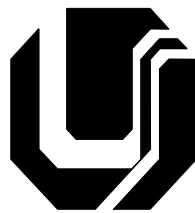


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



METODOLOGIA PARA SUBSIDIAR A ANÁLISE
DE PEDIDOS DE RESSARCIMENTO COM
DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA
SURTOS

Orlando Adolfo da Silva

Uberlândia, Outubro de 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**METODOLOGIA PARA SUBSIDIAR A ANÁLISE
DE SOLICITAÇÕES DE RESSARCIMENTO POR
DANOS, UTILIZANDO-SE DISPOSITIVOS DE
PROTEÇÃO CONTRA SURTOS**

Orlando Adolfo da Silva

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, perante a Banca Examinadora abaixo, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Antônio Carlos Delaiba, Dr. (Orientador) – UFU
José Carlos de Oliveira, PhD. – UFU
José Maria de Carvalho Filho, Dr. – UNIFEI

Uberlândia, Outubro de 2010.

METODOLOGIA PARA SUBSIDIAR A ANÁLISE DE SOLICITAÇÕES DE RESSARCIMENTO POR DANOS, UTILIZANDO-SE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

ORLANDO ADOLFO DA SILVA

Dissertação apresentada por Orlando Adolfo da Silva à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Antônio Carlos Delaiba, Dr.
Orientador

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

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Raimundo Moreira da Silva e Dalva Corrêa da Silva e à minha prima Prof^a MSc. Marli Auxiliadora de Almeida, que me incentivaram e tiveram participação decisiva na minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A **DEUS** primeiramente, por me iluminar ao longo da caminhada da minha vida, me ajudando a superar todos os desafios.

Ao professor orientador **Dr. Antônio Carlos Delaiba**, pela orientação e presteza nos esclarecimentos que possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos professores doutores **José Carlos de Oliveira, Teresa Irene Ribeiro de Carvalho Malheiro, Arnulfo Barroso de Vasconcellos** e ao doutorando **Isaque Gondim**, pelas inestimáveis contribuições.

A todos os meus colegas da Coordenadoria de Energia e Saneamento (CES) e à AGER/MT, pelo apoio neste mestrado, tornando o sonho possível.

Aos colegas e novos amigos que fiz na pós-graduação da Engenharia Elétrica da UFU: **Marcus, Cadu, Angélica, Fabrício, Loana, Ronaldo, Arnaldo e Rubens**.

Um especial agradecimento aos meus colegas engenheiros, **Fernando Gadenz** e **José Nelson Quadrado Jr**, pela grande ajuda e pelas informações fornecidas, que possibilitaram a concretização da pesquisa.

A todos os funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFU pela prontidão nos encaminhamentos junto à Secretaria da Pós-Graduação.

Aos demais amigos e familiares, que não irei citar aqui para não cometer a injustiça de esquecer de alguém, que são importantes também nesta conquista da minha vida.

RESUMO

Ressarcimento de Danos Elétricos é um tema que tem despertado interesse na comunidade científica e nas concessionárias de energia elétrica em razão de seu impacto no relacionamento das distribuidoras com seus consumidores. Em face da sua relevância no âmbito do serviço de distribuição de energia elétrica, o tema tem incentivado investigações científicas objetivando o desenvolvimento de ferramentas confiáveis para subsidiar o processo de análise dos pedidos de indenização por danos em aparelhos elétricos. Neste sentido, destacam-se entre as principais pesquisas relacionadas ao assunto, aquelas que avaliam a utilização de recursos computacionais. Observa-se também, que poucos estudos visando a prevenção de possíveis conflitos decorrentes de danos provocados por ocorrências no sistema de distribuição foram realizados até o momento. Neste contexto, esta dissertação concentra seus esforços no aperfeiçoamento de publicações anteriores desenvolvidas nesta área de pesquisa. Os principais aspectos abordados no presente trabalho dizem respeito ao conhecimento das características dos pedidos de ressarcimento formulados às concessionárias de distribuição de energia, estudo e implementação computacional de dispositivos mitigadores, bem como a avaliação da consistência da modelagem proposta através de estudo de casos reais.

Palavras-Chave: qualidade da energia, ressarcimento de danos, DPS, modelagem, estudo de casos.

ABSTRACT

The study of refunding requests by damage on consumers appliances has attracted attention in both scientific community and power companies. In view of its relevance in the power distribution utility, the topic has stimulated scientific research aimed at developing reliable tools to assist decisions towards the analysis of the relationship between equipment damage and system disturbances. In this sense, the main works in progress related to the subject point out on the evaluation the use of computational resources. It's noted that there are no sufficient studies concerning the prevention of possible conflicts arising from damage caused by faults in the distribution system have been conducted so far. In this context, this dissertation focuses its efforts on perfecting previous publications developed in this research area. The main issues addressed in this work relate to knowledge of the characteristics of refunding requests made to the power distribution utility, study and computational implementation of mitigation devices, as well as assessing the consistency of the proposed model through a study of real cases.

Keywords: Power Quality, refunding request for damages, SPD, modeling, case studies.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	17
INTRODUÇÃO GERAL	17
1.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
1.2 - ESTADO DA ARTE	21
1.3 - JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	31
1.4 - CONTRIBUIÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO	34
1.5 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	35
CAPÍTULO II	37
LEVANTAMENTO QUALITATIVO E QUANTITATIVO DE SOLICITAÇÕES DE RESSARCIMENTO DE DANOS ELÉTRICOS.....	37
2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	37
2.2 - EVOLUÇÃO DAS INDENIZAÇÕES POR DANOS ELÉTRICOS NO ESTADO DE MATO GROSSO.....	38
2.3 - LEVANTAMENTO QUANTITATIVO.....	43
2.3.1- CAUSAS QUE ORIGINARAM PEDIDOS DE INDENIZAÇÃO E OS MONTANTES FINANCEIROS ASSOCIADOS	43
2.3.2 - MONTANTE FINANCEIRO DESPENDIDO COM INDENIZAÇÕES POR EQUIPAMENTO	45
2.3.3.1 - APARELHO DE TV.....	50
2.3.3.2 - GELADEIRAS	53
2.3.3.3 - APARELHOS DE SOM	54
2.3.3.4 - COMPUTADORES	56
2.3.3.5 - LÂMPADAS	57
2.3.3.6 - MICROONDAS.....	58
2.3.3.7 - AR CONDICIONADO.....	59
2.3.3.8 - DVD	60
2.3.3.9 - MÁQUINA DE LAVAR ROUPA	61
2.3.3.10 - TELEFONE SEM FIO	62
2.3.3.11 - INTERFONE	62
2.3.3.12 - VÍDEO CASSETE	63
2.3.3.13 - MONITOR.....	64
2.3.3.14 - TELEFONE	64

2.3.3.15 - FREEZER.....	65
2.3.3.16 - FAX	65
2.4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
CAPÍTULO III.....	69
DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS	69
3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	69
3.2 - ORIGEM DE SURTOS ELÉTRICOS EM INSTALAÇÕES ALIMENTADAS EM BAIXA TENSÃO	70
3.3 - ONDAS PADRONIZADAS E REPRESENTATIVAS DE SURTOS ELÉTRICOS	72
3.4 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA PROTEÇÃO CONTRA SURTOS	75
3.4.1 - TIPOS DE DISPOSITIVOS PARA PROTEÇÃO CONTRA SURTOS	77
3.4.2 - PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS	83
3.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO.....	85
3.6 - APLICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS.....	89
3.7 - SELEÇÃO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS.....	98
3.7.1 - SELEÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO (Up).....	99
3.7.2 - DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA TENSÃO DE OPERAÇÃO CONTÍNUA (U_c)	99
3.7.3 - SUPORTABILIDADE A SOBRETENSÕES TEMPORÁRIAS	100
3.7.4 - CORRENTE NOMINAL DE DESCARGA (I_N) E CORRENTE DE IMPULSO (I_{IMP})	101
3.7.5 - SUPORTABILIDADE À CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO	102
3.7.6 - COORDENAÇÃO DE DPSS EM CASCATA.....	103
3.8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
CAPÍTULO IV.....	108
ESTUDO DE CASOS	108
4.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	108
4.2 - IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO DPS	109
4.3 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DO MODELO COMPUTACIONAL DO DPS	113
4.4 - O ANALISADOR DE PEDIDOS DE RESSARCIMENTO	117
4.5 - INTEGRAÇÃO DA MODELAGEM PROPOSTA AO APR.....	118
4.5.1 - SISTEMAS DE ATERRAMENTO.....	119
4.5.2 - UNIDADE CONSUMIDORA.....	120
4.5.3 - DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS).....	123
4.6 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA METODOLOGIA ATRAVÉS DE CASOS REAIS DE PEDIDOS DE INDENIZAÇÃO	123

4.6.1 - CASO ESTUDADO 1: INDENIZAÇÃO POR DANOS EM UM APARELHO TELEVISOR.....	125
4.6.2 - CASO ESTUDADO 2: INDENIZAÇÃO POR DANOS A UMA GELADEIRA	135
4.6.3 - CASO ESTUDADO 3: INDENIZAÇÃO POR DANOS A UM MICROCOMPUTADOR	145
4.6.4 - CASO ESTUDADO 4: INDENIZAÇÃO POR DANOS A UM CONDICIONADOR DE AR	154
4.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	163
CAPÍTULO V	165
CONCLUSÕES GERAIS	165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -Evolução de PIDs registrados pela CEMAT entre 2004 a 2007	38
Figura 2.2 -Montante financeiro despendido com ressarcimento de danos elétricos em relação à ROL da CEMAT entre 2004 a 2007	40
Figura 2.3 -Evolução de PIDs registrados em Cuiabá entre 2004 e 2007	41
Figura 2.4 -Evolução de PIDs registrados em Várzea Grande entre 2004 e 2007	41
Figura 2.5 -Evolução do montante financeiro despendido com pagamento de ressarcimento de danos elétricos na região metropolitana (em milhares de reais).....	42
Figura 2.6 -Quantidade de equipamentos indenizados pela CEMAT – Cuiabá.....	46
Figura 2.7 -Quantidade de equipamentos indenizados pela CEMAT – Várzea Grande	47
Figura 2.8 -Valor total das indenizações pagas por equipamento eletroeletrônico – Cuiabá.....	47
Figura 2.9 -Valor total das indenizações pagas por equipamento eletroeletrônico – Várzea Grande	48
Figura 2.10 - Porcentagem dos valores envolvidos com PIDs por equipamento em relação ao montante total – Cuiabá.....	49
Figura 2.11 - Porcentagem dos valores envolvidos com PIDs por equipamento em relação ao montante total – Várzea Grande	49
Figura 3.1 -Onda oscilatória amortecida (Ring Wave) - Referência [37]	73
Figura 3.2 -Representação da onda de surto de tensão (circuito aberto) - Referência [37]	74
Figura 3.3 -Representação da onda de corrente de surto impulsiva (curto-circuito) - Referência [37]	74
Figura 3.4 -Configuração geral dos esquemas de proteção contra surtos elétricos.....	76
Figura 3.5 -Curva V x I do varistor de ZnO – Classe de tensão 275 v.....	80
Figura 3.6 -Exemplo de um DPS em arranjo híbrido	82
Figura 3.7 -Esquema de aterramento TN-C	86
Figura 3.8 -Esquema de aterramento TN-S.....	87
Figura 3.9 -Esquema de aterramento TN-C-S.....	87
Figura 3.10 - Exemplo de esquema de aterramento TT.....	88
Figura 3.11 - Esquema de aterramento IT com massas aterradas em eletrodos separados da alimentação	88
Figura 3.12 - Categorias de localização – instalação residencial	95

Figura 3.13 - Categorias de localização – instalação industrial.....	95
Figura 3.14 - Exemplo de instalação de DPS em esquemas TN	97
Figura 3.15 - Exemplo de instalação de DPS em esquemas TT	97
Figura 3.16 - Exemplo de instalação de DPS em esquemas IT sem neutro	98
Figura 3.17 - Coordenação de DPS em cascata conforme categorias propostas pelo IEEE e IEC	105
Figura 4.1 -Curva V x I do DPS modelo VCL Slim	110
Figura 4.2 -Representação indicada para varistores de ZnO (Referência [71])	111
Figura 4.3 -Modelo computacional e simbologia do DPS	112
Figura 4.4 -Sistema elétrico empregado na verificação do desempenho computacional do DPS.....	113
Figura 4.5 -Onda de surto de corrente 8 x 20 μ s – 5 kA	115
Figura 4.6 -Forma de onda da sobretensão verificada na entrada do aparelho TV - aparelho desprotegido	115
Figura 4.7 -Forma de onda da sobretensão verificada na entrada do aparelho TV - DPS conectado em paralelo	116
Figura 4.8 -Nova estrutura do APR.....	118
Figura 4.9 -Parametrização do sistema de aterramento.....	120
Figura 4.10 - Nova interface gráfica do APR.....	121
Figura 4.11 - Caracterização do modelo de condutores da instalação consumidora	122
Figura 4.12 - Caracterização do modelo de consumidor com opção pelo uso de DPS selecionado	123
Figura 4.13 - Caracterização do alimentador para o Caso 1.....	127
Figura 4.14 - Representação do distúrbio associado como Caso 1 – descarga atmosférica	128
Figura 4.15 - Parametrização da instalação do consumidor – Caso 1	129
Figura 4.16 - Tensão na entrada do aparelho televisor – descarga atmosférica na rede primária – Caso 1.....	130
Figura 4.17 - Corrente na entrada do aparelho televisor – descarga atmosférica na rede primária – Caso 1.....	131
Figura 4.18 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – televisor – 1ª situação do Caso 1	131
Figura 4.19 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – televisor – 1ª situação do Caso 1	132

Figura 4.20 - Tensão na entrada do aparelho televisor – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 1	133
Figura 4.21 - Corrente na entrada do aparelho televisor – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 1	133
Figura 4.22 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – televisor – 2ª situação do Caso 1	134
Figura 4.23 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – televisor – 2ª situação do Caso 1	134
Figura 4.24 - Caracterização do alimentador para o Caso 2	137
Figura 4.25 - Representação do distúrbio associado como Caso 2 – religamento tripolar automático	138
Figura 4.26 - Parametrização da instalação do consumidor – Caso 2	138
Figura 4.27 - Tensão na entrada do refrigerador – religamento tripolar automático na barra do alimentador– Caso 2	140
Figura 4.28 - Corrente na entrada do refrigerador – religamento tripolar automático na barra do alimentador– Caso 2	140
Figura 4.29 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – refrigerador– 1ª situação do Caso 2	141
Figura 4.30 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – refrigerador – 1ª situação do Caso 2	141
Figura 4.31 - Tensão na entrada do refrigerador – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 2	142
Figura 4.32 - Corrente na entrada do refrigerador – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 2	143
Figura 4.33 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – refrigerador – 2ª situação do Caso 2	143
Figura 4.34 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – refrigerador – 2ª situação do Caso 2	144
Figura 4.35 - Caracterização do alimentador para o Caso 3	146
Figura 4.36 - Representação do distúrbio associado como Caso 3 – religamento tripolar automático	147
Figura 4.37 - Parametrização da instalação do consumidor – Caso 3	148

Figura 4.38 - Tensão na entrada do microcomputador– religamento tripolar automático na barra do alimentador– Caso 3.....	149
Figura 4.39 - Corrente na entrada do microcomputador – religamento tripolar automático na barra do alimentador – Caso 3.....	149
Figura 4.40 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – microcomputador– 1ª situação do Caso 3.....	150
Figura 4.41 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – microcomputador– 1ª situação do Caso 3.....	150
Figura 4.42 - Tensão na entrada do microcomputador – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 3.....	151
Figura 4.43 - Corrente na entrada do microcomputador – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 3.....	152
Figura 4.44 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – microcomputador – 2ª situação do Caso 3.....	152
Figura 4.45 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – microcomputador – 2ª situação do Caso 3.....	153
Figura 4.46 - Caracterização do alimentador para o Caso 4.....	156
c) Configuração e parametrização da perturbação elétrica– Caso 4.....	156
Figura 4.47 - Representação do distúrbio associado como Caso 4 – manobra tripolar em chave a óleo	156
Figura 4.48 - Parametrização da instalação do consumidor – Caso 4	157
Figura 4.49 - Tensão na entrada do condicionador de ar – manobra tripolar manual na rede primária – Caso 4	158
Figura 4.50 - Corrente na entrada do condicionador de ar – manobra tripolar manual na rede primária – Caso 4	159
Figura 4.51 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – condicionador de ar – 1ª situação do Caso 4	159
Figura 4.52 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – condicionador de ar– 1ª situação do Caso 4	160
Figura 4.53 - Tensão na entrada do condicionador de ar – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 4.....	161
Figura 4.54 - Corrente na entrada do condicionador de ar – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 4.....	161

Figura 4.55 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – condicionador de ar – 2ª situação do Caso 4	162
Figura 4.56 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – condicionador de ar – 2ª situação do Caso 4	162

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Porcentagem dos valores pagos por indenização comparados com a ROL da CEMAT	40
Tabela 2.2 - Perturbações elétricas e causas associadas com PIDs - Cuiabá.....	44
Tabela 2.3 - Perturbações elétricas e causas associadas com PIDs – Várzea Grande	45
Tabela 2.4 - Quantitativo de aparelhos de TV indenizados e custo total - Cuiabá	50
Tabela 2.5 - Quantitativo de aparelhos de TV indenizados e custo total - Várzea Grande	50
Tabela 2.6 - Classificação dos aparelhos de TV indenizados quanto aos fabricantes - Cuiabá.....	50
Tabela 2.7 - Classificação dos aparelhos de TV indenizados quanto aos fabricantes – Várzea Grande	51
Tabela 2.8 - Classificação dos aparelhos de TV indenizados quanto ao modelo, polegadas e ao fabricante - Cuiabá.....	51
Tabela 2.9 - Classificação dos aparelhos de TV indenizados quanto ao tamanho (polegadas) e ao fabricante - Várzea Grande	52
Tabela 2.10 - Quantitativo de geladeiras ressarcidas por dano e custo total - Cuiabá.....	53
Tabela 2.11 - Quantitativo de geladeiras ressarcidas por dano e custo total – Várzea Grande ...	53
Tabela 2.12 - Classificação das geladeiras indenizadas quanto ao fabricante - Cuiabá	54
Tabela 2.13 - Classificação das geladeiras indenizadas quanto ao fabricante – Várzea Grande ..	54
Tabela 2.14 - Quantitativo de aparelhos de som ressarcidos por dano e custo total - Cuiabá	55
Tabela 2.15 - Quantitativo de aparelhos de som ressarcidos por dano e custo total – Várzea Grande	55
Tabela 2.16 - Classificação dos aparelhos de som indenizados quanto ao fabricante - Cuiabá ..	55
Tabela 2.17 - Classificação dos aparelhos de som indenizados quanto ao fabricante – Várzea Grande	55
Tabela 2.18 - Quantitativo de computadores ressarcidos por dano e custo total - Cuiabá	56
Tabela 2.19 - Quantitativo de computadores ressarcidos por dano e custo total – Várzea Grande	56
Tabela 2.20 - Classificação dos computadores indenizados quanto ao fabricante – Cuiabá	56
Tabela 2.21 - Classificação dos computadores indenizados quanto ao fabricante – Várzea Grande	57
Tabela 2.22 - Quantitativo de lâmpadas ressarcidas por dano e custo total - Cuiabá.....	57
Tabela 2.23 - Quantitativo de lâmpadas ressarcidas por dano e custo total – Várzea Grande.....	57

Tabela 2.24 - Classificação das lâmpadas indenizadas quanto ao fabricante – Cuiabá.....	57
Tabela 2.25 - Classificação das lâmpadas indenizadas quanto ao fabricante – Várzea Grande ..	58
Tabela 2.26 - Quantitativo de fornos microondas ressarcidos por dano e custo total - Cuiabá ...	58
Tabela 2.27 - Quantitativo de fornos microondas ressarcidos por dano e custo total – Várzea Grande	58
Tabela 2.28 - Classificação dos fornos microondas indenizados quanto ao fabricante – Cuiabá	59
Tabela 2.29 - Classificação dos fornos microondas indenizados quanto ao fabricante – Várzea Grande	59
Tabela 2.30 - Quantitativo de aparelhos de ar condicionado ressarcidos por dano e custo total - Cuiabá	59
Tabela 2.31 - Quantitativo de aparelhos de ar condicionado ressarcidos por dano e custo total – Várzea Grande	60
Tabela 2.32 - Classificação dos aparelhos de ar condicionado indenizados quanto ao fabricante - Cuiabá.....	60
Tabela 2.33 - Classificação dos aparelhos de ar condicionado indenizados quanto ao fabricante - Cuiabá.....	60
Tabela 2.34 - Quantitativo de aparelhos de DVD ressarcidos por dano e custo total.....	60
Tabela 2.35 - Classificação dos aparelhos de DVD indenizados quanto ao fabricante	61
Tabela 2.36 - Quantitativo de máquinas de lavar roupa ressarcidas por dano e custo total - Cuiabá	61
Tabela 2.37 - Quantitativo de máquinas de lavar roupa ressarcidas por dano e custo total – Várzea Grande	61
Tabela 2.38 - Classificação das máquinas de lavar roupa indenizadas quanto ao fabricante - Cuiabá	61
Tabela 2.39 - Classificação das máquinas de lavar roupa indenizadas quanto ao fabricante – Várzea Grande	62
Tabela 2.40 - Quantitativo de telefones sem fio ressarcidos por dano e custo total	62
Tabela 2.41 - Classificação dos telefones sem fio indenizados quanto ao fabricante.....	62
Tabela 2.42 - Quantitativo de interfones ressarcidos por dano e custo total.....	63
Tabela 2.43 - Classificação dos interfones indenizados quanto ao fabricante.....	63
Tabela 2.44 - Quantitativo de vídeo cassete ressarcidos por dano e custo total	63
Tabela 2.45 - Classificação dos aparelhos de vídeo cassete indenizados quanto ao fabricante...	63

Tabela 2.46 - Quantitativo de monitores ressarcidos por dano e custo total.....	64
Tabela 2.47 - Classificação dos monitores indenizados quanto ao fabricante	64
Tabela 2.48 - Quantitativo de telefones ressarcidos por dano e custo total	64
Tabela 2.49 - Classificação dos telefones indenizados quanto ao fabricante	65
Tabela 2.50 - Quantitativo de freezer ressarcidos por dano e custo total	65
Tabela 2.51 - Detalhamento do Freezer quanto ao fabricante	65
Tabela 2.52 - Quantitativo de aparelhos de Fax ressarcidos por dano e custo total	66
Tabela 2.53 - Detalhamento do aparelho de Fax quanto ao fabricante.....	66
Tabela 3.1 - Quadro comparativo de dispositivos não lineares utilizados na supressão de surtos	82
Tabela 3.2 - Condições de influências externas relacionadas à proteção contra sobretensões transitórias (descargas atmosféricas).....	90
Tabela 3.3 - Categorias de instalação - referência [1].....	93
Tabela 3.4 - Características dos padrões de surtos esperados para cada categoria de localização	96
Tabela 3.5 - Valores limites para U_c em função do esquema de aterramento	100
Tabela 4.1 - Parâmetros elétricos do DPS modelo VCL Slim	109
Tabela 4.2 - Valores de tensão/corrente da curva não linear do DPS modelado	113
Tabela 4.3 - Parâmetros elétricos do sistema de distribuição – Caso 1	126
Tabela 4.4 - Parâmetros elétricos do sistema de distribuição – Caso 2	136
Tabela 4.5 - Parâmetros elétricos do sistema de distribuição – Caso 3	145
Tabela 4.6 - Parâmetros elétricos do sistema de distribuição – Caso 4	155

CAPÍTULO I

Introdução geral

1.1 - Considerações iniciais

Os avanços tecnológicos na indústria eletroeletrônica permitiram a produção de aparelhos cada vez mais modernos, que por sua vez contribuíram para a melhoria do conforto e da segurança em instalações residenciais e comerciais, além de desempenharem importante papel na área industrial. O uso destes aparelhos encontra-se altamente disseminado nos diversos setores da sociedade. Como exemplo, tem-se o caso dos chamados equipamentos de tecnologia da informação (ETI), pouco expressivos em décadas passadas e que hoje são facilmente encontrados em residências, no comércio e na indústria. Entretanto, a utilização massiva destes dispositivos, dentre outros, trouxe consequências para a qualidade do suprimento da energia elétrica devido à grande presença de cargas não-lineares na sua constituição. Os componentes eletrônicos empregados na construção dos aparelhos eletroeletrônicos provocam distorções na forma de onda da tensão e ou corrente e, como consequência, há a produção de distorções harmônicas da tensão nas redes elétricas. Esta situação se traduz em um desafio a ser enfrentado pelas empresas do setor elétrico, que têm passado a conviver com o aumento progressivo deste tipo de carga.

Em contraste a este quadro, estas mesmas cargas, têm cada vez mais demonstrado considerável sensibilidade à qualidade da energia elétrica do suprimento. Este fato decorre das características próprias operacionais do sistema elétrico, que é frequentemente submetido a eventos de entrada e saída de cargas de grande potência, atuação de esquemas de proteção, partidas de motores, ocorrências de curtos-circuitos, além da incidência de descargas atmosféricas. Como resultado destas situações operacionais comuns à dinâmica do sistema elétrico, podem ocorrer consideráveis desvios nas características do suprimento de energia elétrica nas instalações consumidoras. Em razão disto, os equipamentos dos consumidores são expostos a condições anormais de tensão e/ou corrente, que podem produzir efeitos indesejados nas instalações elétricas, compreendendo desde o mau funcionamento em alguns aparelhos, até o dano permanente e irreversível [1], [2]-[3].

Em grande parte das situações de danos a equipamentos eletroeletrônicos locados em instalações atendidas em baixa tensão é estabelecido um conflito entre as empresas de distribuição de energia elétrica e seus clientes. As empresas do setor elétrico brasileiro normalmente questionam a existência de responsabilidade em ressarcir seus consumidores em determinadas situações. Do outro lado, os consumidores prejudicados com a perda de bens utilizam-se dos benefícios legais disponibilizados pela atual estrutura do setor elétrico e acionam as concessionárias objetivando a reparação do dano. O fato de não existirem meios técnicos estabelecidos pelas concessionárias para a identificação precisa da correspondência entre o dano reclamado e o registro formal de perturbações utilizado nestas empresas constitui um agravante neste quadro. Em razão disto nem todos os pedidos de indenização são atendidos, resultando em insatisfação pelo lado dos consumidores, que se vêem obrigados a recorrer a outras instâncias, como é o caso das agências reguladoras e do poder judiciário, na esperança de ter sua solicitação de ressarcimento deferida.

Dentro deste contexto, emerge o tema Ressarcimento de Danos Elétricos, o qual tem despertado interesse na área de estudos da Qualidade de Energia Elétrica. Ante aos desafios oferecidos pelo assunto em destaque, foram produzidos diversos trabalhos pelos órgãos reguladores e de controle do setor de energia elétrica brasileiro, como é o caso da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Operador Nacional do Sistema (ONS), visando, principalmente, a fixação de diretrizes para a normatização dos padrões da Qualidade da Energia Elétrica no Brasil. Com referência à área de Ressarcimento de Danos Elétricos, observa-se avanço na regulamentação com a publicação de documento específico para disciplinar a questão, a Resolução Normativa n.º 61, de 29 de abril de 2004. Este ato normativo, embora relevante, carece de aperfeiçoamento para que possa ser estabelecido o equilíbrio no relacionamento distribuidora/consumidor, fazendo com que a decisão pela indenização seja orientada por critérios técnicos.

Deve-se ressaltar que a questão da indenização por prejuízos provocados pelos distúrbios já mencionados foi enfrentada em outros países. O tratamento dispensado a este assunto em diversos países está apresentado em [3]. Segundo esta referência, a forma como cada nação equacionou os problemas surgidos no âmbito das empresas de distribuição de energia elétrica trilhou caminhos diversos. No caso da comunidade européia, o meio encontrado foi o estabelecimento da chamada Diretiva de Compatibilidade Eletromagnética, publicada no ano de 1996. Neste documento foram estabelecidas diretrizes a serem seguidas pelos países membros no que se refere aos aparelhos emissores de perturbações e que, ao mesmo tempo, podem sofrer algum tipo de influência por estes mesmos fenômenos eletromagnéticos. Segundo as disposições da Diretiva Européia, foram fixados limites de imunidade e de emissão de campos eletromagnéticos que devem ser obedecidos por fabricantes que desejem comercializar seus produtos no mercado europeu. Dentre os tipos de distúrbios

abrangidos, estão incluídos aqueles comumente descritos como causadores de danos a equipamentos eletroeletrônicos como flutuações de tensão, descargas atmosféricas, curtos-circuitos e outras anomalias transitórias de alta frequência. Além da imposição de responsabilidade aos fabricantes, também os usuários passaram a ter o dever de adequar suas instalações às normas aceitas pela comunidade européia. A elaboração da Diretiva foi ao encontro às iniciativas tomadas por outros países da comunidade européia como França e Alemanha. No primeiro, a empresa responsável pela distribuição de energia elétrica no país impôs a seus consumidores a necessidade de instalação de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) na entrada de serviço para instalações novas e existentes. No caso da Alemanha, empresas seguradoras só indenizam seus clientes por danos produzidos por descargas atmosféricas na ocorrência do primeiro evento. Após isso, torna-se obrigatória a instalação de dispositivos protetores, caso contrário o contrato de seguro é cancelado [4].

Nos E.U.A. o tema é tratado pelas normas expedidas pela American National Standard Institute (ANSI) e pelo Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE).

No caso do Brasil, a regulamentação atual não permite, por exemplo, a adoção da solução empregada na França para minimização dos conflitos decorrentes de danos em equipamentos. Devido a questões legais, relacionadas com os contratos de concessão das distribuidoras, e outros pertinentes à regulação do serviço de distribuição, ainda não se vislumbra a possibilidade de imposição de obrigações aos consumidores quanto à instalação de DPS em suas instalações.

Apesar disso, é importante salientar o papel das normas técnicas brasileiras e internacionais, notadamente as que abordam os mecanismos de proteção das instalações de baixa tensão contra situações de operação anormal.

No Brasil, a norma NBR 5410 exerce a função de fornecer diretrizes a projetistas e engenheiros no sentido de planejar as instalações para as variadas adversidades a que estas podem estar sujeitas. Como exemplo cita-se ocorrência de curtos-circuitos, choques elétricos e também a incidência de sobretensões provocadas por descargas atmosféricas e oriundas de chaveamentos.

A observância das recomendações propostas pela mencionada norma poderiam contribuir de forma significativa na solução dos conflitos entre consumidores e concessionários. Não obstante a adoção das práticas sugeridas pela NBR 5410 constituírem mecanismos eficientes na questão das solicitações de ressarcimento de danos, devem ser destacados os importantes avanços oferecidos pelos trabalhos científicos desenvolvidos e em andamento nesta área de pesquisa.

Neste sentido, a utilização de estratégias fundamentadas na simulação computacional permite avaliar os impactos dos itens de qualidade da energia elétrica nos equipamentos conectados aos sistemas elétricos.

Diante deste cenário, onde se verifica o crescente número de indenizações e desgaste no relacionamento entre as distribuidoras e os consumidores, tem-se que a utilização de procedimentos sistematizados na forma de recursos computacionais constitui ferramenta confiável no suporte à tomada de decisões destas empresas quanto aos pedidos de indenização por danos elétricos. A adoção destas medidas pode contribuir para a minimização dos conflitos resultantes do processo de indenização, além da redução de custos e demandas nas esferas administrativa e judicial.

1.2 - Estado da arte

Como consequência da realização de pesquisas e estudos na produção bibliográfica vinculada aos assuntos discutidos anteriormente, a qual foi encontrada por meios tradicionais de acesso, obteve-se um considerável

conjunto de informações acerca dos trabalhos de pesquisa e os avanços obtidos sobre o tema em pauta. A partir da pesquisa realizada, chegou-se à conclusão que os documentos consultados subdividem-se nas áreas de conhecimento a seguir discriminadas.

- *Conceitos Gerais Associados com a Qualidade de Energia Elétrica*

Conceitos teóricos e definições sobre uma gama de distúrbios relacionados com a qualidade da energia elétrica, tais como afundamentos de tensão, interrupções, desequilíbrios de tensão e fenômenos transitórios estão disponíveis nas referências [1],[5]-[7]. Em complementação a estes conceitos, a referência [8] fornece meios para a categorização de problemas relativos à qualidade de energia. As questões associadas com o tópico em discussão são objeto de estudos no meio acadêmico. Portanto, considera-se dispensável tecer maiores comentários sobre o assunto neste trabalho.

- *Documentos normativos e orientativos nacionais sobre Qualidade da Energia Elétrica*

A referência [9] é um de Ato Normativo expedido pela ANEEL no qual foi consolidada a revisão do Procedimento de Distribuição (PRODIST) que tem por finalidade, dentre outros, o estabelecimento de procedimentos atinentes à qualidade da energia em sistemas de distribuição de energia elétrica. No documento em destaque, estão definidos conceitos e parâmetros que permitem à ANEEL fixar valores limite para os indicadores de Qualidade da Energia Elétrica. De forma mais abrangente, os Procedimentos de Rede, documento elaborado pelo ONS [10], consideram os padrões de qualidade recomendados para a rede básica do Sistema Interligado Nacional (SIN). Diante do fato de que o acesso a tais documentos é público, entende-se ser desnecessária uma maior discussão sobre os mesmos.

- *Sensibilidade e Suportabilidade de Aparelhos Eletroeletrônicos*

Os trabalhos de pesquisa conduzidos pelas referências [11],[12],[13],[14]-[30], realizados por diversas instituições nacionais e internacionais acerca da sensibilidade e suportabilidade de aparelhos elétricos utilizados por consumidores atendidos por redes de baixa tensão. Estes apresentam resultados obtidos sobre os efeitos produzidos por distúrbios de naturezas diversas sobre distintos equipamentos. Estas investigações, que envolveram em grande parte a realização de ensaios laboratoriais, tiveram por objetivo o conhecimento dos limites toleráveis por tais aparelhos em razão de fornecimento de energia elétrica em condições anormais. Apesar destes esforços, observa-se que são poucos os que, efetivamente, apresentam resultados finais conclusivos expressos na forma de curvas indicativas dos padrões de tolerância admissíveis.

Na referência [31] estão relacionadas, de forma sintética, as principais publicações correlacionadas com este assunto. Dentre os trabalhos abordados, nota-se que a referência [11] apresenta resultados de testes realizados em laboratório com a finalidade de levantar as características de imunidade a danos de alguns tipos de produtos eletroeletrônicos utilizados em instalações residenciais, tais como televisores, aparelhos de som e de DVD. Os aparelhos estudados foram submetidos a transitórios impulsivos e sobretensões à frequência industrial. No mesmo sentido, o trabalho proposto em [12] apresenta curvas de sensibilidade e de tolerância a falhas também obtidas a partir de testes laboratoriais para televisores, rádio-relógio, DVD's, refrigeradores, aparelhos de vídeo cassete e microcomputadores. Estes equipamentos tiveram seu desempenho avaliado diante dos seguintes itens de qualidade da energia elétrica: afundamentos de tensão, interrupções e transitórios impulsivos. Cumpre destacar que, previamente a estes trabalhos, o documento [22] já havia apresentado uma curva com valores recomendados de tolerância a distúrbios da tensão de

fornecimento. Inicialmente, os padrões propostos por esta referência eram aplicáveis somente a equipamentos de tecnologia da informação, porém com o passar do tempo, sua utilização foi estendida a outros aparelhos eletrônicos.

Além destes trabalhos, deve ser ressaltada a importância dos documentos destinados aos procedimentos para testes visando a avaliação dos níveis admissíveis de suportabilidade dos equipamentos elétricos. Dentre estes, destacam-se as referências [32] e [33]. Nestes documentos, estão descritos os procedimentos para aplicação de afundamentos de tensão, interrupção e sobretensões impulsivas.

Em que pese os avanços obtidos nestes trabalhos, deve ser salientado que este tópico carece de investigações mais aprofundadas, de modo que seja alcançada, para grande parte dos equipamentos de uso doméstico, a correlação entre as perturbações elétricas e os níveis de suportabilidade térmica e dielétrica que estes podem suportar sem reduzir a sua vida útil.

- *Modelagem computacional de redes de distribuição e de aparelhos elétricos*

A referência [34] trata dos recursos computacionais oferecidos pelo aplicativo ATP (Alternative Transients Program), simulador utilizado em estudos envolvendo sistemas elétricos no domínio do tempo. Levando-se em consideração que o mencionado software constitui uma das ferramentas principais no campo das simulações computacionais utilizadas pela comunidade científica e de sua grande difusão neste meio, entende-se não ser necessária uma abordagem em nível detalhado sobre o mesmo neste trabalho.

Nas referências [15],[16],[28],[29],[31],[35] estão disponíveis informações sobre a questão da modelagem de equipamentos empregados nos segmentos de consumo industrial, comercial e residencial e as respectivas

implementações em ambientes computacionais. Nestes documentos estão estabelecidas as diretrizes utilizadas, além da proposição de estratégias para representação de vários dispositivos e a respectiva validação das propostas através da comparação entre seu desempenho teórico com resultados experimentais. Tendo-se em vista as particularidades atreladas com os estudos investigativos em cada um dos produtos focados neste contexto, considera-se apenas relevante ressaltar que os modelos disponibilizados e já implementados na plataforma ATP se mostram compatíveis às exigências impostas por estudos de regime permanente e sob condições não ideais de suprimento.

- *Documentos nacionais /internacionais relacionados com a proteção contra surtos elétricos em sistemas de baixa tensão*

Nas referências [1] e [4] são apresentados conceitos gerais sobre a origem dos surtos produzidos por descargas atmosféricas e chaveamento de circuitos e sua interação com as instalações e equipamentos alimentados em tensão secundária de sistemas de distribuição. Também são relacionadas as principais medidas para controle e limitação destes distúrbios, destacando-se a necessidade de proteção dos equipamentos eletrônicos sensíveis contra os efeitos destes fenômenos. No mesmo sentido, o documento [36] apresenta uma discussão sobre a origem dos surtos em instalações alimentadas em tensão alternada inferior a 1000 V, com ênfase naqueles produzidos por descargas atmosféricas, sejam elas diretas às instalações ou não. Neste mesmo trabalho é apresentado o importante conceito de classificação das instalações em categorias de localização.

A referência [37] discute as práticas recomendadas para caracterização dos surtos comumente verificados nas instalações de baixa tensão, descrevendo as formas utilizadas para sua representação adequada. No documento, relaciona-

se um grupo de formas de ondas padronizadas para utilização em investigações de suportabilidade de equipamentos diversos e testes laboratoriais para aferição de desempenho de circuitos de proteção contra surtos. Complementarmente a estes dois documentos, em [38] são fornecidos conceitos de grande relevância para a correta instalação e aplicação dos dispositivos indicados para a mitigação destes distúrbios.

A norma [39] aborda as condições que devem ser atendidas pelas instalações elétricas de baixa tensão de modo a garantir a segurança das pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens em território nacional. Referente à questão das perturbações elétricas produzidas por descargas atmosféricas e manobras em circuitos, o documento dedica considerável espaço ao assunto, apresentando recomendações e medidas de proteção adequadas para os equipamentos sensíveis contra as referidas perturbações. Ainda sobre este assunto, a norma [40] aborda a proteção contra sobretensões para os mesmos tipos de instalações. Neste documento, propõe-se o conceito de categoria de suportabilidade a impulso (ou categoria de instalação), que serve de embasamento na elaboração de medidas preventivas contra os efeitos dos surtos elétricos.

Em [2],[41]-[43] estão relacionados os vários tipos de tecnologias utilizadas para a limitação dos transientes de tensão ou corrente em edificações alimentadas por redes de distribuição secundárias, focalizando os componentes internos empregados em dispositivos de proteção contra surtos. Em complementação a estes trabalhos, a referência [44] também descreve aspectos construtivos dos dispositivos disponíveis comercialmente para proteção contra surtos elétricos assim como apresenta características de desempenho a serem atingidas pelos mesmos quando submetidos a testes específicos.

A norma [45] apresenta os procedimentos para realização de testes de desempenho recomendados para DPSs a serem efetuados com ondas

padronizadas geradas em laboratório. Neste documento, são estabelecidas três classes distintas para categorização dos DPSs denominadas por I, II e III. Cada uma delas possui diferentes padrões de desempenho esperado para os dispositivos sob ensaio. Os dispositivos qualificados na classe I são mais indicados para uso na entrada de edificações protegidas por Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Os dispositivos das classes II e III são indicados para lugares sujeitos a níveis de exposição a surtos menores que os da classe I. Por fim, na mesma referência são estabelecidas as informações mínimas relativas aos parâmetros elétricos dos dispositivos sob foco que devem ser fornecidas pelos fabricantes.

Nas referências [46]-[50] são realizados estudos com suporte de técnicas computacionais com a finalidade de examinar a influência do local de instalação no desempenho do sistema de proteção contra surtos. Os estudos, realizados por meio de simulações computacionais, revelaram que a medida que o condutor que faz a conexão dos DPSs aos equipamentos dos usuários finais torna-se muito longo, ocorrem oscilações na tensão do surto incidente de modo a tornar a amplitude da perturbação elevada na carga a ser protegida, o que torna o esquema de proteção ineficiente.

