

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTO
INSTALADOS JUNTO ÀS CARGAS CONSUMIDORAS FRENTE A
SOBRETENSÕES ATMOSFÉRICAS**

VINICIUS DE PAULA RODRIGUES

Monografia submetida à Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Engenharia de Sistemas Elétricos de Potência – CESEP, Ênfase: Proteção Elétrica, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do certificado da Especialização.

Aprovada em 13 de julho de 2012

**Alberto Resende De Conti - Dr.
Supervisor**

**Silvério Visacro Filho - Dr.
Coordenador do CESEP**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 RELEVÂNCIA E CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO	1
1.2 OBJETIVO E METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	5
2.2 EFEITOS DAS DESCARGAS DIRETAS E INDIRETAS	8
2.3 PROPAGAÇÃO DE SOBRETENSÕES TRANSITÓRIAS E FORMAS DE PROTEÇÃO.....	10
2.4 CARACTERÍSTICAS DE DISPOSITIVOS PROTETORES DE SURTO E A NORMATIZAÇÃO REFERENTE.....	11
2.4.1 <i>Características gerais dos supressores de surto</i>	11
2.4.2 <i>Normatização do que diz respeito aos supressores de surto</i>	13
2.4.3 <i>Parâmetros e características elétricas dos dispositivos de proteção</i>	16
2.4.4 <i>Estudo da norma NBR 5410:2004</i>	17
3. METODOLOGIA	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS RESIDENCIAIS.....	25
3.2 DISPOSITIVOS PROTETORES DE SURTO UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO	28
3.2.1 <i>Características dos DPS existentes no mercado</i>	28
3.2.2 <i>Modelagem dos dispositivos protetores de surto</i>	32
3.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	33
4. RESULTADOS E ANÁLISES	36
4.1 SOBRETENSÕES NA CARGA NA AUSÊNCIA DE DPS.....	36
4.2 SOBRETENSÕES NA CARGA COM O DPS NA ENTRADA DE SERVIÇO	37
4.3 SOBRETENSÕES NA CARGA COM O DPS NA ENTRADA DE SERVIÇO E NO QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO INTERNO	39
4.4 SOBRETENSÕES NA CARGA COM O DPS NA ENTRADA DE SERVIÇO, QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO INTERNO E JUNTO À CARGA	41
4.5 SOBRETENSÕES NA AUSÊNCIA DE DPS CONSIDERANDO-SE VÁRIAS CARGAS CONECTADAS AO CIRCUITO DE FORMA SIMULTÂNEA	42
4.6 SOBRETENSÕES NA CARGA COM O DPS NA ENTRADA DE SERVIÇO, QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO INTERNO E JUNTO À CARGA CONSIDERANDO-SE VÁRIAS CARGAS CONECTADAS AO CIRCUITO DE FORMA SIMULTÂNEA.....	44
4.7 ANÁLISE DE ALGUMAS RECOMENDAÇÕES DA NORMA NBR 5410:2004	45
5. CONCLUSÕES	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

RESUMO

Um das principais causas de avarias em equipamentos elétricos ligados às redes de média e baixa tensão são os efeitos das descargas atmosféricas. Esses efeitos decorrem da incidência direta das descargas ou dos campos eletromagnéticos associados às descargas nuvem-solo que incidem na vizinhança do sistema elétrico. Em ambas as situações, o consumidor pode ficar sujeito a sobretensões transitórias que podem ocasionar danos em seus equipamentos e instalações. Como as alternativas de controle de sobretensões passíveis de serem feitas pelas concessionárias em suas redes nem sempre são suficientes para garantir adequada proteção aos aparelhos dos consumidores, ganha importância a alternativa de se prover proteção através da utilização de dispositivos de proteção na entrada de serviço das unidades consumidoras atendidas em baixa tensão. Nesse contexto, o emprego de supressores de surto junto a essas unidades consumidoras busca minimizar os efeitos das sobretensões e proteger os aparelhos ligados à rede, reduzindo assim a possibilidade de danos e conseqüentemente o prejuízo ocasionado tanto para o consumidor quanto para a empresa distribuidora de energia elétrica. Com base nessa premissa, este trabalho consiste na avaliação da utilização de supressores de surto como uma forma de proteção aos equipamentos do consumidor frente a sobretensões oriundas de descargas atmosféricas. Para esse fim, a abordagem desenvolvida neste trabalho busca, a partir de simulações na plataforma computacional ATP (Alternative Transients Program), observar a influência de supressores de surto em sobretensões atmosféricas nas cargas consumidoras. Através da utilização de características reais de supressores de surto existentes no mercado, verifica-se o comportamento desses supressores instalados junto ao consumidor em diferentes locais, trabalhando de forma coordenada, na entrada de serviço, em uma caixa de distribuição interna e, também, próximo à carga. Para a representação das cargas do consumidor, utiliza-se um modelo RLC preciso obtido por meio de medições. Dessa forma, são avaliados os níveis das sobretensões e a configuração dos supressores de surto que propicia o melhor nível de proteção.

