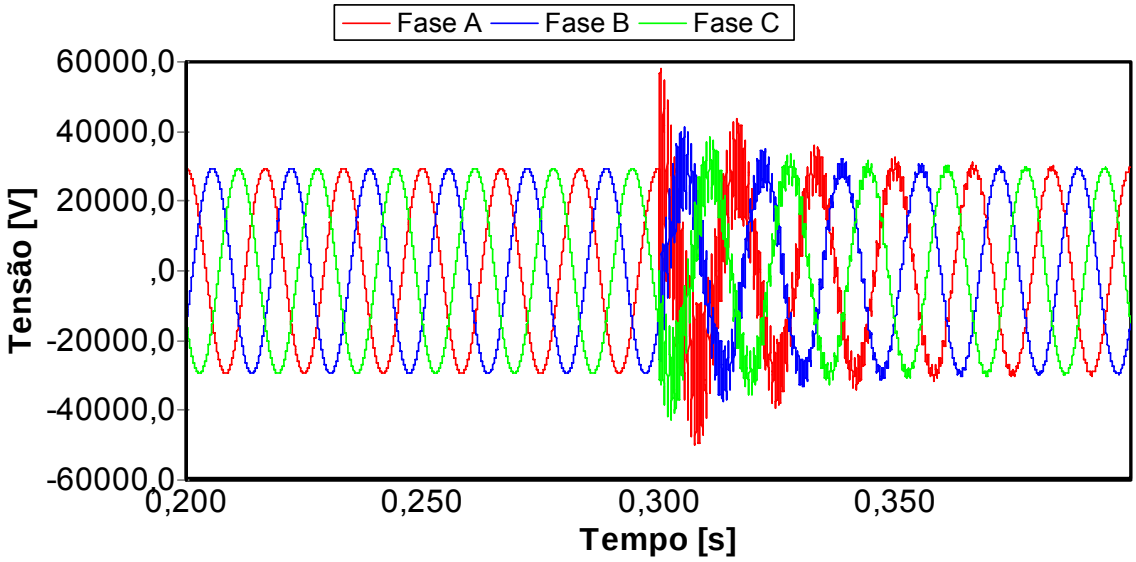


Figura 4.32 – Tensão na barra de 34,5 kV - energização do banco de capacitores.

b) Impactos sobre os equipamentos e parecer conclusivo

A Figura 4.33 é indicativa das formas de onda da tensão no ponto de conexão com o consumidor. Considerando que o mesmo esteja conectado através da fase B (mais crítica), a Figura 4.34 ilustra a forma de onda da corrente na entrada do aparelho.

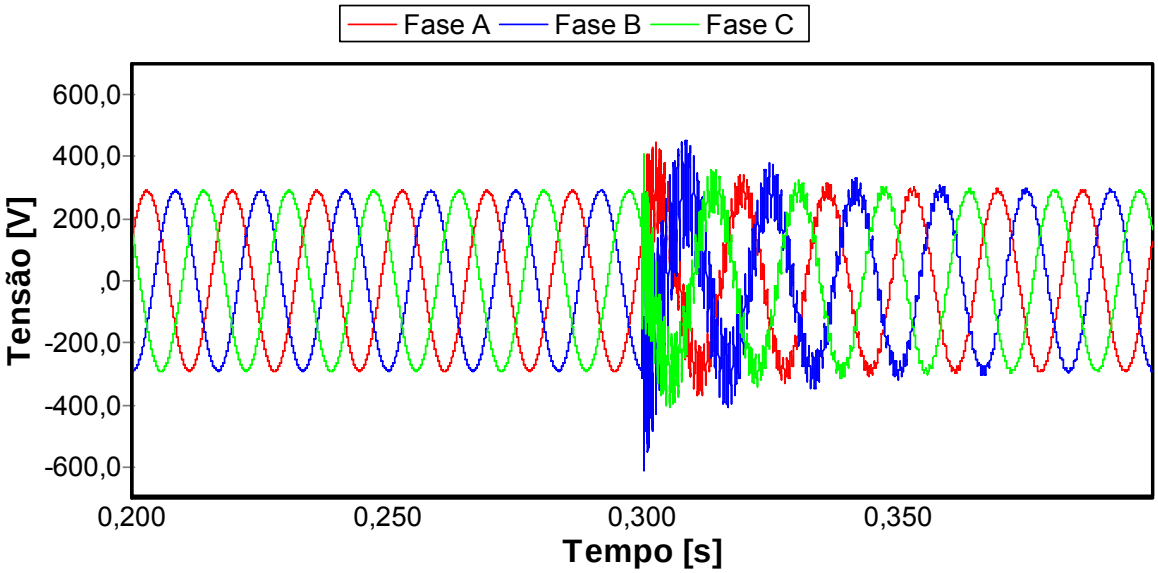


Figura 4.33 – Tensão na entrada do televisor - energização do banco de capacitores.

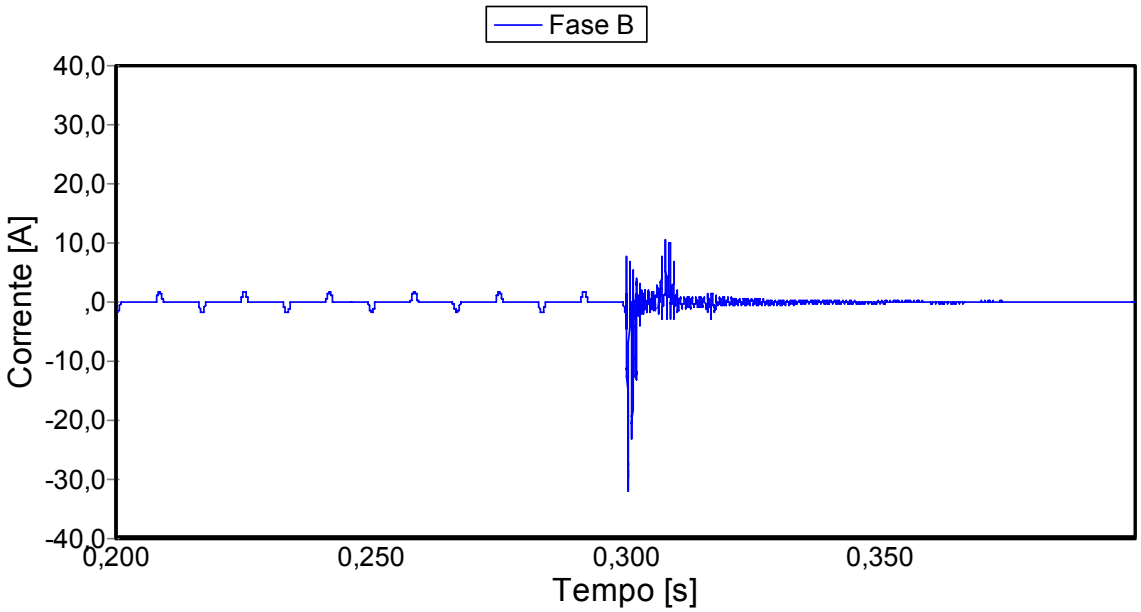


Figura 4.34 – Corrente na entrada do televisor - energização do banco de capacitores.

As Figuras 4.35 e 4.36 estabelecem os termos comparativos entre as solicitações impostas pelo distúrbio e os padrões de suportabilidade do equipamento sob investigação.

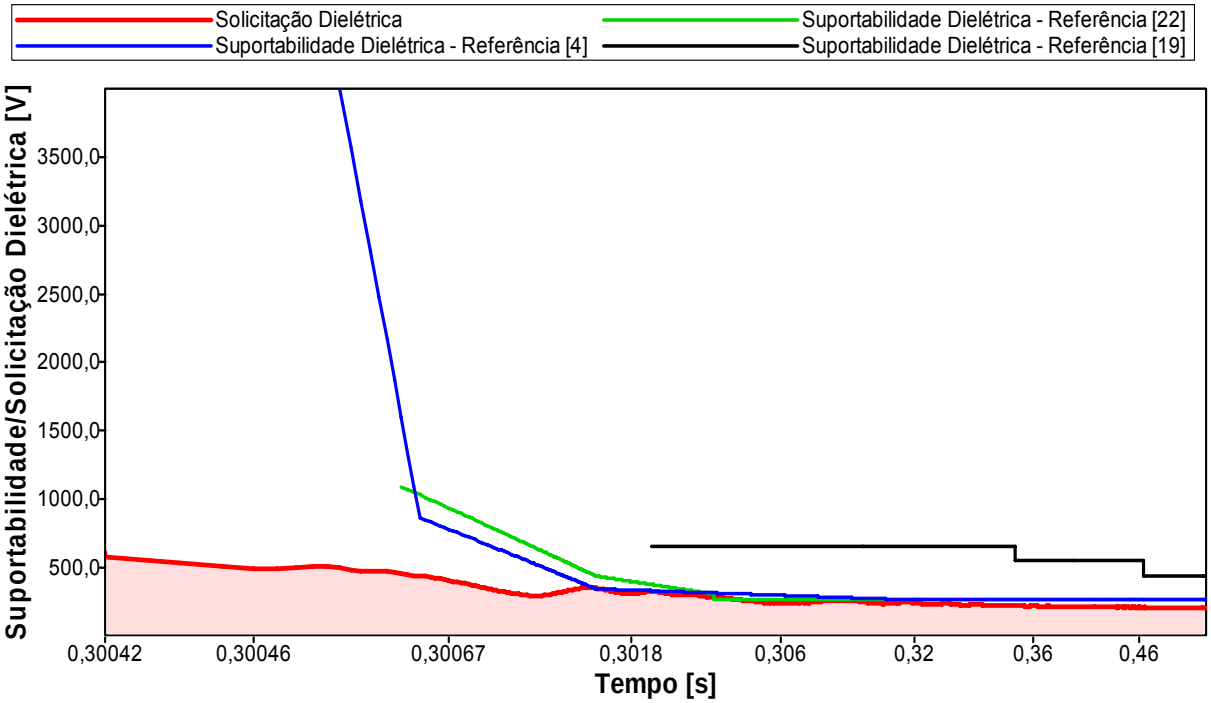


Figura 4.35 – Solicitações dielétricas versus suportabilidade do equipamento - energização do banco de capacitores.

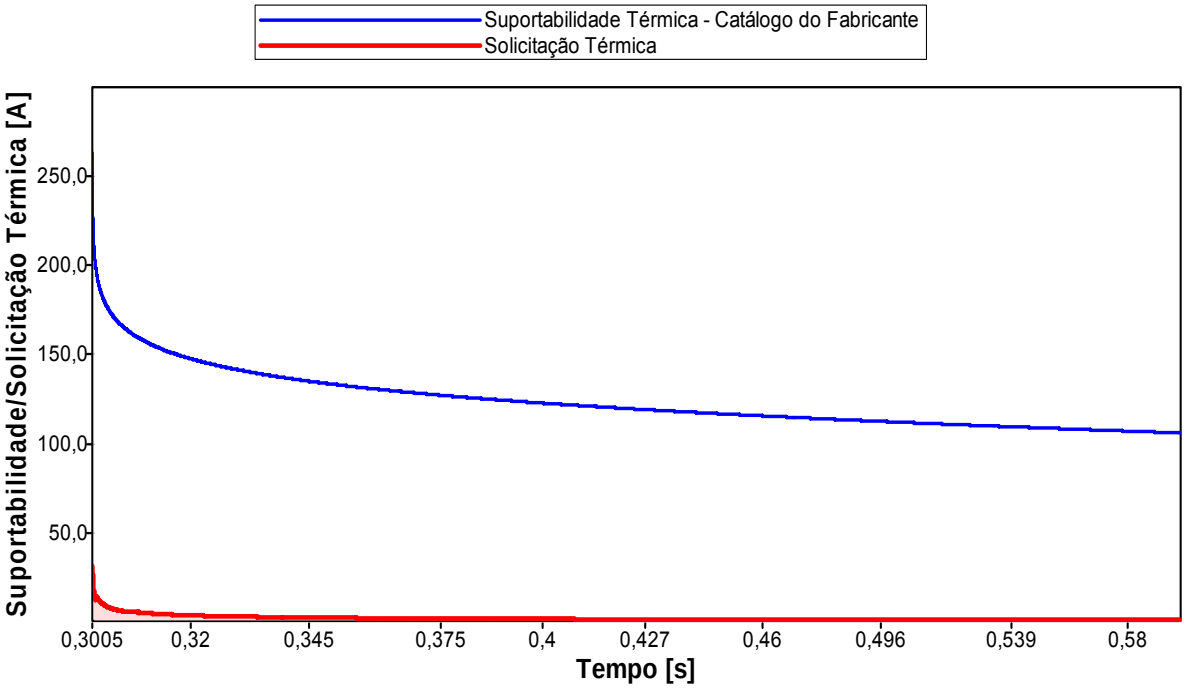


Figura 4.36 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento - energização do bando de capacitores.