As referências [51]-[53] focalizam os aspectos relacionados com a aplicação de DPSs na proteção de equipamentos sensíveis. Dentre os itens que devem ser levados em consideração pelos projetistas e usuários, os autores dos trabalhos [51]-[52] enfatizam a importância desempenhada pelo sistema de aterramento, pela equipotencialização e pelas blindagens no sucesso do sistemas de proteção contra surtos. Por outro lado, em [53] o autor alerta para a necessidade de proteção térmica para os dispositivos que utilizam varistores em sua construção contra os efeitos das sobretensões temporárias, que podem levar o DPS à condição de falha e prejudicar a operação normal do sistema no qual

está inserido. A suportabilidade dos DPSs frente a ocorrência destes distúrbios também é discutida em [54]-[55].

Os trabalhos [56]-[57] examinam as técnicas empregadas para a coordenação seletiva entre dois ou mais dispositivos de proteção.

Finalmente, em [3] é realizado um estudo com vistas a estimar o custo financeiro para a implantação de um sistema de proteção baseado em DPSs em um único estágio. O autor realizou um levantamento sobre os custos, a partir de uma determinada especificação que, em tese, teria condições de atender à maioria das unidades consumidoras alimentadas pelo sistema de baixa tensão das concessionárias de distribuição no Brasil. O custo financeiro total, englobando também materiais e mão-de-obra, totalizou o montante de R\$ 250,00 à época da realização do estudo. No mesmo trabalho, são avaliadas as consequências da imposição da obrigatoriedade de instalação destes dispositivos aos consumidores atendidos em tensão secundária.

- *Normas, documentos e trabalhos realizados na área de ressarcimento de danos*

No contexto nacional, o documento [58] consiste em Resolução Normativa expedida pela ANEEL sobre o tema em evidência e estabelece, conforme mencionado anteriormente, as disposições relativas ao ressarcimento de danos em equipamentos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbação ocorrida no sistema supridor de energia elétrica. Em complementação, a referência [59] fornece critérios e procedimentos recomendados para concessionárias de distribuição de energia elétrica visando a padronização da análise das responsabilidades pelos danos materiais, reclamados por terceiros, nos casos em que se verifica que a distribuidora possui responsabilidade. Além destas publicações, a referência [60] trata

especificamente da correlação do tema em discussão com os efeitos associados com eventos de descargas atmosféricas e manobras. Esta última ainda mostra aos agentes do setor elétrico, de forma explícita, os procedimentos da ANEEL e das Agências Estaduais Conveniadas em relação ao tema, de modo a prevenir conflitos com consumidores.

O trabalho [3] 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. Também aponta para o fato de que as agências de regulação observam um número crescente de conflitos entre as partes, e que, atualmente, não existem meios eficientes para resolver tais contendas. Para minimizar parte dos problemas, esta referência apresenta como proposta a execução de 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 transitórios na tensão de alimentação.

Em [61] são feitas considerações sobre a interrupção da tensão por meio de manobras na média tensão em condições normais de operação. Foi detectado, via equipamentos de medição, que estes eventos na rede podem produzir um tipo de transitório que se converte, devido a uma série de fatores, em uma sobretensão na baixa tensão. Embora considerados um fenômeno normal e de baixa severidade, esses distúrbios têm sido apontados como causa de danos a aparelhos elétricos.

A referência [62] discute a questão do fluxo de correntes para a terra e do surto de tensão 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 tensões transitórias provenientes da rede de alimentação da distribuidora.

A publicação [63] apresenta estudos de simulação com vistas à verificação da possibilidade das descargas atmosféricas danificarem equipamentos eletroeletrônicos instalados em edifícios localizados a centenas ou até mesmo milhares de metros do ponto de impacto. O documento conclui que, dentre as causas mais comuns para o surgimento destes problemas, uma delas está na instalação inadequada de DPSs nas edificações.

Em [64] 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 [39]. O documento contempla: 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 ANEEL nº 61/2004.

A referência [65] está associada com os seguintes temas: identificação das causas mais frequentes 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 com um elenco de proposições para empresas e consumidores visando à redução de queimas de aparelhos elétricos.

Com relação aos pacotes computacionais específicos para análise de pedidos de ressarcimento, a referência [66] 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. A proposta é baseada no emprego da Rede Neural Artificial tipo IAC – *Interactive Activation and Competition*.

Ainda em relação aos programas computacionais, conforme destacou-se anteriormente, a referência [31] traz importantes contribuições para esta complexa área de estudos. Este trabalho, a partir de uma metodologia fundamentada na correlação entre distúrbios e esforços dielétricos e térmicos impostos aos equipamentos eletroeletrônicos, permite uma análise da possibilidade de existência de nexo causal diante de um determinado distúrbio. Este procedimento, sistematizado na forma de um programa computacional, originou um aplicativo denominado por APR – Analisador de Pedidos de Ressarcimento.

1.3 - Justificativa e relevância do tema

Trabalhos recentes têm demonstrado o impacto financeiro crescente para as concessionárias em decorrência das indenizações por danos a aparelhos elétricos no Brasil. O fato dos equipamentos domésticos estarem se tornando cada vez mais sensíveis também constitui um fator agravante.

O aumento do número de solicitações de ressarcimento não resolvidas na esfera das concessionárias também se traduz em fator preocupante para as agências reguladoras, encarregadas de avaliar requerimentos de consumidores insatisfeitos com a decisão tomada pelas distribuidoras responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica. A título de exemplo, no ano 2007 a Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição da ANEEL (SRD) realizou reexame de 568 solicitações de ressarcimento elétricos de oito distribuidoras [67]. O estudo realizado pela Superintendência da ANEEL apontou a existência de falhas no tratamento das solicitações por parte das

mesmas, inclusive no estabelecimento do nexo causal entre a queima do equipamento e o registro de perturbações das redes elétricas, utilizado para embasar o julgamento das solicitações de ressarcimento por danos. Diante deste quadro, os órgãos reguladores também se vêem sobrecarregados pelo aumento no número de processos administrativos internos e de mediações de conflitos em suas ouvidorias. Considerando a existência de falhas por parte das empresas na aplicação do Ato Normativo expedido pela ANEEL, a já mencionada Resolução Normativa n.º 61/2004, procedeu-se a revisão da mesma visando atender necessidades das partes envolvidas. Esta revisão foi consolidada na Resolução Normativa n.º 360, de 14 de abril de 2009 [68]. Este documento apresenta avanços na regulamentação dos procedimentos a serem seguidos por concessionárias e consumidores constantes na resolução anterior.

Os fatos acima expostos evidenciam a necessidade de que a análise das diferentes solicitações de ressarcimento seja orientada por critérios solidamente embasados em trabalhos científicos, de forma a deixar clara a posição da empresa diante de cada pedido de indenização.

Assim, ressalta-se a importância das pesquisas realizadas no sentido de fornecer meios para a elucidação dos aspectos ainda carentes de informações precisas nesta linha de pesquisa. As principais pesquisas realizadas nesta área tem atentado ao desenvolvimento de metodologia computacional para suporte à análise técnica das solicitações e à investigação dos padrões de imunidade a falhas ou danos dos diversos equipamentos encontrados nas instalações consumidoras.

Como já citado anteriormente, dentre os trabalhos já realizados com esta finalidade, destaca-se a estratégia computacional proposta em [31], destinado a análise de pedidos de ressarcimento de danos alicerçada em indicadores dos níveis de solicitações dielétricas e térmicas dos equipamentos eletroeletrônicos, quando sujeitos à ação de perturbações elétricas. Os indicadores obtidos por

meio de processamento computacional são confrontados com padrões de tolerância a danos definidos em outros trabalhos científicos publicados, de forma a permitir ao usuário a comparação das informações por meio de curvas de suportabilidade térmica e dielétrica.

Em que pese a importância da metodologia acima referenciada e dos inúmeros trabalhos desenvolvidos e citados no estado da arte, devido à complexidade do tema, ainda existem muitos aspectos ainda carentes de aprimoramento. Dentre as dificuldades encontradas, destacam-se as informações relativas aos padrões de imunidade a danos dos diferentes produtos utilizados pelos consumidores em suas instalações. Este item ainda representa um desafio a ser superado visto que os resultados obtidos por meio de ensaios laboratoriais para os equipamentos ainda não podem ser considerados como conclusivos.

Além disso, verifica-se até o momento que poucos esforços foram feitos na outra extremidade do processo, ou seja, no estudo da aplicação de medidas preventivas que poderiam amenizar os conflitos decorrentes dos prejuízos provocados por perturbações elétricas originadas nas redes de distribuição. Um exemplo desta estratégia reside na recomendação utilização de dispositivos mitigadores no padrão de energia elétrica dos consumidores.

Diante deste contexto, a presente dissertação avança no tema “Ressarcimento de Danos”, através do aperfeiçoamento da metodologia descrita para análise de solicitações de ressarcimento de danos elétricos [31], pela inclusão de dispositivos mitigadores (DPSs), destacando-se seu princípio de funcionamento, características construtivas, especificação, modelagem, implementação computacional, estudos e análises de desempenho.

Complementando os aspectos anteriores, este trabalho segue na direção de verificar a consistência do modelo desenvolvido, através da comparação dos resultados obtidos em diversas simulações computacionais com àqueles oriundos de informações reais obtidas de uma concessionária de energia elétrica.

1.4 - Contribuições desta dissertação

Não obstante a importância dos trabalhos mencionados no estado da arte desta dissertação, os quais concorrem significativamente para o avanço no conhecimento nesta linha de pesquisa, verifica-se que ainda existem lacunas a serem preenchidas. Dentre estes trabalhos publicados, tem-se nas referências [31] e [69] uma importante contribuição para os estudos computacionais de pedidos de indenização por danos a aparelhos elétricos. Esta metodologia está consubstanciada na forma do programa Analisador de Pedidos de Ressarcimento (APR) o qual foi objeto de comentários no item anterior. Apesar de sua eficiência como ferramenta de suporte a análise de solicitações de ressarcimento de danos, convalidada em trabalhos anteriores à presente dissertação, observa-se que o aplicativo encontra-se em pleno estágio de desenvolvimento.

Diante deste contexto, o presente trabalho avança no tema em discussão com as seguintes contribuições:

- Realização de um levantamento quantitativo e qualitativo envolvendo as solicitações de ressarcimentos registradas por uma empresa de distribuição de energia elétrica visando identificar, entre outros, as ocorrências mais comuns associadas às indenizações, os tipos de equipamentos envolvidos e custos com a reposição/reparação despendidos pela concessionária de energia elétrica;
- Estudo do princípio de funcionamento, arquitetura interna e requisitos para a utilização e especificação de dispositivos destinados a proteção contra surtos elétricos (DPS) em redes elétricas em baixa tensão;
- Desenvolvimento de uma modelagem computacional representativa para os dispositivos mitigadores. Inclusão do

modelo desenvolvido na ferramenta computacional descrita nas referências [31] e [69] de modo a complementá-la e atualizá-la;

- Avaliação da consistência do aplicativo devidamente atualizado com o modelo implementado, tomando-se por base quatro casos reais de ressarcimento por danos.

1.5 - Estrutura da dissertação

O primeiro capítulo, como visto, dedica-se à apresentação das considerações gerais sobre o tema desenvolvido, o estado da arte, a justificativa da presente dissertação, e os esclarecimentos acerca das contribuições oferecidas pela dissertação. Os demais capítulos que compõem este trabalho são detalhados a seguir.

CAPÍTULO 2 – LEVANTAMENTO QUALITATIVO E QUANTITATIVO DE SOLICITAÇÕES DE RESSARCIMENTO DE DANOS ELÉTRICOS

No presente capítulo são apresentados, sob a forma de gráficos e tabelas, os resultados de um levantamento de pedidos de ressarcimento realizado junto à concessionária responsável pelo serviço de distribuição no Estado de Mato Grosso. O levantamento em questão abrange informações sobre os tipos de equipamentos envolvidos nas indenizações, os valores desembolsados pela empresa e os tipos de ocorrências vinculadas aos danos causados nos aparelhos eletrodomésticos.

CAPÍTULO 3 – DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS)

Este capítulo tem por objetivo apresentar os dispositivos mitigadores (DPSs), destacando-se seu princípio de funcionamento, características básicas construtivas, recomendações para a sua correta especificação e utilização.

CAPÍTULO 4 – ESTUDOS DE CASOS

Inicialmente, este capítulo contempla uma proposta para a modelagem computacional do DPS na plataforma do Alternative Transients Program (ATP) e tece considerações sobre a integração do modelo desenvolvido ao APR em sua versão mais recente. O capítulo finaliza com a validação do trabalho proposto através da implementação e simulação computacional de quatro casos reais de pedidos de ressarcimento formulados à distribuidora CEMAT.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES GERAIS

Finalmente, são apresentadas, de forma resumida, as análises e discussões sobre os principais resultados e constatações feitas durante o desenvolvimento dos trabalhos. Ainda, ressalta-se as principais contribuições propiciadas por este trabalho e sugestões para futuras pesquisas nesta área.

CAPÍTULO II

Levantamento qualitativo e quantitativo de solicitações de ressarcimento de danos elétricos

2.1 - Considerações iniciais

O presente capítulo tem por finalidade apresentar resultados do levantamento realizado junto ao banco de informações de uma empresa específica, a fim de ilustrar as principais características verificadas neste tipo de requerimento, em uma determinada região do país.

A empresa em questão é a Centrais Elétricas Matogrossenses S.A. (CEMAT), responsável pelo serviço de distribuição de energia elétrica no Estado de Mato Grosso.

As informações levantadas são apresentadas na sequência na forma de gráficos e tabelas com dados qualitativos e quantitativos obtidos em um período de avaliação pré-definido. As informações coletadas junto à empresa supracitada são apresentadas em duas etapas. Na primeira, os esforços são concentrados em informações gerais acerca do comportamento das solicitações de ressarcimento registradas pela CEMAT entre os anos 2004 a 2007 no que se refere aos índices

de caso procedentes, improcedentes e a importância financeira envolvida no pagamento de ressarcimento dos bens reclamados. A título de informação, o início da pesquisa no ano 2004 coincide com a época em que foi publicada a Resolução Normativa ANEEL n.º 61. A segunda etapa focalizou a investigação dos equipamentos elétricos citados em processos de ressarcimento de danos registrados pela distribuidora. Fez-se a opção de trabalhar somente com PIDs considerados procedentes no ano 2007 no complexo urbano formado pela capital do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, e a cidade de Várzea Grande.

Nos tópicos a seguir, estas informações são relatadas e posteriormente discutidas de forma a ressaltar a importância do presente estudo.

2.2 - Evolução das indenizações por danos elétricos no Estado de Mato Grosso

Na Figura 2.1 estão disponibilizados os dados referentes ao registro de pedidos de indenização por danos elétricos processados pela CEMAT no quadriênio 2004-2007.

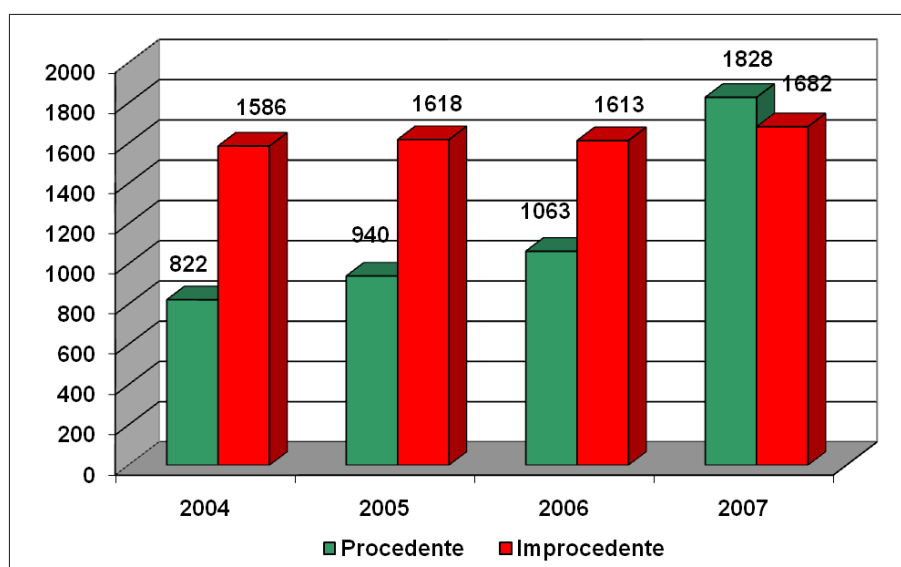


Figura 2.1 - Evolução de PIDs registrados pela CEMAT entre 2004 a 2007

Verifica-se o aumento progressivo de PIDs, bem como aumento do número de casos considerados procedentes pela análise da concessionária. Em 2007, por exemplo, é possível constatar que o número de casos procedentes supera o quantitativo de improcedentes.

A partir do gráfico constante na Figura 2.1 é possível obter as seguintes conclusões:

- O número de pedidos procedentes teve aumento de 122,38% no intervalo de tempo pesquisado;
- O número de pedidos improcedentes progrediu em taxas inferiores. No mesmo período, o crescimento verificado foi de aproximadamente 6%.

Na Figura 2.2 destaca-se o aumento dos montantes financeiros pagos a título de ressarcimento de danos a consumidores para os casos procedentes no mesmo período avaliado anteriormente. A fim de oferecer uma percepção do impacto das indenizações perante a arrecadação líquida da empresa, ilustra-se na mesma figura a comparação destas informações, em forma de valores percentuais, com a Receita Operacional Líquida (ROL). O termo ROL, costumeiramente empregado no cotidiano das empresas do setor elétrico corresponde ao montante total faturado pela concessionária, deduzidas as despesas com impostos, em um determinado intervalo de tempo.

Tendo em vista o aumento progressivo de pagamentos ilustrados na Figura 2.1, observa-se que os valores pagos por indenização, vem se tornando mais representativos, aproximando-se de 0,1 % da ROL da CEMAT no ano 2007.

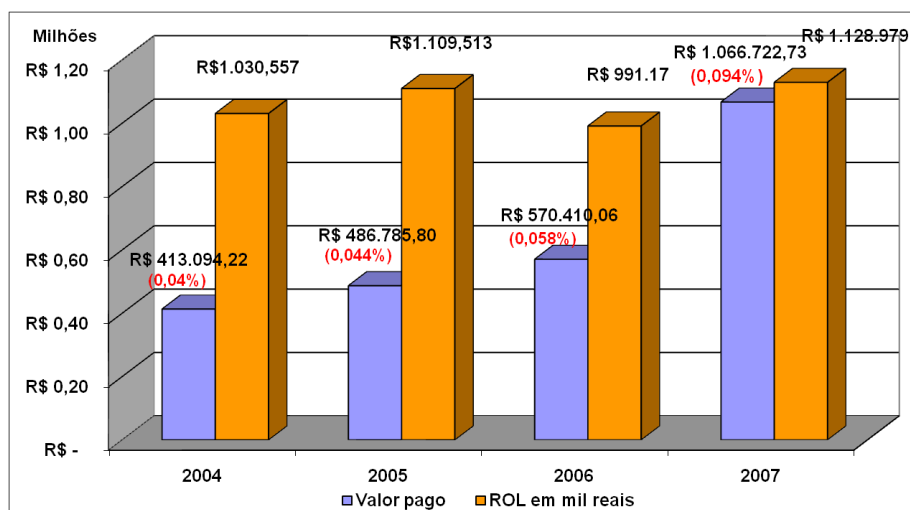


Figura 2.2 - Montante financeiro despendido com ressarcimento de danos elétricos em relação à ROL da CEMAT entre 2004 a 2007

Com a finalidade de propiciar mais clareza nas informações constantes na Figura 2.2, a Tabela 2.1 ilustra as variações percentuais entre 2005 e 2007.

Tabela 2.1 - Porcentagem dos valores pagos por indenização comparados com a ROL da CEMAT

Ano	Variação (%)	% da ROL
2005	17,84	0,044
2006	17,18	0,058
2007	87,01	0,094

Constata-se a partir do gráfico e da tabela o crescimento acentuado nos valores envolvidos com pagamentos de PID pela CEMAT, notadamente entre os anos 2006 a 2007.

Nas Figuras 2.3 e 2.4 tem-se os resultados do mesmo tipo de levantamento realizado para as cidades de Cuiabá e Várzea Grande, situadas às margens do Rio Cuiabá. Até o ano de 2008, os dois municípios totalizavam juntos cerca de 270.000 consumidores. Este número representa 28,72% do número total de clientes atendidos pela CEMAT até o mesmo período, que foi de 940.012 unidades consumidoras.

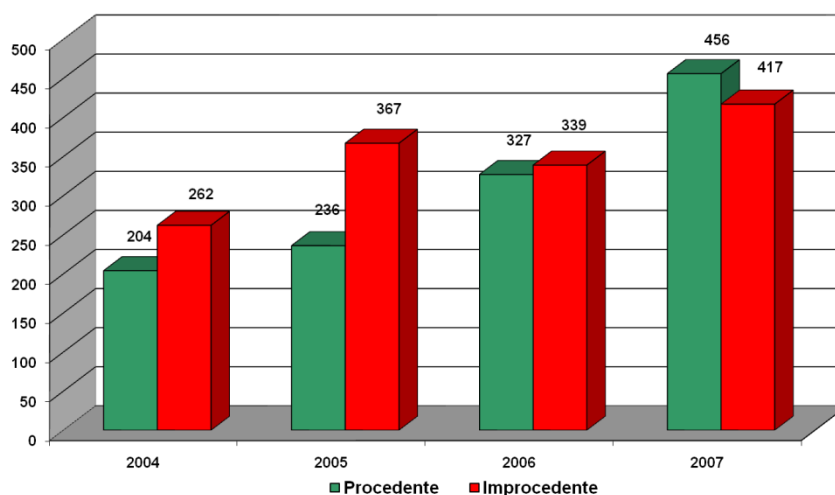


Figura 2.3 - Evolução de PIDs registrados em Cuiabá entre 2004 e 2007

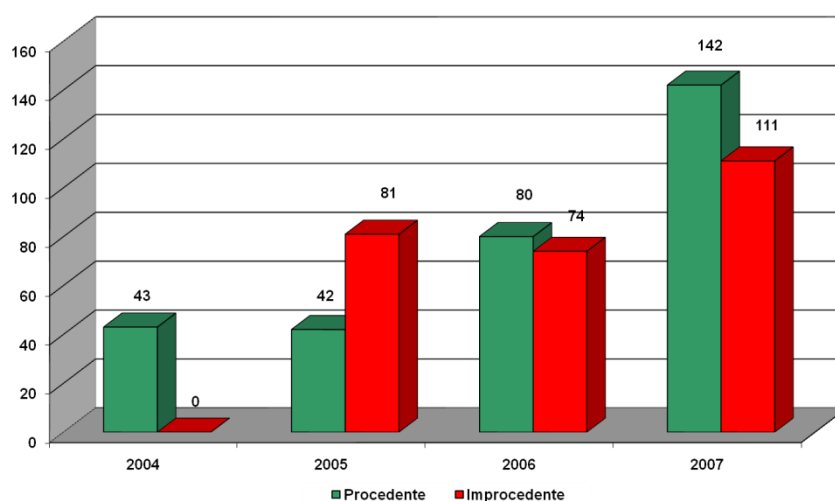


Figura 2.4 - Evolução de PIDs registrados em Várzea Grande entre 2004 e 2007

Da análise das Figuras acima expostas, obtêm-se as seguintes conclusões:

- Considerando o número total de PIDs registrados para Mato Grosso até o ano 2007, verifica-se que as duas cidades respondem por 32,88% das solicitações consideradas procedentes e 25,40% das improcedentes;
- A exemplo do que ocorreu com o restante do Estado, nota-se a mesma tendência de crescimento acentuado de pedidos procedentes em Cuiabá e

em Várzea Grande. No quadriênio, o crescimento foi de aproximadamente 123,53% em Cuiabá e em Várzea Grande foi de 230%.

- A evolução de PIDs considerados improcedentes cresceu a taxas menores em Cuiabá, onde o percentual de crescimento foi de 59,16%. Por outro lado, em Várzea Grande não foi possível realizar a análise quantitativa destes tipos de pedidos de ressarcimento tendo em vista que em 2004 nenhuma das solicitações recebidas pela concessionária foi considerada improcedente.

Na Figura 2.5, demonstra-se a comparação entre os valores pagos aos casos de PID considerados procedentes na região metropolitana da capital em relação ao restante do Estado no mesmo período de análise das situações anteriores.

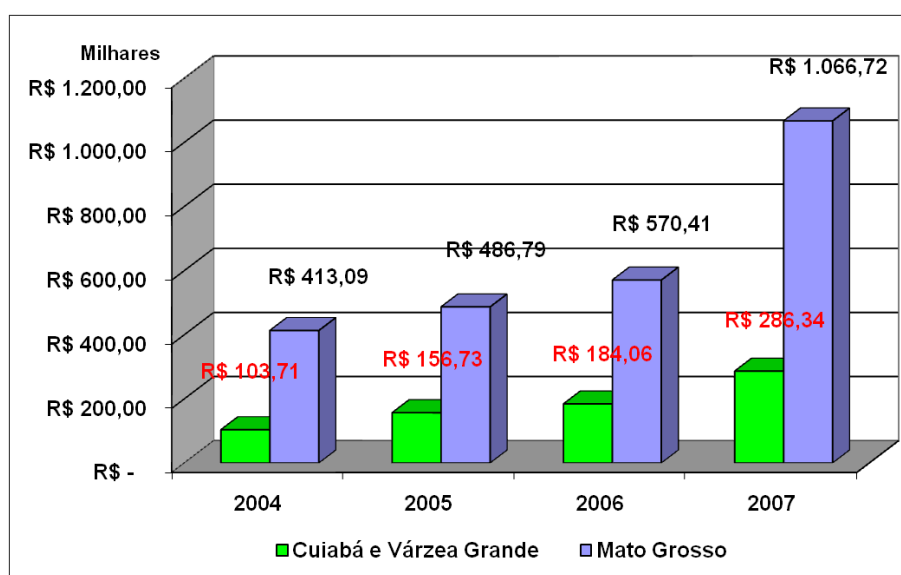


Figura 2.5 - Evolução do montante financeiro despendido com pagamento de ressarcimento de danos elétricos na região metropolitana (em milhares de reais)

A Figura 2.5 permite concluir que somente na região metropolitana o montante financeiro desembolsado pela CEMAT com pagamento de indenizações por danos elétricos, no período compreendido entre 2004 e 2007, totalizou R\$ 730.840. Em termos percentuais, este valor representa

aproximadamente 29% do montante total pago a todos os consumidores indenizados no Estado.

2.3 - Levantamento quantitativo

Nesta seção, são apresentados dados quantitativos relativos aos equipamentos que figuraram em solicitações de ressarcimento em um período de tempo delimitado. Foram selecionados 123 processos de indenização por danos registrados pela CEMAT no ano 2007 na cidade de Cuiabá e 40 de Várzea Grande. Todos os casos avaliados obtiveram parecer favorável a indenização por parte da concessionária como já citado anteriormente.

A partir das tabelas contendo as quantidades de equipamentos envolvidos nos processos, são feitos comentários com vistas a verificar quais Fabricante e modelos que se apresentam em maior volume nas mencionadas solicitações. Adicionalmente, a análise quantitativa apresenta uma comparação entre o montante financeiro versus o quantitativo de equipamentos objeto de indenização pela concessionária. Para atingir este objetivo, as tabelas e figuras estão dispostas de modo a permitir a interpretação das informações da forma mais fácil possível.

2.3.1 - Causas que Originaram Pedidos de indenização e os Montantes Financeiros Associados

A seguir, são relacionadas as informações colhidas nos processos de ressarcimento da região do aglomerado urbano de Cuiabá no ano 2007 no que se refere às ocorrências que deram origem aos PIDs, além dos equipamentos envolvidos nestes processos. A forma de apresentação é feita por tabelas que

evidenciam, para cada equipamento indenizado, o montante financeiro custeado pela CEMAT.

Nas Tabelas 2.2 e 2.3 estão relacionados o total de bens ressarcidos pela concessionária para cada perturbação elétrica vinculada ao desembolso com solicitações de ressarcimento na região metropolitana da capital de Mato Grosso. Para o caso de Cuiabá, os dados evidenciam que a causa denominada pela empresa em questão como “falha em equipamentos” aparece como motivo predominante para o pagamento de indenizações nos processos examinados, sendo responsável, isoladamente, pelo montante de R\$ 17.071,88 em indenizações. Em Várzea Grande, foi observado que o item “falhas em equipamentos da rede primária” se sobressai como a principal causa mencionada nos processos avaliados, totalizando R\$ 4.534,54 em equipamentos ressarcidos. Ressalta-se que o montante pago em razão de indenização por danos em Cuiabá para a parcela de PIDs analisados foi de R\$ 41.166,75, enquanto em Várzea Grande o total pago foi de R\$ 13.707,00.

Tabela 2.2 - Perturbações elétricas e causas associadas com PIDs - Cuiabá

Causa	Qtde de Bens	Custo Total	Custo Médio
FALHAS EM EQUIPAMENTOS - FALHAS EM EQUIPAMENTO	47	R\$ 17.071,88	R\$ 363,23
FALHAS EM EQUIPAMENTOS - FALHA EM EQ. DA REDE PRIMÁRIA	41	R\$ 10.866,05	R\$ 265,03
OPERACIONAIS - INDETERMINADA	10	R\$ 2.025,50	R\$ 202,55
MEIO AMBIENTE - DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	6	R\$ 3.612,40	R\$ 602,07
OPERACIONAIS - RELIGAMENTOS AUTOMÁTICOS	5	R\$ 2.323,80	R\$ 464,76
AÇÃO HUMANA – ABALROAMENTOS	3	R\$ 943,10	R\$ 314,37
AÇÃO HUMANA – VANDALISMOS	2	R\$ 1.185,27	R\$ 592,64
ROMPIMENTO DE CABOS	2	R\$ 651,75	R\$ 325,88
OPERACIONAIS	2	R\$ 517,00	R\$ 258,50
AÇÃO HUMANA – PIPA	1	R\$ 561,00	R\$ 561,00

Causa	Qtde de Bens	Custo Total	Custo Médio
MEIO AMBIENTE – PÁSSARO	1	R\$ 547,00	R\$ 547,00
OPERACIONAIS - SAÍDA DE LINHA	1	R\$ 120,00	R\$ 120,00
OPERACIONAL - MUDANÇA DE TAP	1	R\$ 195,00	R\$ 195,00
OPERACIONAIS - CURTO CIRCUITO	1	R\$ 547,00	R\$ 547,00
	123	R\$ 41.166,75	

Tabela 2.3 - Perturbações elétricas e causas associadas com PIDs – Várzea Grande

Causa	Qtde de Bens	Custo Total	Custo Médio
FALHA EM EQUIPAMENTOS - FALHA EM EQ. DA REDE PRIMÁRIA	13	R\$ 4.534,54	R\$ 348,81
FALHAS EM EQUIPAMENTOS - FALHAS EM EQUIPAMENTO	8	R\$ 2.068,23	R\$ 258,53
OPERACIONAIS - INDETERMINADA	9	R\$ 2.562,44	R\$ 284,72
MEIO AMBIENTE - DESCARGA ATMOSFÉRICA	4	R\$ 2.149,04	R\$ 537,26
OPERACIONAIS - RELIGAMENTO AUTOMÁTICO	2	R\$ 911,10	R\$ 455,55
ROMPIMENTO DE CABOS	1	R\$ 109,50	R\$ 109,50
OPERACIONAIS	1	R\$ 790,28	R\$ 790,28
FALHAS HUMANAS – INVERSÃO DE CONDUTORES	1	R\$ 118,00	R\$ 118,00
PROGRAMADA - MANUTENÇÃO	1	R\$ 463,87	R\$ 463,87
	40	R\$ 13.707,0	

2.3.2 - Montante Financeiro Despendido com Indenizações por Equipamento

Com vistas a dar sequência a apresentação dos dados extraídos dos processos de ressarcimento da CEMAT, serão expostos os custos de ressarcimento despendidos pela empresa. O primeiro equipamento focalizado é

o aparelho de TV, produto eletroeletrônico que figura com maior frequência nos pedidos de indenização por danos avaliados tanto em Cuiabá como em Várzea Grande.

A Figura 2.6 permite a visualização da quantidade de equipamentos que foram objeto de indenização devido a algum distúrbio no sistema de distribuição da concessionária em destaque para a cidade de Cuiabá. A Figura 2.7 oferece a mesma possibilidade para o caso de Várzea Grande. Observa-se que no caso de Cuiabá, os televisores, as geladeiras, os aparelhos de som e os computadores se sobressaem como os principais aparelhos eletroeletrônicos que foram ressarcidos pela empresa. Em Várzea Grande os resultados foram semelhantes, com pequena predominância dos aparelhos de som em relação as geladeiras e com presença maior de fornos microondas, superando o número de computadores.

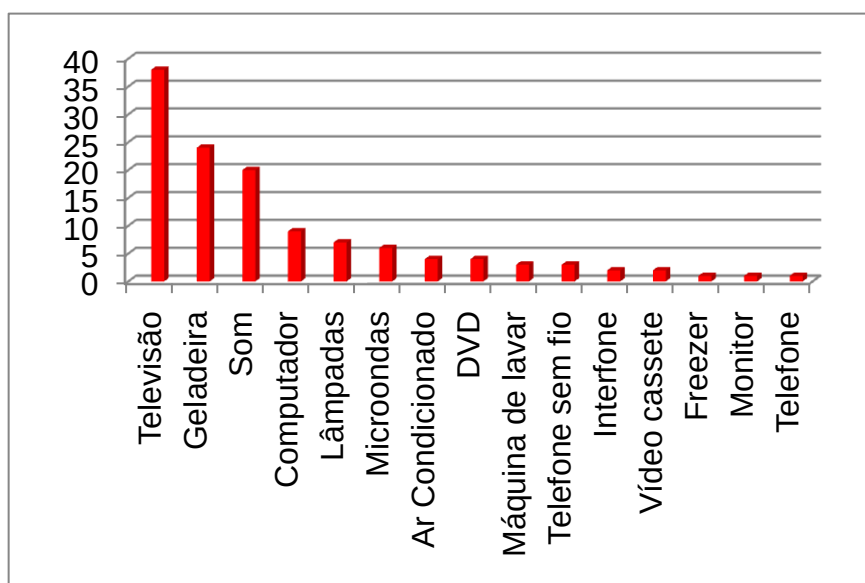


Figura 2.6 - Quantidade de equipamentos indenizados pela CEMAT – Cuiabá

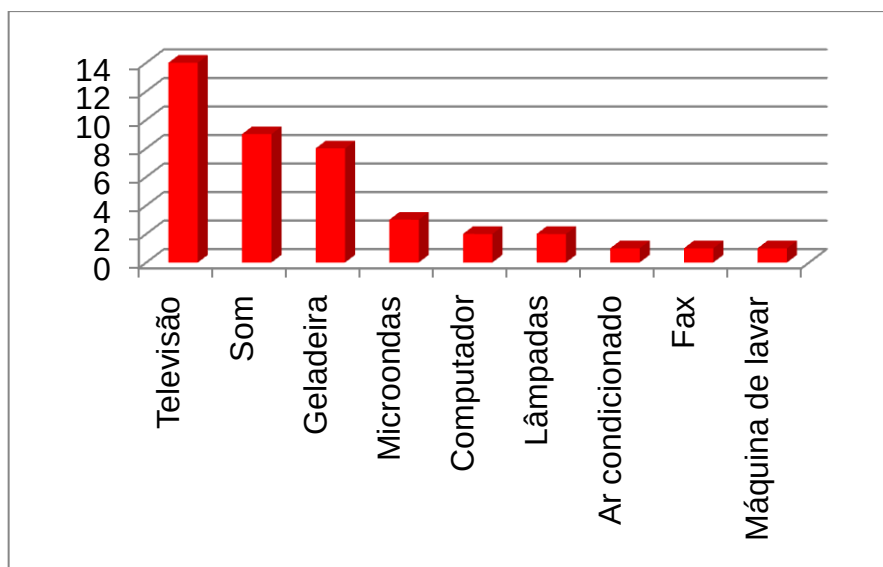


Figura 2.7 - Quantidade de equipamentos indenizados pela CEMAT – Várzea Grande

Nas Figuras 2.8 e 2.9 estão disponibilizados, sob a forma de gráficos, o custo total das indenizações envolvidas nos PIDs para os equipamentos apresentados nas figuras anteriores. Salienta-se que o montante total vinculado às indenizações foi de R\$ 41.166,75 para Cuiabá e de R\$ 13.707,00 para Várzea Grande.

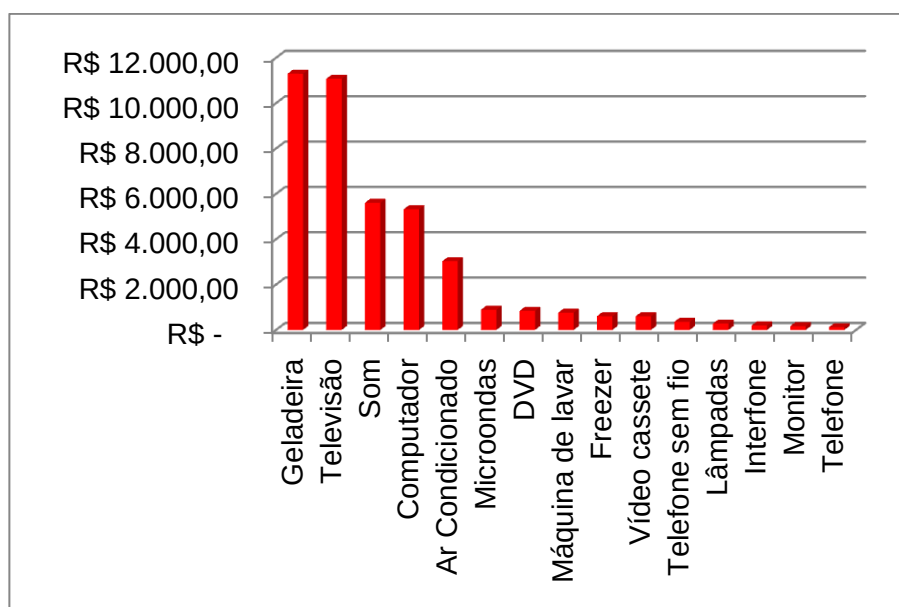


Figura 2.8 - Valor total das indenizações pagas por equipamento eletroeletrônico – Cuiabá

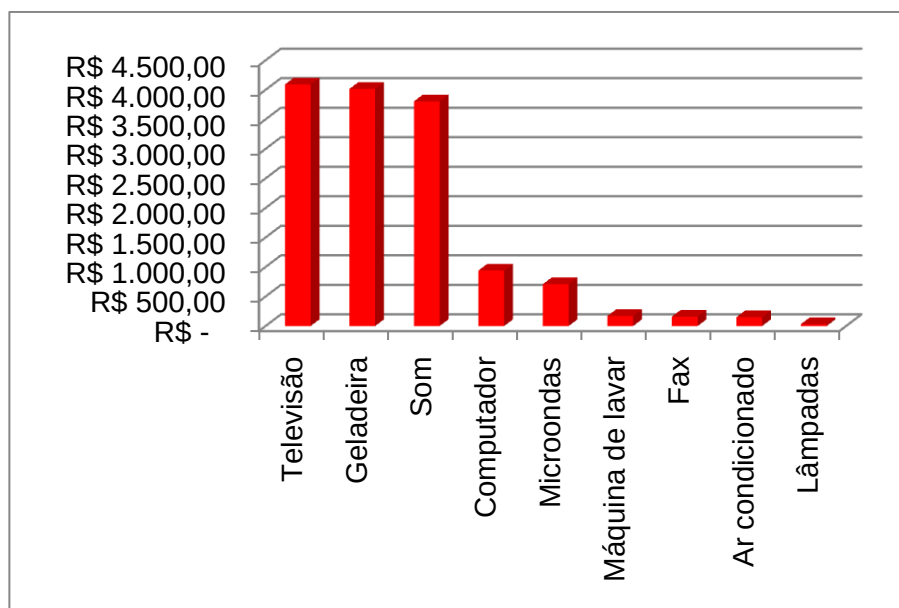


Figura 2.9 - Valor total das indenizações pagas por equipamento eletroeletrônico – Várzea Grande

A partir das informações anteriores, verificou-se nos processos analisados de Cuiabá que, embora em quantidade menor se comparado com os televisores, as geladeiras possuem representatividade maior no que se refere às despesas com indenizações, totalizando 27,45 % do total dos valores envolvidos com PIDs. Em Várzea Grande, os televisores foram mais representativos também no que se refere ao custo total associado aos PIDs, respondendo por 30,65 % do total dos valores custeados pela CEMAT. Estes dados estão demonstrados sob a forma de percentuais nas Figuras 2.10 e 2.11.