ABSTRACT

One of the main causes of damage to electrical equipment connected to networks of medium and low voltage are those related to lightning effects. These effects are due to direct lightning strikes or due to electromagnetic fields associated with cloud to ground lightnings that affect the electrical system in the vicinity of the striking point. In both situations, the consumer may be subjected to transient overvoltages that can cause damage to their equipment and facilities. As overvoltage control provided by utilities in their networks is not always sufficient to ensure adequate protection to consumer devices, it becomes important to provide protection through the use of protective devices at the entrance of consumer units. In this context, the use of surge protective devices at consumer units aims at minimizing overvoltages and protecting equipment connected to the network, thus reducing the possibility of damage to both the consumer and to the utility.

Based on this premise, this work is dedicated to evaluate the use of surge protective devices, as a form of protection of consumer loads from lightning overvoltages. To this end, the approach developed in this paper seeks, from simulations in computational platform ATP (Alternative Transients Program), to observe the influence surge protective devices on lightning overvoltages on consumer loads. Through the use of actual characteristics of surge suppressors available on the market, it is investigated the behavior of these suppressors installed at different locations in the consumer unit. For the representation of consumer loads, an RLC model obtained from experiments is used. Thus levels of overvoltages are evaluated, and as well as the configuration of surge suppressors that provides the best level of protection.

1 Introdução

1.1 Relevância e Contexto da Investigação

Atualmente, com o crescente aumento da utilização dos equipamentos eletroeletrônicos, o consumidor passou a se deparar mais frequentemente com os efeitos destrutivos de sobretensões transitórias que se propagam através da rede elétrica, em especial aqueles associados à descargas atmosféricas.

O Brasil, segundo estimativas, é um dos países mais atingidos por descargas atmosféricas no mundo, totalizando cerca de 50 a 70 milhões de raios por ano. Estas descargas causam um prejuízo da ordem de R\$ 500 milhões por ano ao País, em danos nas linhas de distribuição e transmissão de energia, redes de telefonia, indústrias, redes de telecomunicações e propriedades privadas [1].

Esse é um dos motivos pelos quais o fenômeno vem sendo pesquisado há vários anos, motivando o desenvolvimento de inúmeros estudos experimentais e computacionais que buscam caracterizar desde o surgimento e a evolução de uma descarga atmosférica até os meios de proteção e atenuação dos seus efeitos.

No que se refere às sobretensões desenvolvidas em unidades consumidoras, estas podem ocorrer tanto pela incidência direta de descargas quanto pela indução de tensões associadas a descargas incidentes nas suas proximidades.

Os efeitos mais severos das descargas atmosféricas em unidades consumidoras decorrem da incidência direta das descargas sobre o sistema elétrico. No entanto, as tensões induzidas por descargas nuvem-solo constituem a mais importante fonte de distúrbios em sistemas elétricos e eletrônicos de media e baixa tensão. As sobretensões associadas, embora sejam menos severas do que aquelas referentes a descargas diretas são responsáveis pela maior parte dos desligamentos das linhas de distribuição de energia elétrica [2].