De acordo com as últimas figuras:

- A solicitação dielétrica se apresenta tangenciando os limites de suportabilidade de tensão admissíveis pelo equipamento. Portanto, no que se refere às questões dielétricas pode-se verificar que: ***há uma possibilidade marginal de danos físicos na forma de rompimento da isolação do equipamento;***
- Quanto às questões térmicas, em nenhum momento ocorre uma violação dos limites tolerados pelo equipamento. Portanto, sobre as questões relativas às elevações de correntes e respectivos impactos térmicos, pode-se verificar que: ***não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.***

4.4 – Considerações finais

O presente capítulo, voltado para a elaboração de um aplicativo computacional para facilitar e sistematizar a metodologia desenvolvida nesta pesquisa para subsidiar a análise técnica dos pedidos de ressarcimento objetivou:

- Apresentar os desenvolvimentos para a obtenção de um *software* específico para a análise de consistência dos pedidos de indenização, o APR;
- Mostrar, passo a passo, o processo de utilização do APR desde a configuração do sistema e seus parâmetros até a análise dos resultados;
- Demonstrar a potencialidade do APR através de estudos de casos hipotéticos envolvendo situações adversas de operação em um sistema elétrico.

CAPÍTULO V

Avaliação da consistência da metodologia através de casos reais

5.1 – Considerações iniciais

Após a proposição de uma metodologia para a análise de pedidos de ressarcimento e a sua implementação computacional no aplicativo APR, desenvolvido exclusivamente para este fim, faz-se necessária a avaliação desta ferramenta para estudos envolvendo situações reais de pedidos de indenização causados por danos elétricos. Tal avaliação concorre a ratificar a consistência da metodologia proposta, assim como confirmar a sua aplicabilidade, funcionalidade e a praticidade de utilização.

Para tanto, algumas concessionárias de energia elétrica foram consultadas a fim se explorar as informações das mais freqüentes ocorrências geradoras de pedidos de ressarcimento, assim como as características dos alimentadores associados. Tais dados são de difícil acesso devido à complexidade da topologia das redes de distribuição de energia elétrica, além da exigência de sigilo por parte da concessionária de forma a evitar transtornos causados por eventuais resultados e pareceres que sejam divergentes daqueles por ela julgados.

Portanto, os casos reais aqui analisados respeitam o anonimato tanto do cliente quanto da empresa fornecedora.

A título de ilustração, dois casos reais de pedidos de ressarcimento vivenciados por concessionárias de energia elétrica são apresentados e discutidos ao longo deste capítulo. O primeiro refere-se a danos ocorridos concomitantemente em um aparelho de DVD e um televisor. O segundo está associado à "queima" de um aparelho de TV em um alimentador com características e parâmetros diferentes do anterior.

Neste contexto, este capítulo tem por objetivo:

- Analisar casos reais compreendendo situações vivenciadas por empresas concessionárias;
- Constituir uma análise crítica dos resultados obtidos via APR em relação aos procedimentos atuais que regem a sentença dos pedidos de indenizações.

5.2 – Casos estudados

- ***Caso 1 - Pedido de ressarcimento por danos em um aparelho de DVD e um televisor devido a uma descarga atmosférica***

Este caso está associado a um pedido de ressarcimento suscitado pelos danos causados a um aparelho de DVD e a um televisor devido a uma descarga atmosférica. Tal fenômeno ocasionou atuação de um religador automático localizado na saída de um dos alimentadores da subestação que atende a região do cliente reclamante.

De acordo com o documento interno da concessionária a ocorrência foi registrada da seguinte forma:

"No dia 19-janeiro-2006, às 13h07min ocorreu o desligamento com religamento tripolar automático da barra do alimentador de nº 00 da Subestação em conseqüência de descarga atmosférica. A ocorrência e o serviço prestado estão registrados...".

À luz dos procedimentos internos o parecer final emitido sobre o pedido em pauta obteve o seguinte resultado:

"Pedido deferido. Total pago no valor de R$ 609,15 (seiscentos e nove reais e quinze centavos).

Justificativa: Uma descarga atmosférica pode gerar ondas de sobretensão que podem se propagar pela rede de distribuição e causar danos em equipamentos eletroeletrônicos, perfurando a isolação ou danificando a fonte de comutação AC/DC".

Objetivando a aplicação da metodologia proposta por esta tese para a análise do problema em foco, foram realizados os procedimentos sintetizados na seqüência:

a) Levantamento de dados do sistema elétrico de alimentação

Os parâmetros da rede de distribuição e do consumidor são apresentados na Tabela 5.1

Tabela 5.1 – Dados dos componentes do sistema elétrico do Caso 1.

Concessionária	
Tensão	138 kV
Potência de curto-circuito	187,6 MVA
Transformador de potência	
Potência	20 MVA
Relação de transformação	138/13,8kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Carregamento	50%
Condutores de média tensão	
Condutor 336,4 CA	6,7 Km
Condutor 4/0 CA	1,04 Km
Condutor 1/0 CA	0,217 Km
Condutores de baixa tensão	
Condutor 1/0 CA	0,143 Km
Transformador de distribuição	
Potência	112,5 kVA
Relação de transformação	13,8/0,22kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Carregamento	50%
Ocorrência	
Distúrbio	Descarga atmosférica
Consumidor	
Equipamento Danificado	Aparelho de DVD
Equipamento Danificado	Aparelho de TV

b) Diagrama unifilar do alimentador do consumidor reclamante

A Figura 5.1 mostra a representação unifilar do sistema supramencionado implementada no aplicativo APR. Ao final do diagrama constata-se a presença de um ícone representativo da residência do consumidor, onde se fazem presente os equipamentos contemplados na análise.

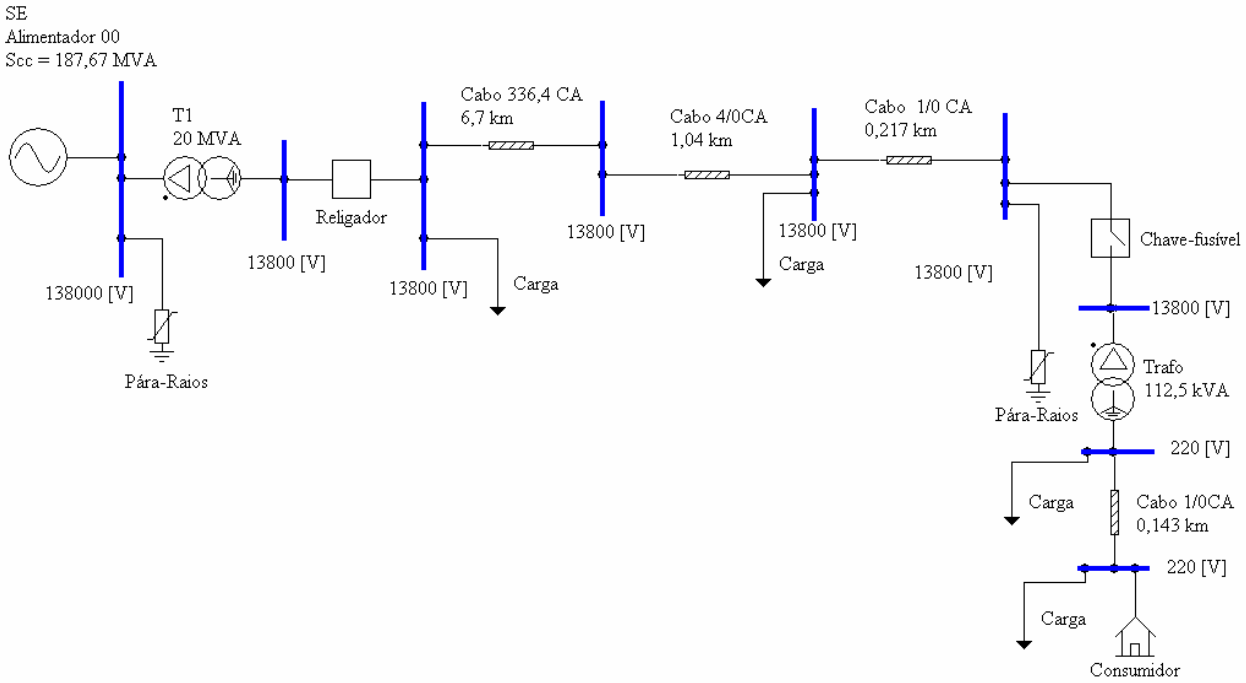


Figura 5.1 – Sistema elétrico simplificado referente ao Caso 1.

c) Configuração e parametrização do fenômeno

A Figura 5.2 ilustra a configuração dos parâmetros da descarga atmosférica aplicada ao sistema sob análise no aplicativo APR. A seleção do distúrbio em pauta é feita através de um duplo clique no ícone "Distúrbios" e, sequencialmente, o preenchimento das informações que definem a intensidade, o instante de aplicação do fenômeno e outras características próprias. Devido à ausência de maiores informações sobre o ponto de incidência da descarga e o seu valor, adotou-se que a ocorrência se manifestou na linha aérea de média

tensão (vide ponto de incidência na figura 5.2) e ainda, que o seu valor de crista foi de 20kA.

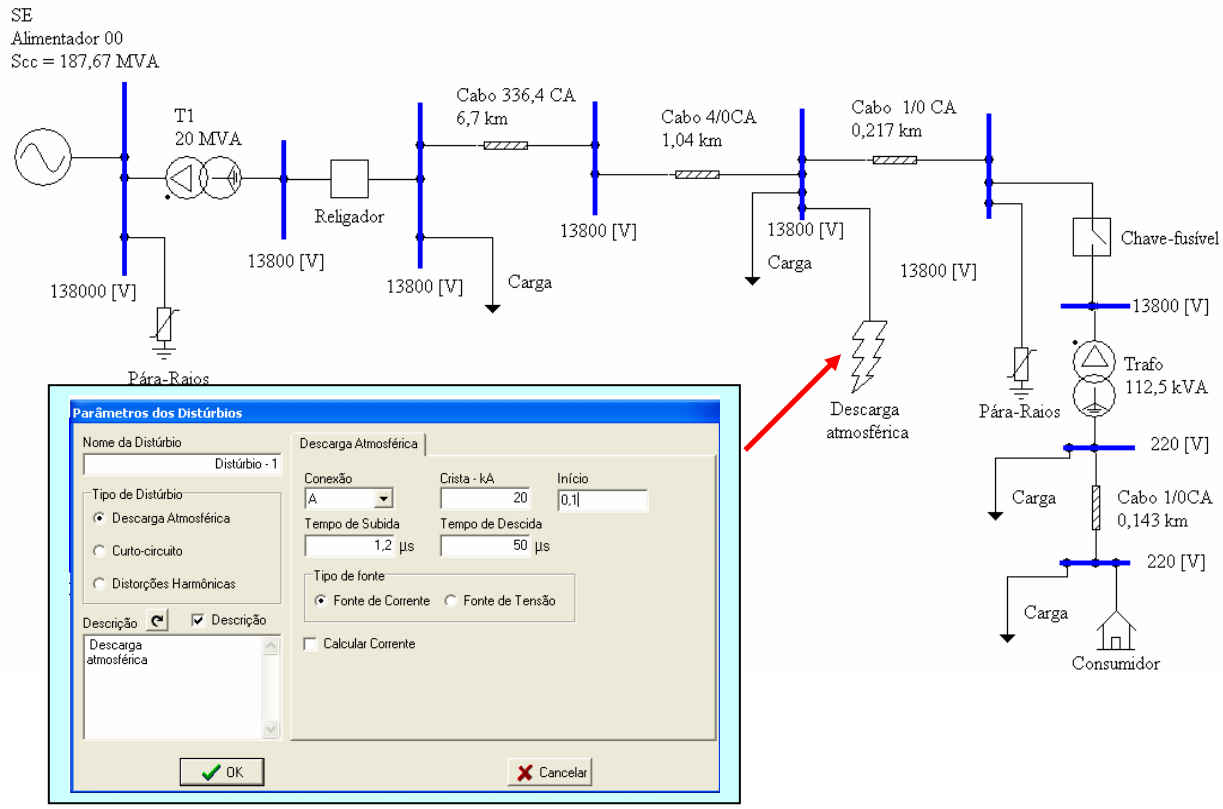


Figura 5.2 – Configuração da atuação do religador - Caso 1.

d) Resultados

Após a configuração, parametrização e simulação do sistema elétrico, em consonância com as características da ocorrência que originou o pedido de ressarcimento, os resultados obtidos pelo APR são mostrados na seqüência.

As Figuras 5.3 e 5.4 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do aparelho de DVD submetido ao distúrbio em questão.

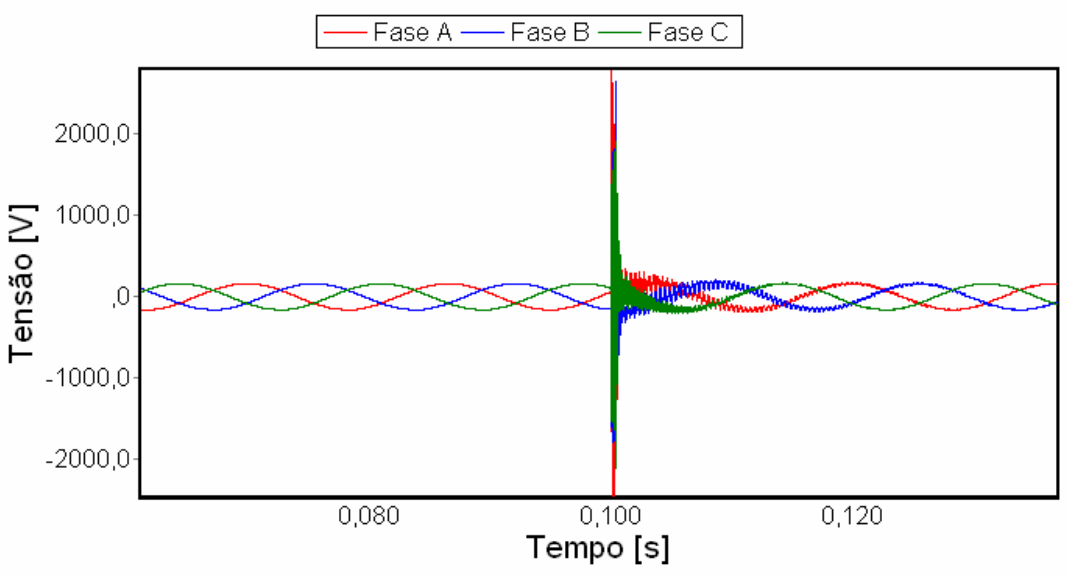


Figura 5.3 – Tensão na entrada do DVD sob uma descarga atmosférica - Caso 1.