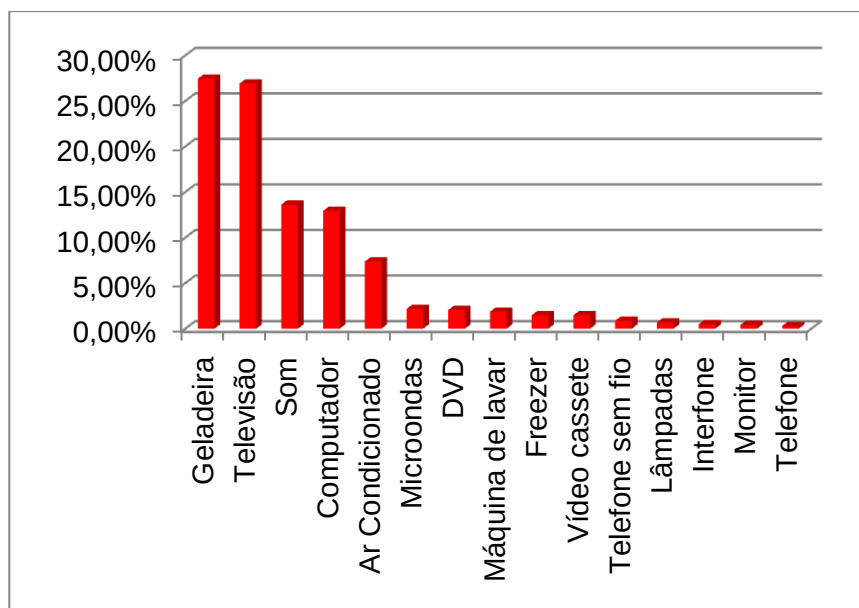


Figura 2.10 - Porcentagem dos valores envolvidos com PIDs por equipamento em relação ao montante total – Cuiabá

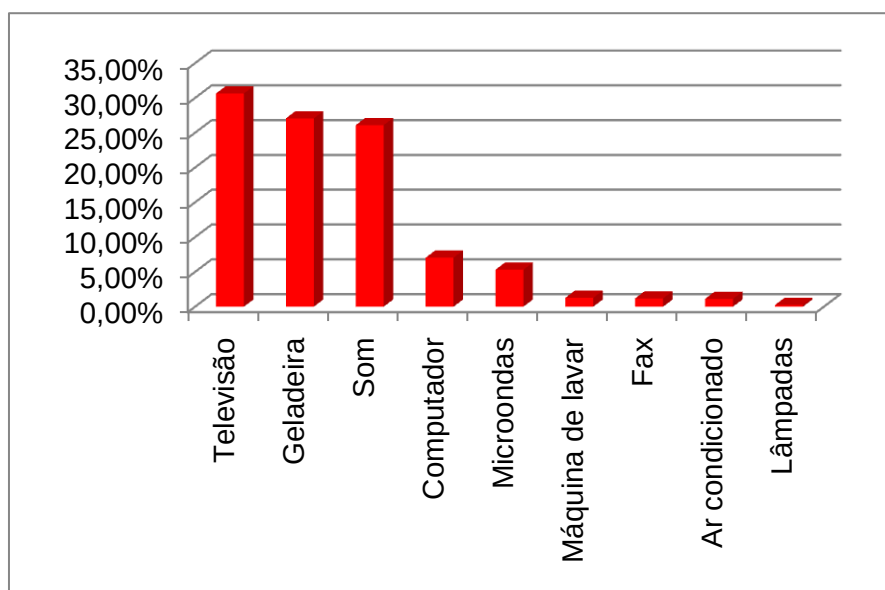


Figura 2.11 - Porcentagem dos valores envolvidos com PIDs por equipamento em relação ao montante total – Várzea Grande

2.3.3.1 - Aparelho de TV

Nas Tabelas 2.4 e 2.5 estão enumeradas, respectivamente, a quantidade de aparelhos televisores indenizados na região metropolitana de Cuiabá e Várzea Grande, e o valor total despendido nos pagamentos e o custo médio por produto. Na sequência, também são apresentadas nas Tabelas 2.6 e 2.7, para as mesmas localidades, o detalhamento destes valores levando-se em consideração os fabricantes destes equipamentos. Por fim, nas Tabelas 2.8 e 2.9 estão ilustradas, para a mesma região, respectivamente, a classificação dos aparelhos ressarcidos em função do seu modelo.

Tabela 2.4 - Quantitativo de aparelhos de TV indenizados e custo total - Cuiabá

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
38	R\$ 11.076,63	R\$ 291,49

Tabela 2.5 - Quantitativo de aparelhos de TV indenizados e custo total - Várzea Grande

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
14	R\$ 4.091,15	R\$ 292,23

Tabela 2.6 - Classificação dos aparelhos de TV indenizados quanto aos fabricantes - Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	8	R\$ 2.488,30	R\$ 311,04
Fabricante B	7	R\$ 1.528,64	R\$ 218,38
Fabricante C	7	R\$ 1.887,52	R\$ 269,65
Fabricante D	3	R\$ 1.217,44	R\$ 405,81
Fabricante E	2	R\$ 469,43	R\$ 234,72
Fabricante F	2	R\$ 976,00	R\$ 488,00

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante G	2	R\$ 751,10	R\$ 375,55
Fabricante H	1	R\$ 317,00	R\$ 317,00
Fabricante I	1	R\$ 399,00	R\$ 399,00
Fabricante J	1	R\$ 152,00	R\$ 152,00
Fabricante K	1	R\$ 155,00	R\$ 155,00
Fabricante L	1	R\$ 193,00	R\$ 193,00
Fabricante M	1	R\$ 241,20	R\$ 241,20
Fabricante N	1	R\$ 301,00	R\$ 301,00

Tabela 2.7 - Classificação dos aparelhos de TV indenizados quanto aos fabricantes – Várzea Grande

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante B	4	R\$ 1.058,94	R\$ 264,74
Fabricante A	3	R\$ 911,91	R\$ 303,97
Fabricante I	2	R\$ 427,37	R\$ 213,69
Fabricante O	1	R\$ 210,00	R\$ 210,00
Fabricante C	1	R\$ 529,00	R\$ 529,00
Fabricante K	1	R\$ 420,00	R\$ 420,00
Fabricante E	1	R\$ 319,63	R\$ 319,63
Fabricante M	1	R\$ 214,30	R\$ 214,30

Tabela 2.8 - Classificação dos aparelhos de TV indenizados quanto ao modelo, polegadas e ao fabricante - Cuiabá

Equipamento /Modelo/ Polegadas	Fabricante	QTDE	Custo Total	Custo Médio
20P	Fabricante C	7	R\$ 1.887,52	R\$ 269,65
20P	Fabricante B	5	R\$ 1.104,57	R\$ 220,91
20P	Fabricante A	3	R\$ 790,95	R\$ 263,65
29P	Fabricante A	3	R\$ 1.202,08	R\$ 400,69
20P	Fabricante D	2	R\$ 417,45	R\$ 208,73
20P	Fabricante E	2	R\$ 469,43	R\$ 234,72
29P	Fabricante F	2	R\$ 976,00	R\$ 488,00
14P	Fabricante B	1	R\$ 234,07	R\$ 234,07
21P	Fabricante B	1	R\$ 190,00	R\$ 190,00

Equipamento /Modelo/ Polegadas	Fabricante	QTDE	Custo Total	Custo Médio
14P	Fabricante H	1	R\$ 317,00	R\$ 317,00
29P	Fabricante D	1	R\$ 799,99	R\$ 799,99
20P	Fabricante I	1	R\$ 399,00	R\$ 399,00
14P	Fabricante J	1	R\$ 152,00	R\$ 152,00
14P	Fabricante K	1	R\$ 155,00	R\$ 155,00
20P	Fabricante L	1	R\$ 193,00	R\$ 193,00
N/D	Fabricante A	1	R\$ 228,27	R\$ 228,27
21P	Fabricante A	1	R\$ 267,00	R\$ 267,00
20P	Fabricante M	1	R\$ 241,20	R\$ 241,20
20P	Fabricante N	1	R\$ 301,00	R\$ 301,00
20P	Fabricante G	1	R\$ 399,00	R\$ 399,00
29P	Fabricante G	1	R\$ 352,10	R\$ 352,10

Tabela 2.9 - Classificação dos aparelhos de TV indenizados quanto ao tamanho (polegadas) e ao fabricante - Várzea Grande

Equipamento /Modelo/ Polegadas	Fabricante	QTDE	Custo Total	Custo Médio
21P	Fabricante B	2	R\$ 588,44	R\$ 294,22
20P	Fabricante I	2	R\$ 427,37	R\$ 213,69
14P	Fabricante B	1	R\$ 202,00	R\$ 202,00
20P	Fabricante B	1	R\$ 268,50	R\$ 268,50
20P	Fabricante K	1	R\$ 420,00	R\$ 420,00
29P	Fabricante E	1	R\$ 319,63	R\$ 319,63
20P	Fabricante A	1	R\$ 182,00	R\$ 182,00
21P	Fabricante A	1	R\$ 266,04	R\$ 266,04
29P	Fabricante A	1	R\$ 463,87	R\$ 463,87
N/D	Fabricante M	1	R\$ 214,30	R\$ 214,30
20P	Fabricante O	1	R\$ 210,00	R\$ 210,00
N/D	Fabricante C	1	R\$ 529,00	R\$ 529,00

Onde:

N/D: Não disponível

Diante das informações constantes nas tabelas anteriores, percebe-se que os aparelhos do Fabricante A representam a quantidade mais significativa nos PIDs examinados em Cuiabá. Na mesma cidade, verificou-se que o modelo que surge com maior frequência entre aqueles que foram objeto de indenização é o de 20 polegadas do Fabricante C. Por outro lado, os aparelhos produzidos pelo Fabricante B aparecem em maior número no município de Várzea Grande. O modelo de 21 polegadas deste último fabricante também foi o predominante entre os pedidos de indenização na mesma cidade.

2.3.3.2 - Geladeiras

De forma a dar sequência a análise proposta dos equipamentos indenizados nos PIDs avaliados neste trabalho, as Tabelas 2.10 e 2.11 informam as quantidades de geladeiras indenizadas e o custo final para Cuiabá e Várzea Grande. Similarmente ao caso dos televisores, as Tabelas 2.12 e 2.13 apresentam a classificação por fabricantes destes equipamentos, para as mesmas cidades.

Tabela 2.10 - Quantitativo de geladeiras ressarcidas por dano e custo total - Cuiabá

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
24	R\$ 11.299,12	R\$ 470,80

Tabela 2.11 - Quantitativo de geladeiras ressarcidas por dano e custo total – Várzea Grande

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
8	R\$ 4.015,70	R\$ 501,96

Tabela 2.12 - Classificação das geladeiras indenizadas quanto ao fabricante - Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	11	R\$ 5.608,70	R\$ 509,88
Fabricante B	4	R\$ 1.590,48	R\$ 397,62
Fabricante C	4	R\$ 1.533,84	R\$ 383,46
Fabricante D	2	R\$ 665,50	R\$ 332,75
Fabricante E	1	R\$ 642,60	R\$ 642,60
Fabricante F	1	R\$ 651,00	R\$ 651,00
Fabricante G	1	R\$ 607,00	R\$ 607,00

Tabela 2.13 - Classificação das geladeiras indenizadas quanto ao fabricante – Várzea Grande

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante C	3	R\$ 1.452,00	R\$ 484,00
Fabricante A	2	R\$ 1.108,00	R\$ 554,00
Fabricante B	1	R\$ 642,60	R\$ 642,60
Fabricante F	1	R\$ 693,60	R\$ 693,60
Fabricante H	1	R\$ 119,50	R\$ 119,50

Em Cuiabá, verificou-se que os fabricantes A, B e C representam praticamente a totalidade dos equipamentos ressarcidos por algum dano. Em Várzea Grande, a maior parte das indenizações feitas pela concessionária foram atribuídas às geladeiras produzidas pelas empresas C e A.

2.3.3.3 - Aparelhos de som

As Tabelas 2.14 e 2.15 apresentam a quantidade de aparelhos de som ressarcidos por dano, o custo total e o custo médio por produto para as duas cidades em destaque neste trabalho. Na sequência, nas Tabelas 2.16 e 2.17, são mostradas a classificação destes equipamentos quanto ao fabricante.

Tabela 2.14 - Quantitativo de aparelhos de som ressarcidos por dano e custo total - Cuiabá

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
20	R\$ 5.607,43	R\$ 280,37

Tabela 2.15 - Quantitativo de aparelhos de som ressarcidos por dano e custo total – Várzea Grande

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
9	R\$ 3.805,01	R\$ 422,78

Tabela 2.16 - Classificação dos aparelhos de som indenizados quanto ao fabricante - Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	6	R\$ 1.529,53	R\$ 254,92
Fabricante B	5	R\$ 1.693,05	R\$ 338,61
Fabricante C	3	R\$ 842,45	R\$ 280,82
Fabricante D	2	R\$ 395,00	R\$ 197,50
Fabricante E	1	R\$ 641,40	R\$ 641,40
Fabricante F	1	R\$ 157,50	R\$ 157,50
Fabricante G	1	R\$ 181,00	R\$ 181,00
Fabricante H	1	R\$ 167,50	R\$ 167,50

Tabela 2.17 - Classificação dos aparelhos de som indenizados quanto ao fabricante – Várzea Grande

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante B	1	R\$ 536,04	R\$ 536,04
Fabricante I	1	R\$ 421,40	R\$ 421,40
Fabricante F	1	R\$ 130,00	R\$ 130,00
Fabricante G	1	R\$ 324,79	R\$ 324,79
Fabricante J	1	R\$ 118,00	R\$ 118,00
Fabricante K	1	R\$ 790,28	R\$ 790,28
Fabricante A	1	R\$ 468,00	R\$ 468,00
Fabricante G	1	R\$ 897,00	R\$ 897,00
Fabricante L	1	R\$ 119,50	R\$ 119,50

A partir das informações fornecidas nas tabelas, pode-se inferir que os produtos dos fabricantes A e B figuram entre as mais significativas nos pedidos de indenização investigados em Cuiabá.

2.3.3.4 - Computadores

A exemplo dos casos anteriores, as Tabelas 2.18 e 2.19 mostram as informações relativas á quantidade de computadores indenizados por dano, o custo total e o custo médio do produto. Já nas Tabelas 2.20 e 2.21 tem-se a classificação por fabricante.

Tabela 2.18 - Quantitativo de computadores ressarcidos por dano e custo total - Cuiabá

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
9	R\$ 5.320,00	R\$ 591,11

Tabela 2.19 - Quantitativo de computadores ressarcidos por dano e custo total – Várzea Grande

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
2	R\$ 1.000,00	R\$ 500,00

Tabela 2.20 - Classificação dos computadores indenizados quanto ao fabricante – Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	4	R\$ 3.480,00	R\$ 870,00
Fabricante B	1	R\$ 160,00	R\$ 160,00
Fabricante C	1	R\$ 210,00	R\$ 210,00
Fabricante D	1	R\$ 540,00	R\$ 540,00
Fabricante E	1	R\$ 710,00	R\$ 710,00
Fabricante F	1	R\$ 220,00	R\$ 220,00

Tabela 2.21 - Classificação dos computadores indenizados quanto ao fabricante – Várzea Grande

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 790,00	R\$ 790,00
Fabricante G	1	R\$ 210,00	R\$ 210,00

2.3.3.5 - Lâmpadas

Encontra-se disponível nas Tabelas 2.22 e 2.23, a quantidade, o custo total e o custo médio das lâmpadas que foram objeto de ressarcimento nos PIDs de Cuiabá e Várzea Grande. Logo após, nas Tabelas 2.24 e 2.25, está disposta a classificação por fabricante destes aparelhos elétricos.

Tabela 2.22 - Quantitativo de lâmpadas ressarcidas por dano e custo total - Cuiabá

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
7,00	R\$ 280,80	R\$ 40,11

Tabela 2.23 - Quantitativo de lâmpadas ressarcidas por dano e custo total – Várzea Grande

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
2,00	R\$ 32,00	R\$ 16,00

Tabela 2.24 - Classificação das lâmpadas indenizadas quanto ao fabricante – Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	4	R\$ 225,80	R\$ 56,45
Fabricante B	1	R\$ 16,00	R\$ 16,00
Fabricante C	1	R\$ 23,00	R\$ 23,00
Fabricante D	1	R\$ 16,00	R\$ 16,00

Tabela 2.25 - Classificação das lâmpadas indenizadas quanto ao fabricante – Várzea Grande

Marca	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante B	2	R\$ 32,00	R\$ 16,00

Constata-se a partir das tabelas que o produto do Fabricante A é responsável pela parcela mais significativa dos pedidos de ressarcimento em Cuiabá.

2.3.3.6 - Microondas

O número de fornos microondas indenizados por dano em Cuiabá e Várzea Grande, o custo total e o custo médio por produto estão quantificados nas Tabelas 2.26 a 2.27, respectivamente. Posteriormente, as Tabelas 2.28 e 2.29 apresentam este eletrodoméstico com os respectivos fabricantes.

Tabela 2.26 - Quantitativo de fornos microondas ressarcidos por dano e custo total - Cuiabá

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
6	R\$ 890,94	R\$ 148,49

Tabela 2.27 - Quantitativo de fornos microondas ressarcidos por dano e custo total – Várzea Grande

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
3	R\$ 283,14	R\$ 94,38

Tabela 2.28 - Classificação dos fornos microondas indenizados quanto ao fabricante – Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	2	R\$ 168,30	R\$ 84,15
Fabricante B	2	R\$ 260,00	R\$ 130,00
Fabricante C	1	R\$ 374,00	R\$ 374,00
Fabricante D	1	R\$ 88,64	R\$ 88,64

Tabela 2.29 - Classificação dos fornos microondas indenizados quanto ao fabricante – Várzea Grande

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 109,50	R\$ 109,50
Fabricante B	1	R\$ 88,64	R\$ 88,64
Fabricante E	1	R\$ 85,00	R\$ 85,00

As tabelas permitem concluir que os Fabricantes A e B respondem pela maioria dos pedidos de ressarcimento de danos.

2.3.3.7 - Ar Condicionado

Os levantamentos referentes à quantidade, custo total e custo médio dos aparelhos de ar condicionado que foram ressarcidos por danos pela CEMAT em Cuiabá e Várzea Grande estão identificados nas Tabelas 2.30 e 2.31. Complementando estas informações, as Tabelas 2.32 e 2.33 ilustram os fabricantes dos equipamentos objeto de ressarcimento nos PIDs examinados.

Tabela 2.30 - Quantitativo de aparelhos de ar condicionado ressarcidos por dano e custo total - Cuiabá

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
4	R\$ 3.031,00	R\$ 757,75

Tabela 2.31 - Quantitativo de aparelhos de ar condicionado ressarcidos por dano e custo total – Várzea Grande

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
1	R\$ 150,00	R\$ 150,00

Tabela 2.32 - Classificação dos aparelhos de ar condicionado indenizados quanto ao fabricante - Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 957,00	R\$ 957,00
Fabricante B	1	R\$ 977,00	R\$ 977,00
Fabricante C	1	R\$ 120,00	R\$ 120,00
Fabricante D	1	R\$ 977,00	R\$ 977,00

Tabela 2.33 - Classificação dos aparelhos de ar condicionado indenizados quanto ao fabricante - Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante D	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00

2.3.3.8 - DVD

A Tabela 2.34 mostra as quantidades de aparelhos de DVD indenizados por dano, o custo total e o custo médio por produto. Já a Tabela 2.35 apresenta o mesmo aparelho classificado por marca. Tendo em vista a ausência deste tipo de aparelho nos pedidos de ressarcimento originados de Várzea Grande, as informações a seguir referem-se somente à Cuiabá.

Tabela 2.34 - Quantitativo de aparelhos de DVD ressarcidos por dano e custo total

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
4	R\$ 842,20	R\$ 210,55

Tabela 2.35 - Classificação dos aparelhos de DVD indenizados quanto ao fabricante

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	2	R\$ 443,70	R\$ 221,85
Fabricante B	1	R\$ 120,00	R\$ 120,00
Fabricante C	1	R\$ 278,50	R\$ 278,50

2.3.3.9 - Máquina de Lavar Roupa

A quantidade de máquinas de lavar roupa que constam nos PIDs de Cuiabá e Várzea Grande analisados, bem como o custo total e o custo médio estão disponíveis nas Tabelas 2.36 e 2.37. A classificação por fabricante destes equipamentos estão nas Tabelas 2.38 e 2.39.

Tabela 2.36 - Quantitativo de máquinas de lavar roupa ressarcidas por dano e custo total -

Cuiabá

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
3	R\$ 763,98	R\$ 254,66

Tabela 2.37 - Quantitativo de máquinas de lavar roupa ressarcidas por dano e custo total –

Várzea Grande

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
1	R\$ 170,00	R\$ 170,00

Tabela 2.38 - Classificação das máquinas de lavar roupa indenizadas quanto ao fabricante -

Cuiabá

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 135,00	R\$ 135,00
Fabricante B	1	R\$ 270,00	R\$ 270,00
Fabricante C	1	R\$ 358,98	R\$ 358,98

Tabela 2.39 - Classificação das máquinas de lavar roupa indenizadas quanto ao fabricante – Várzea Grande

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante D	1	R\$ 170,00	R\$ 170,00

2.3.3.10 - Telefone sem fio

A quantidade de telefones sem fio ressarcidos por algum tipo de dano, o custo total e o custo médio estão na Tabela 2.40. Na Tabela 2.41 tem-se a classificação por fabricante deste aparelho eletroeletrônico. Ressalta-se que os valores correspondem somente aos PIDs de Cuiabá visto que em Várzea Grande este aparelho não motivou pedidos de ressarcimento.

Tabela 2.40 - Quantitativo de telefones sem fio ressarcidos por dano e custo total

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
3	R\$ 357,60	R\$ 119,20

Tabela 2.41 - Classificação dos telefones sem fio indenizados quanto ao fabricante

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 180,00	R\$ 180,00
Fabricante B	1	R\$ 79,60	R\$ 79,60
Fabricante C	1	R\$ 98,00	R\$ 98,00

2.3.3.11 - Interfone

A Tabela 2.42 apresenta a quantidade de interfones indenizados por dano, o custo total e o custo médio por produto. Posteriormente, na Tabela 2.43, estão os mesmos produtos classificados em função do fabricante. Novamente, as informações constantes nas tabelas se referem somente á cidade de Cuiabá em

face da inexistência de pedidos de ressarcimento para este aparelho em Várzea Grande.

Tabela 2.42 - Quantitativo de interfones ressarcidos por dano e custo total

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
2	R\$ 198,00	R\$ 99,00

Tabela 2.43 - Classificação dos interfones indenizados quanto ao fabricante

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	2	R\$ 198,00	R\$ 99,00

2.3.3.12 - Vídeo Cassete

Estão disponibilizados na Tabela 2.44, a quantidade de aparelhos de vídeo cassete indenizados por dano, o custo total e o custo médio por aparelho. Logo a seguir, estes equipamentos são classificados por fabricante, como mostra a Tabela 2.45. Assim como na situação anterior, este equipamento figura somente nos PIDs de Cuiabá.

Tabela 2.44 - Quantitativo de vídeo cassete ressarcidos por dano e custo total

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
2	R\$ 602,05	R\$ 301,03

Tabela 2.45 - Classificação dos aparelhos de vídeo cassete indenizados quanto ao fabricante

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 352,05	R\$ 352,05
Fabricante B	1	R\$ 250,00	R\$ 250,00

2.3.3.13 - Monitor

Este tipo de equipamento foi identificado somente na parcela de PIDs analisados de Cuiabá. A quantidade, o custo total e o custo médio estão demonstrados na Tabela 2.46. Na Tabela 2.47, é apresentada a classificação por fabricante deste produto.

Tabela 2.46 - Quantitativo de monitores ressarcidos por dano e custo total

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
1	R\$ 170,00	R\$ 170,00

Tabela 2.47 - Classificação dos monitores indenizados quanto ao fabricante

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 170,00	R\$ 170,00

2.3.3.14 - Telefone

O quantitativo deste equipamento, identificado somente nos PIDs de Cuiabá, está disponível na Tabela 2.48, assim como o custo total e o custo médio. Na Tabela 2.49 estão relacionados os fabricantes associados a este tipo de produto.

Tabela 2.48 - Quantitativo de telefones ressarcidos por dano e custo total

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
1	R\$ 120,00	R\$ 120,00

Tabela 2.49 - Classificação dos telefones indenizados quanto ao fabricante

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 120,00	R\$ 120,00

2.3.3.15 - Freezer

Assim como no caso anterior, este eletrodoméstico consta somente nos PIDs avaliados de Cuiabá. Assim, a quantidade, o custo total e o custo médio referente a este produto estão descritos na Tabela 2.50, enquanto os Fabricantes associadas são vistas na Tabela 2.51, logo a seguir.

Tabela 2.50 - Quantitativo de freezer ressarcidos por dano e custo total

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
1	R\$ 607,00	R\$ 607,00

Tabela 2.51 - Detalhamento do Freezer quanto ao fabricante

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 607,00	R\$ 607,00

2.3.3.16 - Fax

A quantidade de aparelhos de Fax objeto de indenização pela concessionária, bem como o custo total e o custo médio estão apresentados na Tabela 2.52. A seguir, a Tabela 2.53 relaciona os fabricantes deste tipo de produto. Salienta-se que este aparelho eletroeletrônico é citado somente nos processos de ressarcimento de danos de Várzea Grande.

Tabela 2.52 - Quantitativo de aparelhos de Fax ressarcidos por dano e custo total

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
1	R\$ 160,00	R\$ 160,00

Tabela 2.53 - Detalhamento do aparelho de Fax quanto ao fabricante

Fabricante	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
Fabricante A	1	R\$ 160,00	R\$ 160,00

2.4 - Considerações Finais

O presente capítulo teve por objetivo apresentar o produto do levantamento qualitativo e quantitativo efetuado junto a uma concessionária de distribuição visando colher informações fundamentais relacionadas com os pedidos de indenização por danos elétricos. A empresa na qual se procedeu tal levantamento foi a Centrais Elétricas Matogrossenses S.A. – CEMAT, detentora da concessão do serviço de distribuição de energia elétrica no Estado de Mato Grosso. Os trabalhos contemplaram duas etapas: a primeira mostra o comportamento do registro de solicitações feitas pela empresa durante um intervalo de quatro anos, abrangendo toda a área de concessão. A segunda restringiu-se a pesquisa nos pedidos considerados procedentes pela concessionária em 2007 e teve como objetivo principal a identificação pormenorizada nos processos examinados das seguintes informações: ocorrências vinculadas com indenizações por danos elétricos, desembolso financeiro como pagamento de indenizações e os tipos de equipamentos ressarcidos.

Com relação à evolução dos pedidos de indenização, verificou-se o aumento progressivo da quantidade de solicitações registradas pela empresa no período compreendido entre 2004 a 2006. No mesmo período, o dispêndio com

indenizações por danos a aparelhos eletroeletrônicos teve aumento significativo, totalizando 0,094% da Receita Operacional Líquida da concessionária em 2007. Em meio aos pedidos recebidos e processados pela empresa, notou-se crescimento relevante daqueles considerados como fundamentados tecnicamente em relação aos casos em que o pedido de ressarcimento foi negado. Convém mencionar que atualmente a empresa realiza toda a análise técnica de PIDs por intermédio de métodos tradicionais, ou seja, através da confrontação da data informada pelo cliente para a ocorrência do evento provável causador do dano reclamado com os registros de ocorrências de seus Centros de Operação da Distribuição (COD).

Na segunda etapa, as investigações concentraram-se na região metropolitana de Cuiabá. Ao final, foram analisadas 123 solicitações de ressarcimento de danos consideradas procedentes em Cuiabá e 40 em Várzea Grande.

O levantamento realizado nos PIDs selecionados nas cidades supracitadas indicou que as ocorrências associadas com o item “Falhas em Equipamentos” representam a causa principal de prejuízo aos aparelhos elétricos dos consumidores.

Referente aos tipos de eletrodomésticos indenizados nos processos de ressarcimento de danos analisados constata-se que os que constam em maior quantidade nos pedidos de indenização originadas nas cidades de Cuiabá e Várzea Grande foram os aparelhos de TV, as geladeiras, os aparelhos de som e os microcomputadores. Visando atender o caráter científico desta pesquisa, optou-se por não fazer menção aos nomes das empresas responsáveis pelos produtos investigados.

Por fim, os resultados se mostram de grande importância para o conhecimento de quais equipamentos se mostram mais sensíveis em relação à qualidade da energia elétrica. Particularmente, tais informações devem ser

avaliadas em pesquisas futuras relacionadas ao tema enfocado, sobretudo em estudos voltados a investigação de suportabilidade à distúrbios originados nas redes de distribuição.

CAPÍTULO III

Dispositivos de proteção contra surtos

3.1 - Considerações iniciais

Os estudos conduzidos no capítulo anterior evidenciaram que os danos em equipamentos eletroeletrônicos instalados em unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais têm origem nos distúrbios apresentados pelas redes de distribuição de energia elétrica, tais como: sobretensões de origem atmosféricas, elevações de tensão produzidas por manobras no sistema elétrico, sobrecorrentes originadas por curtos-circuitos, etc.

Neste sentido, o presente capítulo tem por proposta apresentar as principais informações acerca de um dispositivo, de excelente relação custo/benefício, chamado por Dispositivo de Proteção contra Surtos ou DPS. É destinado à minimização dos efeitos dos distúrbios elétricos oriundos das redes elétricas ou produzidos por fenômenos naturais. A análise das variáveis correlacionadas com sua utilização, classificação e especificação constitui assunto avaliado em diversas normas internacionais e nacionais.

3.2 - Origem de surtos elétricos em instalações alimentadas em baixa tensão

Como parte importante na elaboração de uma proteção eficiente contra os efeitos danosos dos transitórios impulsivos que ocorrem em tensões abaixo de 1000 V, é imprescindível o conhecimento das fontes que os produzem e a forma como se propagam para as instalações.

As diversas bibliografias dedicadas ao assunto apontam para a existência de duas fontes principais para estes fenômenos elétricos, conforme [36]-[38].

- a) **Descargas atmosféricas:** estes fenômenos provocam o aparecimento de distúrbios transitórios em condutores de instalações de baixa tensão através de diferentes formas de interação. Uma das possibilidades em que ocorre a produção de surtos devido a este evento ocorre quando a descarga atmosférica incide diretamente ao sistema elétrico ou a uma instalação consumidora. Também deve-se atentar a outras variações como a incidência da descarga próxima às edificações ou diretamente ao solo. Diante deste último evento, ocorre a propagação de sobretensões pelos condutores de aterramento. Mesmo quando o fenômeno atmosférico ocorre em local mais afastado, pode ocorrer a indução de surtos de tensão para os circuitos de baixa tensão. Pesquisas realizadas com vistas a identificar os parâmetros principais associados com descargas atmosféricas indicam que o valor de pico das descargas atmosféricas situam-se na faixa de 10 a 40 kA, com valor médio entre 15 e 20 kA.

- b) **Manobras em circuitos:** os chaveamentos de circuitos produzem sobretensões geralmente inferiores a 2 pu, embora possam ocorrer valores

maiores, como no caso de chaveamentos de cargas com características indutivas, como motores, transformadores, e também cargas capacitivas. As frequências apresentadas pela onda de surto, bem como o número de oscilações dependem dos parâmetros elétricos do sistema envolvido. Outros tipos de eventos, como é o caso da atuação de proteções na eliminação de faltas, também produzem tais distúrbios.

A fim de discutir a forma como as perturbações eletromagnéticas originadas pelos fenômenos acima referenciados influenciam as unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição, as referências [36]-[38] estabelecem dois cenários distintos:

- **Cenário I**

Este cenário representa a condição dos transientes gerados a partir de descargas atmosféricas ou por manobras, conduzidos para as instalações consumidoras através das redes elétricas externas. Os tipos de ocorrências compreendidas neste cenário são considerados mais frequentes. Adicionalmente, salienta-se que os eventos associados especificamente com fenômenos atmosféricos caracterizam-se pela indução e propagação de tensões aos circuitos atingidos. Em particular, no caso de raios incidentes a uma distância relativamente grande da rede aérea de distribuição, observa-se o surgimento de sobretensões de pequena amplitude nos condutores das instalações influenciadas. Em face disto, a referência [36] sugere a representação dos distúrbios produzidos nestas situações por fontes de tensão.

- **Cenário II**

Este cenário abrange especificamente a situação em que uma descarga atmosférica atinge uma estrutura diretamente ou incide muito próxima ao solo

da edificação atingida. Diante desta possibilidade, diversas formas de acoplamento de surtos podem ocorrer:

- acoplamento direto ou resistivo;
- acoplamento indutivo;
- propagação de surtos em função da elevação de potencial do sistema de aterramento.

Ao contrário do que ocorre no Cenário I, valores elevados de corrente estão vinculados a este evento. Em razão disso, pode-se considerar a representação da descarga direta por uma fonte de corrente praticamente ideal [36].

3.3 - Ondas padronizadas e representativas de surtos elétricos

De forma a caracterizar os distúrbios objeto de discussão no item anterior, é imprescindível o conhecimento de seus parâmetros principais, ou seja, de sua forma de onda, amplitude e duração.

Diversos trabalhos de campo foram conduzidos visando mensurar estas características através de diferentes técnicas e equipamentos. A fim de simplificar a base de dados obtidas nestes trabalhos, procedeu-se a elaboração da representação dos eventos vinculados às descargas atmosféricas ou chaveamentos no sistema elétrico por meio de formas de ondas padronizadas [36].

As principais configurações empregadas na atualidade para representação dos fenômenos transitórios são descritas em [37], onde é apresentado um grupo de formas de onda indicado para diversas situações verificadas em estruturas alimentadas em baixa tensão.

Uma destas formas de onda propostas para representação dos surtos de corrente ou tensão, é a onda oscilatória amortecida de frequência 100 kHz, conhecida como *Ring Wave*, apresentada na Figura 3.1.

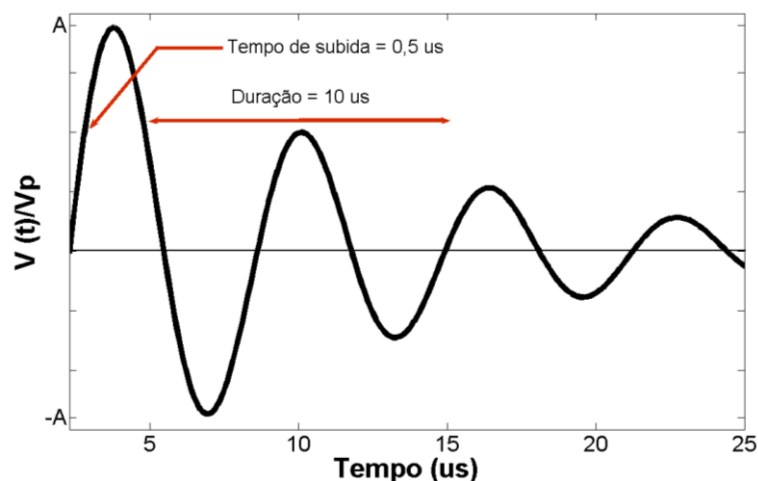


Figura 3.1 - Onda oscilatória amortecida (*Ring Wave*) - Referência [37]

Conforme indicado na figura, este tipo de onda é expresso pelo tempo de subida de 0,5 μs e duração da oscilação por 10 μs . A amplitude é selecionada conforme a severidade desejada e o tipo de estudo pretendido. A característica oscilatória demonstra a resposta do circuito interno das instalações ao estímulo impulsivo produzido por descargas atmosféricas.

Na Figura 3.2 é ilustrada a onda de tensão característica de sistemas terminados em “circuito aberto”, caracterizada pelo tempo de subida igual a 1,2 μs e cauda com duração de 50 μs .

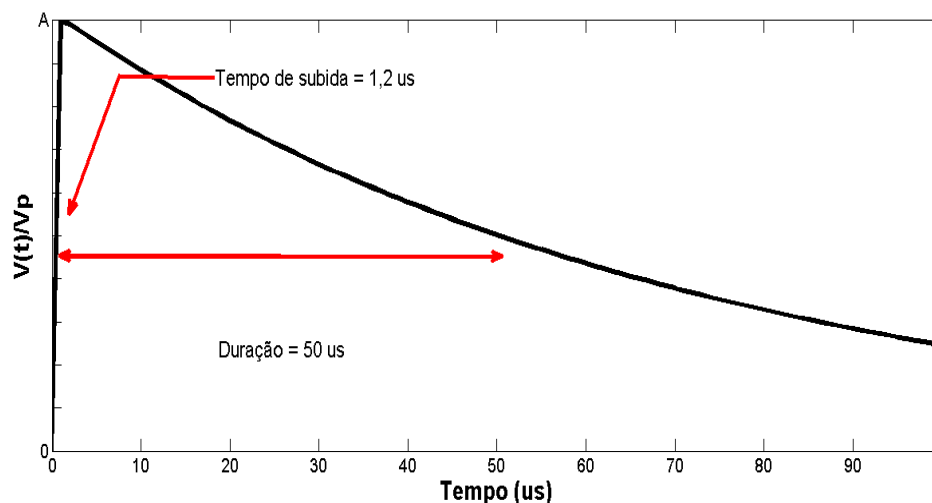


Figura 3.2 - Representação da onda de surto de tensão (circuito aberto) - Referência [37]

Esta forma de onda é amplamente utilizada em testes laboratoriais envolvendo descargas atmosféricas. Adicionalmente, essa forma de onda também é indicada para representação do efeito da ocorrência de descargas diretas à instalação, conforme Cenário II [36].

Por fim, na Figura 3.3 é mostrada a onda padronizada representativa de extremidades terminadas em curto-circuito. Esta representação é indicada para descrever os parâmetros dos surtos de corrente.

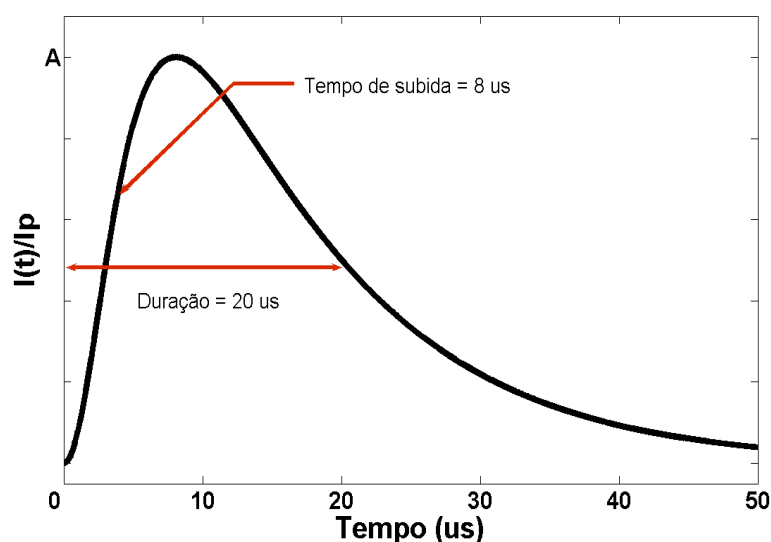


Figura 3.3 - Representação da onda de corrente de surto impulsiva (curto-circuito) - Referência [37]

Na referência [37], ambas as formas de ondas apresentadas nas Figuras 3.2 e 3.3 recebem a denominação de “ondas combinadas”.

A título de informação, salienta-se que estas duas últimas configurações são de fundamental importância para realização de testes em dispositivos mitigadores de surtos visando sua classificação e aferição de desempenho. Para realização de testes do tipo Classe I e II em DPSs, conforme definidos em [16], é utilizada a onda $1,2 \times 50 \mu\text{s}$ enquanto a onda $8 \times 20 \mu\text{s}$ é indicada para o teste da Classe III.

Uma outra constatação encontrada na literatura relata que um dos grandes desafios encontrados para a definição precisa dos fenômenos transitórios está na dificuldade em mensurar a impedância da fonte do surto, elemento essencial para o conhecimento completo destes distúrbios. Ante esta situação, surgiram outras formas de onda com características de tempo de subida/decaimento diferente do que foi anteriormente apresentado que podem ser utilizadas para o mesmo fim [51], [56].

3.4 - Princípio de funcionamento da proteção contra surtos

Após as considerações preliminares sobre os surtos produzidos pelas descargas atmosféricas e as manobras, abrangendo a forma de representação e propagação destas perturbações, faz-se necessário tecer comentários a respeito dos meios utilizados para sua limitação.

Ante a grande dificuldade técnica de se prever os fenômenos citados, deve-se avaliar a proteção dos equipamentos sensíveis contra estes distúrbios na elaboração de projeto de instalações novas e nas já existentes.

Visando atender esta finalidade, surgiram os chamados dispositivos de proteção contra surtos (DPS) como meio eficaz de efetuar a mitigação dos efeitos produzidos por surtos de tensão ou corrente produzidos pelas fontes geradoras já comentadas no item 3.2.

A compreensão sobre o funcionamento destes dispositivos inicia com o conhecimento dos tipos de distúrbios que se quer limitar ou anular. Para surtos de tensão, o dispositivo deve agir de modo a limitar a sobretensão entre dois pontos do sistema, evitando que isolações sensíveis sejam submetidas ao esforço dielétrico resultante. Esta tarefa pode ser executada por uma impedância paralela muito pequena conectada à rede de alimentação. Por outro lado, os surtos de corrente devem ser limitados ou desviados para o sistema de aterramento. Para tanto, necessita-se de uma impedância série de valor elevado, com um caminho adequado para condução da corrente elétrica produzida pela perturbação eletromagnética [1]. Os componentes necessários aos objetivos almejados devem possuir uma relação tensão x corrente não-linear. Desta forma, o dispositivo protetor apresentará uma impedância série de pequeno valor ou uma impedância paralela elevada durante a operação normal do sistema. Com estas características, o componente ocasionará um impacto mínimo no funcionamento do sistema a ser protegido. De outra forma, durante a incidência de transientes de tensão ou corrente, este componente deve apresentar uma alta impedância série ou uma baixa impedância em paralelo [2].

Partindo-se destes pressupostos, a Figura 3.4 apresenta o arranjo geral indicativo de circuitos dedicados a supressão dos fenômenos transitórios em questão, conforme proposto pela referência [2].