Além disso, as redes de baixa tensão podem ainda funcionar como agentes de introdução de surtos atmosféricos em unidades consumidoras, determinando a queima de equipamentos e aparelhos sensíveis locais, sobretudo os dispositivos digitais, caracterizadamente de muito baixo nível de suportabilidade quanto a surtos de tensão [3].

Segundo [5] muitos fatores estão envolvidos na definição do nível das sobretensões resultantes no consumidor. Porém, pode-se conseguir a redução dos riscos para a carga consumidora através de três práticas [4]:

- Redução da resistência de aterramento do transformador de distribuição;
- Redução da relação entre as resistências de aterramento do transformador e do consumidor;
- Instalação de dispositivo de proteção na instalação consumidora, o mais próximo possível da carga.

No último caso, a instalação de dispositivos protetores de surto conectados entre fase e neutro é capaz de proteger os equipamentos a cujos terminais estão ligados, limitando as sobretensões ocorridas na rede elétrica e protegendo os aparelhos ligados à rede elétrica. Nesse contexto se localizam as investigações realizadas nesta monografia.

1.2 Objetivo e Metodologia de Desenvolvimento

O objetivo deste trabalho consiste na avaliação da utilização de supressores de surto como uma forma de proteção aos equipamentos do consumidor frente a sobretensões oriundas de descargas atmosféricas.

A abordagem desenvolvida neste trabalho buscou, a partir de simulações na plataforma computacional ATP (Alternative Transients Program), observar o desempenho dos supressores de surto na mitigação de sobretensões atmosféricas em unidades consumidoras. Através da utilização de características reais de supressores de surto existentes no mercado, verificou-se o comportamento desses supressores instalados junto ao consumidor em diferentes locais, trabalhando de forma coordenada. Para a representação das cargas do consumidor, utilizou-se um modelo RLC preciso obtido por meio de medições. Dessa forma, são avaliados os níveis das sobretensões e a configuração dos supressores de surto que propicia o melhor nível de proteção.

1.3 Organização do texto

O texto desta monografia está organizado em seis capítulos, incluindo a presente **Introdução**.

No **Capítulo 02** é realizada uma revisão bibliográfica a respeito dos parâmetros típicos das descargas atmosféricas, os efeitos da incidência dessas descargas de forma direta e indireta e as sobretensões de origem atmosférica nas redes de baixa tensão, sobretudo em instalações consumidoras. Neste mesmo capítulo é feita uma revisão sobre as características dos supressores de surto utilizados em baixa tensão, assim como uma apresentação sobre alguns tipos de supressores existentes no mercado e que serão utilizados neste trabalho. As recomendações da ABNT para a proteção de circuitos elétricos de baixa tensão no que se refere à utilização de supressores de surto também estão contempladas neste capítulo.

No **Capítulo 03** detalha-se a metodologia a ser utilizada neste trabalho, apresentando-se simulações que buscam representar surtos provenientes de descargas atmosféricas e evidenciar assim a atuação dos supressores de surto frente à tais solicitações. A ação desses supressores é avaliada computacionalmente considerando a sua instalação em diferentes pontos junto ao consumidor, tais quais: entrada de serviço, caixa de distribuição interna e também, próximo à carga.

Os resultados, com suas respectivas análises, obtidos através das simulações computacionais detalhadas no capítulo anterior serão apresentados no **Capítulo 04**. Os níveis de sobretensão atingidos e o comportamento dos supressores de surto são discutidos. Essa discussão busca verificar a eficiência dos supressores trabalhando de forma coordenada a fim de propiciar uma proteção aos aparelhos sensíveis do consumidor, tendo como base os níveis de suportabilidade exigidos pelas normas.

Finalmente, é apresentada no **Capítulo 05** a conclusão desta monografia. As referências bibliográficas utilizadas neste trabalho são apresentadas no **Capítulo 06**.