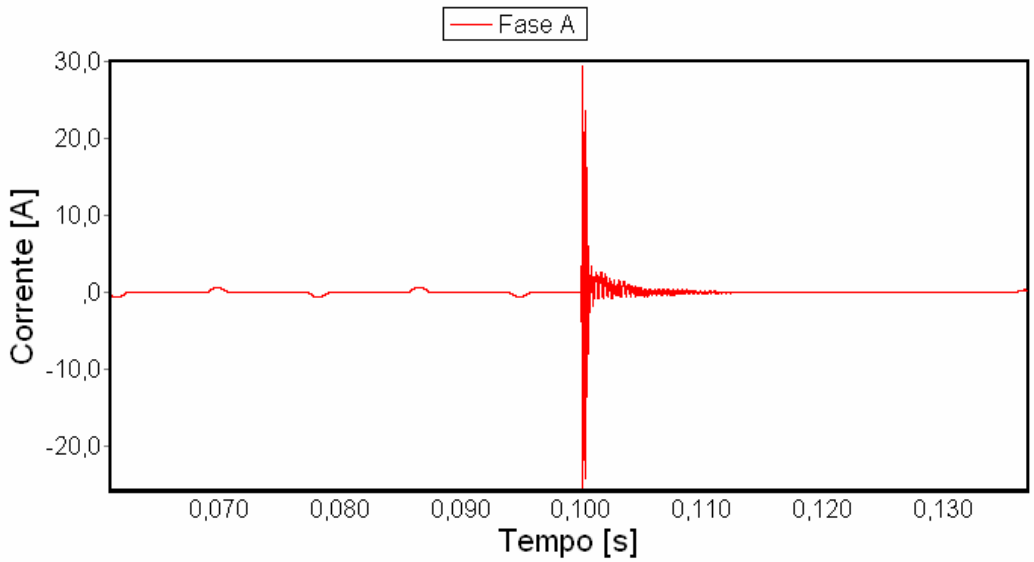


Figura 5.4 – Corrente de entrada do DVD sob uma descarga atmosférica - Caso 1.

A comparação das solicitações dielétricas e térmicas impostas pelo distúrbio ocorrido com as respectivas curvas de suportabilidade do aparelho de DVD é representada através das Figuras 5.5 e 5.6.

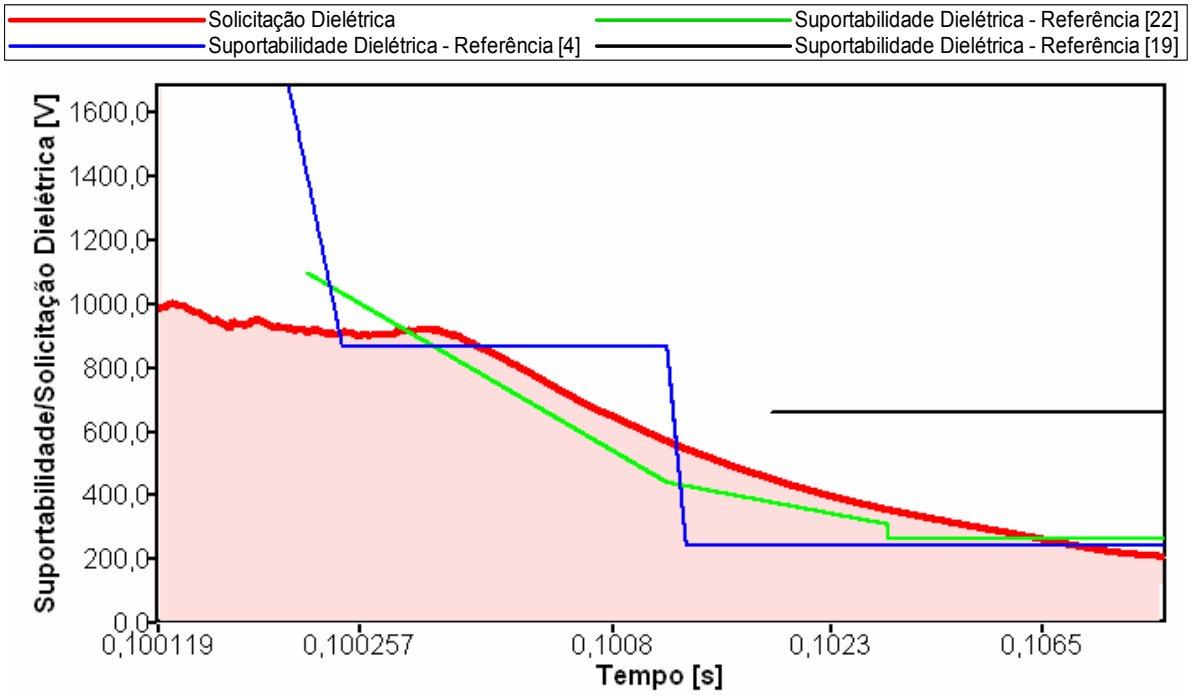


Figura 5.5 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob uma descarga atmosférica - Caso 1.

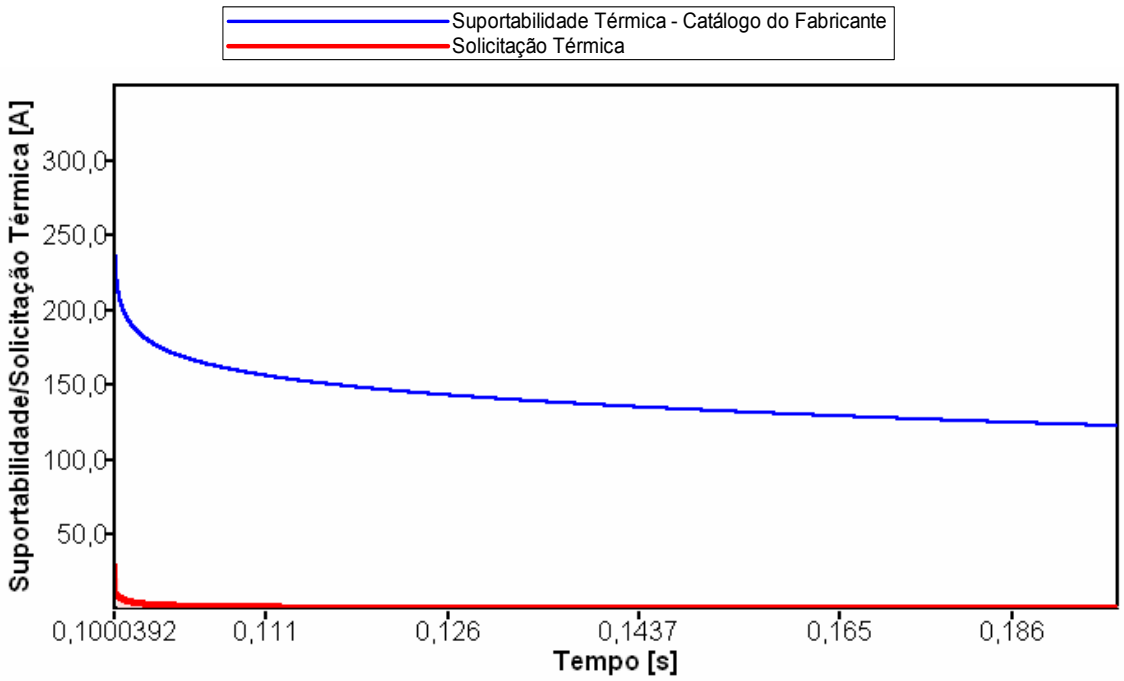


Figura 5.6 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob uma descarga atmosférica - Caso 1.

Os resultados mostrados nas Figuras 5.5 e 5.6 permitem constatar que:

- Ocorreu violação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento. Portanto, quanto às questões dielétricas pode-se verificar que: ***há possibilidade de danos físicos na forma de rompimento da isolação do aparelho de DVD;***
- Quanto às questões térmicas, em nenhum momento ocorre uma violação dos limites tolerados pelo equipamento. Portanto, a respeito das questões atreladas às elevações de correntes e respectivos impactos térmicos pode-se verificar que: ***não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.***
- Parecer final: ***Pedido procedente.***

Em se tratando da análise do dano ocorrido no aparelho de TV, as Figuras 5.7 e 5.8 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do televisor submetido ao distúrbio em questão.

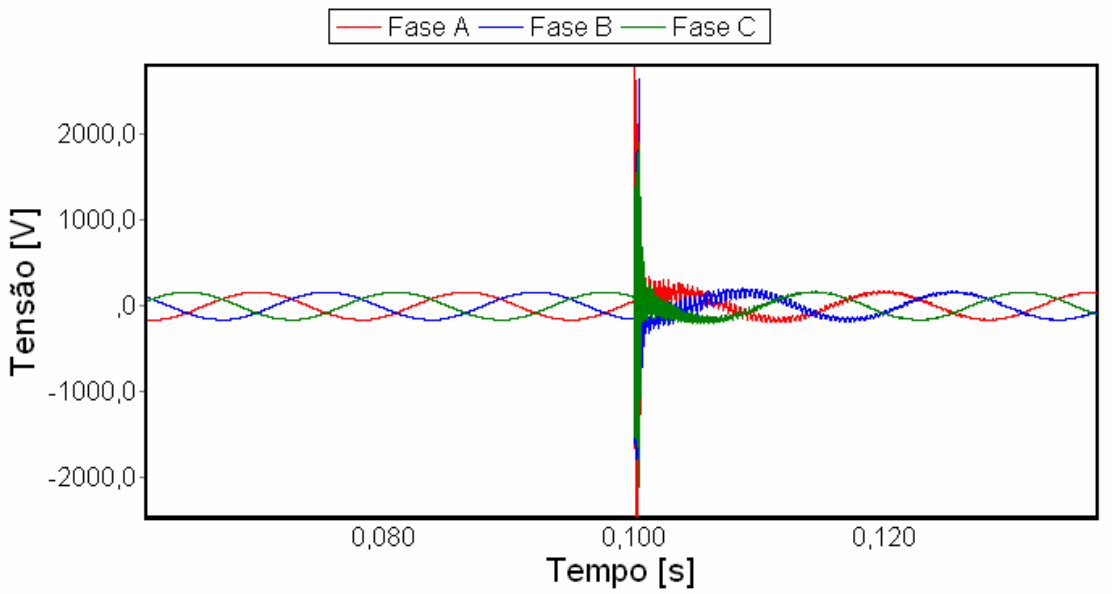


Figura 5.7 – Tensão na entrada do televisor sob uma descarga atmosférica - Caso 1.

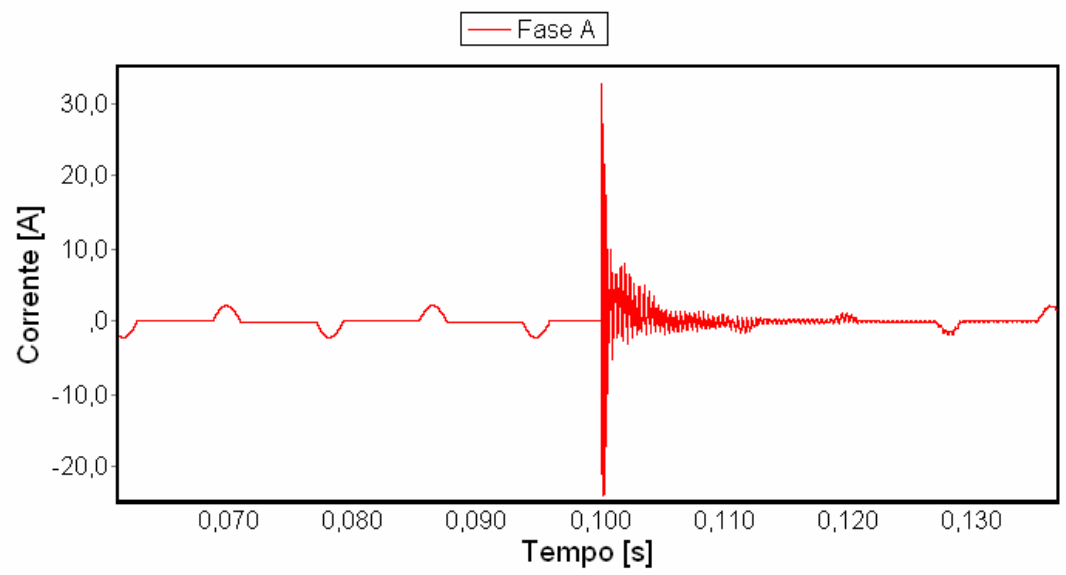


Figura 5.8 – Corrente de entrada do televisor sob uma descarga atmosférica - Caso 1.

Os resultados que expressam as solicitações impostas pelo distúrbio ocorrido comparados com as curvas de suportabilidade do aparelho televisor são indicados nas Figuras 5.9 e 5.10.