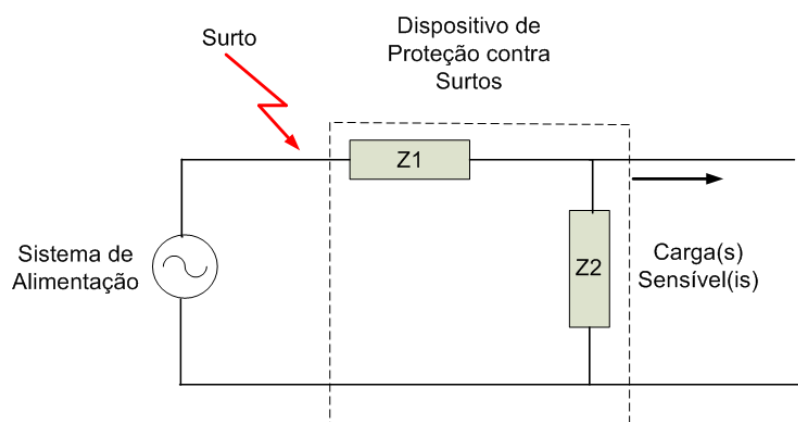


Figura 3.4 - Configuração geral dos esquemas de proteção contra surtos elétricos

A frequência do transitório impulsivo que circula através do arranjo mostrado na figura desempenha papel importante da definição dos componentes a serem utilizados. Se a frequência do distúrbio é inferior ao do sinal conduzido permanentemente, Z_1 pode ser um capacitor. Por outro lado, se o transiente a ser limitado possui frequência superior a do sinal circulante, pode-se ter um indutor em seu lugar. Em sistemas elétricos, esta impedância poder ser um fusível, um disjuntor ou a indutância da linha de alimentação. Outra situação a ser analisada ocorre na condução de pequenos sinais de corrente, característicos de sistemas de comunicação, independentemente do caráter impulsivo da perturbação eletromagnética. Para este caso, a impedância Z_1 pode ser um resistor. A impedância Z_2 é usualmente uma resistência não linear, que apresenta alta impedância *shunt* na operação normal do sistema e baixo valor de resistência durante a ocorrência de surtos.

Quando utilizados componentes não-lineares em Z_2 , as eventuais sobretensões que surgirem em seus terminais serão limitadas a um valor incapaz de causar dano às cargas conectadas à jusante. Procedendo desta forma, o circuito comporta-se como um divisor de tensão. Por sua vez, as correntes transitórias serão desviadas pelo componente shunt Z_2 e o circuito atua como um divisor de corrente [27].

3.4.1 - Tipos de dispositivos para proteção contra surtos

Os dispositivos de proteção contra surtos têm como princípios fundamentais limitar a sobretensão e desviar a corrente transitória. Além de exercer estas funções, o DPS não deve produzir quaisquer interferências no sistema elétrico ao qual o equipamento a ser protegido está conectado.

Para atingir estes objetivos, uma vasta gama de componentes não lineares pode ser utilizada para compor sua a estrutura interna objetivando

atender os requisitos para proteção do equipamento de uso final e propiciar a mitigação das perturbações elétricas.

A literatura classifica os principais componentes não lineares empregados na constituição dos dispositivos em destaque conforme a seguir:

- **Curto-Circuitantes (*crowbar*):** são componentes constituídos por dois eletrodos de metal selados dentro de um encapsulamento a vácuo ou preenchido com gás especial, formando um *gap* interno. Os eletrodos são posicionados de tal forma que a condução de corrente seja iniciada quando o valor da tensão entre os mesmos exceder o valor da tensão de ruptura para o qual dispositivo foi projetado. No momento em que a condução de corrente de surto inicia, forma-se um arco no *gap*, produzindo um curto-circuito para a terra. Nesta situação, será imposto um afundamento de tensão temporário ao sistema com duração de pelo menos um ciclo. Este resultado de sua atuação pode ser indesejável para algumas cargas. As operações sucessivas deste tipo de dispositivo provocam a degradação natural dos eletrodos, o que leva a vida útil deste elemento ser inferior a 25 operações. Outra característica importante dos dispositivos tipo curto-circuitantes é o tempo de resposta relativamente longo durante a supressão de surtos. Em contrapartida, tem capacidade energética que permite a condução de correntes de surto elevadas. Portanto, não é indicada sua utilização em situações onde a carga a ser protegida exige uma resposta rápida na eliminação de distúrbios transitórios [1]-[2], [41]-[43], [51]. Fazem parte desta categoria os centelhadores a gás e os spark gaps. Os fabricantes costumam recomendar a utilização de DPSs a base de centelhadores como dispositivo de utilização classe I, conforme classificação estabelecida em [45].

- **Limitadores de tensão (*clamping*):** Estes componentes não-lineares apresentam alto valor de resistência durante o regime normal de operação, conduzindo baixos valores de corrente elétrica. No momento em que a magnitude da tensão em seus terminais aumenta de valor em curto espaço de

tempo, ocorre a manutenção da tensão em valores toleráveis pelos aparelhos elétricos. O efeito da limitação (*clamping*) da subida da sobretensão transitória é realizada pela diminuição de sua impedância, o que permite a condução de altos valores de corrente para os eletrodos de aterramento. Possuem como vantagem em comparação com os centelhadores o fato de não fazerem a tensão do sistema cair a zero durante o processo de condução. Ainda em comparação aos primeiros dispositivos aqui avaliados, salienta-se que os dispositivos tipo *clamping* apresentam resposta rápida na eliminação de surtos. Entretanto, de maneira geral estes elementos possuem menor capacidade de energia em comparação aos centelhadores[1]-[2],[42], [55]. Esta categoria de componentes compreende basicamente os resistores não-lineares (varistores), principalmente os constituídos de óxido *de zinco*. A exemplo dos componentes curto-circuitantes, os dispositivos limitadores de tensão não são capazes de tolerar transientes repetitivos, pois sua vida útil diminui após atuações sucessivas. O término da vida útil é comumente especificado quando a tensão nominal do varistor (V_n) excede a faixa de $\pm 10 \%$ [2], [54]-[55]. Em função disto, uma das alternativas utilizadas para aumentar a confiabilidade do sistema de baixa tensão diante de severas transitórios de corrente é a instalação de vários destes componentes em paralelo. Por fim, a característica de não-linearidade para este tipo de dispositivo é definida pela Equação (3.1):

$$I = kV^\alpha \quad (3.1)$$

Onde:

I = corrente através do varistor

V = tensão através do varistor

K = constante (depende do tipo de varistor)

α = coeficiente de não linearidade

A título de informação, a Figura 3.5 apresenta a curva não-linear de um varistor utilizado na composição de um modelo de DPS fabricado pela empresa Clamper .

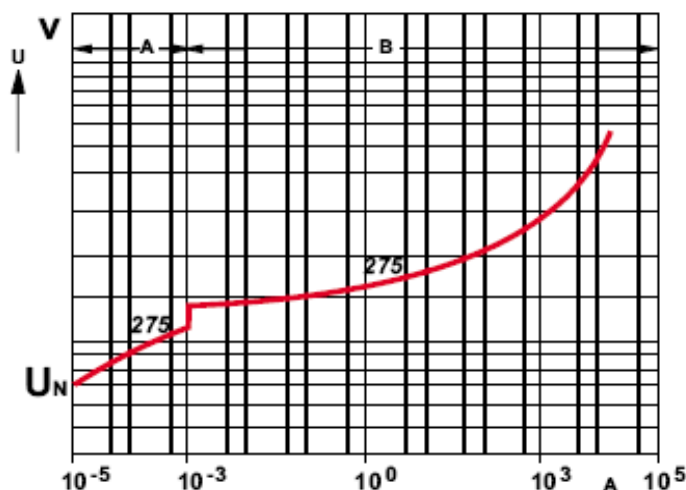


Figura 3.5 - Curva $V \times I$ do varistor de ZnO – Classe de tensão 275 v

- **Diodos Semicondutores:** Alguns semicondutores podem ser empregados na limitação de sobretensões transitórias. Nos dispositivos atuais, tem-se empregado diodos avalanche, zener ou tipo retificadores [2], [41]-[43]. Para o caso específico dos diodos zener e avalanche, cabe informar que a limitação das perturbações eletromagnéticas está ligada a operação dos mesmos na chamada região reversa de suas respectivas curvas características $V \times I$ [2], [43]. Especificamente para os diodos avalanche, o processo de condução se inicia a partir de um determinado valor de referência de tensão, chamado tensão de avalanche. Quando um surto percorre os terminais do dispositivo constituído por um destes tipos de semicondutores, ocorre a limitação de sua amplitude a um valor suportável pelos equipamentos a serem protegidos. Os diodos apresentam o menor tempo de resposta entre os componentes discutidos até o momento. No entanto, possuem a menor capacidade de energia o que restringe

sua utilização, principalmente como dispositivo primário [41]-[43]. Em relação às duas primeiras categorias de elementos não-lineares abordados, os semicondutores não têm sua vida útil diminuída em decorrência de sua atuação na mitigação de distúrbios. Segundo [41], a vida útil destes tipos de componentes é estimada em cerca de 10 anos.

- **Dispositivos Híbridos (ou Tipo Combinado):** São assim chamados por reunir os componentes classificados nas categorias anteriores em uma única estrutura, de forma a aproveitar as características individuais de cada tipo de dispositivo mitigador [45], [51]. Também é possível a inclusão de elementos passivos neste tipo de arranjo, como é o caso de capacitores e dos indutores. Além dos componentes elétricos já citados, pode-se acondicionar outros tipos como por exemplo diodos ou tiristores. Os dispositivos híbridos são projetados normalmente em dois estágios. O primeiro normalmente é composto por um dispositivo com maior capacidade energética a fim de eliminar a maior parcela de energia do transiente. Para atingir este objetivo, recomenda-se utilizar um centelhador ou um varistor, visando a proteção dos circuitos à jusante. O segundo componente do conjunto pode ser formado com um elemento com tempo de resposta menor, como por exemplo um diodo avalanche, visando proteger a carga sensível dos efeitos da alta frequência presente nos surtos [2], [52]. A Figura 3.6 apresenta uma das configurações possíveis para um dispositivo tipo híbrido. As principais aplicações dos dispositivos protetores constituídos de múltiplos estágios está na proteção de sistemas de comunicações e de equipamentos eletrônicos sensíveis. A referência [2] apresenta detalhes adicionais acerca destes dispositivos.

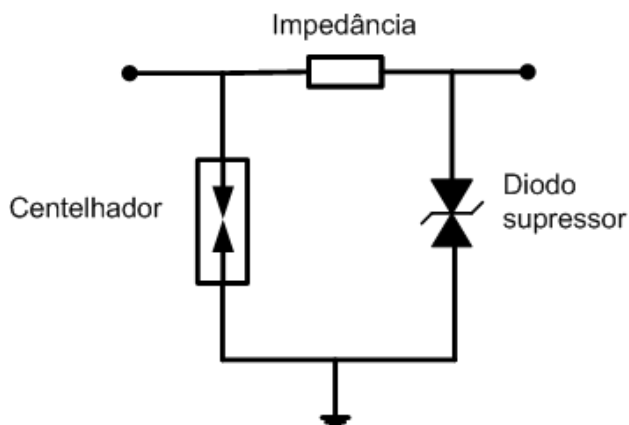


Figura 3.6 - Exemplo de um DPS em arranjo híbrido

Finalmente, a título de ilustração, a Tabela 3.1 mostra uma comparação dos dispositivos não lineares utilizados na composição dos DPSs.

Tabela 3.1 - Quadro comparativo de dispositivos não lineares utilizados na supressão de surtos

Família de componentes	Vantagens	Desvantagens
Centelhadores/Spark Gaps (Curto-Circuitantes)	- Alta capacidade de condução de corrente (5 kA por 50 μs); - Capacitância parasita muito pequena (< 2 pF);	- Condução lenta da corrente de surto; - Impõe curto-circuito sustentado ao sistema durante a condução;
Varistores (Limitadores de tensão)	- Resposta rápida (< 0,5 ns); - Pode conduzir correntes relativamente altas (1 kA por 20 μs); - Boa relação custo/benefício;	- Capacitância parasita relativamente alta (1 a 10 nF), indesejável para algumas aplicações; - Capacidade de energia intermediária; - Corrente de fuga relativamente alta.

Família de componentes	Vantagens	Desvantagens
Diodos Semicondutores	• Resposta rápida ($< 0,1$ ns); • Limitação precisa do surto de tensão; • Capacitância parasita variando de pequenos valores a intermediários (1 a 3 nF para diodos avalanche).	• Pequena disponibilidade de corrente nominal (≤ 100 A por 100 μs para diodos avalanche); • Requer dispositivo supressor primário com maior capacidade energética.

3.4.2 - Parâmetros elétricos dos dispositivos de proteção contra surtos

Diante da diversidade de componentes elétricos utilizados em dispositivos de proteção contra surtos, os quais atuam na limitação de perturbações transitórias de diferentes formas, julga-se necessário relacionar os principais parâmetros necessários a sua especificação. As características elétricas apresentadas a seguir referem-se aos dispositivos constituídos com os tipos de elementos não-lineares listados no item anterior.

a) **Tensão Nominal de Operação (V_n):** Indica a máxima tensão de operação para a qual o dispositivo é especificado. Normalmente, corresponde à tensão nominal na rede elétrica onde o DPS encontra-se conectado ou será instalado, levando-se em consideração a tensão nominal do secundário do transformador de distribuição.

b) **Máxima Tensão de Operação Contínua (U_c):** Corresponde a tensão RMS que pode ser aplicada continuamente ao DPS, considerando-se sua conexão no sistema de baixa tensão [45]. Deve-se atentar a este parâmetro nas situações em que sobretensões temporárias são impostas á rede de baixa tensão. Diante desta anomalia, o dispositivo de proteção contra surtos pode ter sua vida

útil diminuída ou mesmo sofrer dano permanente. Em razão disto, a possibilidade de ocorrência de sobretensões temporárias deve ser avaliada pelos projetistas durante a especificação da proteção contra as perturbações eletromagnéticas [38].

c) **Capacidade de descarga de corrente de surto:** Refere-se ao valor da corrente elétrica que o dispositivo pode conduzir seguramente sem que o mesmo danifique-se ou tenha sua operação prejudicada [4], [38]. O valor nominal desta característica é obtido em testes com formas de onda padronizada 8/20 μ s e outras especificadas em [45]. Enfim, a norma IEC 61643-1 estabelece a necessidade de definição de outras duas características elétricas adicionais para realização de testes visando à classificação de DPSs quanto à este parâmetro: a corrente nominal de descarga (I_n) e a corrente de impulso (I_{imp}).

d) **Nível de Proteção (U_p):** Este parâmetro define a capacidade do dispositivo limitar as sobretensões para valores não prejudiciais a operação de cargas elétricas sensíveis. O estabelecimento do nível de proteção requerido está diretamente relacionado à suportabilidade elétrica do equipamento protegido [4],[41].

e) **Tempo de resposta:** Trata-se do tempo demandado pelo componente interno constituinte do DPS para o início da condução de modo a reduzir a amplitude da sobretensão ou conduzir o surto de corrente [38], [41]. Ainda com referência a esta característica elétrica, deve-se salientar que o elemento supressor deve ser milhares de vezes mais rápido que o transitório a fim de fornecer proteção adequada às cargas sensíveis [41]. Conforme já enfatizado anteriormente, o tempo de resposta depende do tipo de componente não-linear.

3.5 - Considerações sobre aterramento e equipotencialização

Como já enfatizado em outras oportunidades, as anomalias na tensão de fornecimento produzidas por descargas atmosféricas ou chaveamentos no sistema elétrico representam condição de risco para o funcionamento dos aparelhos elétricos de consumidores. Diante desta realidade, a aplicação de medidas de proteção contra surtos a fim de limitar as perturbações eletromagnéticas a níveis aceitáveis deve fazer parte do planejamento das instalações novas, assim como também deve ser feita em estruturas existentes.

De modo geral, a literatura aponta três técnicas principais para a mitigação de distúrbios transitórios: aplicação de DPSs, execução de aterramento, equipotencialização e execução de blindagens [38], [51], [52]. Considerando a importância de cada um destes itens no contexto geral da proteção contra surtos, considera-se importante tecer comentários gerais sobre cada um deles.

Em um arranjo destinado a proteger equipamentos contra os efeitos de ocorrências originadas na rede de alimentação externa ou produzidos por descargas diretas, o sistema de aterramento representa um caminho seguro para escoar as correntes transitórias. Para cumprir esta função, é importante que o mesmo possua baixa impedância e não somente baixo valor de resistência elétrica. Este requisito deve ser atendido em virtude da característica de alta e baixa frequência presentes em transientes eletromagnéticos. Notadamente para o caso de sobretensões produzidas por descargas atmosféricas, constata-se que a indutância desempenha papel importante. Ainda, outras grandezas elétricas inerentes à infra-estrutura de aterramento, como a capacitância e indutância devem ser avaliados no projeto [17].

Além destes, o esquema de ligação dos componentes da instalação ao sistema de aterramento desempenha papel importante na implantação do sistema

de proteção. Em [39] são apresentados os esquemas utilizados para esta finalidade, os quais são descritos a seguir:

- **Esquema TN:** Esta configuração consiste no aterramento da fonte de alimentação e das cargas em um mesmo ponto por condutores específicos, denominados condutores de proteção. Ainda neste esquema existem outras três variantes, visualizadas nas Figuras 3.7 a 3.9, respectivamente:

- TN-C: onde o condutor neutro e o de proteção são combinados em único condutor em toda a instalação;
- TN-S: esquema no qual os condutores neutro e de proteção são separados ao longo da instalação;
- TN-C-S: os condutores de neutro e de proteção são reunidos em um único condutor em parte da instalação.

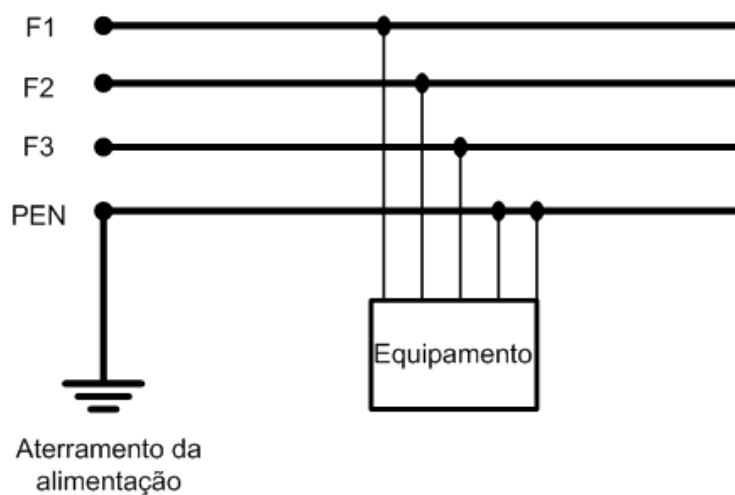


Figura 3.7 - Esquema de aterramento TN-C

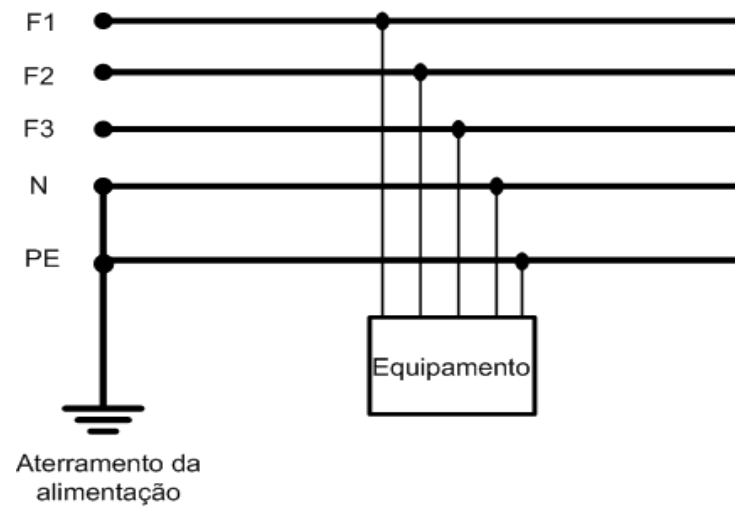


Figura 3.8 - Esquema de aterramento TN-S

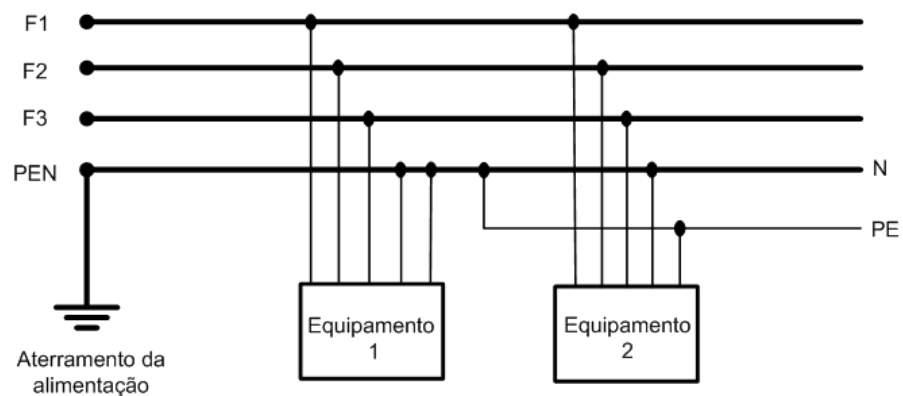


Figura 3.9 - Esquema de aterramento TN-C-S

- **Esquema TT:** Nesta configuração, identificada na Figura 3.10, o aterramento da alimentação e das cargas são feitos em pontos distintos da instalação.

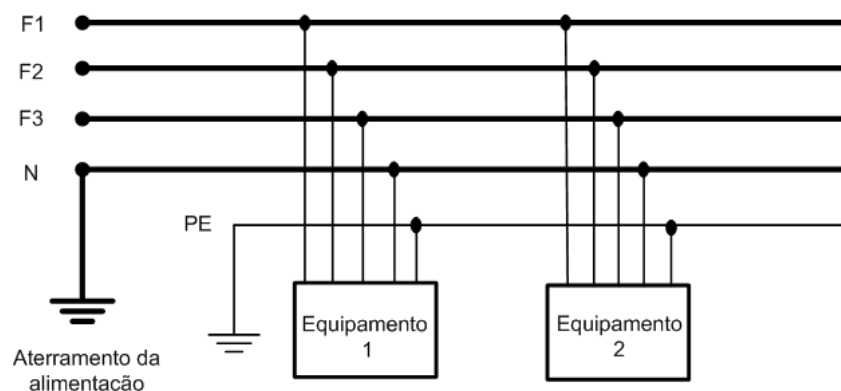


Figura 3.10 - Exemplo de esquema de aterramento TT

Esquema IT: Neste esquema, o ponto da alimentação é aterrado através de uma impedância. Outra forma de realizar este tipo de conexão é feita isolando-se as partes energizadas da terra. A norma NBR 5410 define duas possibilidades para o aterramento das massas:

- aterramento no mesmo eletrodo da alimentação, caso exista;
- aterramento em eletrodos individuais.

Um exemplo das possibilidades de ligação de cargas neste esquema é ilustrado na Figura 3.11.

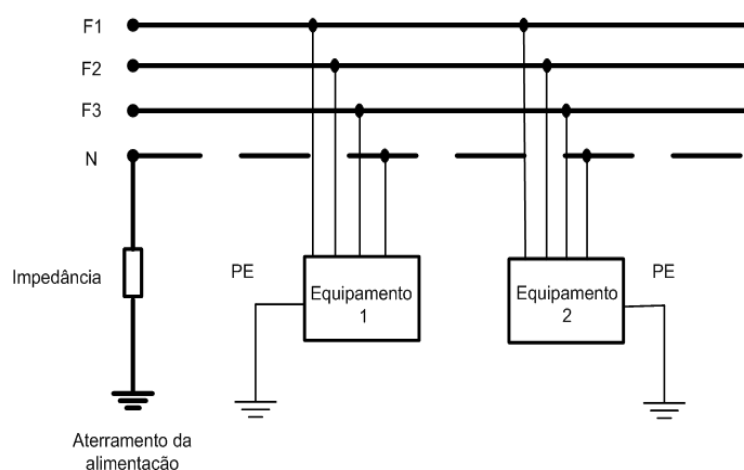


Figura 3.11 - Esquema de aterramento IT com massas aterradas em eletrodos separados da alimentação

Da mesma forma que o aterramento, a equipotencialização das partes metálicas de toda instalação cumpre importante função no contexto da proteção contra distúrbios transitórios. O objetivo desta medida é evitar o aparecimento de potenciais indesejados nas extremidades da ligação equipotencial [38]. Fisicamente, a equipotencialização das partes da edificação a ser protegida é feita por condutores específicos, que formam uma rede na edificação. Estes condutores devem ser interligados a um ponto único: o barramento de equipotencialização principal (BEP). Devem ser incluídos neste barramento, dentre outros, as armaduras de concreto, as tubulações e outras estruturas metálicas da edificação não relacionadas ao serviço de eletricidade, condutos metálicos da rede de energia elétrica e do sistema de comunicação, blindagens e os condutores integrantes do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Por fim, a blindagem dos condutores da instalação exerce importante papel na limitação de campos eletromagnéticos produzidos por descargas atmosféricas e que podem ser induzidos dos condutores elétricos para os cabos de sinal ou dados e vice-versa. Todas as blindagens empregadas na estrutura devem ser aterradas e conectadas ao barramento de equipotencialização. Quando a ligação da blindagem ao BEP apresentar risco de corrosão eletrolítica ou possibilidade de produzir ruídos, esta pode ser feita com a utilização de DPS tipo curto-circuitantes [39].

3.6 - Aplicação e localização de dispositivos de proteção contra surtos

Este item tem por objetivo mostrar a correta utilização do DPS em instalações de baixa tensão.

Em primeiro momento, observa-se a importância dos fatores ambientais empregados na classificação das instalações objeto de proteção contra surtos. Nesse sentido, as entidades que publicam documentos relacionados ao tema em

discussão neste capítulo apresentam diferentes conceitos para classificar em categorias as instalações atendidas em tensão inferior a 1000 V.

Visando atender este propósito, as referências [38]-[39] associam a necessidade de prover proteção às estruturas mencionadas acima em função de características regionais. Assim sendo, a Tabela 3.2 apresenta a classificação das regiões em função da frequência de incidência de descargas atmosféricas por ano.

Tabela 3.2 - Condições de influências externas relacionadas à proteção contra sobretensões transitórias (descargas atmosféricas)

Condição de influência externa	Características
AQ1	✓ ≤ 25 dias de incidência de descargas atmosférica por ano ✓ Consequências consideradas desprezíveis
AQ 2	✓ > 25 dias de incidência de descargas atmosférica por ano ✓ Efeitos indiretos da descarga atmosférica. ✓ Risco proveniente da exposição dos componentes da instalação. ✓ Exemplo: Instalação alimentada por rede aérea.
AQ 3	✓ Efeito direto da descarga atmosférica. ✓ Risco proveniente da exposição dos componentes da instalação. ✓ Exemplo: partes da instalação situada no exterior da edificação.

No mesmo norte, em [36]-[38] descreve-se outra forma de classificação baseada na frequência de ocorrência de fenômenos atmosféricos, denominado níveis de exposição. As categorias propostas nestas referências fundamentam-se

em diversos estudos estatísticos realizados nos EUA. Os trabalhos foram realizados com o objetivo de fornecer informações qualitativas a respeito do grau de exposição dos circuitos aos surtos de origem atmosférica em função de características regionais. Os três níveis de exposição definidos em [36], [38] são apresentados a seguir:

- **Baixa exposição:** Para os sistemas de distribuição localizados em áreas geográficas caracterizadas por baixa incidência de raios e pouca ocorrência de surtos de manobra;

- **Exposição Média:** Para sistemas de distribuição situados em região com incidência de raios considerada de média para alta e com ocorrência significativa de surtos de manobra;

- **Alta Exposição:** Para sistemas de distribuição instalados em locais onde a frequência de incidência de descargas atmosférica e de surtos severos provocadas por manobras é considerada alta.

Partindo-se destas informações pode-se proceder aos estudos iniciais com vistas a utilização de dispositivos mitigadores em conformidade com o grau de exposição das estruturas. Para as regiões classificadas como AQ2 e AQ3, alimentadas por redes aéreas, as normas NBR 5410 e IEC 60364-4-443 recomendam a aplicação de meios adequados para proteção contra sobretensões, do tipo não curto-circuitante (*clamping*) no ponto logo após o medidor de energia elétrica. Para a proteção contra sobretensões conduzidas pela linha externa de alimentação e para sobretensões de manobra, a NBR 5140 estabelece a instalação dos DPSs o mais próximo possível do ponto de entrada da alimentação elétrica na edificação ou no quadro de distribuição principal. Adicionalmente, visando a proteção contra os efeitos de descargas diretas ou nas

proximidades da instalação, os DPSs devem ser instalados exclusivamente no ponto de entrada da rede elétrica da instalação [39].

A referência [40] introduz outro aspecto importante para a aplicação de DPSs desenvolvido pelo IEC: as categorias de suportabilidade a impulso para equipamentos alimentados em baixa tensão. Cada categoria é identificada por um número, que varia de I a IV. Os valores de suportabilidade são apresentados sob a forma de tabela, em ordem crescente no que se refere à capacidade do equipamento tolerar sobretensões transitórias. Este conceito fundamenta-se no fato de que a magnitude dos distúrbios eletromagnéticos que se propagam em um sistema elétrico tem um limite prático, imposto pelas características do próprio sistema ou pela existência de dispositivos de proteção. As categorias de suportabilidade à impulso também fornecem orientações aos fabricantes dos equipamentos de utilização em unidades consumidoras no sentido que estes procurem projetar seus produtos observando os limites aceitáveis propostos para cada categoria. Admitindo-se a relevância destas informações, a norma brasileira NBR 5410 aborda a classificação dos equipamentos em função da suportabilidade à impulso em seu parágrafo 5.4.2.3. Conforme consta neste item, os componentes da instalação devem ser selecionados de forma que seus valores nominais da tensão de impulso suportável sejam inferiores aos recomendados pelo documento. Em relação aos valores limite de imunidade à sobretensões impulsivas aconselhados em [40], foram realizadas adaptações aos padrões de tensão secundária utilizadas no Brasil. Enfim, estão disponíveis na Tabela 3.3 as informações quantitativas relacionadas com a tolerância dos diversos equipamentos elétricos ao impulso de tensão, tomando-se como referência os valores indicados em [39].

Tabela 3.3 - Categorias de instalação - referência [1]

Tensão nominal do sistema (V)		Impulso de tensão máximo suportável pelo equipamento (kV)			
Sistema trifásico	Sistema monofásico com neutro	Categoria de Suportabilidade a impulsos			
		IV	III	II	I
120/208 127/220	115-230 120-240 127-254	4	2,5	1,5	0,8
220/380, 230/400, 277/480	-	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5

Apresenta-se a seguir a descrição qualitativa dos tipos de equipamentos enquadrados em cada categoria, com fundamento nas referências [4] e [47]:

- **Categoria I:** Compreende os aparelhos eletrônicos especialmente protegidos e de tecnologia da informação. Para esta classe, presume-se a existência de proteções contra as sobretensões transitórias implementadas na origem da instalação fixa ou entre esta e os equipamentos citados.
- **Categoria II:** Para equipamentos conectados à instalação fixa da edificação. Nesta categoria estão inclusos os equipamentos de utilização comum em residências tais como os eletrodomésticos e as ferramentas portáteis.
- **Categoria III:** Esta classificação destina-se aos aparelhos elétricos permanentemente conectados à instalação fixa, onde um alto grau de imunidade à surtos de tensão é esperado. Dentre os equipamentos

compatíveis com esta categoria, têm-se aqueles utilizados em circuitos de distribuição (quadros de distribuição, disjuntores) e circuitos terminais.

- **Categoria IV:** Esta última classe abrange os dispositivos projetados para uso na origem da alimentação da instalação elétrica das unidades consumidoras. É o caso dos medidores de energia elétrica e os disjuntores de média tensão.

As informações disponibilizadas na Tabela 3.3 são de suma importância para a definição do nível de proteção do DPS.

Segundo [39]-[40], o valor necessário para a proteção dos aparelhos eletroeletrônicos quando a instalação for alimentada por redes aéreas, total ou parcialmente, não deve ser inferior ao indicado para a categoria II.

Embora ofereça informações importantes, a classificação dos equipamentos sugerida pelo IEC não considera outros aspectos significantes, como é o caso das formas de propagação dos distúrbios. De forma a complementar os conceitos apresentados, o IEEE propõe a classificação das instalações em categorias de localização. A motivação para esta forma de classificação é explicada pelo comportamento diferenciado dos transientes de corrente e de tensão ao se propagarem através da fiação elétrica. Os primeiros, ao se propagarem através dos condutores elétricos, são limitados por uma impedância crescente a partir da origem para o interior da estrutura atingida. Por outro lado, para os surtos de tensão incidentes na entrada de serviço, com amplitude abaixo do ponto de ruptura da isolação (*flashover*) entre os condutores, pode ocorrer a propagação da perturbação eletromagnética para a instalação praticamente sem qualquer atenuação. Em consequência, são esperadas diferentes amplitudes e formas de ondas para transientes de tensão ou corrente ao longo do sistema de baixa tensão [36],[38].

A partir das informações apresentadas até o presente momento, é possível concluir que as características dos surtos elétricos podem variar em função das diversas partes da unidade consumidora. Este é o princípio em que se baseia a classificação em categorias de localização descrita em [36]-[38], designados por letras de A a C.

A fim de ilustrar esta conceituação, a Figura 3.12 proporciona a visualização de sua aplicação para uma instalação residencial, enquanto a Figura 3.13 permite a mesma possibilidade para um complexo industrial.

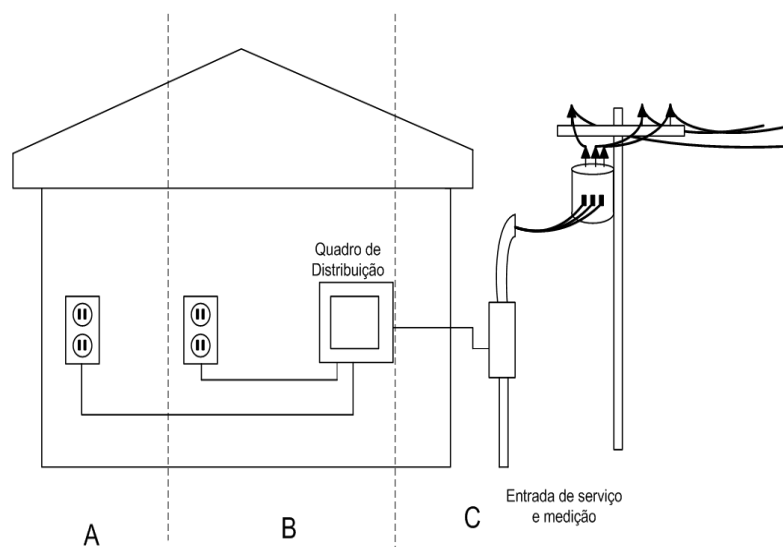


Figura 3.12 - Categorias de localização – instalação residencial

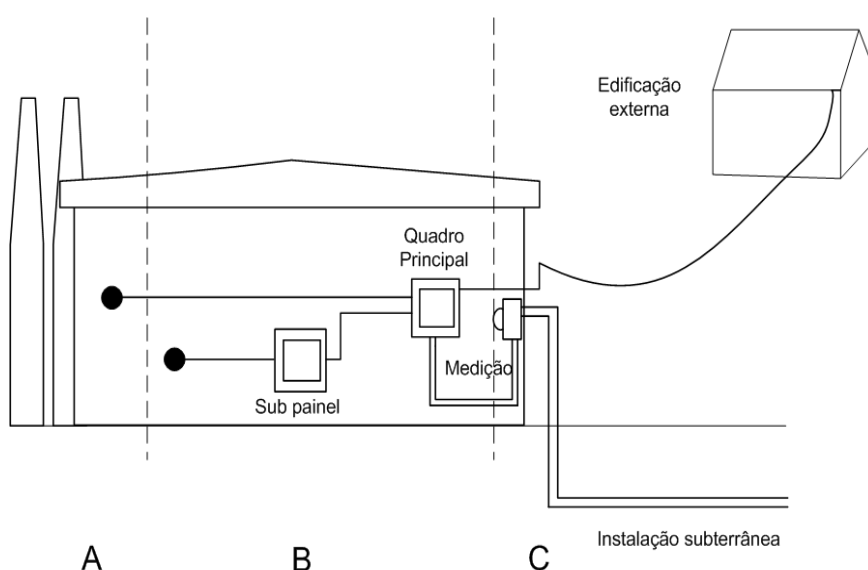


Figura 3.13 - Categorias de localização – instalação industrial

Não obstante a importância das figuras na compreensão da locação das diferentes categorias, considera-se relevante detalhar melhor cada uma delas:

- **Categoria A:** compreende as tomadas e trechos longos de circuito, distantes mais de 10 m da Categoria B ou mais de 20 m da Categoria C.
- **Categoria B:** abrange alimentadores e trechos curtos de circuito.
- **Categoria C:** categoria na qual estão compreendidos a entrada de serviço e equipamentos externos à instalação.

Finalmente, apresenta-se na Tabela 3.4, a abordagem quantitativa do conceito de categorias de localização em função do nível de exposição. Na mesma tabela, estão disponíveis os patamares de sobretensão esperados e os respectivos padrões de forma de onda associadas, especificadas para cada categoria [37].

Tabela 3.4 - Características dos padrões de surtos esperados para cada categoria de localização

Categoria de Localização	Nível de Exposição	Forma de Onda	Tensão (kV)	Corrente (kA)
A	Baixo	Onda combinada	6	0,5
	Baixo	Onda senoidal amortecida – 100 kHz	6	0,2
B	Alto	Onda combinada	6	3
	Baixo	Onda senoidal amortecida – 100 kHz	6	0,5
C	Alto	Onda de corrente 8/20 μ s	10	10
	Baixo	Onda combinada	6	3

De posse das informações disponibilizadas até o momento, o próximo passo consiste na discussão da instalação dos dispositivos mitigadores com a finalidade a limitar os efeitos diretos e indiretos das descargas atmosféricas e das sobretensões produzidas por chaveamento. Assim sendo, é importante destacar que a NBR 5410 apresenta a forma como estes dispositivos devem ser interligados de forma a atender tal objetivo.

Nas Figuras 3.14 a 3.16 são demonstradas a forma como deve ser feita a conexão dos DPSs em quadros de distribuição para os diversos tipos de esquemas de aterramento descritos na seção 3.5.

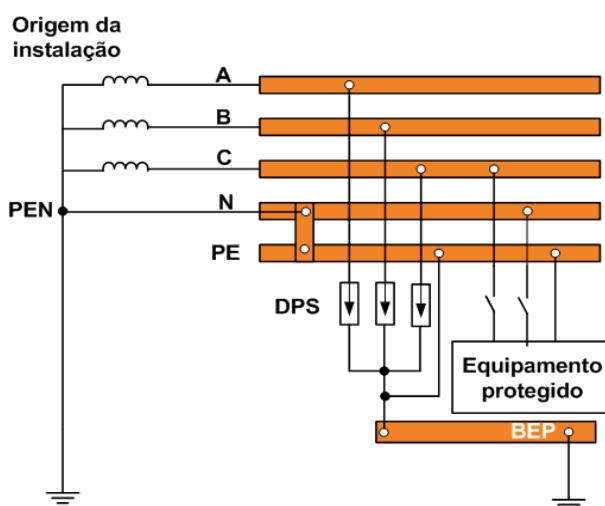


Figura 3.14 - Exemplo de instalação de DPS em esquemas TN

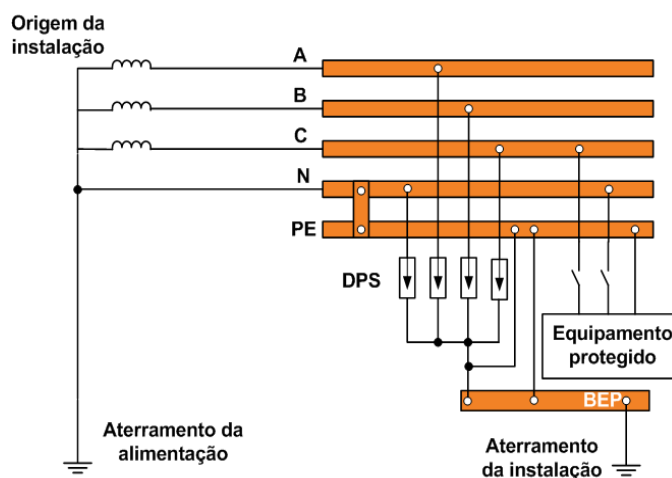


Figura 3.15 - Exemplo de instalação de DPS em esquemas TT

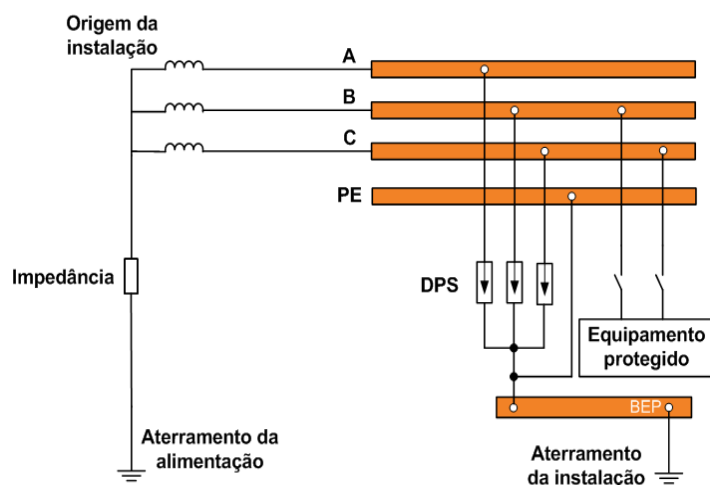


Figura 3.16 - Exemplo de instalação de DPS em esquemas IT sem neutro

Adicionalmente, tendo em vista a necessidade de prevenção da propagação de surtos entre os condutores neutro e de aterramento no esquema TT, recomenda-se a interposição de DPS entre ambos, obedecendo a forma de ligação mostrada na Figura 3.15. Tal medida reflete o requisito de proteção contra as perturbações eletromagnéticas produzidas por descargas diretas ao solo para os condutores internos da instalação.