2 Revisão da Literatura

2.1 Descargas Atmosféricas

A descarga atmosférica consiste em uma intensa descarga elétrica que ocorre na atmosfera. Trata-se de um fenômeno complexo, que se expressa através do fluxo de uma corrente impulsiva de alta intensidade e curta duração, cujo percurso de alguns quilômetros parte da nuvem, e em alguns casos, atinge a superfície da Terra [2].

Em sua maior parte, as descargas atmosféricas são constituídas a partir de um canal precursor que se origina na nuvem e evolui descendente até induzir o surgimento de um canal de descarga ascendente ao se aproximar do solo. O fechamento do canal ocorre com o encontro dos canais precursores ascendente e descendente a uma certa altura do solo. Esse tipo de descarga designado descarga descendente é o mais comum entre as modalidades de descargas atmosféricas verificadas entre nuvem e solo [2].

À corrente que circula no canal de descarga após o fechamento dos canais precursores ascendente e descendente dá-se o nome de primeira corrente de retorno. Também é possível que ao longo do canal de descarga circulem novas correntes de retorno após a primeira corrente de retorno. A essas correntes de retorno dá-se o nome de descargas subsequentes [2].

Diversos trabalhos buscam a avaliação e a caracterização dos parâmetros descritivos das descargas. Dentre estes merecem destaque o trabalho de Berger, dedicado à medição das correntes associadas às descargas no Monte San Salvatore na Suíça [7], os estudos de Anderson e Eriksson na África do Sul [8] e mais especificamente os trabalhos realizados no Brasil e na Estação Morro do Cachimbo, em Minas Gerais [9], onde são realizadas medições de correntes e campos eletromagnéticos associados às descargas atmosféricas.

A forma de onda típica de uma primeira corrente de retorno associada à uma descarga atmosférica está ilustrada na Figura 2.1, onde podem ser identificados os principais parâmetros utilizados para a sua caracterização [10]:

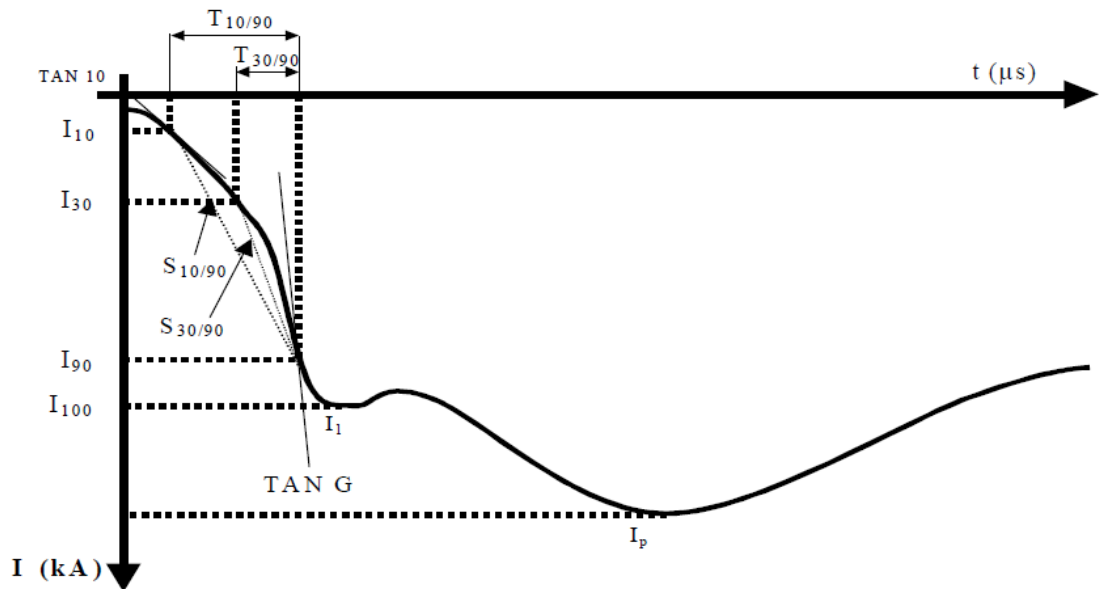


Figura 2.1 - Forma de onda típica de primeira corrente de retorno negativa. Reprodução de [10].