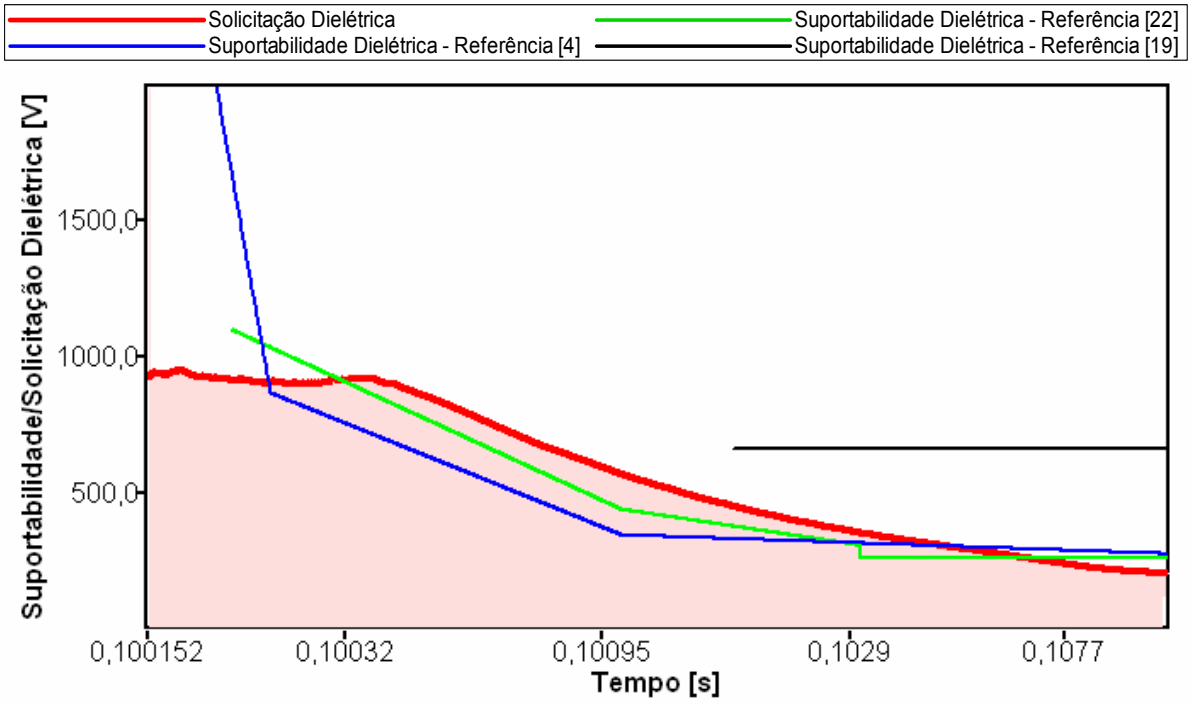


Figura 5.9 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob uma descarga atmosférica - Caso 1.

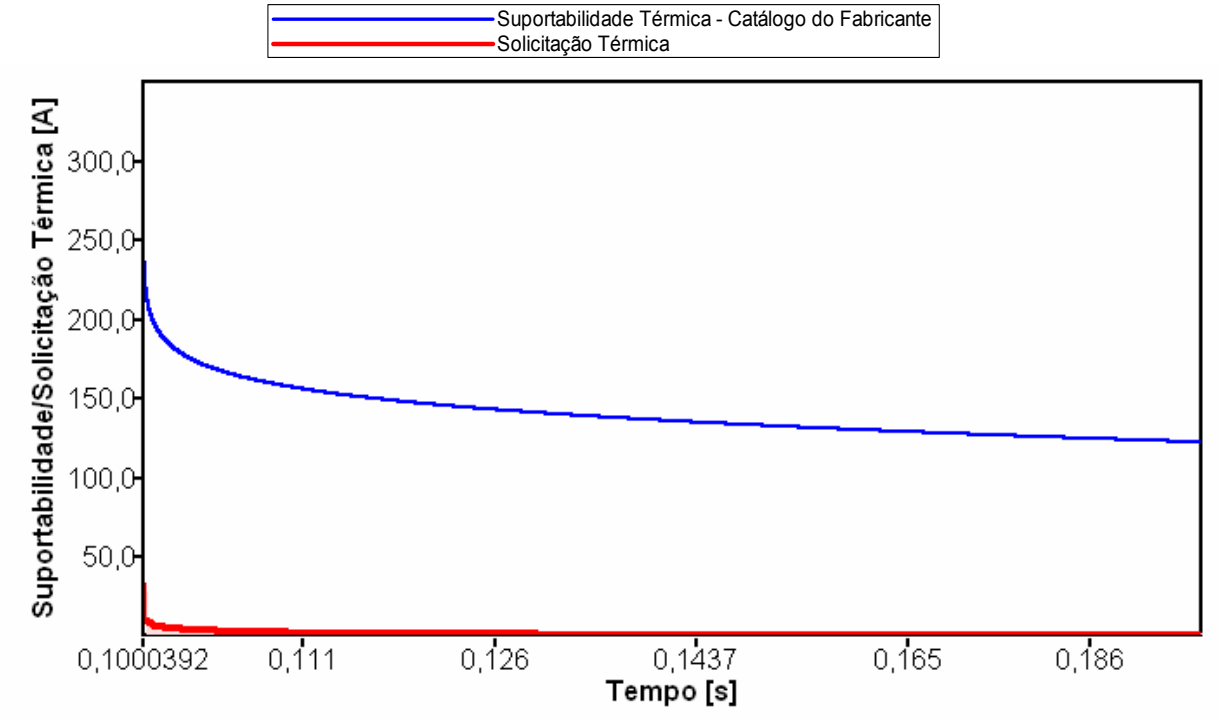


Figura 5.10 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob uma descarga atmosférica - Caso 1.

Os resultados mostrados nas Figuras 5.9 e 5.10 permitem constatar que:

- Ocorreu violação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento. Portanto, quanto às questões dielétricas pode-se verificar que: ***há possibilidade de danos físicos na forma de rompimento da isolação do televisor;***
- Quanto às questões térmicas, em nenhum momento ocorre uma violação dos limites tolerados pelo equipamento. Portanto, a respeito das questões atreladas às elevações de correntes e respectivos impactos térmicos pode-se verificar que: ***não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.***
- Parecer final: ***Pedido procedente.***

e) Análise de desempenho do APR

Os resultados obtidos pelo aplicativo APR se mostraram consistentes com o parecer emitido pela concessionária, indicando, pois que o fenômeno em pauta possui propriedades capazes de romper os limites dielétricos dos equipamentos focados na análise. Vale ainda observar que os estudos ficarão restritos às investigações dos fenômenos atrelados com a descarga atmosférica e não pela atuação do religador. De fato, avaliações complementares, não anexadas a esta tese, evidenciaram que as sobretensões e sobrecorrentes relacionadas com esta operação não teriam sido suficientes para o fato reclamado.

- ***Caso 2 - Pedido de ressarcimento por danos em um aparelho televisor devido à abertura monopolar do circuito de alimentação de um transformador de distribuição***

Esta segunda situação investigada diz respeito a um pedido de ressarcimento de um aparelho televisor devido à ação de abertura de uma chave fusível em uma das fases conectadas ao transformador de distribuição que alimenta o consumidor reclamante. De acordo com documento interno da concessionária a ocorrência foi registrada da seguinte forma:

"No dia 10-março-2007, às 15h00min, informado pelo cliente o dano em seu aparelho televisor. Neste período houve uma abertura monopolar via chave fusível do transformador de distribuição que atende o cliente. Inexistência de Nota de reclamação em nome de outros consumidores atendidos pelo mesmo transformador..."

À luz dos procedimentos internos o parecer final emitido sobre o pedido em pauta obteve o seguinte resultado:

"Pedido deferido. Total pago no valor de R$ 478,80 (quatrocentos e setenta e oito reais e oitenta centavos).

Justificativa: A manobra monopolar provoca uma interrupção em uma das fases da rede primária. Na rede secundária, uma das fases ficará normal e as outras duas fases ficarão flutuando, podendo variar de zero até duas vezes a tensão fase – neutro".

Assim como no estudo do caso anterior, os procedimentos para a reprodução do evento em pauta, seguindo a metodologia proposta por esta tese, são sintetizados na seqüência:

a) Levantamento de dados do sistema elétrico de alimentação

Os parâmetros da rede de distribuição e do consumidor são apresentados na Tabela 5.2

Tabela 5.2 – Dados dos componentes do sistema elétrico sob análise.

Concessionária	
Tensão	138 kV
Potência de curto-circuito	212,52 MVA
Transformador de potência	
Potência	20 MVA
Relação de transformação	138/13,8kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Carregamento	50%
Condutores de média tensão	
Condutor 4/0 CA	3,302 Km
Condutor 2 CA	0,327 Km
Condutores de baixa tensão	
Condutor 1/0 CA	0,035 Km

Transformador de distribuição	
Potência	45kVA
Relação de transformação	13,8/0,22kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Carregamento	50%
Banco de capacitores	
Potência	600 KVAr
Ocorrência	
Distúrbio	Interrupção monofásica
Consumidor	
Equipamento Danificado	Aparelho de TV

b) Diagrama unifilar do alimentador do consumidor reclamante

A Figura 5.11 mostra a representação unifilar do sistema supramencionado implementada no APR, o consumidor reclamante e a chave-fusível à qual foi atribuída a responsabilidade do fenômeno.

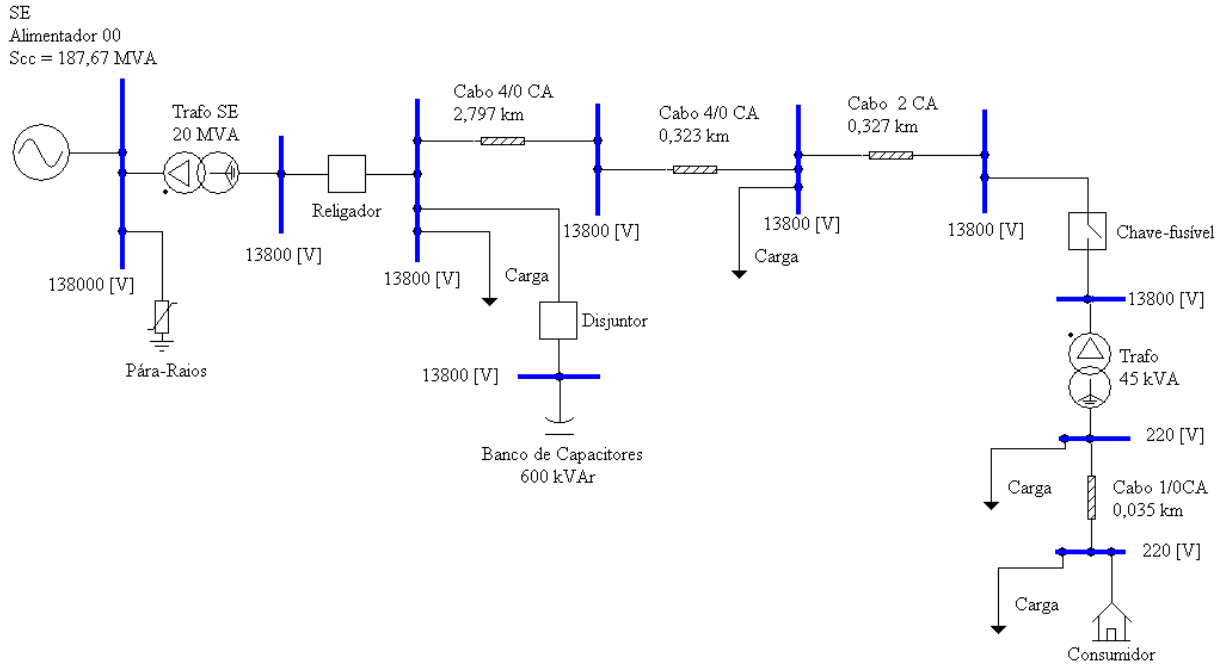


Figura 5.11 – Sistema elétrico sob análise - Caso 2.

c) Configuração e parametrização do fenômeno

A Figura 5.12 ilustra a configuração dos parâmetros de chaveamento correspondente à manobra de abertura de uma das fases que alimentam o transformador de distribuição do circuito do consumidor reclamante no aplicativo APR. A seleção do distúrbio em pauta é feita através de um duplo clique no ícone "Chave-fusível" e, sequencialmente, o preenchimento das informações que definem o instante de abertura e fechamento da mesma.