Em todas as situações, os dispositivos protetores devem estar conectados ao barramento de equipotencialização principal (BEP) e à infra-estrutura de aterramento da edificação.

Os esquemas apresentados devem ser observados também no caso de necessidade de instalação de dispositivos mitigadores adicionais para proteção de equipamentos sensíveis.

3.7 - Seleção de dispositivos de proteção contra surtos

Com o propósito de consolidar os conhecimentos expostos durante este capítulo, este tópico sintetiza os procedimentos a serem seguidos para a correta especificação de DPSs. Para tanto, devem ser determinados os requisitos mínimos necessários a serem oferecidos pelos dispositivos protetores visando a prevenção de danos aos equipamentos eletrodomésticos. Sem prejuízo dos

parâmetros elétricos expostos no item 3.4.2, devem ser definidos pelo usuário as seguintes informações mínimas objetivando a seleção dos dispositivos mitigadores em questão: nível de proteção, máxima tensão de operação contínua, suportabilidade a sobretensões temporárias, corrente nominal de descarga e/ou corrente de impulso e suportabilidade a corrente de curto-circuito. Além destas características elétricas, a coordenação seletiva entre DPSs não pode ser negligenciada, em situações que exigir a instalação de dispositivos mitigadores adicionais [39].

Neste sentido, são relacionadas na sequência as diretrizes requeridas para a determinação de cada uma das características citadas acima.

3.7.1 - Seleção do nível de proteção (U_p)

Segundo [39], o valor de U_p deve ser compatível com a categoria II de suportabilidade a impulsos indicada na Tabela 3.3. Caso o nível de proteção desejado não seja obtido com um único conjunto de DPSs, deverão ser instalados dispositivos suplementares, que por sua vez deverão estar devidamente coordenados entre si.

3.7.2 - Determinação da máxima tensão de operação contínua (U_c)

Em razão da existência de mecanismos próprios instalados nas redes de distribuição para manutenção do nível de tensão em patamares adequados às necessidades dos consumidores, tais como a comutação de taps, a tensão nominal pode variar na faixa de mais ou menos 10%. Em razão disso, é recomendado aos usuários e profissionais encarregados da especificação de DPSs estarem atentos a estas flutuações de tensão e selecionar o valor de U_c acima das sobretensões esperadas na linha de alimentação [38]. A referência

[39] recomenda a margem de segurança de 10% em relação à tensão nominal do sistema, em conformidade com o esquema de aterramento empregado no local. A Tabela 3.5 mostra, de forma geral, os valores a serem respeitados no que se refere a este parâmetro.

Tabela 3.5 - Valores limites para U_c em função do esquema de aterramento

Esquema de aterramento da instalação	Forma de conexão do DPS			
	Fase-Neutro	Fase-PE	Fase-PEN	Neutro-PE
TT	$1,1U_0$	$1,1U_0$	-	U_0
TN-C	-	-	$1,1 U_0$	-
TN-S	$1,1 U_0$	$1,1 U_0$	-	U_0
IT com neutro distribuído	$1,1 U_0$	$\sqrt{3} U_0$	-	U_0
IT sem neutro distribuído	-	U	-	-

Onde:

U =tensão fase-fase

U_0 = tensão fase-neutro

3.7.3 - Suportabilidade a sobretensões temporárias

As principais causas que originam as sobretensões de longa duração nos sistemas elétricos são as falhas monofásicas em sistemas trifásicos, ferroressonância, curto-circuito no enrolamento primário de um transformador, curto entre condutores de linhas, falhas em isolamentos, perdas de condutores de média ou baixa tensão ou quando ocorre perda de geração de centrais de cogeração conectadas à rede pública de distribuição [39], [53], [36] e [38]. Estes eventos se distinguem dos surtos de manobra por ocorrerem na frequência industrial e pela duração [38] e [54].

Os componentes utilizados nos DPSs atuais não possuem capacidade de absorver a quantidade de energia fornecida durante as sobretensões temporárias, que podem levar a redução de sua vida útil ou, em situações mais críticas, à destruição do dispositivo [38], [53]-[55]. Quando ocorre a falha em DPSs constituídos por resistências não-lineares, estes se comportarão como um curto-circuito para o sistema. Nesta situação será imposta uma interrupção na alimentação decorrente da atuação da proteção contra sobrecorrente instalada nos quadros de distribuição [51], [53]. Por esta razão, os fabricantes devem prover meios para desconectar o dispositivo de proteção contra surtos da linha de alimentação em caso de falha. Os fabricantes dos dispositivos encontrados no mercado realizam essa tarefa incorporando um elemento térmico ao conjunto [53]-[54]. Caso este recurso não esteja disponível, devem ser disponibilizados meios para que o dispositivo não ofereça risco algum à instalação em caso de sua destruição provocada pela perturbação destacada neste item. [38].

3.7.4 - Corrente nominal de descarga (I_n) e corrente de impulso (I_{imp})

A NBR 5410 estabelece três diferentes aspectos a serem considerados na seleção de dispositivos mitigadores no que se refere aos parâmetros elétricos em destaque:

- Proteção contra sobretensões de origem atmosférica transmitidas pela alimentação externa e contra sobretensões de manobra: O valor de I_n não deve ser inferior a 5 kA (8/20 μ s) para cada modo de conexão da carga à rede de alimentação. Ressalva-se que para redes trifásicas o valor de I_n não deve ser inferior a 20 kA (8/20 μ s). Para redes monofásicas, na situação em que o

DPS for conectado entre os condutores neutro e de proteção (PE), o valor mínimo sugerido é de 10 kA (8/20 μ s).

- **Proteção contra descargas diretas à edificação ou nas suas proximidades:** A recomendação é que a corrente de impulso seja determinada com base na norma IEC 61312-1. Caso o valor de I_{imp} não possa ser determinado com base nos preceitos da norma, o valor mínimo a ser adotado é 12,5 kA em função da forma de conexão da carga. Ressalta-se que na situação em que o DPS estiver ligado entre os condutores neutro e PE, ocorrendo a mesma situação de impossibilidade de determinação do valor de I_{imp} , sugere-se que esta intensidade não seja inferior a 50 kA para redes trifásicas ou 25 kA para redes monofásicas.

- **Proteção contra todas as sobretensões previstas nas situações anteriores:** Neste caso, os valores dos parâmetros I_n e I_{imp} devem ser determinados individualmente, observando-se as orientações anteriores.

3.7.5 - Suportabilidade à corrente de curto-circuito

Os componentes de um sistema elétrico devem ser capazes de interromper ou suportar a intensidade da corrente de curto-circuito disponível no ponto em que estes se encontram instalados. A instalação de dispositivos de proteção contra sobrecorrentes por si só não garante que o equipamento instalado à jusante seja capaz de suportar a intensidade deste distúrbio. Desta forma, o DPS deve ter, entre suas especificações, a definição de sua suportabilidade à corrente de curto-circuito, que pode danificá-lo ou até mesmo destruí-lo [55] e ainda provocar danos nos componentes da instalação ou dispositivos alojados próximos a ele [38] e [51]. Para garantir a aplicação adequada do DPS, este parâmetro deve ter, obrigatoriamente, valor superior ao da corrente de curto-circuito disponível no local. Caso contrário, deve-se tomar providências para eliminar a falta e desconectar o dispositivo da rede elétrica de baixa tensão de forma segura [38]-[39]. Para tanto, uma das alternativas

utilizadas é a inclusão de um elemento térmico interno ao dispositivo, ou por meio de disjuntores ou fusíveis externos.

Além destes cuidados, deve-se salientar o caso específico de DPSs que possuem centelhadores em sua constituição. Neste caso, observa-se a necessidade de avaliação da característica elétrica vinculada à capacidade de interrupção da corrente subsequente inerente aos dispositivos curto-circuitantes. Este parâmetro está associado com o processo de condução de surtos de corrente em seu instante inicial. Após a extinção do arco elétrico produzido após sua atuação na eliminação de distúrbios transitórios, uma corrente elétrica na frequência industrial (corrente subsequente) continuará a fluir pelo *gap* do componente até a próxima passagem da mesma por zero [1],[38]. A referência [39] estabelece que o valor da suportabilidade deste tipo de dispositivo deve ser igual ou superior à corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação do DPS. Para os protetores conectados entre neutro e PE, a capacidade de interrupção deste parâmetro elétrico não deve ser inferior a 100 A, nos esquemas TN ou TT, e deve ser a mesma para os DPSs conectados entre fase e neutro em caso de uso do esquema IT. [39]

3.7.6 - Coordenação de DPSs em cascata

Os equipamentos eletroeletrônicos podem requerer a aplicação de proteção adicional contra sobretensões ao longo da instalação. Razões para isso derivam do fato que os DPS disponíveis comercialmente podem ter especificações que não atendam aos requisitos do nível de proteção da categoria II (2,5 kV para tensões 220/380V) e ao mesmo tempo serem capazes de suportar a intensidade do distúrbio eletromagnético incidente na origem da alimentação elétrica. Outra justificativa refere-se à distância física existente entre o componente mitigador e o equipamento protegido [57]. Se o comprimento do condutor que realiza a conexão entre ambos exceder um determinado valor,

mesmo que suas especificações atendam o requisito do nível de proteção, reflexões sucessivas da onda de surto propagando pelos condutores da instalação irão produzir oscilações. Nesta condição, o equipamento de uso final será exposto à sobretensões com amplitudes que podem levar ao comprometimento de sua integridade física. Este assunto específico é discutido de forma mais detalhada nas referências [46]-[49].

Assim sendo, para realizar a limitação dos distúrbios eletromagnéticos diante de qualquer uma destas possibilidades, deve-se implantar proteção complementar. Para atingir esta meta, é indispensável que o conjunto de dispositivos, além de estarem ligados em conformidade com a configuração do aterramento disponível no local, estejam corretamente coordenados [39].

O esquema predominante utilizado para coordenação entre DPSs se realiza com a interposição de dois dispositivos: um primário e outro secundário. Os primeiros são instalados no quadro principal ou na entrada de serviço e especificados para absorver da maior parte da energia do transiente incidente no local. Por outro lado, os dispositivos secundários devem ser conectados o mais próximo possível da carga, visando a eliminação do distúrbio remanescente [38] e [56]. Operando nesta situação, o esquema é dito coordenado.

O procedimento para a coordenação em cascata também compreende conceitos apresentados anteriormente, como é o caso das categorias de localização. Como já exposto, a entrada de serviço está alocada na categoria C, conforme mostrado nas Figuras 3.12 e 3.13. A amplitude dos surtos elétricos estabelecidos para esta categoria são superiores às demais. Assim a proteção contra transientes para esta locação deve ter capacidade energética compatível com o patamar dos transitórios de tensão ou corrente esperados. O dispositivo mitigador instalado próximo ao equipamento sensível a ser protegido, alocado na categoria A, receberá apenas uma parte da energia da perturbação

eletromagnética conduzida a partir do início da instalação. Assim, suas especificações devem ser adequadas a esta situação.

Adicionalmente, pode-se empregar o conceito de categorias de suportabilidade a impulsos na interpretação deste assunto. Aplicando-se este conceito, teremos dispositivos com diferentes características nos diversos compartimentos da unidade consumidora.

Finalmente, a Figura 3.17 mostra o esquema geral de coordenação de DPSs em cascata, segundo a metodologia do IEEE e IEC.

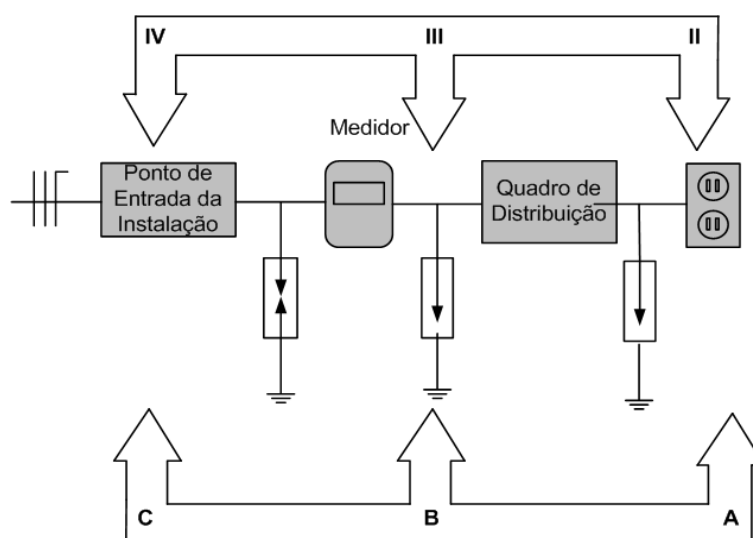


Figura 3.17 - Coordenação de DPS em cascata conforme categorias propostas pelo IEEE e IEC

Na figura, tem-se um dispositivo compatível com a categoria IV na origem da instalação e outro com características vinculadas à categoria II próximo ao equipamento. Em complemento a estes aspectos, verifica-se que cada DPS deve atuar para diferentes padrões de surtos, de forma que sua magnitude seja bastante reduzida ou mesmo completamente anulada até a extremidade da instalação.

A execução da coordenação de múltiplos DPS em instalações de baixa tensão requer um conhecimento aprofundado do sistema de distribuição

específico onde os mesmos serão conectados, além de um profundo conhecimento das inúmeras variáveis que podem afetar a funcionalidade dos dispositivos mitigadores. A referência [38] disponibiliza informações a respeito das variáveis que influem na coordenação em cascata dos dispositivos focalizados.

Enfim, a NBR 5410 dispõe que a coordenação deve ser orientada pela documentação fornecida pelos diferentes fabricantes.

3.8 - Considerações finais

A utilização de DPSs em instalações alimentadas em tensão inferior a 1000 V constitui o principal meio de proteção de equipamentos eletroeletrônicos sensíveis contra perturbações elétricas transmitidas pela rede de alimentação externa. Notadamente, para o caso de instalação alimentada por rede aérea de distribuição situada em região classificada como AQ2 ou AQ3, observa-se a necessidade de implantação destes dispositivos na origem da instalação, o mais próximo possível dos equipamentos a serem protegidos. Caso a distância entre o DPS e o equipamento de uso final seja superior a 10 m, recomenda-se a utilização de dispositivos suplementares a fim de garantir a proteção contra surtos no interior da instalação consumidora. Os dispositivos de proteção contra surtos adicionais devem estar obrigatoriamente coordenados com aqueles localizados no início da instalação de modo a garantir a eficácia do esquema de proteção.

Para a adequada especificação da proteção requerida pelos diversos equipamentos presentes nas instalações residenciais, comerciais ou industriais devem ser avaliados fatores tais como: padrões de tensão secundária da distribuidora local, implementação de aterramento com valor de impedância adequado, execução de equipotencialização de todas as partes metálicas da

edificação, emprego do conceito das categorias de localização e instalação e a forma de conexão das cargas ao sistema de aterramento.

No tocante à especificação de tais dispositivos, deve ser levado em consideração os parâmetros correlacionados como o nível de proteção requerido, a máxima tensão de operação contínua suportável, a possibilidade de o dispositivo ser submetido à sobretensões temporárias, corrente nominal de descarga e/ou corrente de impulso e a suportabilidade a corrente de curto-circuito disponível no local de instalação do DPS. Tomando-se como referência os padrões de tensão secundária utilizada no Brasil e as recomendações normativas, tem-se que um dispositivo com tensão nominal da ordem de 275 V, nível de proteção correspondente a valores inferiores a 2,5 kV e 10 kA de capacidade mínima de corrente de descarga atende aos requisitos de boa parte das instalações consumidoras.

A vasta quantidade de parâmetros e situações a serem avaliada na especificação de DPSs indica a necessidade de pessoas devidamente qualificadas a fim de evitar acidentes pelo mau uso ou instalação incorreta.

Deve-se ressaltar que a proteção contra surtos não deve ser analisada isoladamente, mas sim como parte de um contexto e que seu desempenho está diretamente atrelado a outros elementos da instalação, como é o caso do aterramento e da equipotencialização.

Finalmente, salienta-se que a instalação de proteção contra surtos não é obrigatória na normatização brasileira. Contudo, deve-se ponderar que a NBR 5410 em seu item 5.4.2.1.1 a ressalva que omissão da aplicação da proteção é admitida somente na hipótese deste fato constituir risco calculado e assumido. Conclui a norma que “*Em nenhuma hipótese a proteção pode ser dispensada se essas conseqüências puderem resultar em risco direto ou indireto à segurança e à saúde das pessoas*”.

CAPÍTULO IV

Estudo de casos

4.1 - Considerações Iniciais

Todos os PIDs considerados no Capítulo II foram analisados utilizando-se procedimentos habituais com vistas a verificar a existência de nexo de causalidade entre o dano reclamado e o registro de perturbações elétricas da concessionária. Não obstante o emprego deste procedimento, de forma a atender a proposta principal da presente dissertação, faz-se necessário avançar na direção da avaliação computacional das solicitações de ressarcimento de danos a partir da estratégia estabelecida na referência [31]. A motivação para esta tarefa fundamenta-se na necessidade de comprovação, em primeiro momento, da consistência das solicitações em questão, quando comparadas com as simulações em ambiente computacional. Para atingir tais metas, é premente a necessidade de adequação do aplicativo APR aos objetivos propostos, de modo a contemplar a presença de dispositivos mitigadores.

Assim, o presente capítulo está direcionado às seguintes atividades:

- Desenvolvimento de um modelo computacional para DPSs na plataforma ATP;
- Verificar a eficiência da proposta apresentada através de simulação no software supramencionado;

- Incorporar o DPS à estrutura do APR, a fim de permitir sua utilização em estudos avaliativos do impacto produzido por distúrbios originados em redes de distribuição típicas;
- Avaliação do desempenho do aplicativo, com destaque a casos reais de solicitações de ressarcimento de danos.

4.2 - Implementação Computacional do DPS

Dentre a variedade de componentes não lineares encontrados em dispositivos de proteção contra surtos apresentados no capítulo III, observa-se que os varistores apresentam características elétricas intermediárias entre os centelhadores, caracterizados pela alta capacidade de energia, e os semicondutores, que possuem rápida resposta na limitação de sobretensões transitórias. Tais atributos são interessantes para representação computacional do dispositivo e o modelo final deve ser o mais abrangente possível. Diante do exposto, a modelagem teve como ponto de partida o DPS modelo VCL Slim do fabricante Clamper, facilmente encontrado no mercado. Este dispositivo utiliza como elemento não linear um varistor de óxido de zinco e não possui em seu interior o elemento térmico para desconexão do dispositivo em caso de ocorrência de sobretensões temporárias.

As principais características elétricas do dispositivo, fornecidas pelo fabricante, são relacionadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Parâmetros elétricos do DPS modelo VCL Slim

Parâmetros	Valor nominal
Máxima tensão de operação contínua	275 v
Máxima corrente de descarga ($I_{\max}$) – Onda 8/20 μ s	12 kA
Tensão residual (nível de proteção)	< 1,0 kV
Tempo de resposta	< 25 ns
Tensão de <i>Clamping</i> (8 /20 μ s)	710 v

A partir do catálogo do fabricante do varistor, obteve-se informações a respeito de sua característica não-linear. Na Figura 4.1, tem-se a curva da tensão versus corrente para o componente em questão, expressa em gráfico com escalas logarítmicas.

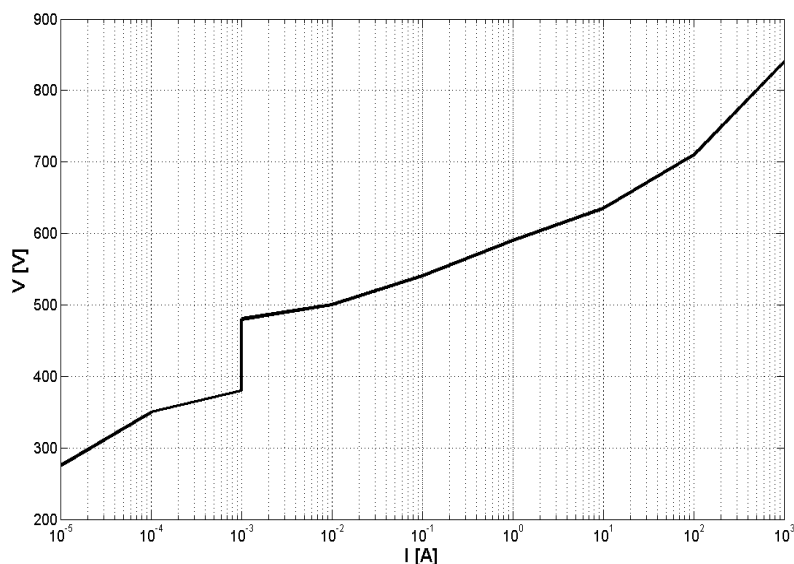


Figura 4.1 - Curva V x I do DPS modelo VCL Slim

Tomando estas informações como ponto de partida, procedeu-se ao desenvolvimento computacional do dispositivo. Para tanto, foram utilizados os recursos disponíveis na biblioteca de componentes do ATP através da interface gráfica ATPDraw. Para a modelagem de componentes com características não-lineares, o aplicativo disponibiliza uma série de modelos como é o caso do MOV *Type 92*. Este modelo pode ser utilizado para representação da curva característica de varistores de ZnO pela inserção de pares de valores de corrente e tensão. Os valores da corrente do elemento não linear são calculados de acordo com a equação (4.0).

$$I = p \times \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)^q \quad (4.0)$$

Onde:

I = corrente através do elemento não-linear

V = tensão aplicada no elemento não-linear

V_{ref} , p e q = são constantes

De um modo geral, o MOV *Type 92* proporciona bons resultados computacionais, sendo utilizado por alguns autores na modelagem de pára-raios construídos com pastilhas de óxido de zinco (ZnO). Em particular, a referência [71] relaciona as principais possibilidades de modelagem em termos computacionais de pára-raios utilizando ATPDraw.

A referência [70] apresenta uma proposta de modelagem computacional do dispositivo de proteção contra surtos utilizando um programa de simulação tipo *Electromagnetic Transient Simulation Program* (EMTP). Os autores consideraram um DPS constituído por um diodo supressor como elemento não linear. Ainda nesta publicação, menciona-se o fato de que o modelo implementado pelos autores foi constituído a partir de recomendações do IEEE para representação de varistores em ambiente computacional. O modelo em referência é representado na Figura 4.2.

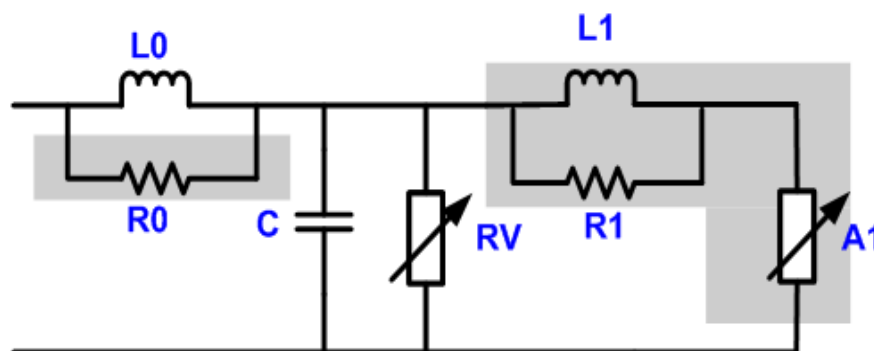


Figura 4.2 - Representação indicada para varistores de ZnO (Referência [71])

Na figura anterior, RV e $A1$ são resistências não lineares, enquanto a indutância $L0$ representa a indutância relacionado com o campo magnético

próximo ao varistor. O resistor R0 tem por meta eliminar instabilidades numéricas durante as simulações. O capacitor C é um parâmetro associado a pára-raios típicos de sistemas de potência uma vez que esta grandeza expressa a capacitância externa representativa da altura do varistor ao solo [71]. Os demais elementos do circuito, R1 e L1, formam um filtro RL que desacoplam o elemento A1 do restante do circuito durante transitórios rápidos [70]. Para o caso dos DPS, construtivamente mais simples que os pára-raios, os componentes marcados na figura podem ser omitidos e o circuito final então fica reduzido à apenas três componentes.

Com base nas informações disponibilizadas nas referências [70]-[71] e nos parâmetros fornecidos pelo fabricante já mencionado, tem-se como produto final o modelo do DPS fundamentado no elemento MOV Type 92, o qual é apresentado na Figura 31.

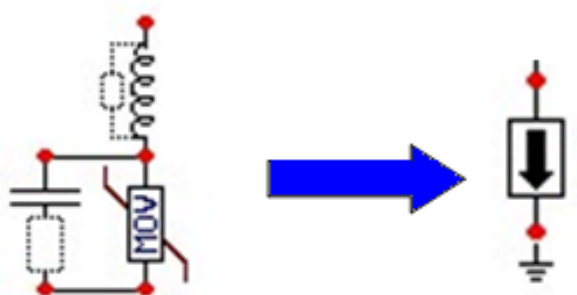


Figura 4.3 - Modelo computacional e simbologia do DPS

Na figura, o capacitor representa a capacitância de fuga do DPS. Conforme informado na Tabela 3.1 do Capítulo III, os valores típicos desta grandeza situam-se na faixa de 1 a 10 nF (valor empregado: 1 nF). Por sua vez, o indutor está associado com a indutância do DPS e inclui o condutor que realiza sua conexão à rede. O valor adotado para este componente foi de 1μH.

Finalmente, a Tabela 4.2 fornece os valores utilizados na implementação da curva $V \times I$ do dispositivo em pauta, tomando como referência as informações da Figura 4.1.

Tabela 4.2 - Valores de tensão/corrente da curva não linear do DPS modelado

Corrente (A)	Tensão (V)
0,00001	275
0,001	380
0,001	480
1000	840

4.3 - Análise de Desempenho do Modelo Computacional do DPS

Após concluída a modelagem do DPS, faz-se necessário apurar sua eficácia. Para tanto, o próximo passo consiste na verificação de seu desempenho em condições de fornecimento de energia com a presença de surtos elétricos. Para realizar tal tarefa, utilizou-se novamente os recursos existentes no ATPDraw.

A Figura 4.4 apresenta o sistema utilizado para a verificação do desempenho computacional do dispositivo de proteção contra surtos.

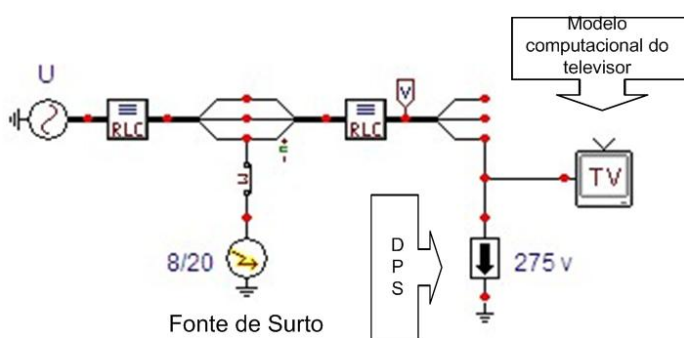


Figura 4.4 - Sistema elétrico empregado na verificação do desempenho computacional do DPS

Na figura: a fonte de surto foi configurada a partir do modelo *Heidler Type 15* para fornecer uma onda de surto de corrente. Os parâmetros do surto produzido possuem os valores relacionados a seguir:

- Valor de pico da corrente: 5 kA
- Tempo de crista: 8 μ s
- Tempo de cauda: 20 μ s

As impedâncias série representam os parâmetros elétricos de resistência e indutância de um condutor empregado em redes de tensão secundária.

A carga escolhida para os testes reproduz a estrutura física de um televisor. O modelo em questão encontra-se compactado em um único ícone. Os detalhes acerca dos componentes internos utilizados na construção do modelo do aparelho estão descritos em [15].

A seguir são apresentados os resultados do processamento realizado pelo ATP para o complexo sob duas situações distintas:

- Surto aplicado à fase a qual está conectado o aparelho de TV, sem a presença do DPS.
- Surto aplicado ao sistema considerando o DPS conectado em paralelo com o televisor.

A onda padronizada produzida pela fonte de surto é mostrada na Figura 4.5. Para a primeira situação examinada, o nível de sobretensão incidente na fase de conexão do aparelho é ilustrada na Figura 4.6.

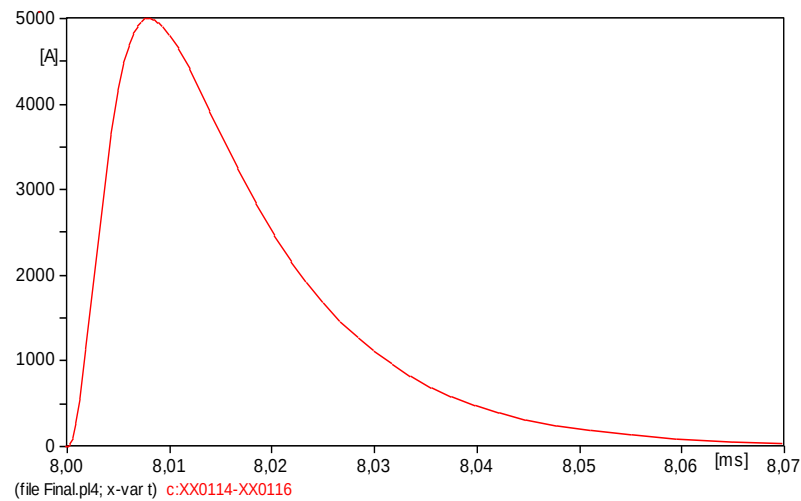


Figura 4.5 - Onda de surto de corrente $8 \times 20 \mu s - 5 kA$

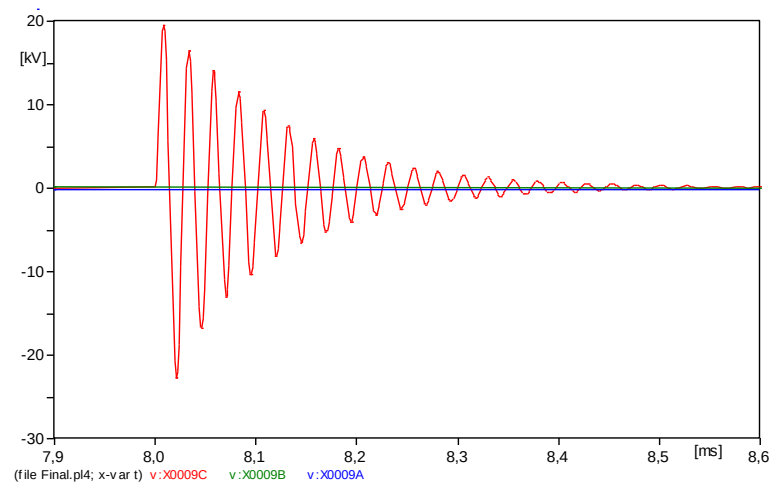


Figura 4.6 - Forma de onda da sobretensão verificada na entrada do aparelho TV - aparelho desprotegido

Para a segunda suposição simulada, qual seja, considerando o mesmo tipo de distúrbio com o DPS conectado em paralelo à carga, o padrão de sobretensão ao qual o equipamento é submetido é visualizado na Figura 4.7.

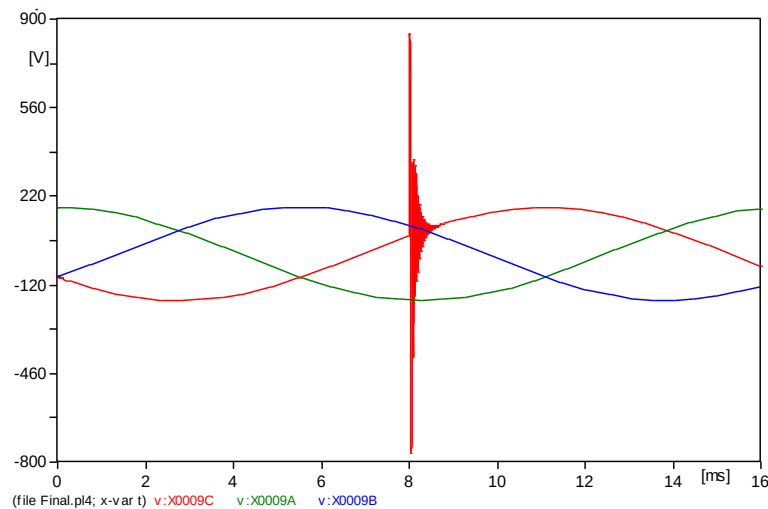


Figura 4.7 - Forma de onda da sobretensão verificada na entrada do aparelho TV - DPS conectado em paralelo

A partir dos resultados disponibilizados nas Figuras 4.6 e 4.7, e ainda, aplicando-se o conceito de categorias de suportabilidade a impulsos descrito nas referências [39] e [40], pode-se fazer as seguintes inferências:

- Com referência ao valor limite de suportabilidade a sobretensões indicado nas referências normativas, de 1,5 kV para tensões monofásicas, verifica-se que na primeira situação o televisor está exposto a valores de sobretensão que podem levar o mesmo a danos.
- Na segunda situação, verifica-se que a sobretensão incidente na entrada de alimentação do aparelho eletroeletrônico é inferior a 900 V. O valor em questão está abaixo do limite sugerido pelas referências mencionadas, ou seja, está compatível com a categoria II da Tabela 3.3.

Tendo em vista o resultado fornecido pelo teste computacional, constata-se que o modelo proposto possui características de desempenho adequadas ao objetivo do presente trabalho. Assim, o modelo indicado para representação

DPS será baseado na resistência não linear *Type 92* com as características mencionadas no item anterior.

4.4 - O Analisador de Pedidos de Ressarcimento

O APR tem entre seus objetivos principais fornecer uma estrutura computacional que propicie a interação amigável entre o usuário e o ATP, de modo que não seja necessária uma equipe técnica com alto grau de especialização para seu uso [31]. Para atingir esta meta, foi desenvolvida uma interface gráfica amigável que permite a realização dos estudos de pedidos de indenização por danos elétricos sem ter como requisito o conhecimento aprofundado do manuseio do ATP. A referida interface gráfica foi implementada na linguagem de programação *Borland Delphi*, de modo a disponibilizar ao usuário uma vasta gama de dispositivos elaborados inicialmente no ATP.

O programa APR vem sendo desenvolvido no sentido de acolher novos elementos necessários ao estudo de solicitações de ressarcimento de danos. Dentre as mais recentes inovações, está a inserção de modelo de aterramento descrito em [69], além da inclusão do modelo de DPS aqui apresentado. Como consequência destas modificações, a estrutura interna do programa sofreu mudanças em relação a sua configuração original, cujos detalhes estão originalmente em [31]. A Figura 4.8 fornece a visualização da nova estrutura interna do APR.

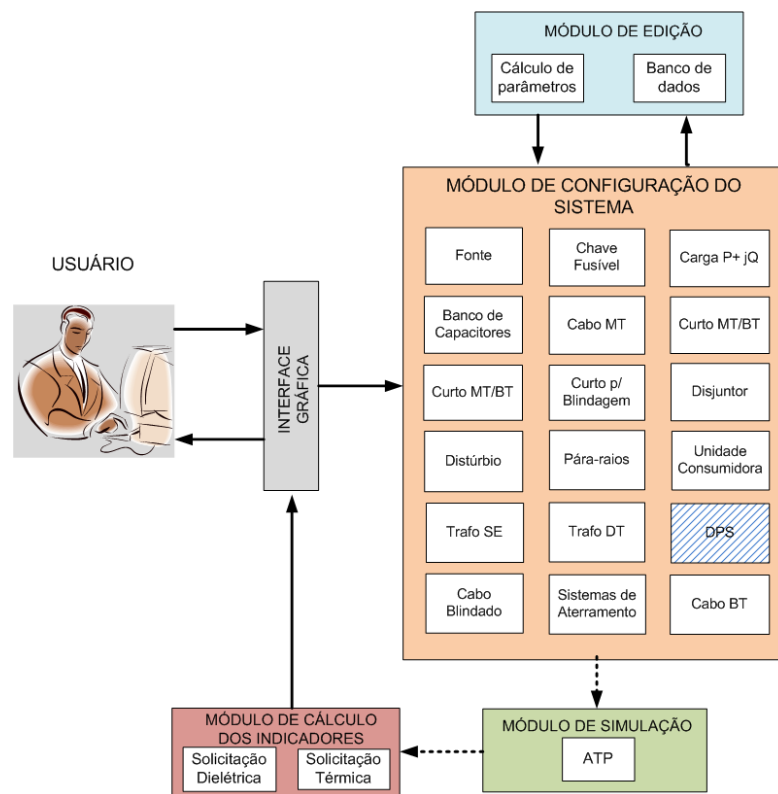


Figura 4.8 - Nova estrutura do APR

Na Figura 4.8, os componentes hachurados simbolizam componentes novos na arquitetura interna do aplicativo ou que sofreram algum tipo de modificação. Em destaque na biblioteca de dispositivos tem-se dois novos componentes: o sistema de aterramento e o DPS. As setas contínuas sinalizam operações feitas por meio da interface gráfica enquanto as tracejadas indicam processamentos internos entre o APR e o ATP. A discussão em detalhes de cada bloco representado na figura não será feita neste trabalho, pois já se encontra descrita em [31] e [69].

4.5 - Integração da Modelagem Proposta ao APR

A etapa anterior concentrou-se nos procedimentos de modelagem do DPS e de avaliação computacional de seu desempenho feita através dos recursos disponíveis no ATPDraw. O passo seguinte consiste na descrição da inclusão no novo modelo no APR de forma a se obter ao final a atualização deste aplicativo.

Todavia, é importante ressaltar que a incorporação do dispositivo de proteção contra surtos ao ambiente gráfico do simulador supramencionado não foi feita de forma isolada.

Em capítulos anteriores foi realçada a importância de outros componentes da instalação no desempenho do DPS, como é o caso do sistema de aterramento e da equipotencialização. Assim sendo, a inclusão da modelagem do sistema aterramento feita em [69] revela-se de suma importância para concretização da representação adequada da proteção contra surtos.

Partindo-se destes pressupostos, apresenta-se a seguir, uma breve descrição dos componentes diretamente associados à integração do DPS no aplicativo APR. Tendo em vista que os demais blocos que constituem a interface gráfica do mesmo foram objeto de trabalhos anteriores, considera-se não necessária uma maior discussão sobre estes.

4.5.1 - Sistemas de Aterramento

O sistema de aterramento é disponibilizado no APR sob duas formas: representação por modelos lineares ou não-lineares. O primeiro tipo consiste em uma ou mais resistências com valores constantes, o que facilita sua representação computacional. O segundo fundamenta-se em situações onde ocorre circulação de valores elevados de corrente pelo eletrodo de aterramento. Este fenômeno ocorre durante o escoamento de descargas atmosféricas diretamente ao solo. Nesta situação, o campo elétrico nas áreas próximas do condutor de aterramento pode sofrer descargas parciais, produzindo ionização do solo nos arredores do eletrodo [69].

A janela de edição de dados para a utilização do aterramento na forma acima descrita é vista na Figura 4.9.

Figura 4.9 - Parametrização do sistema de aterramento

Os campos habilitados vistos na figura demonstram que o modelo linear é constituído de uma resistência e uma indutância. O emprego do indutor em questão tem maior relevância em estudos específicos, onde este parâmetro é necessário, como é o caso de configurações com eletrodos de aterramento extensos. O modelo não linear é mais indicado para simulações envolvendo descargas atmosféricas. Em [69] ambos os modelos são discutidos em detalhes.

4.5.2 - Unidade Consumidora

A aplicação de DPS na proteção contra surtos possui forte correlação com a forma como as cargas a serem protegidas são ligadas à rede de alimentação. Assim sendo, a representação fiel do sistema a ser protegido pelos dispositivos enfocados necessita levar em consideração tal particularidade.

Em sua segunda versão, o APR não contemplava este aspecto, todavia foram feitas duas novas implementações visando atender os objetivos deste trabalho. A primeira diz respeito aos condutores que realizam a conexão da instalação consumidora ao medidor de energia elétrica e ao quadro de distribuição. A nova versão do aplicativo requer a ligação da unidade

consumidora ao barramento de tensão secundária da concessionária por meio de ramal de entrada. A Figura 4.10 oferece a visualização dos novos componentes presentes no APR [69].