- I_1 e I_p : primeiro e segundo valores de pico da corrente;
- $T_{10/90}$: duração da frente de onda expressa com base no intervalo entre 10% e 90% de I_1 ;
- $T_{30/90}$: duração da frente de onda expressa com base no intervalo entre 30% e 90% de I_1 ;
- T_{50} : intervalo de tempo definido entre 2 kA, e o valor correspondente a 50% do valor de pico I_1 .
- $S_{10/90}$: taxa de crescimento médio da corrente entre 10% e 90% de I_1 ;
- $S_{30/90}$: taxa de crescimento médio da corrente entre 30% e 90% de I_1 ;
- $TAN10$: taxa de crescimento correspondente à tangente para 10% de I_1 ;
- $TANG$: máxima taxa de crescimento da frente de onda da corrente;
- tf : tempo de frente da onda, $tf = T_{10/90} / 0,8$ ou $tf = T_{30/90} / 0,6$.

As Tabelas 2.1 e 2.2 contêm os valores representativos dos parâmetros de correntes de retorno medidas na Estação do Morro do Cachimbo e na Estação de San Salvatore, referentes às primeiras correntes de retorno de descargas negativas descendentes, e às descargas negativas subsequentes.

Tabela 2.1: Parâmetros de uma primeira corrente de retorno. Reprodução de [2].

Parâmetro	Estação de San Salvatore	Estação do Morro do Cachimbo
	Mediana (50%)	Mediana (50%)
Valor de pico: I_p (kA)	30	45
Carga de um impulso: Q (C)	4,5	5,2
Tempo de Frente: T_F (μ s): T_{10}/T_{30}	5,6 / 3,8	7 / 4,8
Tempo de meia onda: T_M (μ s)	75	53,5
Duração Total: T_{TOT} (ms)	85	-
Derivada máxima: S_{MAX} (kA/ μ s)	12	19,4
Energia/unidade de resistência: W_{PZ} ($10^4 A^2.s$)	5,5	10,7

Tabela 2.2: Parâmetros de Descargas Negativas Subsequentes. Reprodução de [2].

Parâmetro	Estação de San Salvatore	Estação do Morro do Cachimbo
	Mediana (50%)	Mediana (50%)
Valor de pico: I_p (kA)	12	16
Carga de um impulso: Q (C)	0,95	0,99
Tempo de Frente: T_F (μ s): T_{10}/T_{30}	0,75 / 0,67	0,88 / 0,67
Tempo de meia onda: T_M (μ s)	16,4	53,5
Duração Total: T_{TOT} (ms)	13	-
Derivada máxima: S_{MAX} (kA/ μ s)	40	30
Energia/unidade de resistência: W_{PZ} ($10^4 A^2.s$)	0,6	0,63

Os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 indicam que as correntes de retorno de descargas negativas descendentes medidas no Morro do Cachimbo tem amplitude significativamente maior que aquelas observadas em San Salvatore. As diferenças observadas são da ordem de 50% para a primeira descarga e de 30% para descargas subsequentes. Os

demais parâmetros têm aproximadamente a mesma ordem de grandeza e, particularmente, os tempos de frente e de meia onda são bastante similares.

2.2 Efeitos das Descargas Diretas e Indiretas

A ocorrência de descargas atmosféricas promove um conjunto de efeitos que configuram diversas condições de risco, comprometendo a segurança dos seres vivos, a integridade de estruturas e a operação de sistemas elétricos, eletrônicos e de comunicação. Tais efeitos são decorrentes de dois tipos de ocorrência de descargas: as Descargas Diretas e as Descargas Indiretas.

As descargas diretas se referem às descargas que incidem diretamente sobre linhas e redes elétricas, edificações, estruturas em geral, equipamentos etc. Redes rurais de média tensão e regiões periféricas de cidades estão mais expostas a este tipo de evento do que redes instaladas em áreas urbanas. Isso ocorre devido a presença de edificações de grande porte em áreas urbanas, que exercem efeito de blindagem [4].