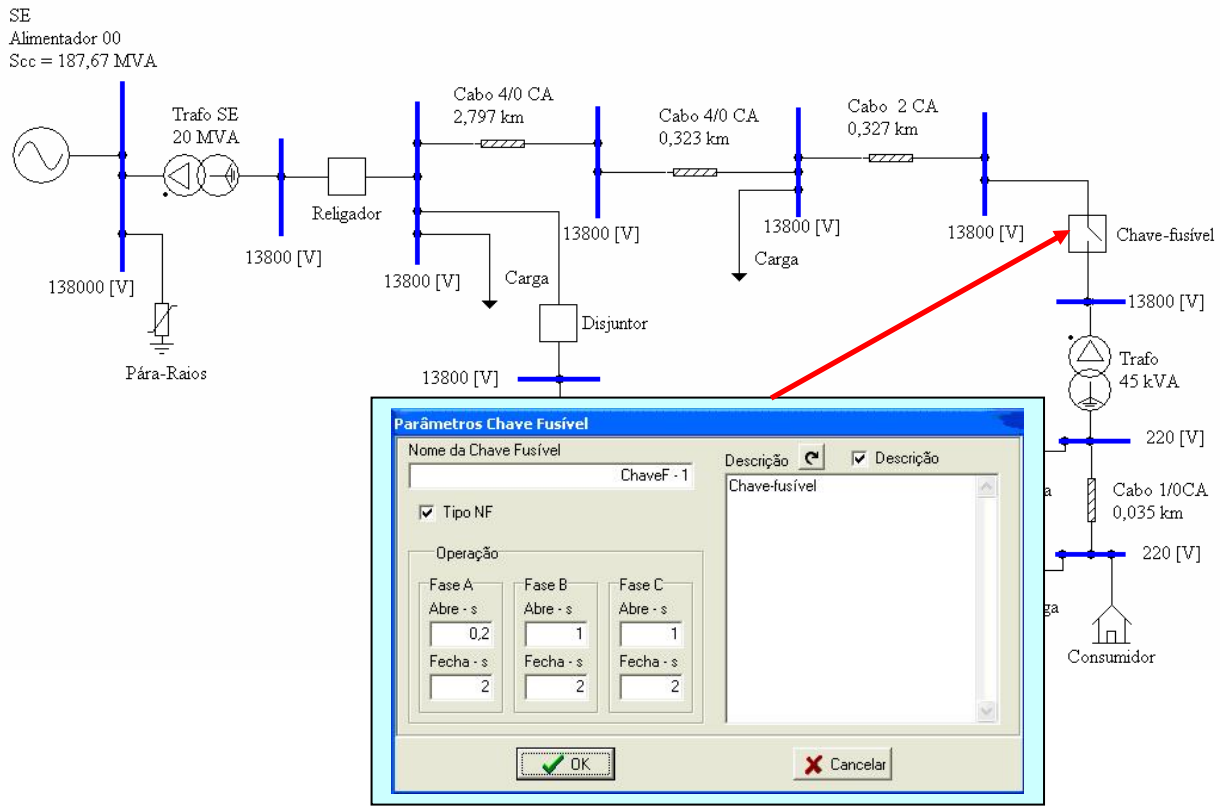


Figura 5.12 – Configuração de abertura da fase A através de chave-fusível - Caso 2.

d) Resultados

As Figuras 5.13 e 5.14 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do televisor submetido ao distúrbio em questão.

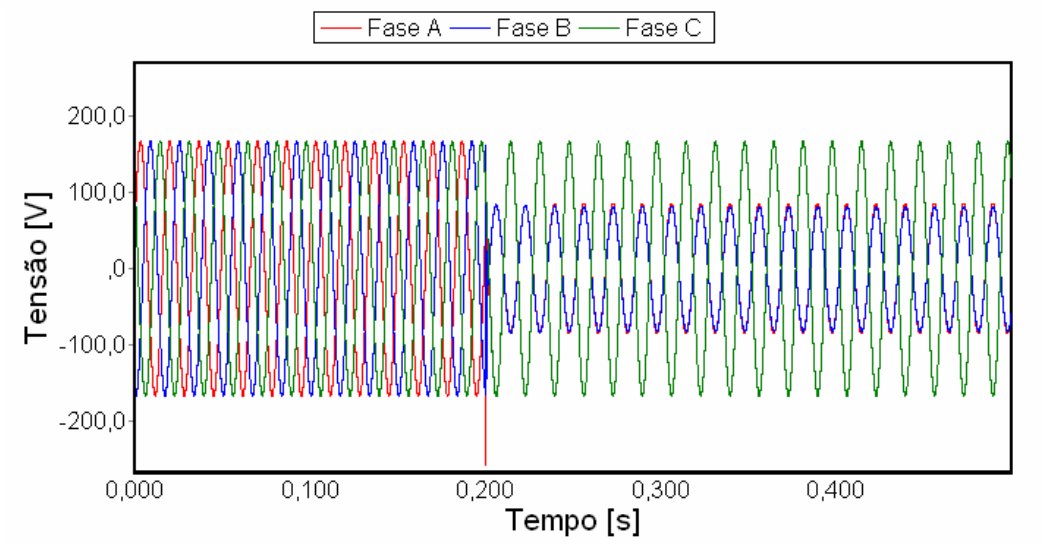


Figura 5.13 – Tensão na entrada do televisor sob a abertura da fase A - Caso 2.

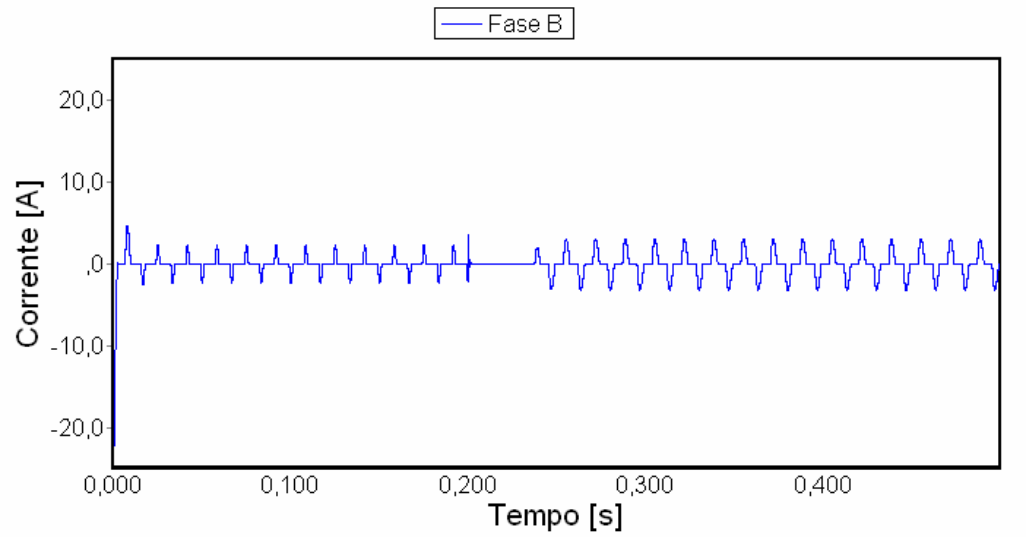


Figura 5.14 – Corrente de entrada do televisor a abertura da fase A - Caso 2.

Os resultados que expressam as solicitações impostas pelo distúrbio ocorrido comparados com as curvas de suportabilidade do aparelho televisor são indicados nas Figuras 5.15 e 5.16.

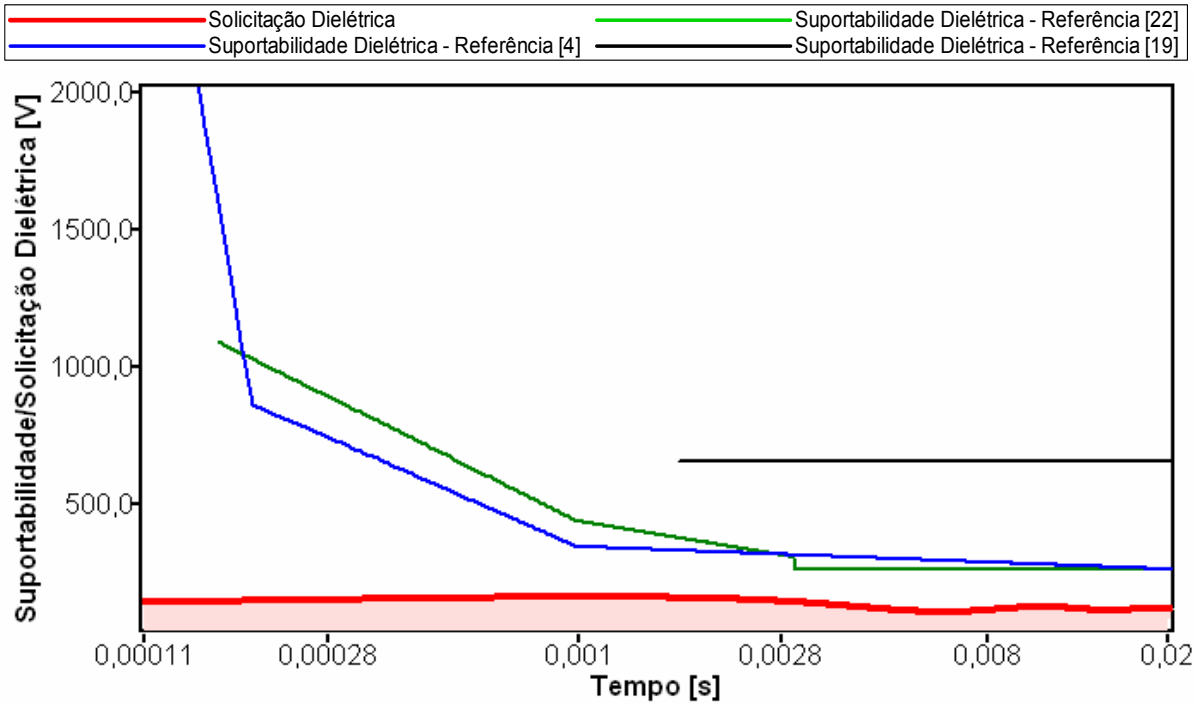


Figura 5.15 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob a abertura da fase A - Caso 2.

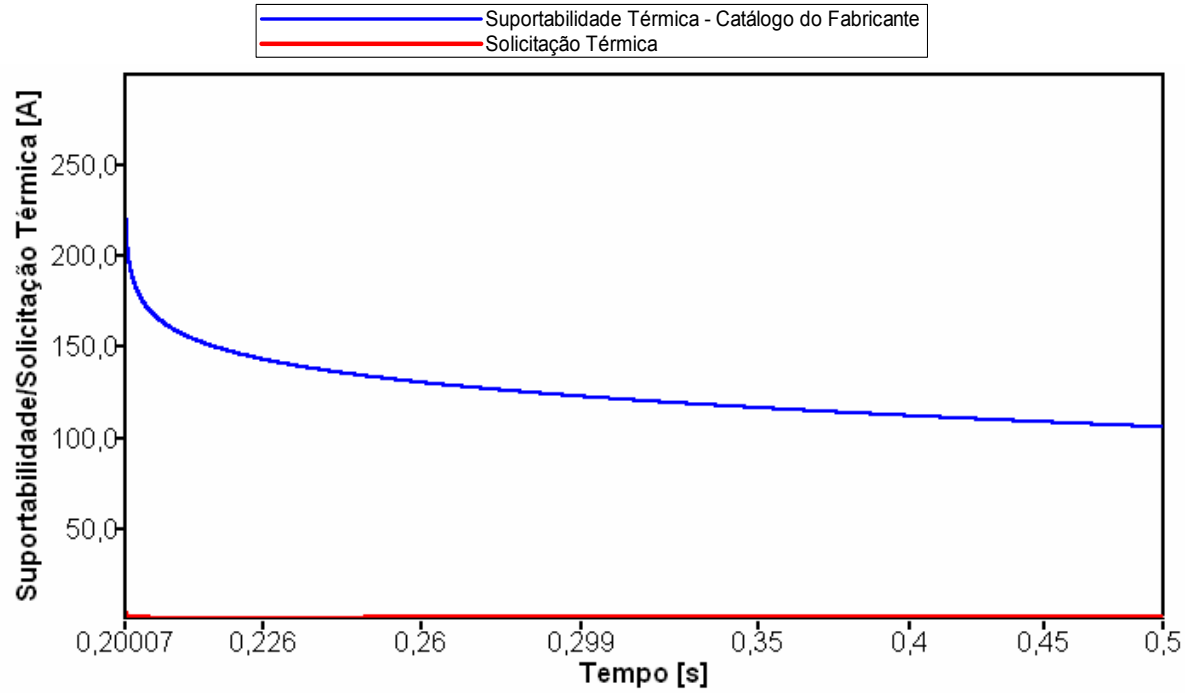


Figura 5.16 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento sob a abertura da fase A - Caso 2.

Os resultados mostrados nas Figuras 5.15 e 5.16 permitem constatar que:

- Não ocorreu violação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento. Portanto, quanto às questões dielétricas pode-se verificar que, o aplicativo utilizado aponta para a seguinte conclusão: ***não há possibilidade de danos físicos na forma de rompimento da isolação do aparelho de TV;***
- Quanto às questões térmicas, em nenhum momento ocorre uma violação dos limites tolerados pelo equipamento. Portanto, a respeito das questões atreladas às elevações de correntes e respectivos impactos térmicos pode-se verificar, via o APR, que: ***não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.***
- Parecer final: ***Pedido improcedente.***

e) Análise de desempenho do APR

À luz dos resultados obtidos constatam-se divergências entre o parecer da concessionária e os indicativos do APR. Este caso foi propositalmente selecionado para discussão no âmbito desta tese por representar uma situação conflitante. Muito embora esta pesquisa não tenha a pretensão de afirmar que a resposta do APR é a verdadeira, fica evidenciado que, dentro dos critérios estabelecidos, o fenômeno ocorrido não produz tensões e correntes capazes de violar os limites de suportabilidade pré-definidos para o equipamento sob análise. Não há dúvidas que o processo de validação do produto desta tese, até uma eventual consolidação no cenário nacional, necessita de profundas investigações através de estudos similares aos aqui relatados.