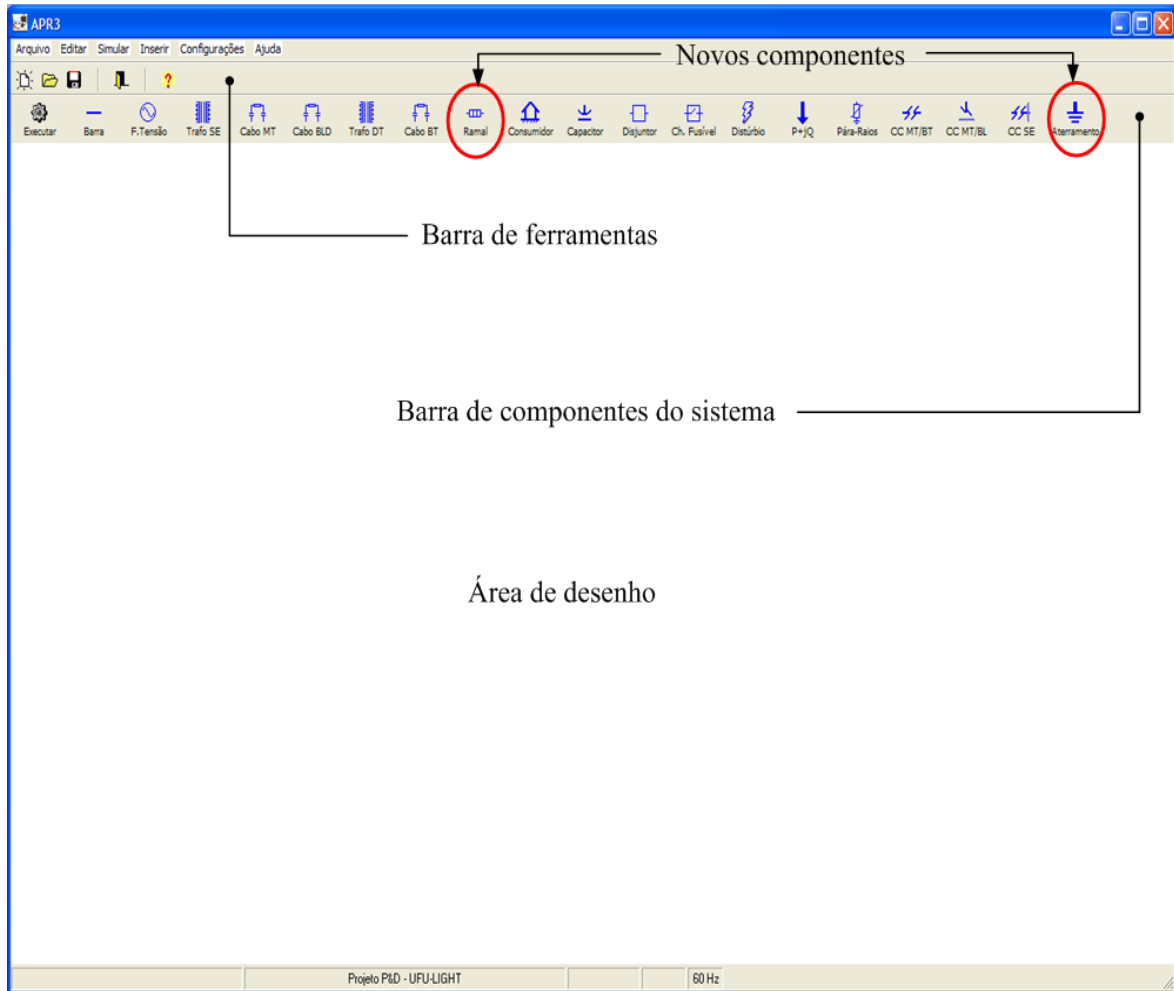


Figura 4.10 - Nova interface gráfica do APR

O bloco correspondente ao ramal de entrada realçado na figura também permite a representação de condutores internos à instalação consumidora. A Figura 4.11 apresenta os dados de entrada relacionados a este componente.

Figura 4.11 - Caracterização do modelo de condutores da instalação consumidora

Na figura, são mostrados os parâmetros elétricos envolvidos na modelagem dos condutores fase, neutro e de proteção, os quais podem ser preenchidos pelo usuário. Também existe a possibilidade de seleção destes parâmetros a partir de um banco de dados. A janela de inserção de dados também demonstra a possibilidade de seleção pelo operador dos diferentes esquemas de aterramento empregados nas instalações de baixa tensão: TN-S, TN-C, TT ou IT.

No que se refere aos modelos de equipamentos disponibilizados na janela de dados da unidade consumidora, a principal modificação ocorrida na nova versão está nas novas opções de ligação dos aparelhos. Na versão anterior, só eram permitidas conexões fase-neutro com o neutro solidamente aterrado. A partir desta nova edição do programa, além destas estão contempladas as novas formas de ligação para equipamentos com dois pinos de alimentação: fase-fase, fase-neutro, e também para produtos dotados de plugues com três pinos.

4.5.3 - Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS)

A inclusão do modelo do DPS no APR consiste na principal contribuição deste trabalho. Ao contrário do modelo proposto para representação de sistemas de aterramento, o DPS, não está disponível como um ícone na barra de componentes do APR. O dispositivo encontra-se integrado ao bloco do consumidor, como item opcional. A Figura 4.12 fornece a visualização de como o DPS pode ser selecionado através de simples clique na janela de opções da unidade consumidora, ao lado da lista de equipamentos selecionáveis.

A imagem mostra a interface de usuário da janela 'Parâmetros Consumidor'. No topo, há uma barra azul com o título 'Parâmetros Consumidor'. Abaixo, há uma aba 'Equipamentos' selecionada. À esquerda, há um campo 'Nome do Consumidor' com o texto 'Unidade Consumidora' e uma seção 'Descrição' com um ícone de seta circular e o texto 'Unidade Consumidora'. Abaixo disso, há um checkbox 'Mostrar Descrição' e um checkbox 'DPS' que está marcado e destacado por um retângulo vermelho. À direita, há uma lista de equipamentos com checkboxes e menus suspensos para seleção. Os equipamentos listados são: Televisor, Microcomputador, Vídeo Cassete, DVD, Aparelho de Fax, Vídeo Projetor, CLP, Aparelho de Som, Telefone sem Fio, Rádio-relógio, Condicionador de Ar, Refrigerador, Carga Eletromotriz, UPS, Iluminação Eletrônica, Microondas, Chuveiro Eletrônico, Conversor de Frequência, Elevador, Carregador de Notebook, Vídeo Porteiro, Carregador de Celular, Home Theater, Secretária Eletrônica, Sistema de Alarme, Interfone, Portão Eletrônico, Receptor de TV, Estabilizador, Freezer, Máq. Lavar Roupas, Máq. Lavar Louça e Liquidificador. Cada item tem um checkbox e um menu suspenso com opções como A, AN, BN, ABC.

Figura 4.12 - Caracterização do modelo de consumidor com opção pelo uso de DPS selecionado

4.6 - Avaliação de Desempenho da Metodologia através de Casos Reais de Pedidos de Indenização

Face às modificações implementadas, tem-se, então, a produção de uma nova versão da ferramenta destinada a análise de solicitações de ressarcimento por danos elétricos. Em razão disto, verifica-se a necessidade de avaliação da

metodologia desenvolvida ao longo deste capítulo por meio de estudos que envolvam situações práticas. Assim, o estudo de casos reais é de suma importância para confirmação da eficácia dos trabalhos desenvolvidos.

Para tanto, foram utilizadas informações colhidas na mesma concessionária onde foram realizados os levantamentos descritos no Capítulo II, ou seja, a CEMAT.

Foram selecionados quatro casos de PIDs registrados pela empresa no ano 2007. Todos os processos escolhidos envolvem solicitações de ressarcimento feitas por consumidores com perfil residencial, na região metropolitana de Cuiabá. Adicionalmente, os casos estudados compreendem situações em que a concessionária opinou favoravelmente ao pagamento da indenização ao reclamante.

Para cada caso examinado, procedeu-se uma sequência de trabalhos com vistas a contemplar os seguintes pontos:

- Identificação do consumidor e respectivo alimentador, incluindo os parâmetros dos distintos componentes da rede, desde a subestação principal até o ponto de conexão do reclamante;
- Caracterização do distúrbio ao qual estaria associada a ocorrência correlacionada com o efeito final sobre o produto danificado;
- Estudos avaliativos através dos recursos fornecidos pelo APR, de forma a obter, ao final dos estudos, a correlação entre os esforços dielétricos e térmicos impostos aos equipamentos sob análise, com seus limites de suportabilidade nos termos definidos pela referência [22];
- Execução de estudos com base no mesmo sistema examinado, analisando a influência da instalação do DPS na unidade consumidora.

Visando atender o propósito puramente científico deste trabalho, a identificação das unidades consumidoras é omitida nos estudos apresentados a seguir a fim de evitar possíveis desgastes entre as partes em razão das decisões já proferidas pela distribuidora.

Ao final, pretende-se atingir as metas elencadas a seguir:

- Avaliar o desempenho da nova versão do APR em situações reais de solicitação de ressarcimento por danos.
- Verificar a atuação do DPS na limitação de perturbações potencialmente perigosas ao funcionamento de aparelhos eletroeletrônicos.

4.6.1 - Caso estudado 1: Indenização por danos em um aparelho televisor

A primeira situação objeto de simulação computacional refere-se a uma reclamação por danos supostamente causados a um aparelho televisor, registrado por um consumidor residente na cidade de Várzea Grande. Na documentação da CEMAT, consta que a causa que originou a reclamação foi a ocorrência de descarga atmosférica na rede primária de distribuição que atende o cliente no dia 27 de setembro de 2007, provocando manobra monopolar na chave fusível do transformador de distribuição. Após avaliação da solicitação por meio de seus procedimentos internos, a empresa decidiu por indenizar o cliente. Salienta-se que os televisores figuram em maior quantidade dentre os equipamentos que motivaram pagamentos de ressarcimento de danos na cidade de Várzea Grande no levantamento apresentado no Capítulo II.

A fim de proceder a investigação computacional para este PID utilizando o APR, faz-se necessário o cumprimento das etapas discriminadas a seguir.

a) Caracterização do sistema de distribuição vinculado ao Caso 1

Os principais parâmetros necessários à modelagem da rede de distribuição a que está conectada a unidade consumidora em questão estão relacionados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Parâmetros elétricos do sistema de distribuição – Caso 1

Concessionária	
Tensão	138 kV
Potência de curto-circuito	1707 MVA
Transformador de potência	
Potência	20 MVA
Relação de transformação	138/13,8 kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Impedância	10,88%
Carregamento	83%
Condutores de média tensão	
Condutor 185 mm ²	0,81343km
Condutor 336,4 CA	0,20885km
Condutor 4/0 CA	0,16914km
Condutor 2 CA	0,52964km
Condutores de baixa tensão	
Condutor 107 mm ²	0,04054 km
Transformador de distribuição	
Potência	45kVA
Relação de transformação	13,8/0,22 kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Impedância	3,5%
Carregamento	43,57%
Ocorrência	
Distúrbio	Descarga atmosférica
Consumidor	
Equipamento danificado	Televisor
Esquema de aterramento	TN-C

b) Diagrama unifilar do sistema elétrico – Caso 1

A Figura 4.13 mostra o arranjo da rede de alimentação responsável pelo suprimento do consumidor. O sistema elétrico visto na figura evidencia que o alimentador foi representado desde o transformador da subestação Cristo Rei (138/13,8 kV), na cidade de Várzea Grande até a unidade consumidora do reclamante.

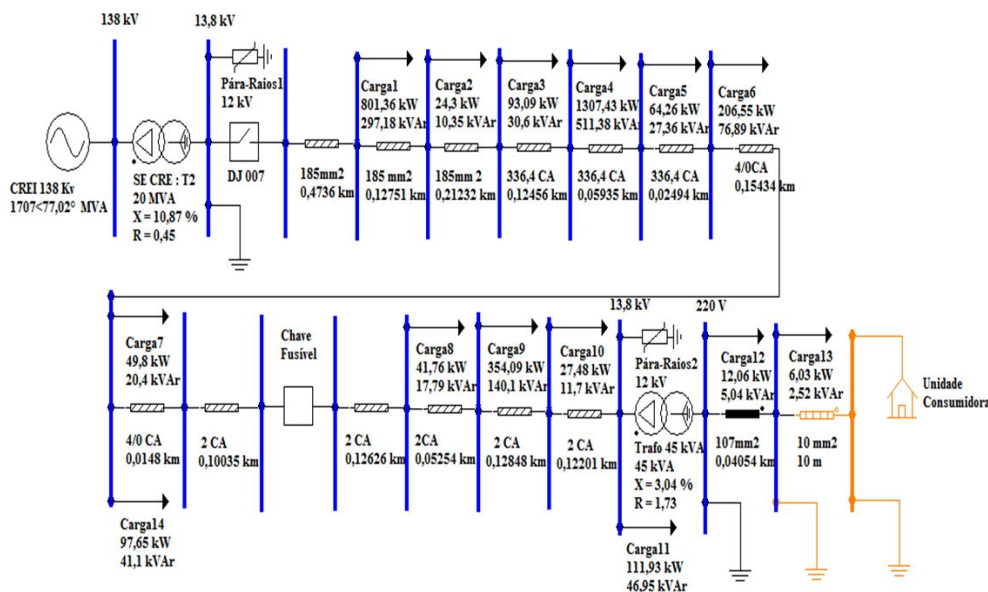


Figura 4.13 - Caracterização do alimentador para o Caso 1

c) Configuração e parametrização da perturbação elétrica– Caso 1

Na Figura 4.14 tem-se o estabelecimento dos parâmetros da descarga atmosférica aplicada ao sistema sob análise. A seleção desta perturbação é realizada por meio de um duplo clique no ícone “Distúrbios”. A seguir, procede-se ao preenchimento das informações que definem a intensidade do fenômeno e os valores correspondentes aos tempos de subida e de cauda, necessários para sua representação. Como as informações relativas ao ponto exato onde a descarga teria incidido e sua magnitude não estão disponíveis, considerou-se que a mesma se acoplou à rede elétrica de média tensão em um ponto distante cerca de 530 m do transformador de distribuição. O valor de pico da corrente da

descarga foi considerada igual a 6 kA. Conforme [36]-[38], descargas diretas às instalações elétricas são fenômenos considerados de ocorrência rara. Sendo assim, optou-se pela representação por meio da onda de surto de corrente $8 \times 20 \mu\text{s}$, mais indicada para tal situação.

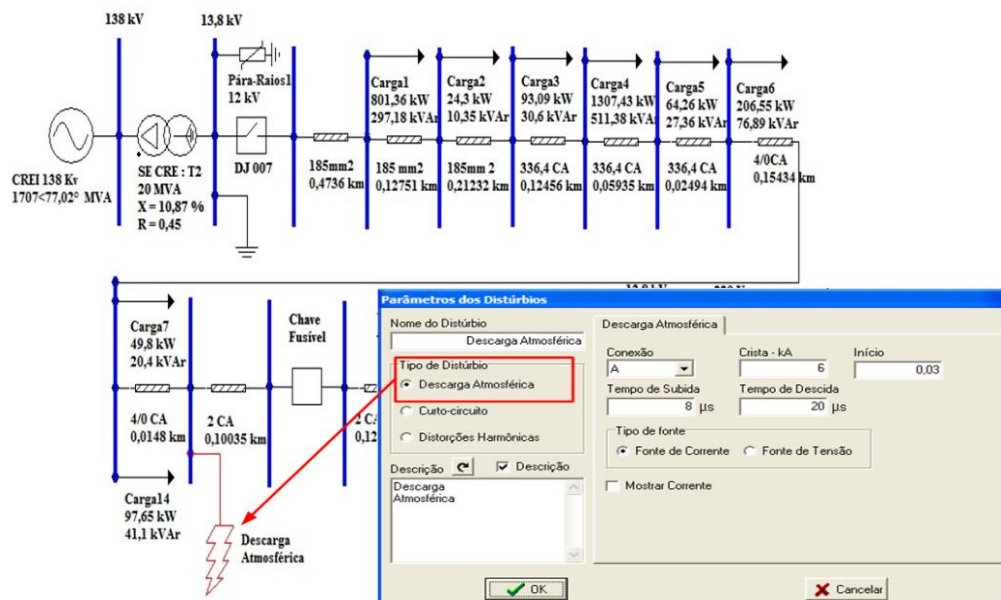


Figura 4.14 - Representação do distúrbio associado como Caso 1 – descarga atmosférica

d) Configuração da Unidade Consumidora

O procedimento para parametrização da instalação consumidora é feito, inicialmente, através seleção do equipamento a ser estudado e a forma como o mesmo está conectado à rede elétrica. Para os estudos complementares pretendidos neste capítulo, deve-se habilitar a opção DPS. Estas tarefas são realizadas com um clique simples nos campos adequados da janela de edição de dados da unidade consumidora. A visualização do estabelecimento destas opções visando a concretização da simulação está disponível na Figura 4.15.

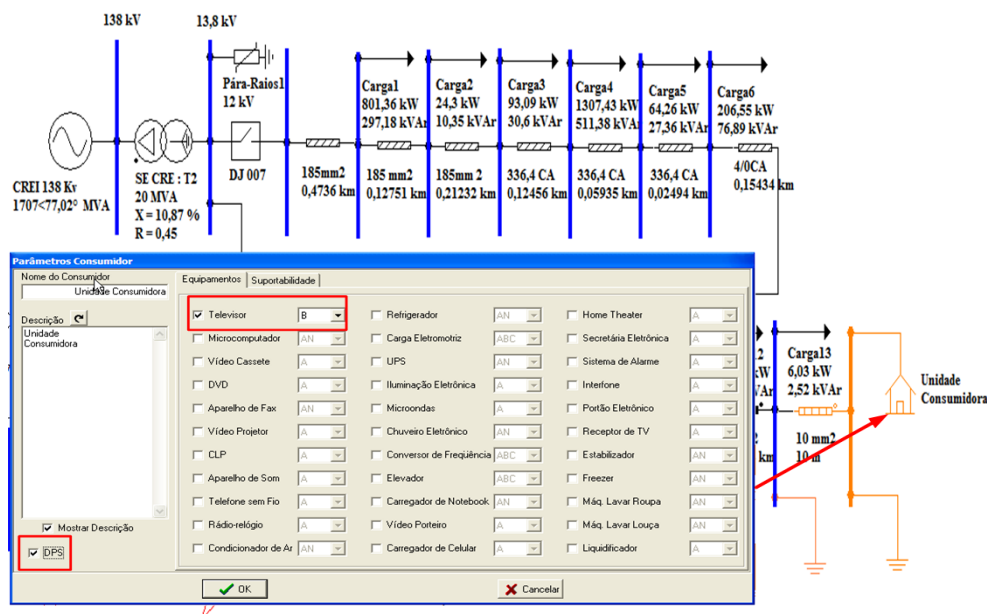


Figura 4.15 - Parametrização da instalação do consumidor – Caso 1

e) Configuração e parametrização do sistema de aterramento

O aterramento da malha da subestação é constituído de uma resistência linear de $1,34 \Omega$. Por outro lado, para a correta análise do tipo de perturbação simulada, os aterramentos presentes na rede secundária de 220 V utilizam o modelo de eletrodos não lineares.

f) Resultados computacionais

A fim de facilitar a compreensão dos resultados fornecidos pelo processamento do caso estudado no APR, os mesmos serão subdivididos em duas situações distintas:

- **1ª Situação:** unidade consumidora sem DPS na entrada de alimentação elétrica para proteção do televisor e;
- **2ª Situação:** unidade consumidora com DPS instalado na entrada de alimentação.

Uma vez configurado e parametrizado o caso em pauta, procedeu-se aos estudos de desempenho do sistema elétrico diante da incidência do distúrbio já parametrizado, com destaque à fase B, para a qual está definida a conexão do aparelho, segundo informações obtidas junto à concessionária. Na sequência, são apresentados os resultados computacionais para as duas situações já descritas.

- **1ª Situação**

As Figuras 4.16 e 4.17 mostram, respectivamente, as formas de onda de tensão e corrente na entrada de alimentação do televisor após aplicação da descarga atmosférica à rede de distribuição.

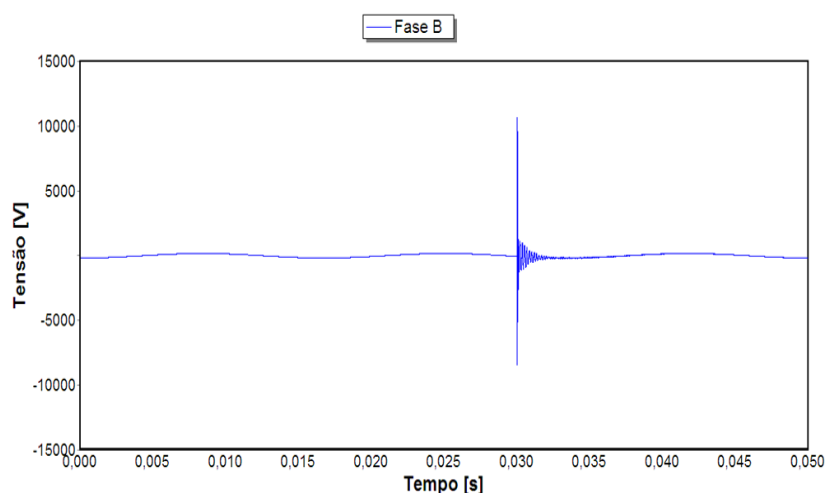


Figura 4.16 - Tensão na entrada do aparelho televisor – descarga atmosférica na rede primária – Caso 1

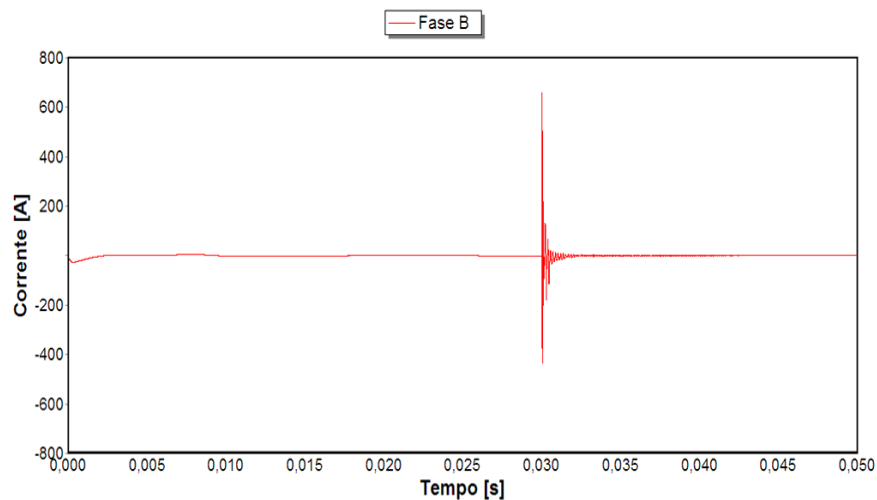


Figura 4.17 - Corrente na entrada do aparelho televisor – descarga atmosférica na rede primária – Caso 1

A Figura 4.18 mostra a comparação entre os esforços dielétricos e os padrões de suportabilidade demonstrada pelo aparelho diante do fenômeno simulado. Complementarmente, a Figura 4.19 ilustra os fenômenos térmicos a que o equipamento foi submetido.

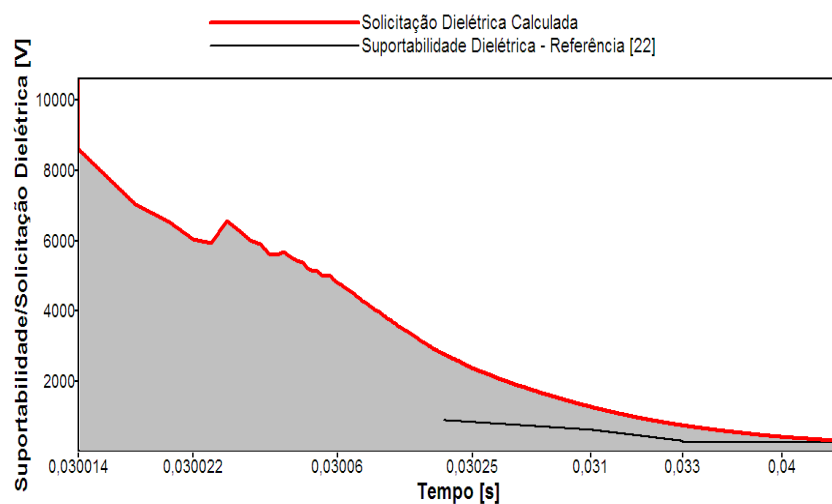


Figura 4.18 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – televisor – 1ª situação do Caso 1

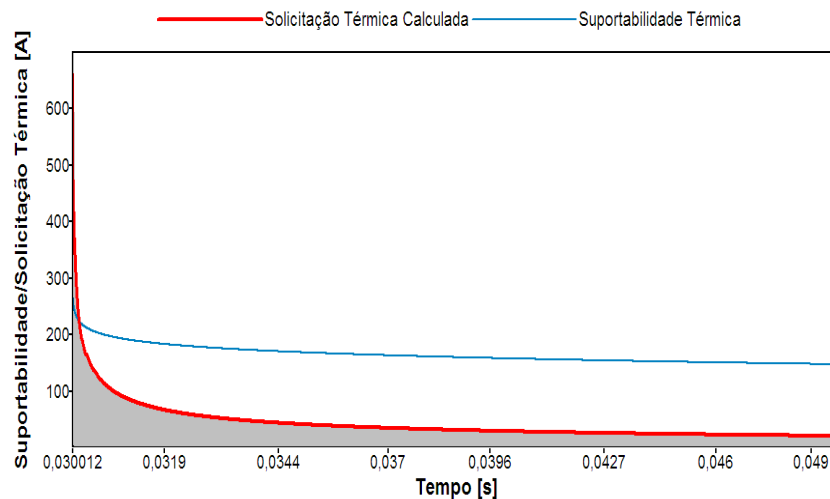


Figura 4.19 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – televisor – 1ª situação do Caso 1

Os resultados permitem constatar que:

- ✓ Após o início do evento ocorre violação dos níveis de tensão toleráveis pelo equipamento sob análise. Esta constatação deve-se ao fato de que a curva de solicitação dielétrica calculada supera os valores recomendados pela referência [22]. Fica, portanto, evidenciada a possibilidade de danos físicos ao aparelho no que se refere às questões dielétricas;
- ✓ A partir do instante da aplicação do distúrbio, ocorre violação dos limites térmicos admissíveis pelo aparelho, conforme pode ser visto na Figura 4.19. Portanto, com relação às questões térmicas, observa-se a possibilidade de dano por superaquecimento;
- ✓ Com base nos resultados computacionais disponibilizados pelo APR, conclui-se que o caso em tela está vinculado a um pedido de indenização procedente. Tal constatação ratifica o parecer emitido pela distribuidora.

- **2ª Situação**

Com base nos mesmos parâmetros da simulação anterior, procedeu-se a um novo estudo, desta vez com a finalidade de avaliar o efeito da aplicação de um DPS na entrada de alimentação da unidade consumidora, de modo a proteger o televisor contra os efeitos da descarga atmosférica.

Após estas considerações preliminares, os resultados fornecidos pelo APR para a tensão e a corrente na entrada do produto avaliado estão expostos nas Figuras 4.20 e 4.21, respectivamente.

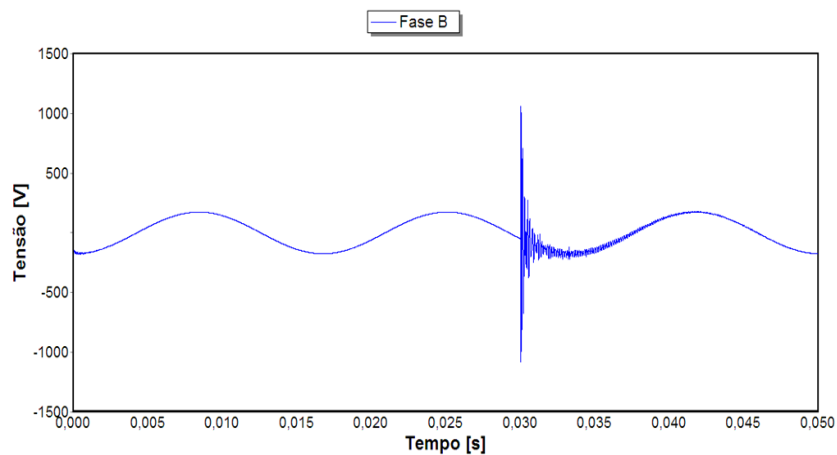


Figura 4.20 - Tensão na entrada do aparelho televisor – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 1

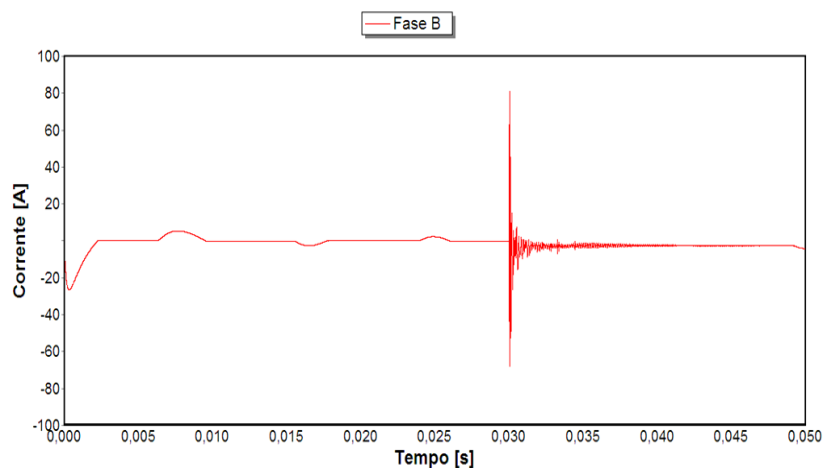


Figura 4.21 - Corrente na entrada do aparelho televisor – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 1

As solicitações térmica e dielétrica experimentadas pelo aparelho eletrônico frente ao distúrbio aplicado estão demonstradas nas Figuras 4.22 e 4.23, a seguir.

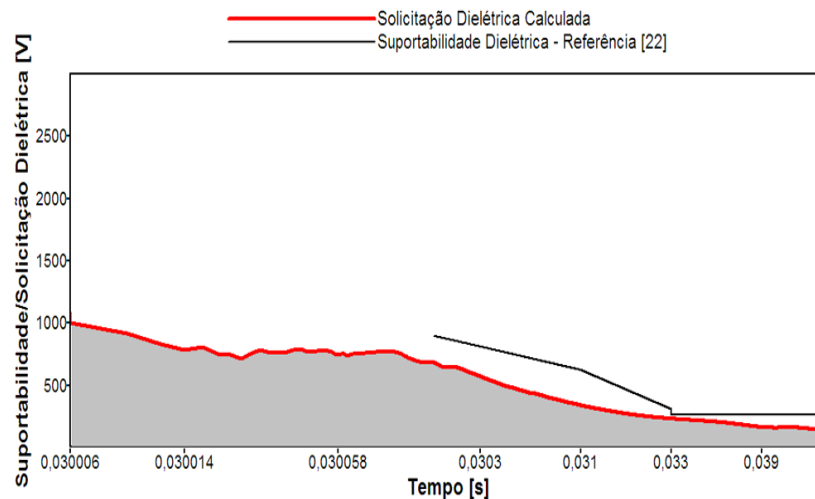


Figura 4.22 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – televisor – 2ª situação do Caso 1

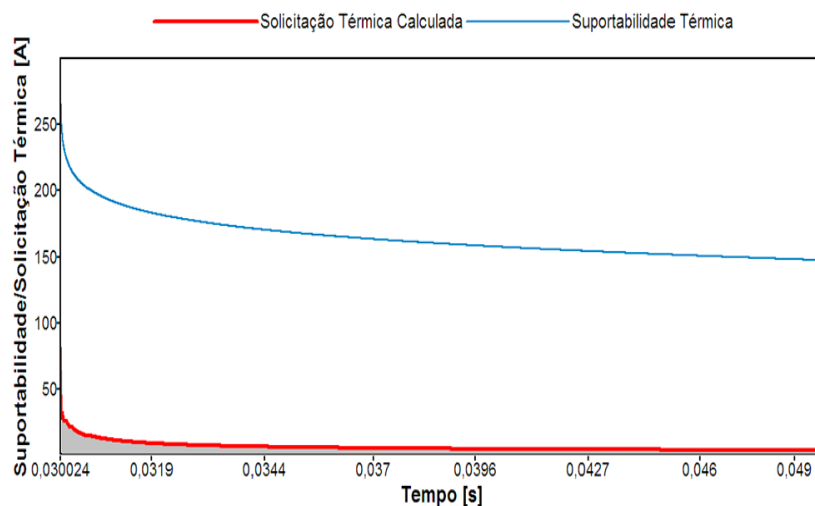


Figura 4.23 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – televisor – 2ª situação do Caso 1

Diante de tais resultados, pode-se constatar que:

- ✓ Os patamares de sobretensão e sobrecorrente vistos na carga sofreram consideráveis diminuições em seus valores em razão da atuação da proteção contra surtos na entrada do aparelho;
- ✓ Avaliando-se a solicitação dielétrica calculada nesta nova simulação, verifica-se que em nenhum momento ocorre violação dos padrões aceitáveis em relação às recomendações da referência [22]. Assim, entende-se que não há possibilidade de dano físico com relação a este indicador;
- ✓ Relativamente às questões térmicas, não foi observada possibilidade de queima do televisor em razão da incidência da descarga atmosférica na instalação. Conclui-se que não há possibilidade de perda do aparelho no que se refere a este item.

4.6.2 - Caso estudado 2: Indenização por danos a uma geladeira

O segundo PID examinado refere-se a uma solicitação de ressarcimento por danos a uma geladeira feita por um consumidor residente na cidade de Cuiabá, no dia 21 de janeiro de 2007. Segundo o levantamento feito pela concessionária com a finalidade de apurar sua responsabilidade nesta reclamação, na data em questão ocorreu religamento tripolar automático na barra do alimentador n.º 04 da Subestação CPA. O parecer emitido pela empresa para esta solicitação opinou pela procedência do pedido. Como resultado, procedeu-se ao reembolso ao cliente em virtude do prejuízo que lhe foi provocado pelo evento já citado. Ressalta-se que as geladeiras (ou refrigeradores) aparecem como o segundo tipo de equipamento mais indenizado em Cuiabá.

Obedecendo a mesma estratégia para realização do estudo do primeiro caso, tem-se a seguir, os procedimentos para avaliação computacional desta solicitação de ressarcimento.

a) Caracterização do sistema de distribuição vinculado ao Caso 2

Na Tabela 4.4 estão relacionados os principais parâmetros envolvidos na representação do alimentador que atende o consumidor em questão.

Tabela 4.4 - Parâmetros elétricos do sistema de distribuição – Caso 2

Concessionária	
Tensão	138 kV
Potência de curto-circuito	2913 MVA
Transformador de potência	
Potência	20 MVA
Relação de transformação	138/13,8 kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Impedância	10,26%
Carregamento	91%
Condutores de média tensão	
Condutor 185 mm ²	0,71882 km
Condutor 4/0 CA	0,19864 km
Condutores de baixa tensão	
Condutor 70 mm ²	0,03326 km
Condutor 33 mm ²	0,03806 km
Transformador de distribuição	
Potência	112,5 kVA
Relação de transformação	13,8/0,22kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Impedância	3,5%
Carregamento	37,75%
Ocorrência	
Distúrbio	Religamento tripolar automático

Consumidor	
Equipamento danificado	Geladeira
Esquema de aterramento	TN-C

b) Diagrama unifilar do sistema elétrico – Caso 2

O sistema elétrico correspondente ao alimentador n.º 04 da Subestação CPA até a unidade consumidora do reclamante é mostrado na Figura 4.24.

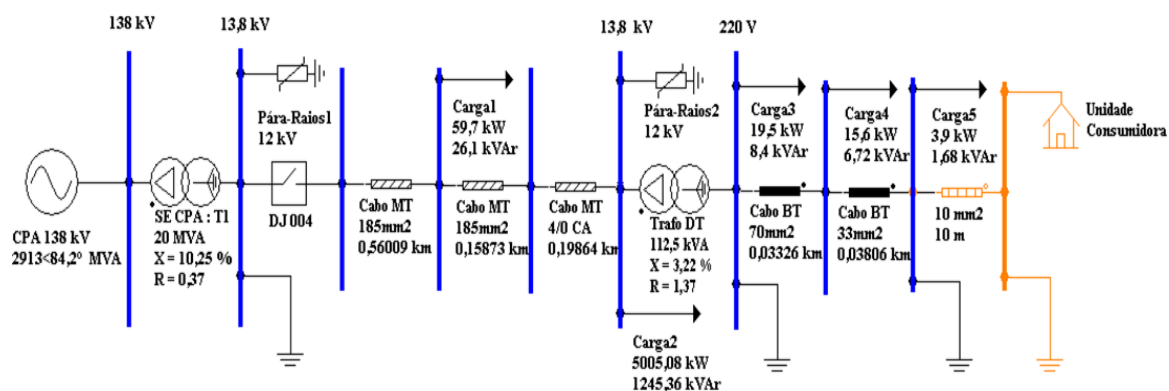


Figura 4.24 - Caracterização do alimentador para o Caso 2

c) Configuração e parametrização da perturbação elétrica– Caso 2

De modo a reproduzir o evento causador do dano ao equipamento sob investigação, realizou-se configuração de tempos de abertura e fechamento para o disjuntor do alimentador da SE CPA, conforme a Figura 4.25.

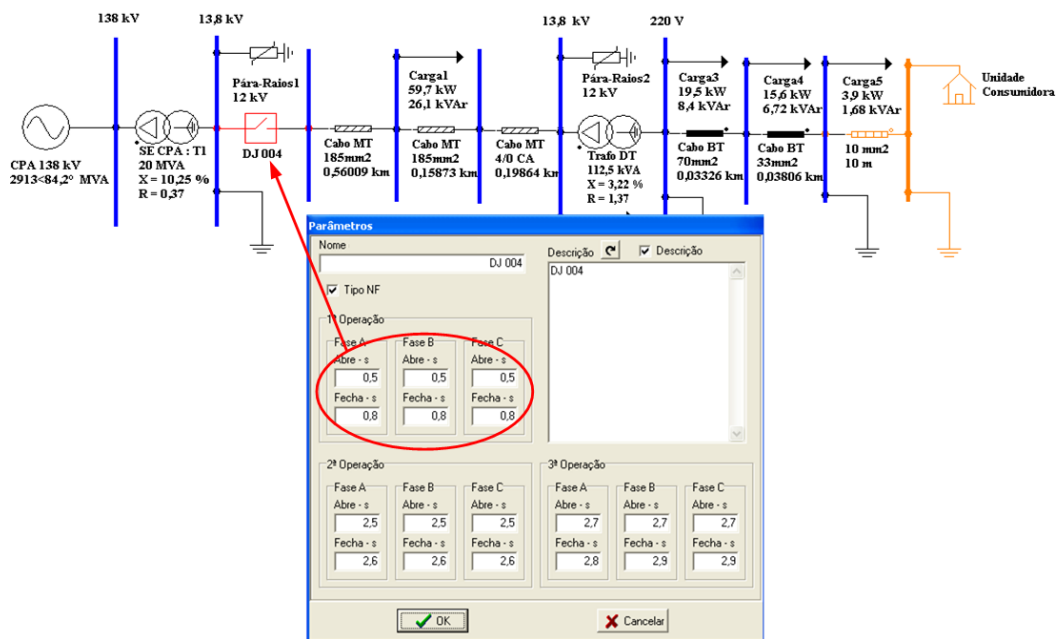


Figura 4.25 - Representação do distúrbio associado como Caso 2 – religamento tripolar automático

d) Configuração da Unidade Consumidora

Na Figura 4.26 tem-se a seleção do aparelho motivador do pedido de indenização e a fase a qual o mesmo está conectado. Na mesma figura também pode ser vista a habilitação da opção DPS para o caso em tela.

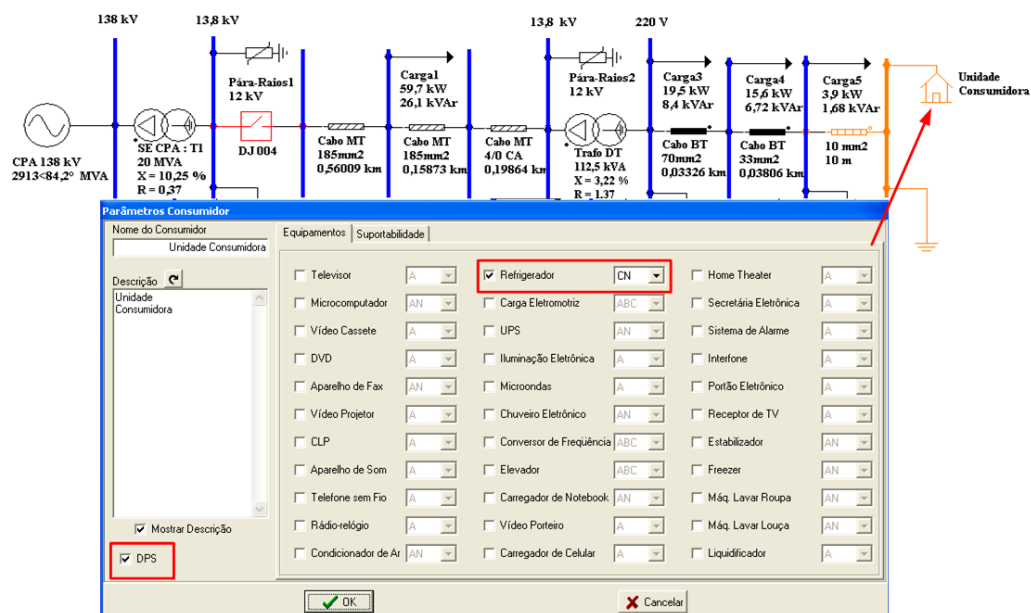


Figura 4.26 - Parametrização da instalação do consumidor – Caso 2

e) Configuração e parametrização do sistema de aterramento

Da mesma forma que no primeiro caso examinado, o aterramento da malha da subestação é representado por uma resistência linear de $1,895 \Omega$. Quanto ao aterramento do secundário do transformador de distribuição e das barras de conexão da instalação do consumidor, optou-se pelo modelo de eletrodos lineares. O valor das resistências de aterramento empregadas foi de 20Ω .

f) Resultados computacionais

Assim como no caso anterior, o produto das simulações realizadas é demonstrado em duas diferentes situações:

- **1ª Situação:** unidade consumidora sem DPS na entrada de alimentação elétrica para proteção da geladeira e;
- **2ª Situação:** unidade consumidora com DPS instalado na entrada de alimentação.

Após concluídas estas atividades, foi executado o processamento computacional com vistas a verificação do comportamento do aparelho elétrico perante a ocorrência já devidamente parametrizada. Os resultados fornecidos pela simulação são mostrados conforme a seguir.

• 1ª Situação

Considerando o estabelecimento da ocorrência de religamento tripolar na rede de distribuição, as Figuras 4.27 e 4.28 ilustram, sequencialmente, as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do refrigerador submetido ao mencionado distúrbio.

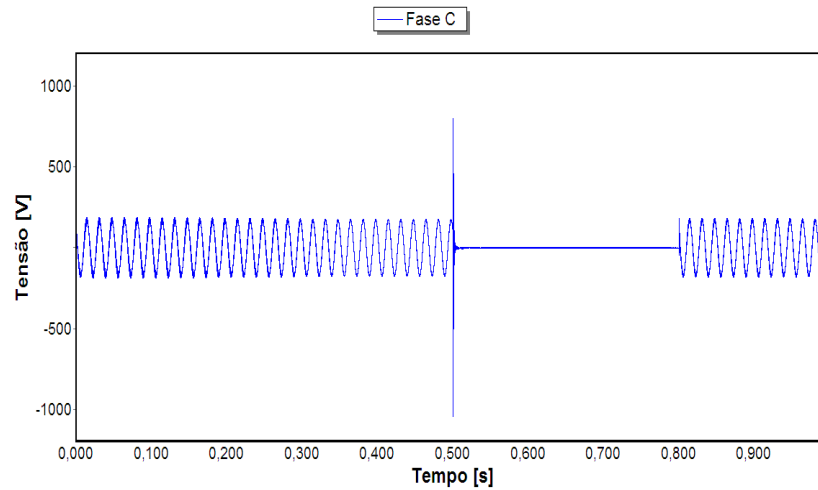


Figura 4.27 - Tensão na entrada do refrigerador – religamento tripolar automático na barra do alimentador– Caso 2

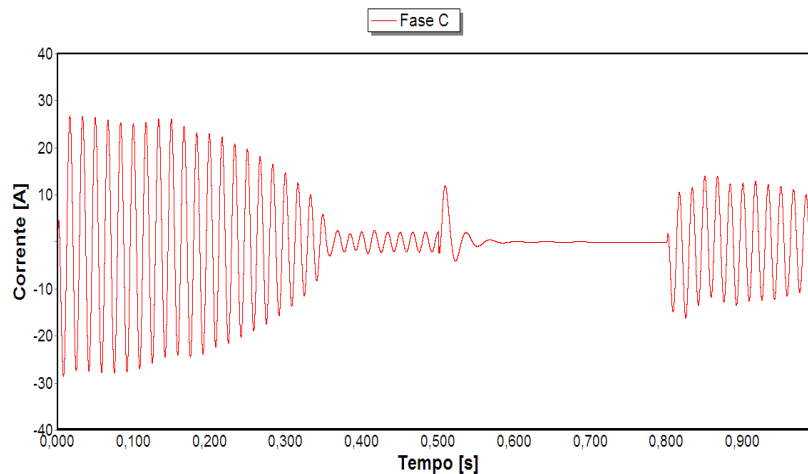


Figura 4.28 - Corrente na entrada do refrigerador – religamento tripolar automático na barra do alimentador– Caso 2

As solicitações dielétrica e térmica impostas ao eletrodoméstico em razão da ocorrência e as curvas de suportabilidade correspondentes estão disponíveis nas Figuras 4.29 e 4.30.

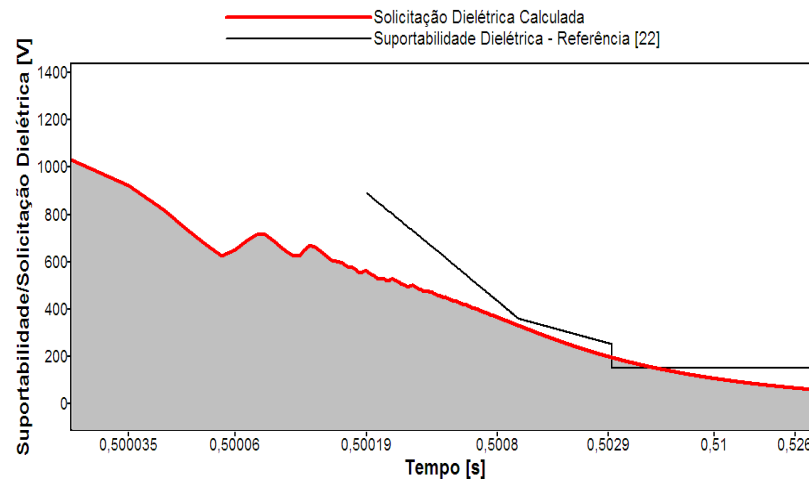


Figura 4.29 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – refrigerador – 1ª situação do Caso 2

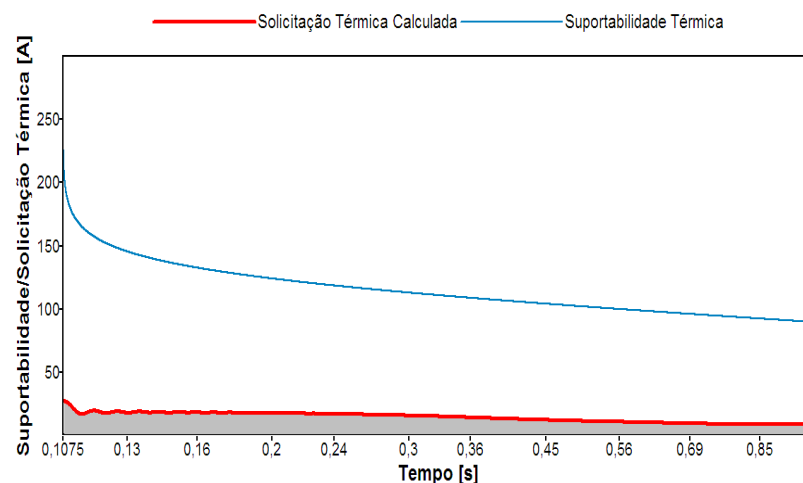


Figura 4.30 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – refrigerador – 1ª situação do Caso 2

A partir dos resultados expressos nas figuras, pode-se obter as seguintes constatações:

- ✓ Foi detectada violação dos níveis de tensão toleráveis pelo equipamento definidos pela referência [22] logo após 502,9 ms do início da simulação. Portanto, no que se refere às questões dielétricas, há evidências de que o fenômeno ocorrido no sistema

elétrico que atende o consumidor pode ter ocasionado dano ao produto;

- ✓ Em nenhum instante houve violação dos limites térmicos admissíveis pelo aparelho. Portanto, com respeito às questões associadas com as elevações de correntes e o respectivo impacto térmico pode-se verificar que o APR não evidencia possibilidade de dano físico sob a forma de sobreaquecimento;
- ✓ Sintetizando, os estudos computacionais apontam para a possibilidade de danos ao produto sob consideração, fato este em consonância com o parecer emitido pela concessionária.

- **2ª Situação**

A partir da mesma configuração do sistema elétrico mostrado anteriormente, foi procedida a reanálise do evento. Desta vez, considerou-se aplicação de DPS na entrada de alimentação elétrica da residência do reclamante, conectado em paralelo à geladeira.

Isto posto, as Figuras 4.31 e 4.32 indicam, respectivamente, a tensão e a corrente na entrada o aparelho elétrico sob análise para esta nova situação.

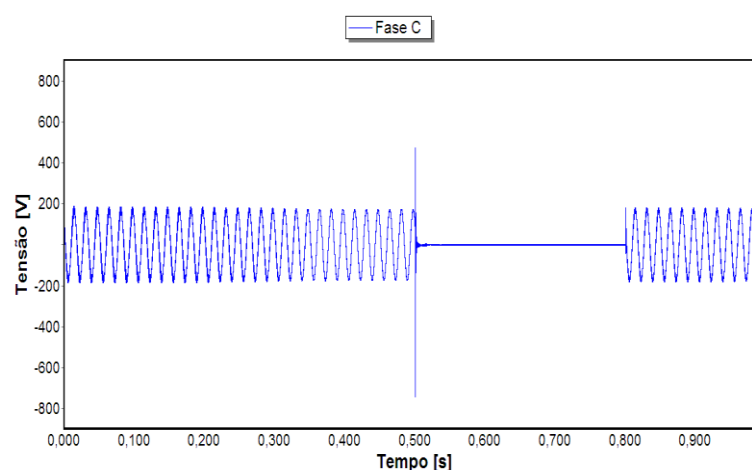


*Figura 4.31 - Tensão na entrada do refrigerador – DPS instalado na entrada de alimentação
– Caso 2*

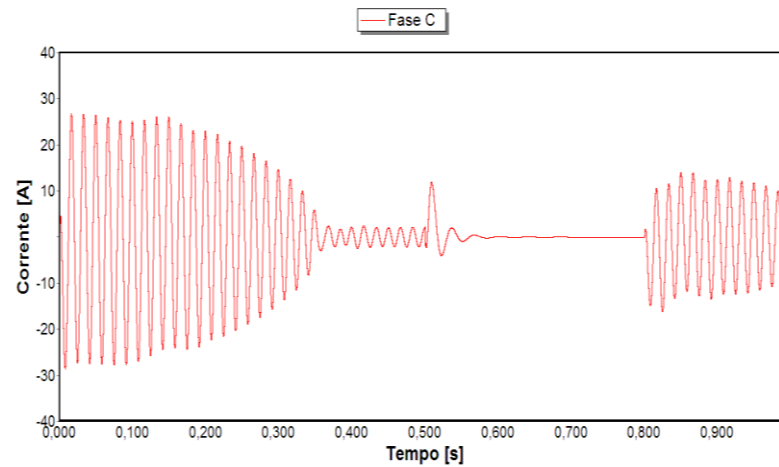


Figura 4.32 - Corrente na entrada do refrigerador – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 2

As solicitações dielétrica e térmica verificadas no refrigerador calculadas em função do religamento tripolar automático são mostradas nas Figuras 4.33 e 4.34.

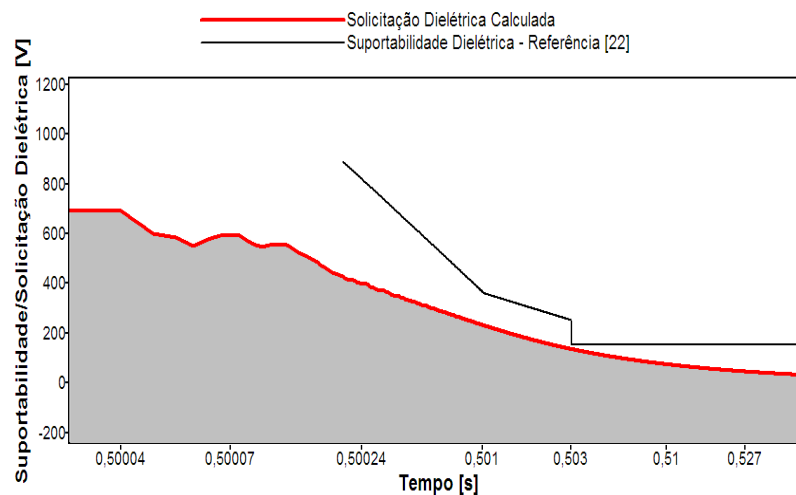


Figura 4.33 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – refrigerador – 2ª situação do Caso 2

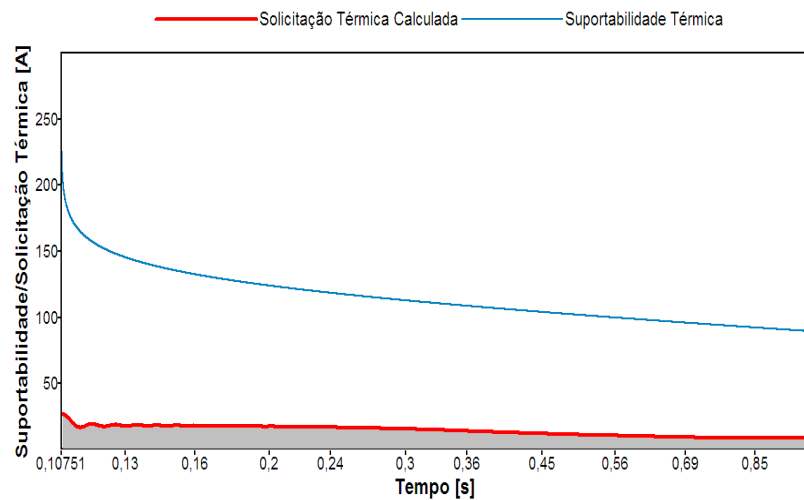


Figura 4.34 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – refrigerador – 2ª situação do Caso 2

Os resultados computacionais vistos nas figuras conduzem às seguintes conclusões:

- ✓ A sobretensão incidente na entrada do refrigerador apresentou visível redução em sua magnitude, com valores abaixo de 1 kV, em contraste ao que se verificou na primeira situação avaliada;
- ✓ Não se observa violação dos níveis de tensão toleráveis pelo equipamento em nenhum instante em razão da ocorrência apontada como causadora do dano ao mesmo. Desta forma o aparelho eletrodoméstico está isento de danos físicos provocados por rompimento da isolamento;
- ✓ A exemplo da situação anterior, não foi evidenciada a extrapolação dos limites térmicos admissíveis. Desta forma, no que se refere as questões relacionadas com queima por sobreaquecimento, não há possibilidade de ocorrer dano físico ao equipamento supramencionado.

4.6.3 - Caso estudado 3: Indenização por danos a um microcomputador

O próximo caso examinado diz respeito a um pedido de indenização por danos a um microcomputador de propriedade de uma consumidora residente na cidade de Várzea Grande. Segundo a informação prestada pela cliente, no dia 04 de março de 2007 teria ocorrido a queima do equipamento. A análise das ocorrências registradas pela concessionária identificaram que, na data informada pela reclamante, ocorreu desligamento seguido por religamento tripolar automático na barra do alimentador n.º 04 da Subestação Várzea Grande. A exemplo das situações anteriores, a empresa concluiu pelo pagamento de ressarcimento à consumidora, considerando suas alegações como procedentes.

Os requisitos necessários para a reprodução em ambiente computacional da ocorrência referenciada estão relacionados nos itens subsequentes.

a) Dados do sistema de distribuição vinculado ao Caso 3

Os parâmetros da rede de distribuição até a unidade consumidora são relacionados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Parâmetros elétricos do sistema de distribuição – Caso 3

Concessionária	
Tensão	138 kV
Potência de curto-circuito	2582 MVA
Transformador de potência	
Potência	20 MVA
Relação de transformação	138/13,8 kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Impedância	9,28%
Carregamento	76%

Condutores de média tensão	
Condutor 336,4 CA	1,08139 km
Condutor 2 CA	0,30513 km
Condutores de baixa tensão	
Condutor 127 mm2	0,0246 km
Transformador de distribuição	
Potência	112,5 kVA
Relação de transformação	13,8/0,22kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Impedância	3,5%
Carregamento	51%
Ocorrência	
Distúrbio	Religamento tripolar automático
Consumidor	
Equipamento danificado	Microcomputador
Esquema de aterramento	TN-C

b) Diagrama unifilar do alimentador do consumidor – Caso 3

Tem-se na Figura 4.35 a representação detalhada do complexo a ser avaliado.

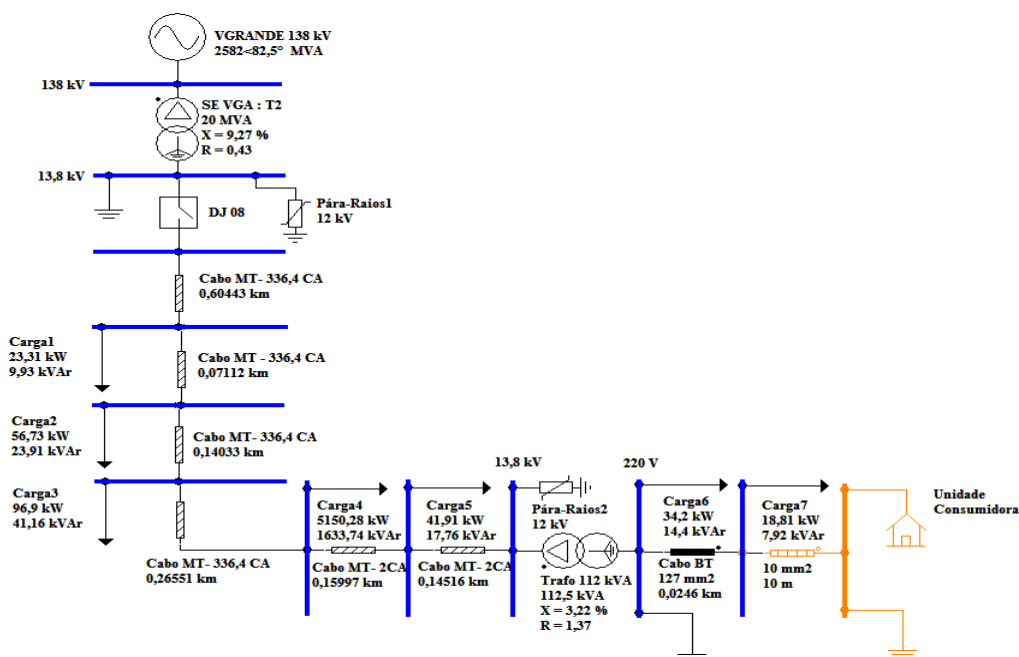


Figura 4.35 - Caracterização do alimentador para o Caso 3

c) Configuração e parametrização da perturbação elétrica– Caso 3

A Figura 4.36 mostra como foram estabelecidas as operações do disjuntor do alimentador para os fins da simulação computacional do evento causador do dano ao equipamento.

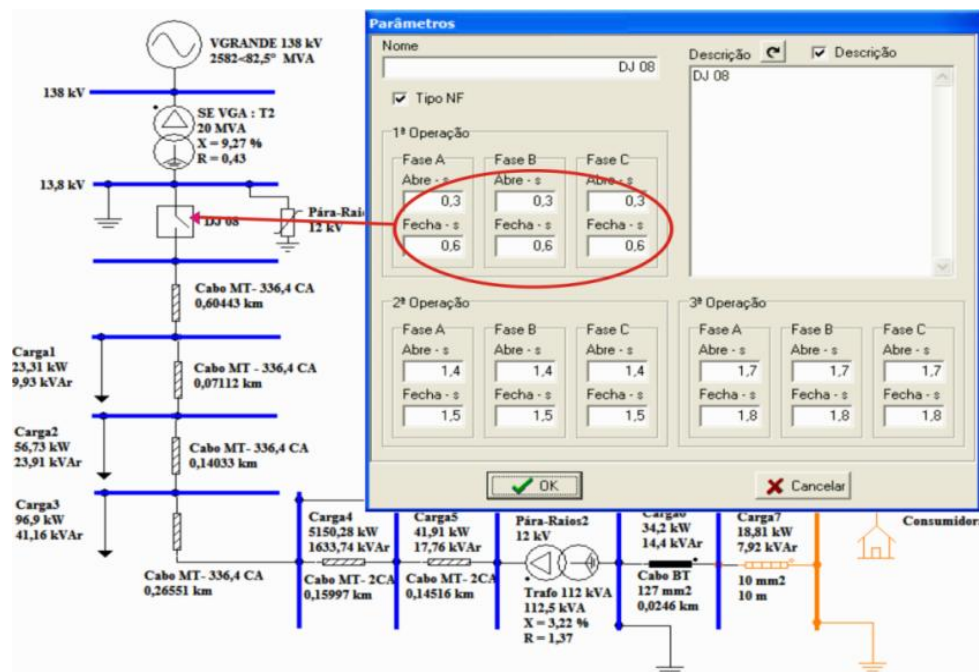


Figura 4.36 - Representação do distúrbio associado como Caso 3 – religamento tripolar automático

d) Configuração da Unidade Consumidora

A Figura 4.37 mostra a parametrização do consumidor para o presente caso, destacando a habilitação da opção pelo DPS. A mesma figura demonstra conexão do microcomputador à fase B e ao neutro.

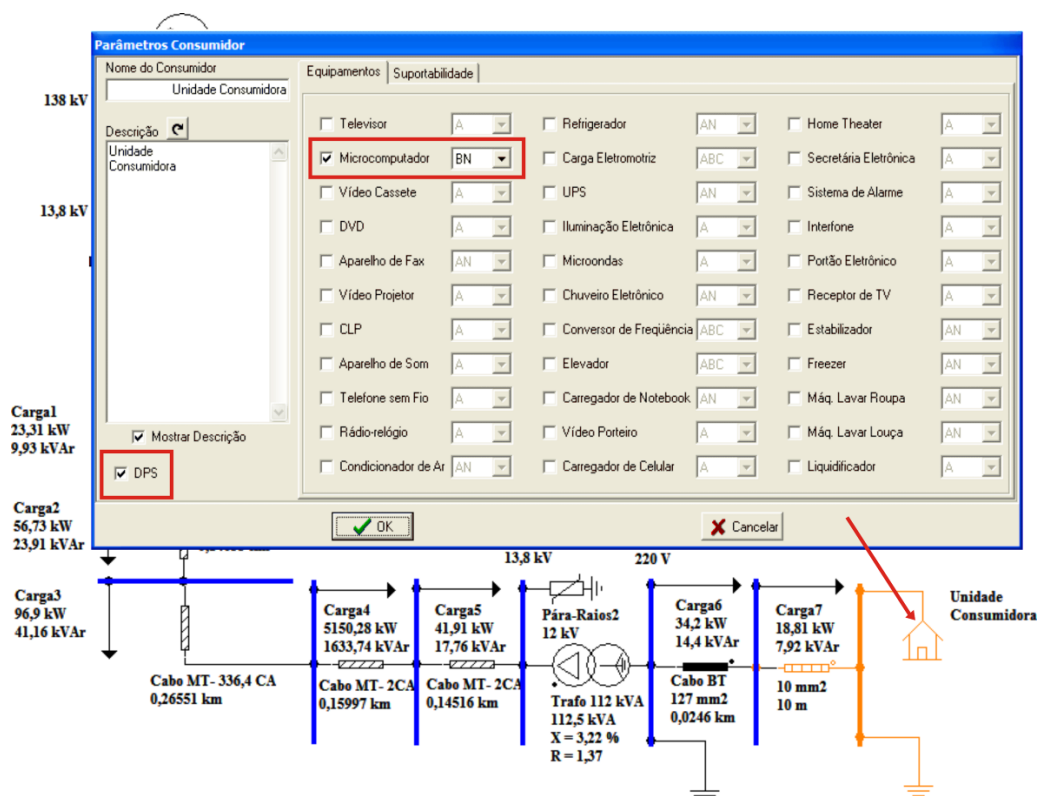


Figura 4.37 - Parametrização da instalação do consumidor – Caso 3

e) Configuração e parametrização do sistema de aterramento

O aterramento da malha da subestação é representado por uma resistência linear de $2,4667 \Omega$. Da mesma forma, o aterramento das barras do secundário do transformador de distribuição e do consumidor é modelado por resistências lineares de valor igual a 20Ω .

f) Resultados computacionais

Finalmente, após a conclusão dos procedimentos para representação do sistema de distribuição e do estabelecimento de todos os parâmetros requeridos pelo APR, são apresentados os resultados para as seguintes possibilidades:

- **1ª Situação:** unidade consumidora sem DPS na entrada de alimentação elétrica para proteção do microcomputador; e

- **2ª Situação:** unidade consumidora com DPS instalado na entrada de alimentação.

• **1ª Situação**

As Figuras 4.38 e 4.39 demonstram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente observadas no ponto de conexão do microcomputador com a rede de distribuição durante a ocorrência do distúrbio.

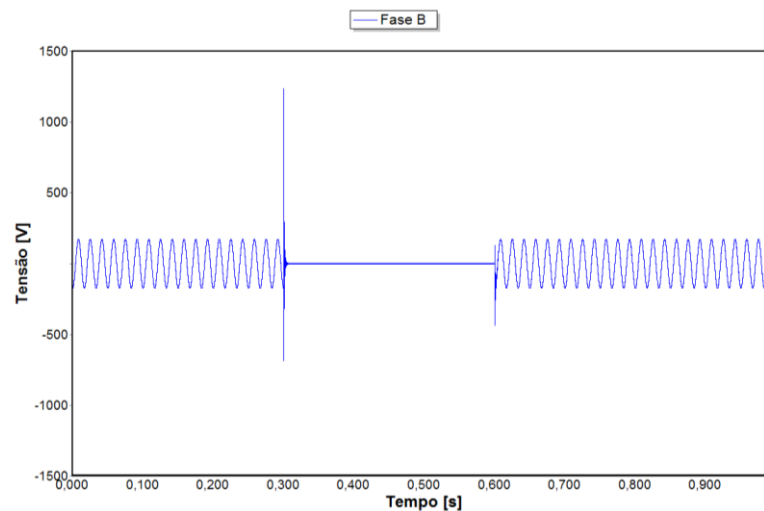


Figura 4.38 - Tensão na entrada do microcomputador– religamento tripolar automático na barra do alimentador– Caso 3

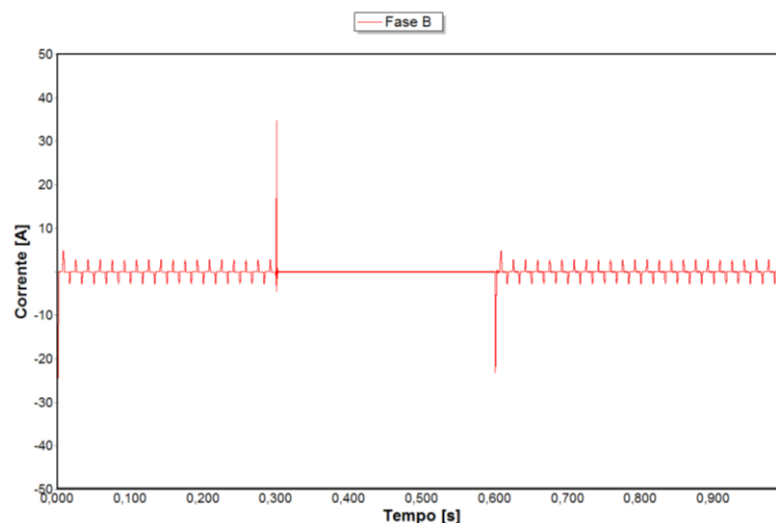


Figura 4.39 - Corrente na entrada do microcomputador – religamento tripolar automático na barra do alimentador – Caso 3

Logo a seguir, as Figuras 4.40 e 4.41 expressam as solicitações térmica e dielétrica impostas pelo distúrbio ao aparelho focalizado, além de propiciar a comparação destas com suportabilidade do mesmo.

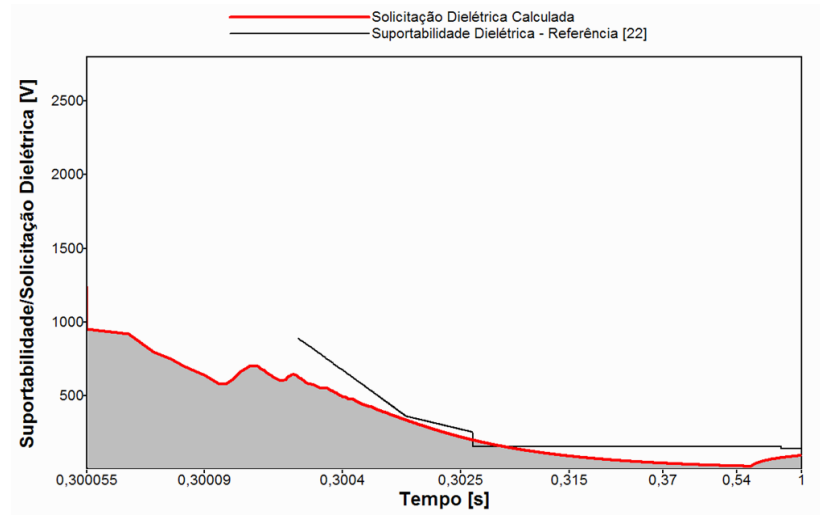


Figura 4.40 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – microcomputador– 1ª situação do Caso 3

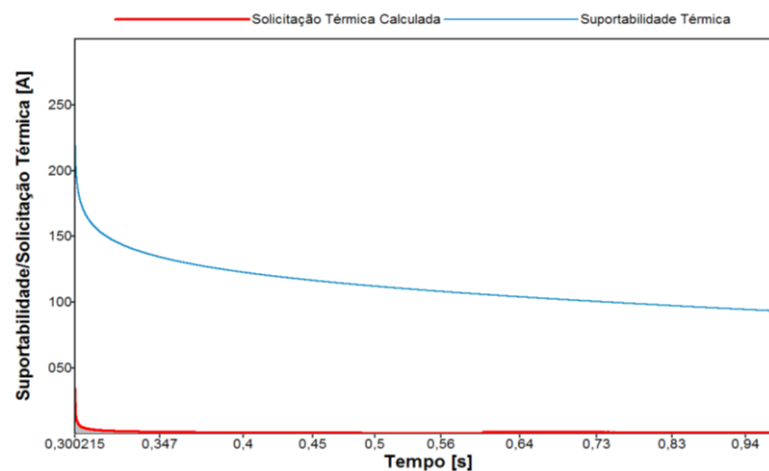


Figura 4.41 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – microcomputador– 1ª situação do Caso 3

Os resultados expostos nas figuras permitem constatar que:

- ✓ Após 302, 5 ms do início da perturbação, ocorreu violação dos níveis de tensão aceitáveis pelo eletroeletrônico.

Portanto, quanto às questões dielétricas pode-se verificar que há possibilidade de dano físico na forma de rompimento da isolamento do microcomputador;

- ✓ Quanto às questões térmicas, em nenhum momento verifica-se a violação dos limites tolerados pelo equipamento. Desta forma, no que se refere às questões atreladas com elevações de correntes e respectivo impacto térmico pode-se verificar que não há possibilidade de ocorrência de danos físicos;
- ✓ Portanto, o processamento computacional do caso em tela indica que trata-se de uma solicitação procedente. Este fato está concordante com o parecer final emitido pela concessionária.

• 2ª Situação

A segunda situação contempla a unidade consumidora enfocada protegida por DPS. As Figuras 4.42 e 4.43 são indicativas da forma de onda da tensão e da corrente na entrada de alimentação do microcomputador.

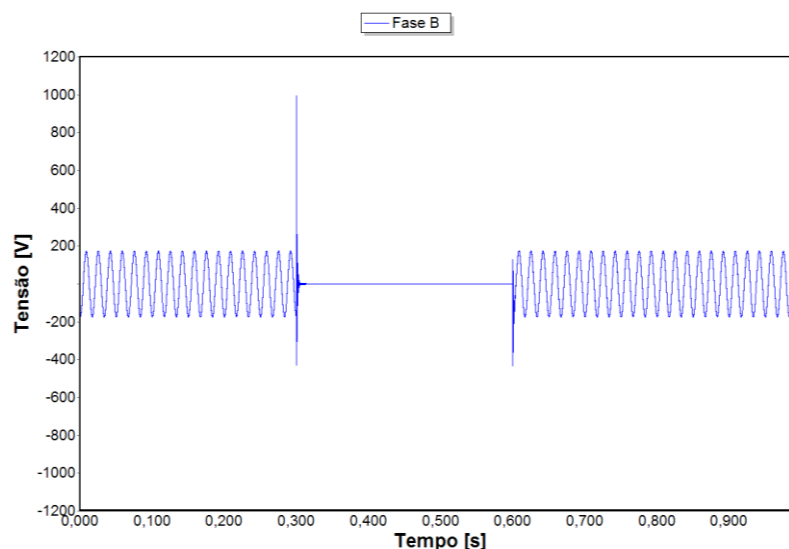


Figura 4.42 - Tensão na entrada do microcomputador – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 3

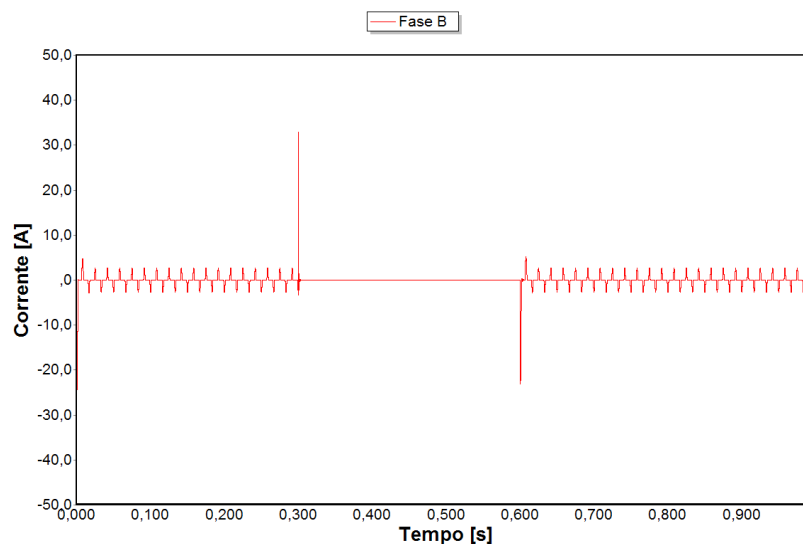


Figura 4.43 - Corrente na entrada do microcomputador – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 3

Conforme procedeu-se nos casos anteriores, as Figuras 4.44 e 4.45 mostram, respectivamente, as solicação dielétrica e térmica calculadas para este novo cenário.

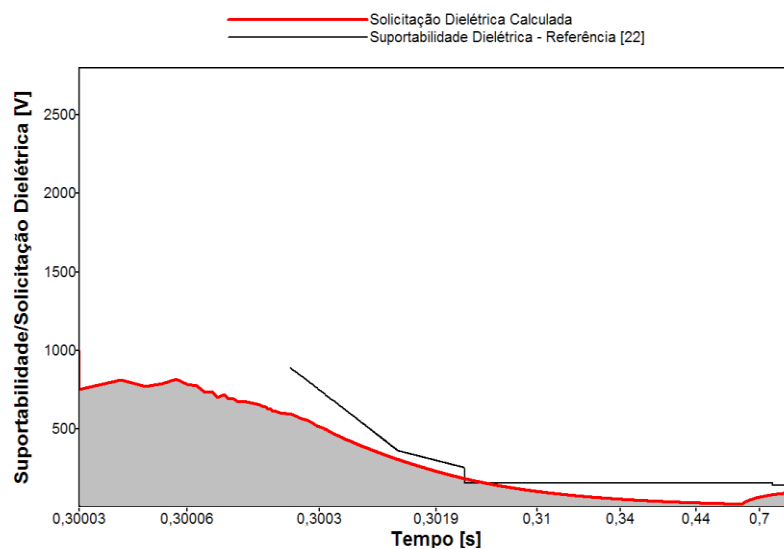


Figura 4.44 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – microcomputador – 2ª situação do Caso 3

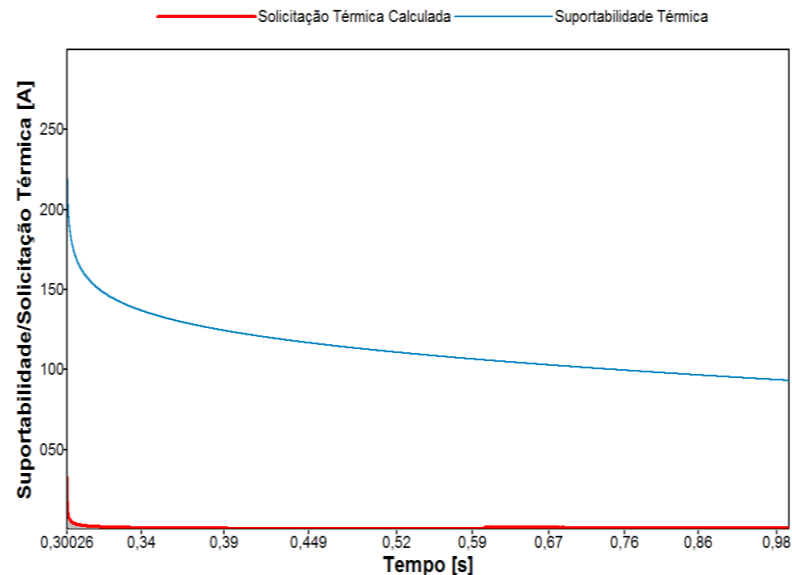


Figura 4.45 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – microcomputador – 2ª situação do Caso 3

De posse dos resultados para a segunda possibilidade simulada através do APR, constata-se que:

- ✓ O valor de pico da sobretensão incidente na entrada do microcomputador sofreu redução em sua magnitude em decorrência da atuação do DPS;
- ✓ Apesar da redução do perfil da solicitação dielétrica imposta ao aparelho eletroeletrônico, ainda observa-se possibilidade de dano ao mesmo com base no padrão de suportabilidade estipulado pela referência [22];
- ✓ Não ocorreu alteração na forma de onda da corrente em comparação à situação anterior. Esta constatação mostra-se condizente com o mesmo resultado observado anteriormente. Fica, portanto, afastada a possibilidade de queima por questões térmicas.

Ressalta-se na segunda situação que, embora se tenha alcançado a redução da amplitude da sobretensão, os resultados ainda indicam possibilidade

de falha do equipamento. A motivação para escolha deste caso tem justifica-se pela necessidade de chamar a atenção para a curva de suportabilidade utilizada como referência no decorrer do estudo computacional dos pedidos de indenização por danos. Em que pese a importância das contribuições oferecidas neste e em outros trabalhos, deve-se mencionar que este aspecto ainda carece de avanços no sentido de sejam obtidas curvas de suportabilidade que reflitam as características reais de cada equipamento. Publicações recentes têm indicado níveis de tolerância a distúrbios superiores aos recomendados pela referência [22], como é o caso dos trabalhos [11] e [12]. No entanto, observa-se que o processamento computacional manteve a situação de indeferimento desta reclamação.

4.6.4 - Caso estudado 4: Indenização por danos a um condicionador de ar

O último caso investigado através da estratégia computacional empregada nesta etapa dos trabalhos baseia-se em um processo de indenização por danos causados a um condicionador de ar pertencente a um consumidor residente em Cuiabá. A perturbação elétrica citada na reclamação que motivou o pagamento de ressarcimento foi a ocorrência de uma manobra tripolar manual em uma chave à óleo instalada na rede primária. Este fenômeno foi registrado pela concessionária no dia 14 de fevereiro de 2007.

A fim de investigar a existência de nexos de causalidade para a presente situação, empregaram-se os mesmos procedimentos anteriores.

a) Dados do sistema de distribuição vinculado ao Caso 4

A Tabela 4.6 relaciona as características elétricas do sistema de distribuição focalizado, desde a subestação até a unidade consumidora.

Tabela 4.6 - Parâmetros elétricos do sistema de distribuição – Caso 4

Concessionária	
Tensão	138 kV
Potência de curto-circuito	2576 MVA
Transformador de potência	
Potência	20 MVA
Relação de transformação	138/13,8 kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Impedância	8,58%
Carregamento	95%
Condutores de média tensão	
Condutor 336,4 CA	0,69875 km
Condutor 4/0 CA	1,70586 km
Condutores de baixa tensão	
Condutor 70 mm ²	0,033 km
Transformador de distribuição	
Potência	75 kVA
Relação de transformação	13,8/0,22kV
Tipo de conexão	Delta-estrela
Impedância	3,5%
Carregamento	66,6%
Ocorrência	
Distúrbio	manobra tripolar manual
Consumidor	
Equipamento danificado	Condicionador de ar
Esquema de aterramento	TN-S

b) Diagrama unifilar do alimentador do consumidor – Caso 4

A configuração do sistema de distribuição sob investigação é visualizada na Figura 4.46.

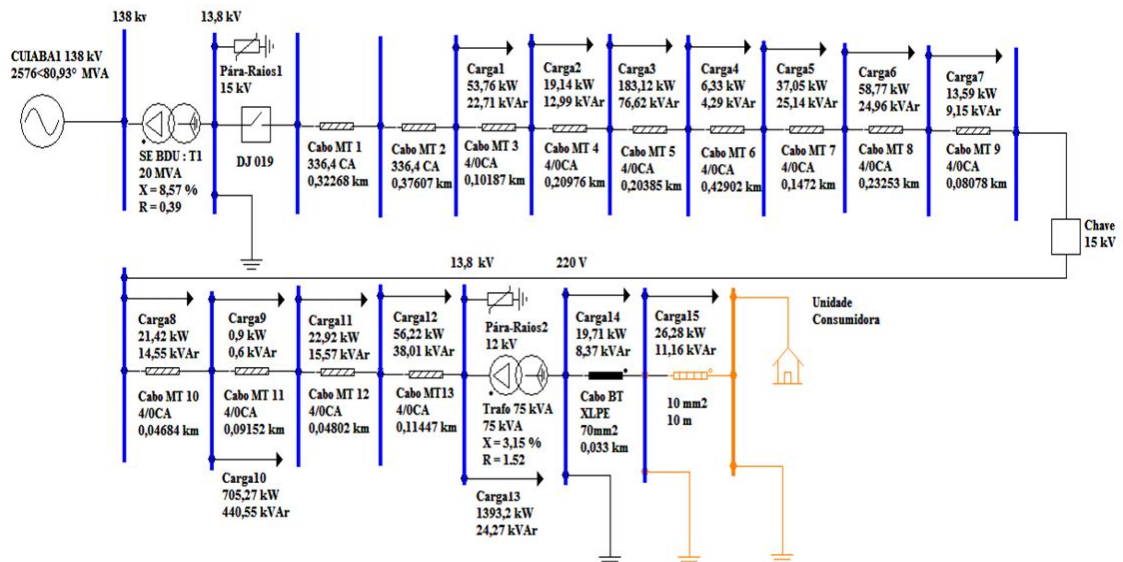


Figura 4.46 - Caracterização do alimentador para o Caso 4

c) Configuração e parametrização da perturbação elétrica– Caso 4

O estabelecimento da manobra tripolar na chave, para fins de simulação, é ilustrado na Figura 4.47.