5.3 – Considerações finais

Dentro do exposto ao longo do presente capítulo fica evidenciado que o mesmo ofereceu importantes avaliações para o desempenho do APR, ressaltando-se uma situação em que se mostra concordante com os princípios tradicionais utilizados pelas empresas junto aos processos decisórios sobre pedidos de ressarcimento. Num contraponto, uma segunda situação investigada deixou clara a existência de conflito entre os procedimentos convencionais e os indicativos do presente aplicativo.

Diante deste quadro fica reforçada a necessidade de maiores e mais profundos estudos sobre o assunto até que a metodologia aqui sistematizada se apresente com uma ferramenta validada e confiável para os estudos no âmbito do tema central desta pesquisa.

CAPÍTULO VI

Conclusões

Muito embora ao longo de cada capítulo tenha-se sintetizado os principais resultados obtidos torna-se relevante, nesta fase final do trabalho, tecer comentários gerais e conclusivos sobre as atividades e avanços conquistados com a presente pesquisa de doutorado.

Dentro deste enfoque, pode-se reconhecer que o trabalho contribuiu nas seguintes direções principais:

a) Quanto à modelagem dos equipamentos eletroeletrônicos

As atividades foram principiadas com um exaustivo levantamento bibliográfico sobre os trabalhos correlatos ao tema de ressarcimento de danos envolvendo normas e recomendações vigentes, circuitos equivalentes de produtos eletroeletrônicos, modelagens computacionais, estudos laboratoriais e os primeiros levantamentos de curvas de sensibilidade e de suportabilidade de equipamentos.

Vencida essa primeira etapa, e já com uma visão ampla sobre os diversos aspectos envolvidos no tema enfocado, os esforços foram direcionados para a obtenção dos circuitos equivalentes de cada um dos vinte e sete aparelhos eletroeletrônicos contemplados na pesquisa e respectivas implementações computacionais no domínio do tempo, na plataforma ATP. O processo de

validação dos circuitos representativos foi realizado pela comparação qualitativa e quantitativa dos desempenhos computacionais com os respectivos testes laboratoriais, aplicados através de uma fonte programável. Este procedimento permitiu conhecer e avaliar o comportamento dos equipamentos sob análise quando supridos em condições ideais e não ideais de operação e, portanto, ratificar o modelo computacional obtido para representá-los em simulações no domínio do tempo.

Nesse contexto, esta etapa dos trabalhos contribuiu em avanços e complementações científicas no que concerne à biblioteca do software ATP, cuja estrutura e utilização estavam voltadas, originalmente, apenas para elementos de potência. Desta forma, os modelos aqui desenvolvidos passam a complementar a sua biblioteca com uma nova gama de equipamentos, permitindo maior abrangência e interação dos estudos de problemas encontrados no sistema elétrico e sua propagação até os produtos eletroeletrônicos encontrados nos consumidores finais.

b) Quanto à modelagem da rede de distribuição e dos distúrbios passíveis de ocorrência em um sistema elétrico

Para a representação dos elementos e dispositivos típicos de uma rede de distribuição, desde a saída do alimentador na subestação até o ponto de entrega no consumidor final, foram empregados os modelos disponibilizados pelo software ATP. Em alguns casos, as rotinas originais foram aprimoradas para se obter uma representação mais próxima da realidade operacional dos sistemas elétricos.

No que tange aos modelos representativos dos distúrbios passiveis de ocorrência em redes elétricas, utilizou-se das rotinas “TAC´s” do software ATP, através das quais foram desenvolvidos e implementados modelos

computacionais específicos para cada tipo de fenômeno considerado. Neste sentido, além de contemplar os distúrbios eletromagnéticos oriundos de manobras e energizações inerentes ao processo dinâmico dos sistemas elétricos, a nova biblioteca permite aplicar de forma controlada e independente por fase os mais diversos distúrbios de Qualidade da Energia, tais como distorções harmônicas de tensão e de corrente, flutuações de tensão, descargas atmosféricas, curto-circuitos, Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD's).

Todos os modelos desenvolvidos e utilizados nesta fase dos trabalhos foram projetados de forma a permitir a configuração da topologia da rede e dos seus parâmetros, promovendo a análise dos estudos de desempenho do sistema para cada caso investigado, respeitando suas peculiaridades.

c) *Quanto ao desenvolvimento de uma metodologia para correlacionar os impactos dielétricos e térmicos aos fenômenos de Qualidade da Energia e possíveis contingências nas redes.*

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 principio 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 está alicerçada na determinação de duas grandezas básicas vinculadas ao funcionamento dos equipamentos. Uma delas tem por propósito expressar as exigências dielétricas impostas ao equipamento, e a outra, as condições térmicas relacionadas com a anormalidade ocorrida na rede, as quais são denominadas, respectivamente, por solicitação dielétrica e solicitação térmica.

Sabe-se que a solicitação dielétrica imposta a um material isolante é diretamente dependente da tensão de suprimento a que o mesmo fica submetido. Dentre as características mais relevantes para a solicitação imposta destacam-se: os valores atingidos para as tensões e a duração das etapas que constituem o distúrbio.

Para a conversão do distúrbio no suprimento 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.

De 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. Para tanto, adota-se como grandeza representativa das solicitações térmicas o valor eficaz da corrente.

d) Quanto às curvas de suportabilidade dos produtos eletroeletrônicos

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.

Dentro destas considerações, as consultas bibliográficas realizadas no primeiro capítulo desta tese apontaram alguns trabalhos nacionais e internacionais de respeitados grupos de pesquisa que fornecem uma sugestão orientativa de curvas de suportabilidade para alguns equipamentos. Tais

referências foram adotadas para balizar a análise da consistência da metodologia adotada no desenvolvimento dos trabalhos.

Além disso, objetivando disponibilizar inserções futuras de curvas de suportabilidade, a observação das formas típicas encontradas para as curvas existentes indicou a utilização de funções logarítmicas para a sua representação matemática. Devido às particularidades das regiões que caracterizam o formato global de cada curva ao longo do tempo, optou-se por subdividi-la em segmentos logarítmicos distintos e, finalmente, uma reta representativa das condições de suportabilidade em regime permanente. Estes parâmetros são facilmente inseridos e editáveis pelo usuário do aplicativo computacional APR desenvolvido no Capítulo IV. Portanto, as informações utilizadas para os cálculos anteriores podem ser fornecidas pelos fabricantes ou extraídas de ensaios laboratoriais realizados até o nível de dano para os diversos produtos investigados.

e) Quanto ao critério de emissão dos pareceres técnicos relativos à consistência dos pedidos de ressarcimento de danos

O critério proposto consiste em comparar as curvas de solicitações dielétricas e térmicas calculadas pela metodologia supramencionada com as respectivas curvas de suportabilidade obtidas para os equipamentos sob análise. Caso o fenômeno ocorrido na rede conduza a uma curva com valores de solicitação dielétrica ou térmica abaixo da curva de suportabilidade indicada, então uma condição operacional sem riscos probabilísticos de danos teria ocorrido. Todavia, caso o distúrbio tenha conduzido a uma curva de solicitação cujos valores tenham ultrapassado a curvas de suportabilidade, isto indicará a possibilidade do fenômeno ocasionar uma eventual falha do produto, justificando, assim, o ressarcimento pelo dano causado.

f) Quanto ao aplicativo computacional APR

Todos os itens anteriores foram incorporados em uma ferramenta computacional específica para subsidiar a análise técnica da consistência dos pedidos de ressarcimento de danos em consumidores. O aplicativo computacional APR apresenta-se com uma interface gráfica amigável e prática que dispensa especialistas para o seu manuseio. Este realiza a comunicação interna com o software ATP e o tratamento dos dados de entrada e de saída para a emissão de um indicativo técnico baseado na correlação das solicitações dielétricas e térmicas impostas aos equipamentos associadas aos distúrbios encontrados nas redes elétricas de distribuição. Tais características são indicativas de que o APR surge como uma ferramenta extremamente inovadora e promissora no âmbito do tema aqui enfocado.

g) Quanto à análise da consistência do APR

Uma vez obtido o produto final desta tese, qual seja, o Aplicativo APR fez-se necessária a avaliação desta ferramenta para estudos envolvendo situações reais de pedidos de indenização causados por danos elétricos. Esta etapa dos trabalhos concorre ao processo de ratificação da consistência da metodologia proposta, assim como ilustração da sua aplicabilidade, funcionalidade e a praticidade de utilização. Para tanto, dentre vários estudos de casos, dois foram selecionados para representar situações reais de pedidos de ressarcimento vivenciadas por concessionárias de energia elétrica. Um dos casos culminou por produzir, via APR, desempenhos concordantes com os princípios tradicionais utilizados pelas empresas junto aos processos decisórios sobre pedidos de ressarcimento. Por outro lado, uma segunda situação investigada deixou clara a existência de conflito entre os procedimentos convencionais e os indicativos do presente aplicativo.

Diante deste quadro fica reforçada a necessidade de maiores e mais profundos estudos sobre o assunto até que a metodologia aqui sistematizada se apresente com uma ferramenta validada e confiável para os estudos no âmbito do tema central desta pesquisa.

h) Quanto às investigações futuras sobre o tema

Não obstante os pontos atingidos, vale ressaltar que a maturidade adquirida na área orienta para a necessidade de aprimoramentos complementares no campo da busca de uma alternativa computacional para consubstanciar os estudos e pareceres sobre os pedidos de ressarcimentos. Neste particular destacam-se, na seqüência, alguns dos pontos considerados relevantes e meritórios para investigações futuras:

- Obtenção de circuitos equivalentes, implementação e validação das propostas de modelagem para outros equipamentos que perfazem o complexo que forma o conjunto de cargas elétricas. A exemplo disto ressalta-se produtos como: aparelhos de TV à LCD, elevadores residenciais, aparelhos condicionadores de ar com acionamento eletrônico, medidores de energia, etc.;
- Busca de mecanismos voltados para a obtenção de curvas de suportabilidade dos equipamentos, alicerçadas em levantamentos experimentais que considerem a extrapolação dos limites físicos admissíveis pelos mesmos;
- Aprofundamentos no processo da análise da consistência do processo constante e proposto por esta tese visando, num futuro, a utilização do aplicativo APR como uma ferramenta validada e aceita pelos órgãos reguladores e empresas concessionárias;

- Inserção no processo de análise, de mecanismos que viabilizem a consideração do tempo de uso dos produtos analisados;
- Avanços no sentido de incorporar ao aplicativo outros caminhos pelos quais os distúrbios podem impactar sobre os consumidores finais, a exemplo dos sistemas de antenas e aterramentos, bem como os distúrbios advindos destes pontos de conexão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] DUGAN R. C., MCGRANAGHAN M. F., SANTOSO S., BEATY H. W., "Electrical power systems quality", 2nd ed., McGraw-Hill, Nova York, 2003.

[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 Ensaios 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] ARRILLAGA J. and ARNOLD C.P., "Power Systems Electromagnetic Transients Simulation", IEE Power & Energy Series, 39 - Institution of Electrical Engineers, 2002.

[8] KENNEDY B. W., "Power Quality Primer", McGraw-Hill, 2000.

[9] BAGGINI A., "Handbook of Power Quality", John Wiley & Sons, 2008.

[10] KUSKO A., THOMPSON M. T., Power Quality in Electrical Systems" 12st ed., McGraw-Hill Professional, Nova York, 2007.

[11] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica PRODIST, “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica”, dezembro de 2005.

[12] ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, “Submódulo 2.2 – Padrões de Desempenho da Rede Básica”, dezembro de 2002.

[13] SANTOS A. C. D., “Desempenho de Fontes Lineares e Chaveadas no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, setembro de 2001.

[14] 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.

[15] PENICHE R. A., "Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos diante de Distúrbios da Qualidade da Energia – Enfoque: Aparelhos de DVD, Fax e Telefone sem fio", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, maio de 2004.

[16] CORNICK K. J., LI, H. Q., “Power Quality and Voltage Dips: problem, Requeriments, Responsibilities”, Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM 2000, pp 149 – 156, Hong Kong, outubro de 2000.

[17] REID, W. EDWARD, “Power Quality Issues – Standards Guidelines”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 32, pp 625 – 632, maio/junho de 1996.

[18] PQTN BRIEF 39: “Ride-trough Performance of Programmable Logic Controllers”, EPRI Power Eletronics Applications Center, Knoxville, TN, novembro de 1996.

[19] OLIVEIRA H. R. P. M., JESUS N. C., MARTINEZ M. L. B., “Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos Durante Ensaios de Sobretensões” - XVIII SNPTEE, Curitiba/PR, outubro de 2005.

[20] HERMES R. P. M., OLIVEIRA., JESUS N. C., VIECILI G. B., "Sensibilidade de Equipamentos Eletrodomésticos Submetidos a Afundamentos de Tensão" - XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba-PR, outubro de 2005.

[21] SMITH J. C., LAMOREE J., VINETT P., DUFFY T. AND KLEIN M., "The Impact of Voltage Sags on Industrial Plant Loads", Int. Conf. Power Quality: End-use applictions and perspectives (PQA-91), pp. 171 – 178.

[22] ITI (CBEMA) Curve Application Note. Disponível *online* em: "http://www.itic.org/archives/iticurv.pdf", acessado em janeiro de 2007.

[23] SEKINE Y., YAMONOTO T., MORI S., SAITO N., KUROKAWA H., "Presents State of Momentary Voltage Dip Interferences and the Countermeasure in Japan".Inc. Conf. On Large Eletric Networks (CIGRE), 34th Session, Paris, França, 1992.

[24] ANDERSON LISA M., Northeast Utilits, and Bowes, Kenth B., "The Effects of Power Line Disturbances on Consumer Eletronic Equipment", IEEE Transation on Power Delivery, vol. 5, pp. 1062 – 1065, abril de 1990.

[25] SMITH, STHEPHEN B. AND STANDLER, RONALD B., "The Effects of Surges on Eletronic Appliances", IEEE Transation on Power Delivery, vol. 7, pp. 1275 – 1282, julho de 1992.

[26] ARSENEAU, R., OUELLETTE, M., The Effects of Supply Harmonics on the Performance of Compact Fluorescent Lamps", IEEE Transation on Power Delivery, vol. 8, pp. 473 – 479, abril de 1993.

[27] FUCHS, E. F., ROESLER, D. J. E KOVACS, K. P., "Sensibility of Eletrical Appliances to Harmonics and Fractional harmonics of the Power Systems Voltage. Part: Television sets, Induction Wathour and Universal Machines", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. PWRD-2,, pp. 1275 – 1282, abril de 1987.

[28] CARVALHO, C. B., "Desempenho de Aparelho Condicionador de Ar no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, julho de 2002.

[29] AZEVEDO, A. C., "Desempenho de Refrigeradores Domésticos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, julho de 2002.

[30] MAGALHÃES, R. N. "Controlador Lógico Programável no Contexto da Qualidade da Energia", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, julho de 2003.

[31] IEC 61000-4-5 ("Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurements Techniques – Section 5: Surge Immunity Test") 29/11/2005.

[32] IEC 61000-4-11 ("Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurements Techniques – Section 11: Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests"), 24/03/2004.

[33] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Normativa Nº 61, de 29 de Abril de 2004.

[34] ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, "Procedimento para Análise de Solicitação de Ressarcimento de Danos Materiais a Terceiros", 2003.

[35] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – Superintendência de Mediação Administrativa Setorial - Ressarcimento de Danos em Equipamentos Elétricos Causados por Descargas Atmosféricas e Manobras – Brasília, março de 2002.

[36] COSTA B. R., LUCIANO V. J., "Uma Nova Abordagem Técnica sobre a Queima de Equipamentos em Análises de Ressarcimento de Danos" XVII SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte-MG, agosto de 2006.

[37] SHIGA A.A., PIANTINI A. E PEGOLLO C.A.G., "Custos Relativos a Descargas Atmosféricas em Sistemas de Distribuição de Energia", SBSE - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Campina Grande/PB, julho de 2006.

[38] CIPOLI J. A., NOGUEIRA E. D. B., RIOS A. J. S., "Ressarcimento de Danos Elétricos", II CITENEL – Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Salvador/BA, novembro de 2003.

[39] GARCEZ J. N., OLIVEIRA R. C. L., OLIVEIRA L. A. H. G., TOSTES M. E., MORAES J. R. B., A., SANTOS N. P., TUPIASSU, A. A. A., SANTOS D. P., MULLER E., "Rede Neural de Ativação Interativa Competitiva – IAC para Auxílio à Tomada de Decisão sobre Responsabilidade por Danos em Consumidores de Energia Elétrica", II CITENEL – Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Salvador/BA, novembro de 2003.

[40] ERMELER K., PFEIFFER W., SCHOEN D., SCHOCKE M., "Surge Immunity of Electronic Equipment," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 14, 1998.

[41] OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., DELAIBA A. C., MENDONÇA, M. V. B., RODRIGUES, K. D., "Uma Estratégia Computacional para Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento à Nível de Distribuição" CEB-UFU, Brasília/DF, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 03/07 - "Validação dos Modelos Computacionais", maio de 2006.

[42] MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., GONDIM I. N., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., RODRIGUES K. D., SILVA R. M. T., "Modelagem de Equipamentos Eletroeletrônicos Utilizando Fontes Lineares e Chaveadas sob Condições Não Ideais de Alimentação na Plataforma ATP", VII CBQEE, Santos/SP, agosto de 2007.

[43] MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., RODRIGUES K. D., GONDIM I. N., SILVA R. M. T., "Projector Modeling and Performance Analysis with Non Ideal Supply Conditions Using ATP Simulator", IX COBEP, Blumenau/SC, outubro de 2007.

[44] TEIXEIRA M. D., "Uma Estrutura Laboratorial para Testes de Desempenho de Equipamentos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, julho de 2003.

ANEXOS

(a) Modelos computacionais dos distúrbios

➢ *Descarga atmosférica*

```
C ****************************************************************************
C
C                   Modelo computacional de descarga atmosférica
C
C ****************************************************************************
$ERASE
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde ><   Ie   ><Vf/CLOP ><  type  >
  DESCA1DESCA3                                        MEASURING                %
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl.  >< Freq.  ><Phase/T0><   A1   ><   T1   >< TSTART >< TSTOP  >
15DESCA1##DESCAMPLITALFACONSTABETACONSTA                              0.1000000000
$EOF   User-supplied header cards follow.         23-Nov-06  19:58:49
ARG DESCA3 DESCAMPLIT ALFACONSTA BETACONSTA ## %
NUM DESCAMPLIT ALFACONSTA BETACONSTA ## %
```

➢ *Distorções harmônicas*

```
C ****************************************************************************
C
C                 Modelo computacional de distorções harmônicas
C
C ****************************************************************************
$ERASE
C ****************************************************************************
/TACS
C ****************************************************************************
C ***     DISPOSITIVOS PARA GERACAO DAS COMPONENTES HARMONICAS       ***********
C NAME | |  A      |     B   |    C    | NAO USADO         |T-START  |T-STOP   |
14SENA01    AMPLIA01  FREQUE01  ANGULA01                          -1.0    10000.
14SENA02    AMPLIA02  FREQUE02  ANGULA02                          -1.0    10000.
14SENA03    AMPLIA03  FREQUE03  ANGULA03                          -1.0    10000.
14SENA04    AMPLIA04  FREQUE04  ANGULA04                          -1.0    10000.
14SENA05    AMPLIA05  FREQUE05  ANGULA05                          -1.0    10000.
14SENA06    AMPLIA06  FREQUE06  ANGULA06                          -1.0    10000.
14SENA07    AMPLIA07  FREQUE07  ANGULA07                          -1.0    10000.
14SENA08    AMPLIA08  FREQUE08  ANGULA08                          -1.0    10000.
14SENA09    AMPLIA09  FREQUE09  ANGULA09                          -1.0    10000.
14SENA10    AMPLIA10  FREQUE10  ANGULA10                          -1.0    10000.
14SENA11    AMPLIA11  FREQUE11  ANGULA11                          -1.0    10000.
C
C NAME | |  A      |     B   |    C    | NAO USADO         |T-START  |T-STOP   |
14SENB01    AMPLIB01  FREQUE01  ANGULB01                          -1.0    10000.
14SENB02    AMPLIB02  FREQUE02  ANGULB02                          -1.0    10000.
14SENB03    AMPLIB03  FREQUE03  ANGULB03                          -1.0    10000.
14SENB04    AMPLIB04  FREQUE04  ANGULB04                          -1.0    10000.
```

```
14SENB05    AMPLIB05  FREQUE05  ANGULB05                          -1.0    10000.
14SENB06    AMPLIB06  FREQUE06  ANGULB06                          -1.0    10000.
14SENB07    AMPLIB07  FREQUE07  ANGULB07                          -1.0    10000.
14SENB08    AMPLIB08  FREQUE08  ANGULB08                          -1.0    10000.
14SENB09    AMPLIB09  FREQUE09  ANGULB09                          -1.0    10000.
14SENB10    AMPLIB10  FREQUE10  ANGULB10                          -1.0    10000.
14SENB11    AMPLIB11  FREQUE11  ANGULB11                          -1.0    10000.
C
C NAME | |  A      |     B   |    C    | NAO USADO         |T-START  |T-STOP   |
14SENC01    AMPLIC01  FREQUE01  ANGULC01                          -1.0    10000.
14SENC02    AMPLIC02  FREQUE02  ANGULC02                          -1.0    10000.
14SENC03    AMPLIC03  FREQUE03  ANGULC03                          -1.0    10000.
14SENC04    AMPLIC04  FREQUE04  ANGULC04                          -1.0    10000.
14SENC05    AMPLIC05  FREQUE05  ANGULC05                          -1.0    10000.
14SENC06    AMPLIC06  FREQUE06  ANGULC06                          -1.0    10000.
14SENC07    AMPLIC07  FREQUE07  ANGULC07                          -1.0    10000.
14SENC08    AMPLIC08  FREQUE08  ANGULC08                          -1.0    10000.
14SENC09    AMPLIC09  FREQUE09  ANGULC09                          -1.0    10000.
14SENC10    AMPLIC10  FREQUE10  ANGULC10                          -1.0    10000.
14SENC11    AMPLIC11  FREQUE11  ANGULC11                          -1.0    10000.
C
C NAME | || IN1 | | IN2 | | IN3 | | IN4 | | IN5 | | A  |  B  | C   | D   | E   |
98FONTA1  =  SENA01+SENA02+SENA03+SENA04+SENA05+SENA06+SENA07+SENA08+SENA09
98CONECA  =  FONTA1+SENA10+SENA11
C
C NAME | || IN1 | | IN2 | | IN3 | | IN4 | | IN5 | | A  |  B  | C   | D   | E   |
98FONTB1  =  SENB01+SENB02+SENB03+SENB04+SENB05+SENB06+SENB07+SENB08+SENB09
98CONECB  =  FONTB1+SENB10+SENB11
C
C NAME | || IN1 | | IN2 | | IN3 | | IN4 | | IN5 | | A  |  B  | C   | D   | E   |
98FONTC1  =  SENC01+SENC02+SENC03+SENC04+SENC05+SENC06+SENC07+SENC08+SENC09
98CONECC  =  FONTC1+SENC10+SENC11
C
C ******************************************************************************
/BRANCH
C ****************************************************************************
C   IMPEDANCIA DE CURTO CIRCUITO
C ****************************************************************************
$VINTAGE, 1
C BUS1 |BUS2 |BUS3 |BUS4 | RESIT (OHM)   | INDUT.(OHM/mH)| CAP(uMHO/uF)  |
  CONECAXFONTA                      1.E-6INDUTANCIAFONTEX
  CONECAXFONTA            FATORKPRESISTENC          1.E-6
  XFONTAFHARMA            RESISTENCIAFONTE          1.E-6                    #
  CONECBXFONTB                      1.E-6INDUTANCIAFONTEX
  CONECBXFONTB            FATORKPRESISTENC          1.E-6
  XFONTBFHARMB            RESISTENCIAFONTE          1.E-6                    %
  CONECCXFONTC                      1.E-6INDUTANCIAFONTEX
  CONECCXFONTC            FATORKPRESISTENC          1.E-6
  XFONTCFHARMC            RESISTENCIAFONTE          1.E-6                    @
$VINTAGE, 0
C
C ******************************************************************************
C ******   FONTE DE HARMONICOS DE TENSAO MODELADA NA ROTINA TACS   *************
/SOURCE
C NAME | | VPICO   | FREQ.HZ |  TETA|                          TSTART| TSTOP   |
60CONECA 0                                                        -1.0    10000.
60CONECB 0                                                        -1.0    10000.
60CONECC 0                                                        -1.0    10000.
C
14CONECA 0       1.0      60.0    0.0                             -1.0  XXDELTAT
14CONECB 0       1.0      60.0    0.0                             -1.0  XXDELTAT
14CONECC 0       1.0      60.0    0.0                             -1.0  XXDELTAT
C ******************************************************************************
$EOF   User-supplied header cards follow.         29-Mar-07  09:34:54
ARG,FHARM,XXDELTAT,AMPLIA01,ANGULA01,AMPLIA02,ANGULA02,AMPLIA03,ANGULA03,
ARG,AMPLIA04,ANGULA04,AMPLIA05,ANGULA05,AMPLIA06,ANGULA06,AMPLIA07,ANGULA07,
```

```
ARG,AMPLIA08,ANGULA08,AMPLIA09,ANGULA09,AMPLIA10,ANGULA10,AMPLIA11,ANGULA11,
ARG,AMPLIB01,ANGULB01,AMPLIB02,ANGULB02,AMPLIB03,ANGULB03,AMPLIB04,ANGULB04,
ARG,AMPLIB05,ANGULB05,AMPLIB06,ANGULB06,AMPLIB07,ANGULB07,AMPLIB08,ANGULB08,
ARG,AMPLIB09,ANGULB09,AMPLIB10,ANGULB10,AMPLIB11,ANGULB11,
ARG,AMPLIC01,ANGULC01,AMPLIC02,ANGULC02,AMPLIC03,ANGULC03,AMPLIC04,ANGULC04,
ARG,AMPLIC05,ANGULC05,AMPLIC06,ANGULC06,AMPLIC07,ANGULC07,AMPLIC08,ANGULC08,
ARG,AMPLIC09,ANGULC09,AMPLIC10,ANGULC10,AMPLIC11,ANGULC11,
ARG,FREQUE01,FREQUE02,FREQUE03,FREQUE04,FREQUE05,FREQUE06,FREQUE07,FREQUE08,
ARG,FREQUE09,FREQUE10,FREQUE11,
ARG,INDUTANCIAFONTEX,FATORKPRESISTENC,RESISTENCIAFONTE,#,%,@
NUM,XXDELTAT,AMPLIA01,ANGULA01,AMPLIA02,ANGULA02,AMPLIA03,ANGULA03,AMPLIA04,
NUM,ANGULA04,AMPLIA05,ANGULA05,AMPLIA06,ANGULA06,AMPLIA07,ANGULA07,AMPLIA08,
NUM,ANGULA08,AMPLIA09,ANGULA09,AMPLIA10,ANGULA10,AMPLIA11,ANGULA11,
NUM,AMPLIB01,ANGULB01,AMPLIB02,ANGULB02,AMPLIB03,ANGULB03,AMPLIB04,ANGULB04,
NUM,AMPLIB05,ANGULB05,AMPLIB06,ANGULB06,AMPLIB07,ANGULB07,AMPLIB08,ANGULB08,
NUM,AMPLIB09,ANGULB09,AMPLIB10,ANGULB10,AMPLIB11,ANGULB11,
NUM,AMPLIC01,ANGULC01,AMPLIC02,ANGULC02,AMPLIC03,ANGULC03,AMPLIC04,ANGULC04,
NUM,AMPLIC05,ANGULC05,AMPLIC06,ANGULC06,AMPLIC07,ANGULC07,AMPLIC08,ANGULC08,
NUM,AMPLIC09,ANGULC09,AMPLIC10,ANGULC10,AMPLIC11,ANGULC11,
NUM,FREQUE01,FREQUE02,FREQUE03,FREQUE04,FREQUE05,FREQUE06,FREQUE07,FREQUE08,
NUM,FREQUE09,FREQUE10,FREQUE11,
NUM,INDUTANCIAFONTEX,FATORKPRESISTENC,RESISTENCIAFONTE,#,%,@
DUM,SENA01,SENA02,SENA03,SENA04,SENA05,SENA06,SENA07,SENA08,SENA09,SENA10,
DUM,SENA11,SENB01,SENB02,SENB03,SENB04,SENB05,SENB06,SENB07,SENB08,SENB09,
DUM,SENB10,SENB11,SENC01,SENC02,SENC03,SENC04,SENC05,SENC06,SENC07,SENC08,
DUM,SENC09,SENC10,SENC11,FONTA1,FONTB1,FONTC1,CONECA,CONECB,CONECC
```