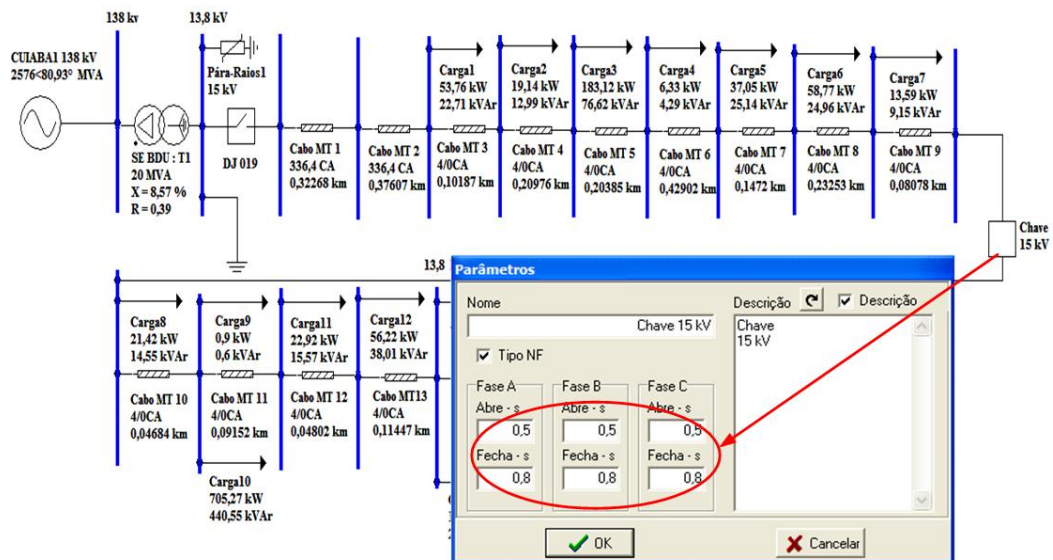


Figura 4.47 - Representação do distúrbio associado como Caso 4 – manobra tripolar em chave a óleo

d) Configuração da Unidade Consumidora

A Figura 4.48 mostra a janela de edição de dados da instalação consumidora para o caso sob análise. Os itens necessários ao processamento computacional, ou seja, a seleção do equipamento e do DPS, estão realçados na figura.

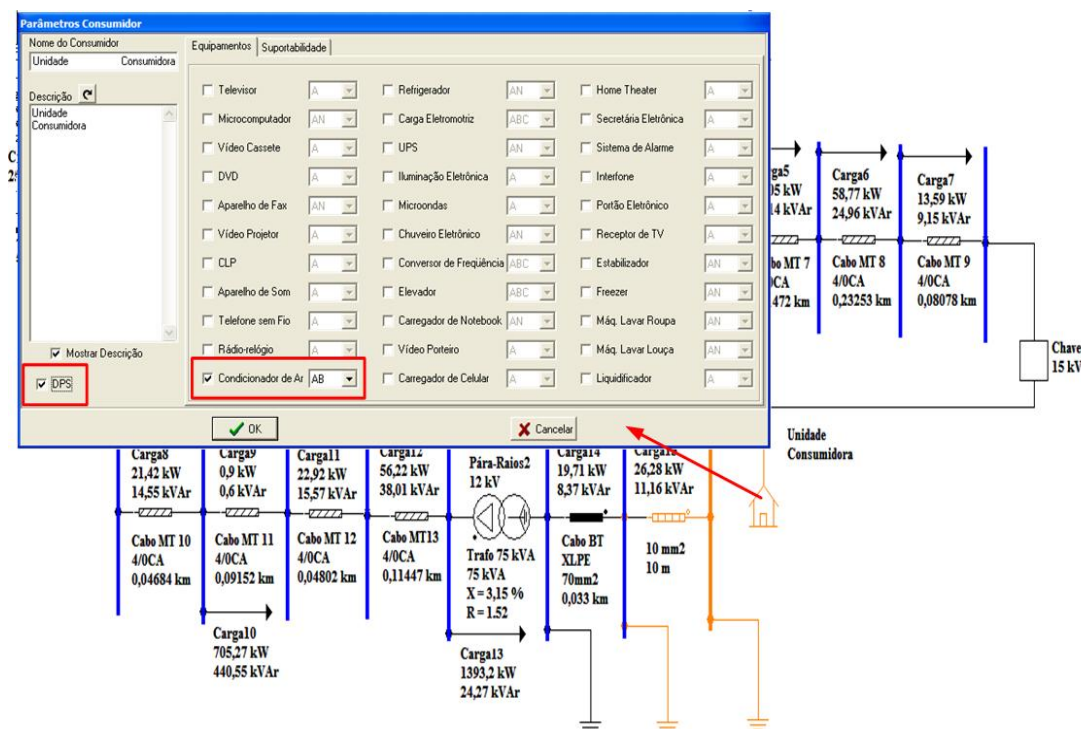


Figura 4.48 - Parametrização da instalação do consumidor – Caso 4

e) Configuração e parametrização do sistema de aterramento

A resistência da malha de aterramento da subestação é representada por uma resistência linear de valor igual a $2,7278 \Omega$. Os demais pontos de aterramento do sistema elétrico em discussão são representados por resistências lineares de 20Ω .

f) Resultados computacionais

Depois de finalizadas as etapas requeridas para a realização do processamento computacional da situação apresentada, os resultados são disponibilizados da seguinte forma:

- **1ª Situação:** unidade consumidora sem DPS na entrada de alimentação elétrica para proteção do condicionador de ar; e
- **2ª Situação:** unidade consumidora com DPS instalado na entrada de alimentação.

• 1ª Situação

As Figuras 4.49 e 4.50 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do equipamento submetido ao distúrbio.

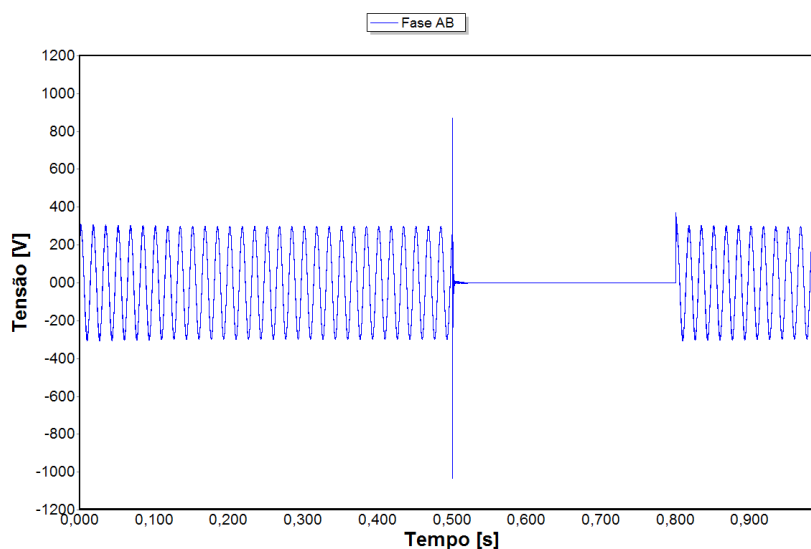


Figura 4.49 - Tensão na entrada do condicionador de ar – manobra tripolar manual na rede primária – Caso 4

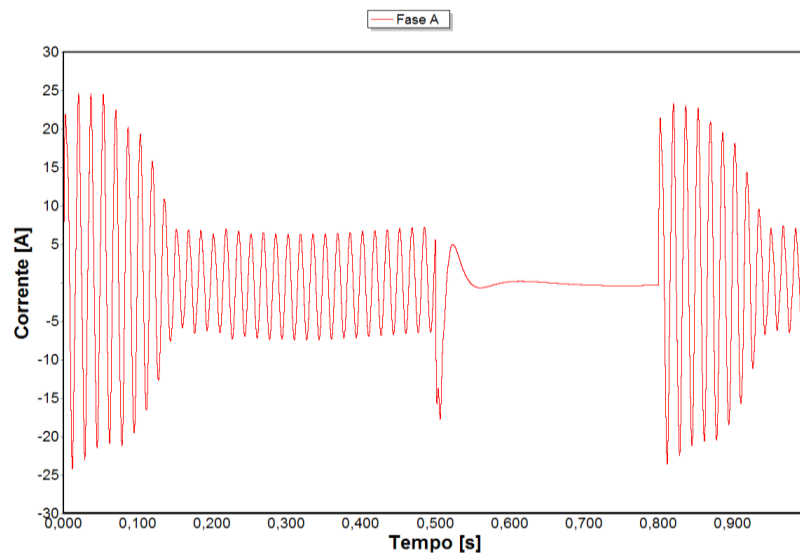


Figura 4.50 - Corrente na entrada do condicionador de ar – manobra tripolar manual na rede primária – Caso 4

Os resultados obtidos para as solicitações impostas pelo distúrbio ocorrido na rede de distribuição em comparação com a curva de suportabilidade utilizada como referência são indicados nas Figuras 4.51 e 4.52.

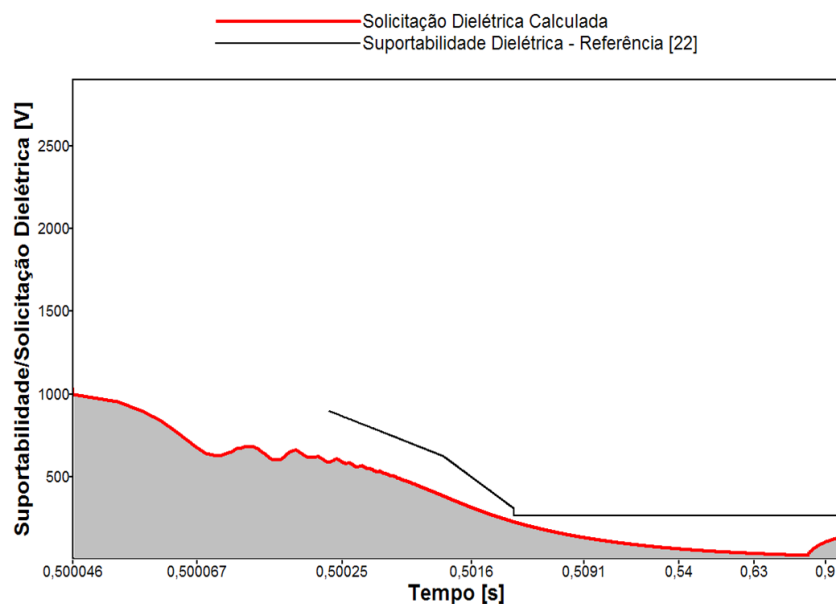


Figura 4.51 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – condicionador de ar – 1ª situação do Caso 4

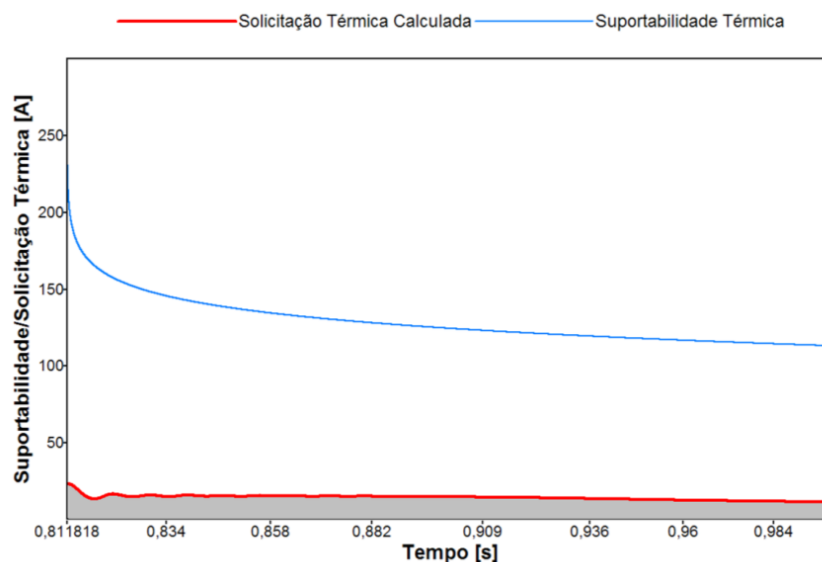


Figura 4.52 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – condicionador de ar– 1ª situação do Caso 4

Diante dos resultados mostrados nas figuras, pode-se constatar que:

- ✓ Não ocorreu violação dos níveis de tensão admissíveis pelo eletrodoméstico. Portanto, quanto às questões dielétricas verifica-se que o aplicativo aponta para inexistência de danos físicos na forma de rompimento da isolação do condicionador de ar;
- ✓ Referente às questões térmicas, em nenhum momento ocorreu a violação dos limites tolerados pelo equipamento. Assim sendo, com relação às questões atreladas à elevações de corrente, não há evidência de dano físico sobre a forma de sobreaquecimento;
- ✓ Por fim, a análise do caso em tela via APR concluiu pelo não deferimento da solicitação de indenização. Tal fato opõe-se ao parecer final emitido pela distribuidora.

• 2ª Situação

Muito embora não se tenha constatado prejuízo ao funcionamento do aparelho elétrico em decorrência da sobretensão produzida pela manobra, optou-se por realizar esta etapa de estudos a fim de apurar o desempenho do DPS frente a perturbação na rede elétrica. Isto posto, os novos patamares para tensão e corrente no ponto de conexão entre o eletrodoméstico e a conexão com a rede elétrica são expostas nas Figuras 4.53 e 4.54, respectivamente.

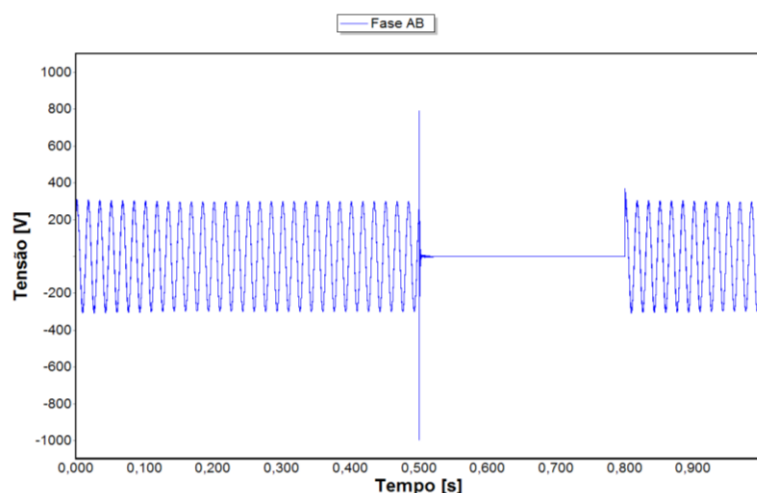


Figura 4.53 - Tensão na entrada do condicionador de ar – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 4

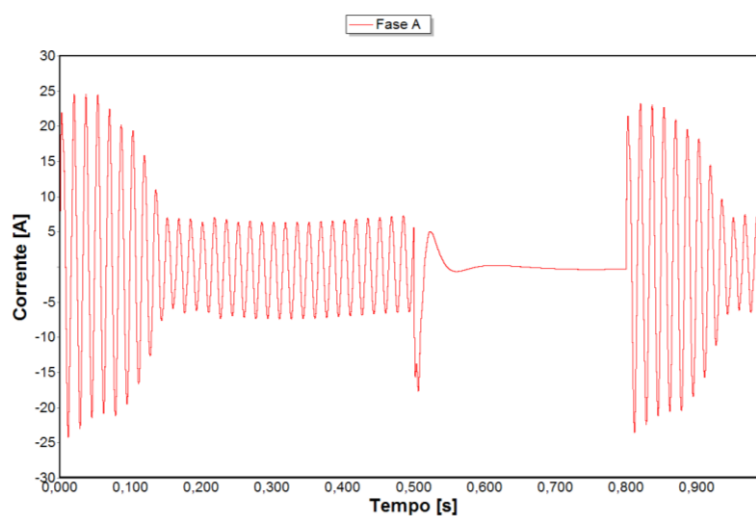


Figura 4.54 - Corrente na entrada do condicionador de ar – DPS instalado na entrada de alimentação – Caso 4

As Figuras 4.55 e 4.56 apresentam os resultados relacionados com as solicitações térmicas e dielétrica em comparação com as curvas de suportabilidade do equipamento.

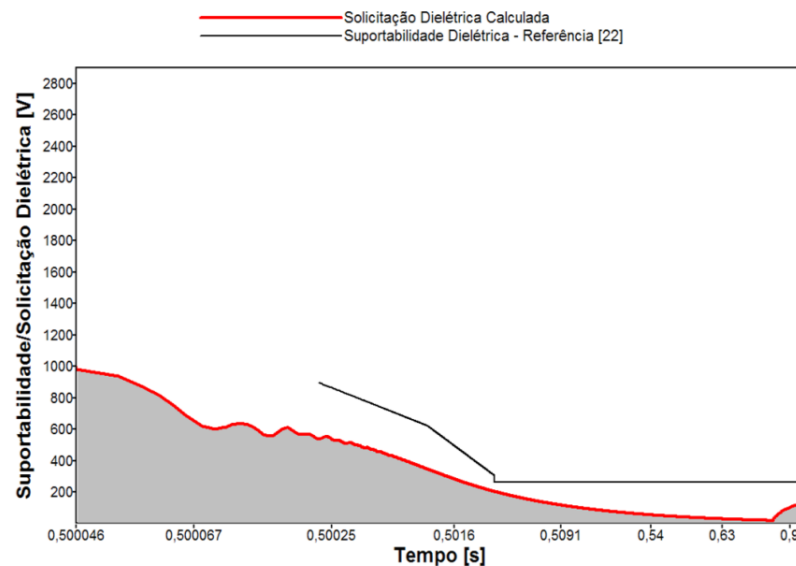


Figura 4.55 - Resultado comparativo entre os esforços dielétricos calculados e os limites adotados como admissíveis – condicionador de ar – 2ª situação do Caso 4

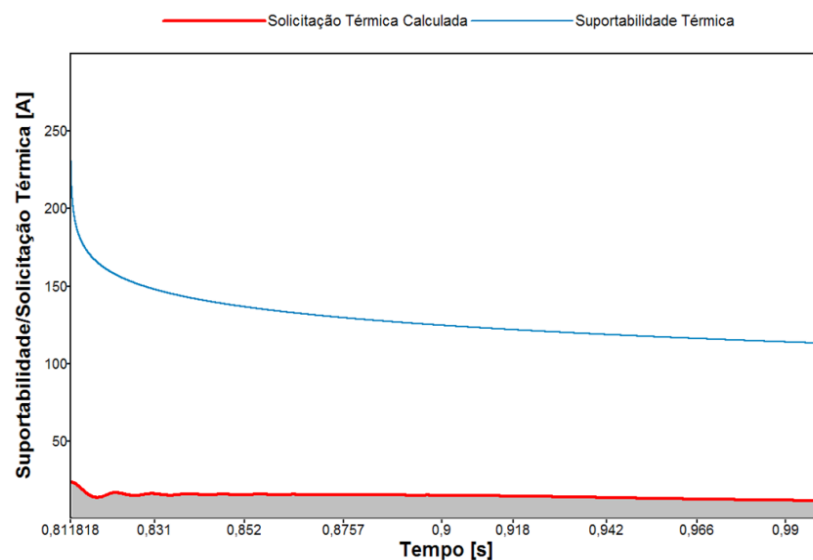


Figura 4.56 - Resultado comparativo entre os esforços térmicos calculados e os limites adotados como admissíveis – condicionador de ar – 2ª situação do Caso 4

A partir do processamento computacional realizado pelo APR, consolidado sob a forma das figuras acima, constata-se que:

- ✓ Verifica-se uma pequena redução do valor de pico da sobretensão em comparação com a situação anterior;
- ✓ Não se verifica, em nenhum momento, a possibilidade de queima do condicionador de ar por rompimento da isolamento em função da perturbação ocorrida no sistema elétrico;
- ✓ A exemplo da situação anterior, não se observa patamar de sobrecorrente capaz de extrapolar os limites aceitáveis pelo equipamento.
- ✓ Enfim, o parecer final com base nos indicadores elétricos fornecidos pelo APR levam a conclusão de que o caso examinado está vinculado a uma solicitação improcedente.

4.7 - Considerações finais

No presente capítulo, mostrou-se a representação computacional do DPS desenvolvida com os recursos disponibilizados pelo programa ATP. O modelo, elaborado a partir de informações fornecidas por um determinado fabricante, teve como referência um dispositivo constituído de um varistor de ZnO. Adicionalmente, procedeu-se a avaliação de seu desempenho em uma situação hipotética, na qual o dispositivo foi inserido em um arranjo elétrico, submetido a uma onda de surto de corrente padronizada com amplitude de 5 kA. Os testes computacionais revelaram que o modelo do DPS apresenta boa resposta na limitação de sobretensões, preservando a integridade física das cargas elétricas.

Posteriormente, os esforços foram conduzidos à integração do novo elemento à biblioteca do APR. Como resultado destas inovações adicionais, obteve-se um novo aplicativo, ou seja, uma nova versão do APR, a qual traduz de forma mais realista as instalações consumidoras atendidas em baixa tensão.

Além disso, o programa passa a contemplar uma nova situação, ou seja: a avaliação computacional dos pedidos de ressarcimento de danos com e sem a inclusão dos dispositivos mitigadores.

A seguir, a funcionalidade da nova versão do APR, foi verificada através de simulações de quatro casos reais de pedidos de ressarcimento registrados por uma concessionária. Os estudos foram realizados sempre em duas situações: instalações elétricas sem e com DPSs. Os resultados obtidos atestaram, ao mesmo tempo, a eficácia do modelo desenvolvido e a relevância do dispositivo de proteção contra surtos como elemento mitigador de distúrbios elétricos.

Após a realização da avaliação de cada caso, constatou-se que os pareceres com base nas informações fornecidas pelo APR apontaram pela procedência dos três primeiros casos analisados. No último caso investigado, verificou-se que o resultado computacional diverge do parecer emitido pela concessionária.

Por fim, fica evidente o potencial do aplicativo como ferramenta de suporte na investigação do nexo de causalidade em pedidos de indenização por danos.

CAPÍTULO V

Conclusões gerais

Embora ao longo desta dissertação tenha-se apresentado os resultados alcançados e as considerações feitas ao final de cada capítulo, considera-se relevante, neste momento, destacar as principais constatações obtidas a partir dos estudos realizados.

Assim sendo, o Capítulo I contextualiza o tema desenvolvido neste trabalho, ressaltando a importância dos assuntos relacionados com a área de estudo “Qualidade da Energia Elétrica”, além de relacionar os principais trabalhos desenvolvidos sobre o tema “Ressarcimento de Danos”. Complementarmente, têm-se no estado da arte os principais documentos correlacionados com a pesquisa realizada. Também foram salientados os principais aspectos ainda carentes de avanços a respeito do mencionado tema. Ao final do capítulo, apresenta-se a estrutura organizacional empregada no desenvolvimento desta dissertação.

O Capítulo II destinou-se a mostrar importantes informações obtidas a partir de um levantamento de informações concernentes a pedidos de indenização por danos elétricos registrados por uma concessionária de distribuição de energia. Os estudos contemplaram a evolução dos pedidos procedentes e não procedentes e o montante financeiro pago a título de indenização à consumidores residentes no Estado de Mato Grosso. De maneira

geral, constatou-se o aumento progressivo na quantidade de pedidos de indenização verificados na área de concessão da empresa, no período compreendido entre 2004 e 2007. No mesmo intervalo de tempo, observa-se aumento dos pagamentos de ressarcimento por algum tipo de dano a aparelhos elétricos de consumidores. Na região metropolitana de Cuiabá e Várzea Grande, o levantamento concentrou-se nos tipos de eventos que originaram pedidos de indenização, nos tipos de equipamentos envolvidos e o impacto financeiro associado com o ressarcimento de cada tipo de aparelho. Constatou-se que o item “Falha em equipamentos” revela-se como a principal ocorrência citada nos processos de indenização em ambos os municípios. Quanto aos aparelhos eletroeletrônicos constantes nos processos de indenização investigados, os resultados obtidos apontaram que os televisores se sobressaem como os equipamentos mais reclamados nas cidades analisadas. Em Várzea Grande, este eletrodoméstico responde pelo maior montante financeiro despendido em pagamentos de ressarcimento pela concessionária, enquanto em Cuiabá este fato foi constatado para as geladeiras.

O Capítulo III apresenta informações se suma importância acerca dos dispositivos empregados na mitigação de surtos elétricos. Pondera-se que as principais causas destes distúrbios são as manobras em circuitos e as descargas atmosféricas. Com relação à forma como estas perturbações eletromagnéticas se propagam, as principais normas internacionais indicam que a forma como estas influenciam uma instalação alimentada em baixa tensão pode ser classificada em dois cenários distintos. O primeiro envolve situações onde o transiente é conduzido pela rede de alimentação externa até a instalação consumidora. O segundo se verifica exclusivamente quando da incidência de descarga atmosférica direta às estruturas ou ao solo, muito próximo destas. Visando limitar a influência dos surtos de tensão ou corrente na operação de equipamentos sensíveis, apresenta-se o dispositivo de proteção contra surtos

(DPS). O princípio de funcionamento destes dispositivos é discutido, bem como os principais elementos não lineares utilizados na sua arquitetura interna. Os principais arranjos empregados para tal finalidade compreendem dispositivos constituídos por centelhadores/*spark gaps*, varistores e os dispositivos semicondutores. Com referência à utilização do DPS em instalações consumidoras, evidencia-se a importância do sistema de aterramento adequado e da ligação equipotencial das partes metálicas no seu desempenho. Além destes componentes, o usuário deve se atentar à tensão nominal disponível no ponto de conexão do DPS, de forma a garantir sua operação correta e prevenir que o mesmo não seja exposto a sobretensões temporárias sustentadas. Ademais, segundo recomendações normativas, as principais grandezas necessárias à especificação destes dispositivos mitigadores consistem na definição dos seguintes parâmetros: nível de proteção, corrente nominal de descarga e/ou corrente de impulso, máxima tensão de operação contínua, suportabilidade à sobretensões temporárias e ao nível de corrente de curto circuito no local de instalação. Nos casos em que a distância entre o equipamento de uso final e o DPS supera 10 m, devem ser providos dispositivos adicionais, os quais devem estar coordenados entre si.

Na sequência, o Capítulo IV apresenta a modelagem computacional do DPS por meio dos recursos disponibilizados pelo ATP através de sua interface gráfica, o ATPDraw. A implementação do modelo baseou-se nas características não-lineares de tensão e corrente do varistor utilizado pelo DPS modelo VCL Slim, do fabricante Clamper. Tomando-se como referência a curva não-linear do mencionado dispositivo, disponibilizada em sua documentação técnica, procedeu-se ao desenvolvimento em ambiente computacional. Para tanto, utilizou-se o modelo indicado para representação de elementos não-lineares do ATP: o MOV Type 92. Após a verificação da eficácia da proposta apresentada, os trabalhos concentraram-se na sua inclusão no aplicativo desenvolvido para o

estudo computacional de solicitações de ressarcimento de danos, qual seja, o Analisador de Pedidos de Ressarcimento (APR). Ressalta-se a importância de outros componentes previamente implementados nesta plataforma, com destaque para a representação computacional dos sistemas de aterramento no contexto da proteção contra surtos. A partir das melhorias e aperfeiçoamentos resultantes dos trabalhos desenvolvidos e também graças a contribuições de trabalhos precedentes, obteve-se uma nova versão do programa computacional supracitado. Em face destes avanços obtidos, fez-se necessário avaliar o desempenho da nova estrutura do APR através de casos reais de indenização por danos analisados por uma distribuidora. Assim, foram escolhidos quatro pedidos de indenização processados pela mesma concessionária onde se realizaram os estudos quantitativo e qualitativo do Capítulo II. Todas as solicitações avaliadas obtiveram parecer favorável ao ressarcimento quando da análise técnica feita pela empresa. A fim de aplicar a nova metodologia para o estudo de indenizações proposta no capítulo, a avaliação de cada caso foi efetuada em duas etapas: considerando as unidades consumidoras sem e com DPS.

O primeiro caso analisado refere-se a um pedido de indenização por danos a um televisor provocado por descarga atmosférica. Para a primeira situação, ou seja, sem instalação de DPS no lado do consumidor, ficou evidente a possibilidade de danos físicos ao aparelho tanto em função de questões dielétricas como por questões térmicas. Para a segunda situação, verificou-se que o dispositivo protetor atuou de forma eficaz, limitando os patamares de sobretensão e sobrecorrente no ponto de conexão do televisor com a rede elétrica.

O segundo caso estudado pela estratégia computacional corresponde a uma reclamação por danos a uma geladeira. A causa apontada como motivadora do pedido de ressarcimento seria a ocorrência de religamento tripolar na barra do alimentador ao qual a unidade consumidora que originou a reclamação está

conectada. Os resultados computacionais para a situação na qual se desconsidera a interposição de DPS na instalação consumidora, indicam a hipótese de danos associados com sobretensões. Na segunda situação, constatou-se a limitação da amplitude do evento e consequente reversão do quadro anterior.

O terceiro caso foi direcionado a uma solicitação de ressarcimento devido à suposta queima de um microcomputador. Os técnicos da concessionária identificaram a ocorrência atrelada a este PID como sendo um religamento tripolar automático no alimentador que atende o cliente. Aplicando os mesmos critérios anteriores, constataram-se solicitações dielétricas que extrapolam os limites considerados aceitáveis pelo equipamento eletroeletrônico. Na situação com DPS instalado na unidade consumidora, ainda se verificou a redução do valor de pico da sobretensão produzida pela ocorrência registrada pela concessionária. Entretanto, observou-se que o procedimento de cálculo dos esforços dielétricos calculados e posterior comparação com a curva padrão de utilizada nos estudos de caso ainda evidencia que o microcomputador sofreria algum dano. A escolha desta solicitação de ressarcimento de danos como parte integrante da pesquisa realizada justifica-se pela necessidade premente de avanços na investigação dos limites de suportabilidade dos aparelhos eletroeletrônicos. Apesar da utilização bem sucedida da metodologia nos casos anteriores, ressalta-se que este assunto ainda constitui uma lacuna importante nos trabalhos voltados ao estudo computacional de indenizações por danos elétricos.

Por fim, o último caso pesquisado refere-se a uma indenização por danos causados a um condicionador de ar, em face de uma ocorrência de manobra tripolar manual em chave instalada na rede primária que atende o consumidor. Os procedimentos para o estudo e simulação deste PID seguiram os mesmos critérios anteriores. Desconsiderando-se a instalação de DPS na instalação consumidora, os resultados indicaram a não procedência da solicitação de

ressarcimento. Diferentemente das situações anteriores, verificou-se a divergência entre o parecer emitido pela empresa e o resultado final proporcionado pelo APR. De modo a prosseguir no propósito científico desta dissertação, repetiu-se o mesmo estudo procurando-se avaliar a influência do dispositivo mitigador diante do distúrbio simulado. Ao final, obteve-se a diminuição na amplitude da sobretensão produzida pelo distúrbio. No entanto, manteve-se a mesma conclusão anterior, qual seja pelo não deferimento da solicitação.

Finalmente, a avaliação da consistência da metodologia para análise computacional de solicitações de ressarcimento de danos através da nova versão do APR demonstra que as atualizações efetuadas na ferramenta computacional se mostram significativas para futuros estudos neste tema.

Sem perder de vista os progressos alcançados por intermédio desta pesquisa, são relacionados a seguir, aspectos importantes para o desenvolvimento da estratégia proposta neste trabalho:

- No que diz respeito à modelagem do DPS: apesar dos bons resultados computacionais obtidos, o modelo apresentado é passível de aperfeiçoamentos que visem contemplar outros parâmetros importantes do dispositivo, como é o caso da sua capacidade energética. Adicionalmente, pode ser oferecido ao usuário final a alternativa de seleção entre duas curvas de não-linearidade diferente;
- Inclusão da representação computacional do fenômeno *flashover* entre as isolações do sistema elétrico, a qual é capaz de reduzir o patamar das sobretensões produzidas por descargas atmosféricas e chaveamento de circuitos;
- Execução de testes laboratoriais com ondas padronizadas a fim de validar o modelo computacional do DPS;

- Realização de investigações complementares com vistas á obtenção de curvas de suportabilidade de equipamentos fundamentadas em levantamentos experimentais que contemplem a extrapolação dos limites admissíveis dos mesmos;
- Inclusão de mecanismos que considerem o tempo de uso dos aparelhos eletroeletrônicos na análise computacional dos pedidos de indenização;
- Implementação de meios no aplicativo APR que permitam o estudo de outras formas de acoplamento de distúrbios aos equipamentos que possuam, além da alimentação elétrica, a conexão de sinais de comunicação.

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] STANDLER, R. B., “Protection of Electronic Circuits from Overvoltages”, John Wiley & Sons, Nova York, 2002.
- [3] 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.
- [4] HASSE, P., “Overvoltage Protection of Low Voltage Systems,” IET Power & Energy Series, 33 - The Institution of Engineering and Technology, 2nd ed., Londres, 2008.
- [5] BOLLEN, M. H. J., “Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions”, Piscataway, IEEE Press, 2000.
- [6] ARRILLAGA J. E. ARNOLD C.P., “Power Systems Electromagnetic Transients Simulation”, IEE Power & Energy Series, 39 - Institution of Electrical Engineers, 2002.
- [7] KENNEDY, B. W., “Power Quality Primer”, McGraw-Hill, 2000.
- [8] KUSKO, A., THOMPSON M. T., Power Quality in Electrical Systems” 12st ed., McGraw-Hill Professional, Nova York, 2007.
- [9] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Normativa Nº 395, de 15 de dezembro de 2009.
- [10] ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, “Submódulo 2.2 – Padrões de Desempenho da Rede Básica”, dezembro de 2002.

- [11] OLIVEIRA, H. R. P. M., JESUS, N. C., MARTINEZ, M. L. B., “Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos Durante Ensaio de Sobretensões”, XVIII SNPTEE, Curitiba/PR, outubro de 2005.
- [12] 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.
- [13] ERMELER, K., PFEIFFER, W., SCHOEN, D., SCHOCKE, M., “Surge Immunity of Electronic Equipment”, IEEE - Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, 1998.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] CORNICK, K. J., LI, H.Q., “Power Quality and Voltage Dips: problem, Requirements, 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.
- [18] REID, W. EDWARD, “Power Quality Issues – Standards Guidelines”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 32, pp 625 – 632, maio/junho de 1996.
- [19] PQTN BRIEF 39: “Ride-through Performance of Programmable Logic Controllers”, EPRI Power Electronics Applications Center, Knoxville, TN, novembro de 1996.
- [20] OLIVEIRA, H. R. P. M., VIECILI, G. B., JESUS, N. C., “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. E KLEIN, M., “The Impact of Voltage Sags on Industrial Plant Loads”, Int. Conf. Power Quality: End-use applications and perspectives (PQA-91), pp. 171 – 178.
- [22] ITI (CBEMA) Curve Application Note. Disponível online em: “<http://www.iti.org/archives/iticurv.pdf>”, acessado em janeiro de 2010.
- [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, B. C., “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] TAVARES, C. E., “Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores”, Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia/MG, 2008.
- [32] IEC 61000-4-5 (“Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurements Techniques – Section 5: Surge Immunity Test”), 29/11/2005.
- [33] 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.
- [34] ALTERNATIVE TRANSIENTS PROGRAM (ATP) Rule Book, julho de 1987.
- [35] BACCA, I. A., “Modelagem para Análise de Desempenho de Equipamentos da Linha Branca diante de Distúrbios de Qualidade da Energia”, Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia/MG, setembro de 2008.
- [36] IEEE, Norma IEEE C62.41.1-2002: *Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits*.
- [37] IEEE, Norma IEEE C62.41.2-2002: *Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits*.
- [38] IEEE, Norma IEEE C62.72-2007: *Guide for the Application of Surge-Protective Devices for Low-Voltage (1000 V or Less) AC Power Circuits*.
- [39] ABNT, NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão: Comentada, 2005.
- [40] IEC, Norma IEC 60364-4-443: *Electrical Installations of Buildings – Part 4: Protection for safety, Section 443: Protection against overvoltages of atmospheric origin or due to switching*.
- [41] HOLLAND, A.F, “Behaviour of Solid State Technology in Transient and Surge Protection Systems”, IEE Colloquium on Lightning and EMC, pp. 8/1 - 8/8, janeiro de 1996.
- [42] DURHAM, M.O.; DURHAM, K.D.; DURHAM, R.A, “TVSS Designs”, IEEE Industry Applications Magazine, vol. 8, nº 5, pp. 31 – 36, setembro/outubro de 2002.
- [43] D’ANGELO, B., “Por dentro do DPS”, Revista O Setor Elétrico, nº 37, pp. 62 – 66, fevereiro de 2009.

- [44] UNDERWRITERS LABORATORIES Inc., Norma UL 1449: Transient Voltage Surge Suppressors, 2002.
- [45] IEC. Norma IEC 61643-1: *Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Part 1: Performance requirements and testing methods*, 2002.
- [46] METWALLY, I.A.; HEIDLER, F.H., “Enhancement of the SPD Residual Voltage at Apparatus Terminals in Low-Voltage Power Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, n° 04, pp. 2207 – 2213, 2007.
- [47] JINLIANG HE, ZHIYONG YUAN, JING XU; SHUIMING CHEN, JUN ZOU, RONG ZENG, “Evaluation of the Effective Protection Distance of Low-Voltage SPD to Equipment”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, n° 01, pp. 123 - 130, janeiro de 2005.
- [48] AMICUCCI, G.L., FIAMINGO, F., FLISOWSKI, Z., LO PIPARO, G.B., MAZZETTI, C., “Surge Protective Devices for Low Voltage Systems: Practical Approach for the Protection Distance Evaluation”, IEEE Lausanne Power Tech, Lausanne, Suíça, pp. 778 – 782, julho de 2007.
- [49] METWALLY, I.A., HEIDLER, F., “Influence of Line Routing and Terminations on Transient Overvoltages in LV Power Installations”, International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, 18, Munich, Alemanha, pp. 313 - 316, julho de 2007.
- [50] SKULETIC, S., RADULOVIC, V., “Effective Protection Distance from Cascade Coordinated Surge Protective Devices to Equipment in Low-Voltage AC Power Circuits”, Universities Power Engineering Conference (UPEC), 43, Padova, Itália, pp. 1 – 5, setembro de 2008.
- [51] PAUL, D., “Low Voltage Power System Surge Overvoltage Protection”, Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, Clearwater, E.U.A., pp. 21-29, maio de 2000.
- [52] CLARK, O.M., GAVENDER, R.E., “Lightning Protection for Microprocessor-Based Electronic Systems”, IEEE Industrial Applications Society Petroleum and Chemical Industry Conference, 36, San Diego, E.U.A, pp. 197 – 203, setembro de 1989.
- [53] CHISTE, A., FUNKE, J., “Electronic Systems Protection via Advanced Surge Protective Devices”, Telecommunications Energy Conference (INTELEC), 24, pp. 22 – 26, 2002.

- [54] DRABKIN, M. M., “Surge Protection of Low-Voltage AC Power by MOV-Based SPDs”, International Conference on Harmonics and Quality of Power, 10, vol. 1, pp. 13 – 16, outubro de 2002.
- [55] HARRISON, J., “Why and How do Surge Protective Devices (S.P.D.) Fail: A Safety Article”, Southcon/94, Orlando, E.U.A., pp. 382 - 387 , março de 1994.
- [56] LAI, J.-S., MARTZLOFF, F.D., “Coordinating Cascade Surge Protection Devices: High-Low versus Low-High. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, n.º 4, 1993, pp. 680 – 687.
- [57] ROUSSEAU, A., PERCHE, T., “Coordination of Surge Arresters in the Low Voltage Field”, Telecommunications Energy Conference, 17, The Hague, Holanda, pp. 119 – 125, novembro de 1995.
- [58] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa nº 61, 29 de abril de 2004
- [59] ABRADÉE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, “Procedimento para Análise de Solicitação de Ressarcimento de Danos Materiais a Terceiros”, 2003.
- [60] 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.
- [61] PAZOS, F. J., AMANTEGUI, J., FERRANDIS, F., BARONA, A., “Sobretensões em Sistemas de BT devidas a manobras na média tensão”, Revista Eletricidade Moderna, abril de 2008.
- [62] 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.
- [63] SCHEIBE, K., SCHIMANSKI, J., WETTER, M., ALTMAIER, H., “Danos a Equipamentos Eletroeletrônicos Causados por Raios a Longas Distâncias”, Revista Eletricidade Moderna, agosto de 2007.
- [64] 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.

- [65] 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.
- [66] 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.
- [67] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Nota Técnica n.º 0140/2008-SRD/ANEEL, Brasília, julho de 2008.
- [68] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Normativa nº 360, de 14 de abril de 2009.
- [69] MENDONÇA, M.V.B, “Contribuições ao Processo Computacional para Análise de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos Elétricos”, Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia/MG, 2010.
- [70] MARCUZ, J., BINCZAK, S., BILBAULT, J.M., GIRARD, F., “Surge Protective Device Response to Steep Front Transient in Low Voltage Circuit”, SIPDA – Simpósio Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas, 9, Foz do Iguaçu, Brasil, novembro de 2007.
- [71] MEISTER, A., “Modelagem de Varistores de Óxido de Zinco para Estudos de Coordenação de Isolamento”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2005.