- *Curto-circuito*

```
C ****************************************************************************
C
C                      Modelo computacional de curto-circuito
C
C ****************************************************************************
$ERASE
/BRANCH
$VINTAGE, 1
C    IMPEDANCIA DO CURTO
C BUS1 |BUS2 |BUS3 |BUS4 | RESIT (OHM)   | INDUT.(OHM/mH)| CAP(uMHO/uF)  |
  CRTFTA                  CTFATRESISTENCIACTFATINDUTANCIAXCTFATCAPACITANCI
  CRTFTB                  CTFBTRESISTENCIACTFBTINDUTANCIAXCTFBTCAPACITANCI
  CRTFTC                  CTFCTRESISTENCIACTFCTINDUTANCIAXCTFCTCAPACITANCI
  CRTFTACRTFTB            CTFABRESISTENCIACTFABINDUTANCIAXCTFABCAPACITANCI
  CRTFTACRTFTC            CTFACRESISTENCIACTFACINDUTANCIAXCTFACCAPACITANCI
  CRTFTBCRTFTC            CTFBCRESISTENCIACTFBCINDUTANCIAXCTFBCCAPACITANCI
$VINTAGE, 0
/SWITCH
C BUS1 | BUS2|   TCLOSE|    TOPEN|ruptura  |
  FALTAACRTFTAFAFECHACURFAABRECURT
  FALTABCRTFTBFBFECHACURFBABRECURT
  FALTACCRTFTCFCFECHACURFCABRECURT
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde ><   Ie   ><Vf/CLOP ><  type  >
  CURTOAFALTAA                                        MEASURING               #
  CURTOBFALTAB                                        MEASURING               %
  CURTOCFALTAC                                        MEASURING               @
$EOF   User-supplied header cards follow.         23-Nov-06  19:13:11
ARG CURTO CTFATRESISTENCIA CTFATINDUTANCIAX CTFATCAPACITANCI
ARG CTFBTRESISTENCIA CTFBTINDUTANCIAX CTFBTCAPACITANCI
ARG CTFCTRESISTENCIA CTFCTINDUTANCIAX CTFCTCAPACITANCI
ARG CTFABRESISTENCIA CTFABINDUTANCIAX CTFABCAPACITANCI
ARG CTFACRESISTENCIA CTFACINDUTANCIAX CTFACCAPACITANCI
ARG CTFBCRESISTENCIA CTFBCINDUTANCIAX CTFBCCAPACITANCI
ARG FAFECHACUR FAABRECURT FBFECHACUR FBABRECURT FCFECHACUR FCABRECURT # % @
```

```
NUM CTFATRESISTENCIA CTFATINDUTANCIAX CTFATCAPACITANCI
NUM CTFBTRESISTENCIA CTFBTINDUTANCIAX CTFBTCAPACITANCI
NUM CTFCTRESISTENCIA CTFCTINDUTANCIAX CTFCTCAPACITANCI
NUM CTFABRESISTENCIA CTFABINDUTANCIAX CTFABCAPACITANCI
NUM CTFACRESISTENCIA CTFACINDUTANCIAX CTFACCAPACITANCI
NUM CTFBCRESISTENCIA CTFBCINDUTANCIAX CTFBCCAPACITANCI
NUM FAFECHACUR FAABRECURT FBFECHACUR FBABRECURT FCFECHACUR FCABRECURT # % @
DUM CRTFTA CRTFTB CRTFTC
```

➢ *Flutuações de tensão (Flicker)*

```
C ****************************************************************************
C
C                    Modelo computacional de flutuação de tensão
C
C ****************************************************************************
$ERASE
C ****************************************************************************
/TACS
C ****************************************************************************
C ****************************  FASE A  ****************************************
C NAME | |  A      |     B   |    C    | NAO USADO         |T-START  |T-STOP   |
98INDMOD  = (DELTAV/200)
14PORTAA  XXAMPLITUD     60.0      0.0                        -1.00000   100.0000
14MODAUX        1.0     FMODUL     0.0                        -1.00000   100.0000
98MODULA  = MODAUX*INDMOD
98FLICSA  = PORTAA*(1+MODULA)
C ****************************************************************************
C ****************************  FASE B  ****************************************
C NAME | |  A      |     B   |    C    | NAO USADO         |T-START  |T-STOP   |
14PORTAB  XXAMPLITUD     60.0     -120.0                      -1.00000   100.0000
98FLICSB  = PORTAB*(1+MODULA)
C ****************************************************************************
C ****************************  FASE C  ****************************************
C NAME | |  A      |     B   |    C    | NAO USADO         |T-START  |T-STOP   |
14PORTAC  XXAMPLITUD     60.0      120.0                       -1.00000   100.000
98FLICSC  = PORTAC*(1+MODULA)
C ****************************************************************************
/BRANCH
C ****************************************************************************
C ****************     IMPEDANCIA DE CURTO CIRCUITO      **********************
$VINTAGE, 1
C BUS1 |BUS2 |BUS3 |BUS4 | RESIT (OHM)   | INDUT.(OHM/mH)| CAP(uMHO/uF)  |
  FLICSAXFONTA                        1.E-6INDUTANCIAFONTEX
  FLICSAXFONTA            FATORKPRESISTENC           1.E-6
  XFONTAFLUTSA            RESISTENCIAFONTE           1.E-6                     #
  FLICSBXFONTB                        1.E-6INDUTANCIAFONTEX
  FLICSBXFONTB            FATORKPRESISTENC           1.E-6
  XFONTBFLUTSB            RESISTENCIAFONTE           1.E-6                     %
  FLICSCXFONTC                        1.E-6INDUTANCIAFONTEX
  FLICSCXFONTC            FATORKPRESISTENC           1.E-6
  XFONTCFLUTSC            RESISTENCIAFONTE           1.E-6                     @
$VINTAGE, 0
C
C ****************************************************************************
/SOURCE
C NAME | | VPICO   | FREQ.HZ |  TETA|                          TSTART| TSTOP   |
60FLICSA
14FLICSA   1.0            60.0    0.0                              -1.0  XXDELTAT
60FLICSB
14FLICSB   1.0            60.0 -120.0                              -1.0  XXDELTAT
60FLICSC
14FLICSC   1.0            60.0  120.0                              -1.0  XXDELTAT
C ****************************************************************************
```

```
$EOF   User-supplied header cards follow.         22-Feb-07  11:11:37
ARG,FLUTS,XXDELTAT,XXAMPLITUD,DELTAV,FMODUL,RESISTENCIAFONTE,INDUTANCIAFONTEX,
ARG,FATORKPRESISTENC,#,%,@
NUM,XXDELTAT,XXAMPLITUD,DELTAV,FMODUL,RESISTENCIAFONTE,INDUTANCIAFONTEX,
NUM,FATORKPRESISTENC,#,%,@
DUM,INDMOD,MODAUX,MODULA,PORTAA,PORTAB,PORTAC,FLICSA,FLICSB,FLICSC
```

➢ *Variações de tensão de curta duração (VTCD's)*

```
C ******************************************************************************
C
C                     Modelo computacional de variação de tensão
C
C ******************************************************************************
$ERASE
C ******************************************************************************
/TACS
C ********************* DISPOSITIVOS PARA GERACAO DO VTCD  *********************
C NAME | |  A      |     B   |    C    | NAO USADO         |T-START  |T-STOP   |
11VANTES      1.000                                              -1.000    TINICI
11VAFUND        VTCD                                             TINICI    TFINAL
11VAPOS       1.000                                              TFINAL    1000.0
14SENOF1      VNOMIN      FREQ      FASE                         -1.000    1000.0
C NAME | || IN1 | | IN2 | | IN3 | | IN4 | | IN5 ||  A  |  B  | C   | D   | E   |
98FAFUND  =  VANTES+VAFUND+VAPOS
98FONTEV  =  FAFUND*SENOF1
C ******************************************************************************
C **************  ESPECIFICACAO DAS SAIDAS DA TACS  ****************************
C NO-1 |NO-2 |NO-3 |NO-4 |NO-4 |NO-4 |NO-4 |NO-4 |NO-4 |NO-4 |NO-4 |NO-4 |NO-4 |
33FONTEV
C ******************************************************************************
C ********  FONTE DE VARIACAO DE TENSAO MODELADA NA ROTINA TACS   **************
/SOURCE
C NAME | | VPICO   | FREQ.HZ |  TETA|                          TSTART| TSTOP   |
60FONTEV
14FONTEV   1.0          60.0    -90.0                            -1.0      DELTAT
C ******************************************************************************
$EOF   User-supplied header cards follow.         04-Apr-06  14:33:53
ARG,FONTEV,DELTAT,VNOMIN,FREQ,FASE,VTCD,TINICI,TFINAL
NUM,DELTAT,VNOMIN,FREQ,FASE,VTCD,TINICI,TFINAL
```

(b) Modelo computacional do televisor

```
C ******************************************************************************
C
C                        Modelo computacional do televisor
C
C ******************************************************************************
/TACS
98XX0064  = XX0059 * XX0058
91XX0059                                                          -1.      100.
98XX0180  = XX0058 - XX0068
98XX0068  = 5.6E+4 / XX0058
90XX0058                                                          -1.      100.
98XX0079  = XX0015 .GT. 20
98XX0081  = .NOT. XX0079
90XX0015                                                          -1.      100.
C        1         2         3         4         5         6         7         8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R  >< L  >< C  >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R  >< A  >< B  ><Leng><><>0
  IDEAL TRANSFORMER
 1TELEV2                                  1.
 2XX0094XX0098                            1.
  XX0094XX0106                      .6                                        0
  XX0094XX0106              900.
  XX0024XX0106            113.64         .22                                  0
  XX0098XX0094            113.64         .22                                  0
  XX0024                   1250.         .02                                  0
        XX0106             1250.         .02                                  0
  XX0015XX0106             1250.         .02                                  0
  XX0015XX0024             1250.         .02                                  0
        XX0015            .11364        220.                                  0
        XX0026            .54348         46.                                  0
  XX0098XX0024               5.4                                              0
  XX0025XX0026             1.9E4                                              0
  XX0026                  11500.                                              0
  XX0032XX0015              .001                                              0
  XX0036XX0015              .001                                              0
  XX0030XX0106              .001                                              0
  XX0034XX0024              .001                                              0
        XX0024               33.          .3                                  0
  XX0024XX0015               33.          .3                                  0
  XX0106XX0015               33.          .3                                  0
        XX0106               33.          .3                                  0
  XX0059XX0180              1.E3                                              0
        XX0083              100.                                              0
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde ><   Ie   ><Vf/CLOP ><  type  >
11      XX0030                                                                0
11XX0106XX0032                                    CLOSED                      0
11      XX0034                                    CLOSED                      0
11XX0024XX0036                                                                0
11XX0024XX0025                                                                0
  TVENTRTELEV2                                    MEASURING                   %
  XX0058XX0059                                    MEASURING                   0
13XX0015XX0083                                    CLOSED          XX0081      0
13XX0058XX0015                                    CLOSED          XX0079      0
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl.  >< Freq.  ><Phase/T0><   A1   ><   T1   >< TSTART >< TSTOP  >
60XX0180 0                                                        -1.      100.
$EOF   User-supplied header cards follow.         07-Feb-07  10:18:26
```

```
ARG TVENTR %
NUM %
DUM XX0015 XX0024 XX0025 XX0026 XX0030 XX0032 XX0034 XX0036 XX0058 XX0059
DUM XX0064 XX0068 XX0079 XX0081 XX0083 XX0094 XX0098 XX0106 XX0180 XX0081
```