Na Figura 2.2, as ilustrações indicadas pela letra a indicam os casos de incidência direta sobre as redes de média e baixa tensão. A ocorrência de descargas diretas sobre o sistema de proteção contra descargas atmosféricas de edificações (SPDA) ou sobre os ramais de alimentação dos consumidores, indicada pela letra (d), é também capaz de gerar solicitações intensas nas redes de baixa tensão. Estas solicitações são particularmente críticas quando o aterramento do sistema de proteção é conectado ao aterramento da entrada de serviço do consumidor (geralmente este aterramento é ligado ao condutor neutro da rede de baixa tensão) [4].

As Descargas Indiretas, indicadas pela letra (b) na Figura 2.2, correspondem aos raios que incidem nas regiões vizinhas às redes elétricas. Tanto os circuitos de média tensão quanto os circuitos de baixa tensão estão expostos à sobretensão induzida por tais descargas [4]. O grau de severidade dos efeitos associados a este tipo de evento é muito menor do que aquele dos efeitos originados por incidência direta. No entanto, sua frequência de ocorrência é muito superior. Isto faz das sobretensões induzidas o fator crítico de condicionamento do desempenho das redes de distribuição frente a descargas atmosféricas [2,3].

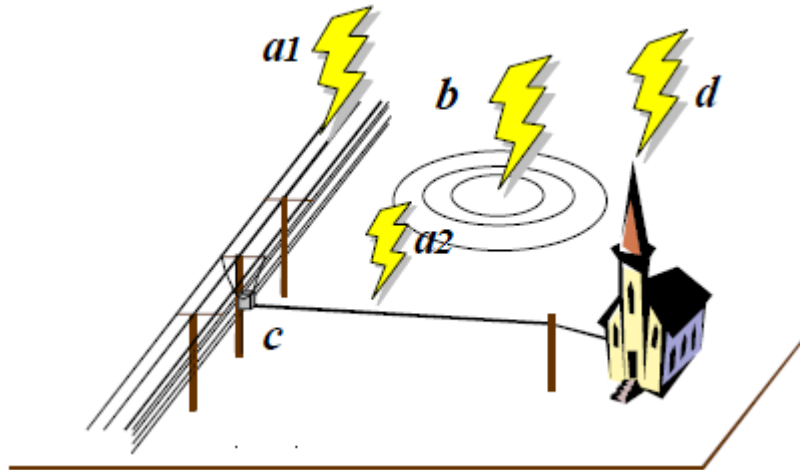


Figura 2.2- Mecanismos de interação entre as descargas atmosféricas e as redes de distribuição – Reprodução de [4].

A solicitação mais frequente no circuito de distribuição de baixa tensão decorre da propagação dos surtos gerados na rede de média tensão em pontos distantes, por descargas diretas ou indiretas, transferidos através do transformador de distribuição, devido à elevação de potencial no aterramento deste equipamento. Esta ocorrência, ilustrada na Figura 2.2 pela letra (c) é designada *sobretensão transferida* [4].

A despeito de sua severidade relativamente reduzida, a gravidade deste tipo de solicitação é importante, devido ao baixo nível de isolamento da rede de baixa tensão. Atualmente, este tipo de ocorrência vem se tornando crítico em decorrência da digitalização dos equipamentos instalados nas unidades consumidoras, que os torna mais susceptíveis aos surtos atmosféricos (equipamentos sensíveis e dispositivos eletrônicos em geral). Considera-se que, também para as redes de média tensão, o tipo mais frequente de solicitação corresponda às sobretensões de valor limitado ao nível do NBI da rede, gerado por descargas diretas distantes e pelas tensões induzidas por descargas próximas à rede, mas distantes da posição em análise da rede, ou seja, aqueles sem iluminação direta do campo eletromagnético associado à descarga [2].

2.3 Propagação de Sobretensões Transitórias e Formas de Proteção

As sobretensões transitórias são perturbações bruscas e de grande amplitude compostas por uma grande variedade de frequência (largo espectro). Essas sobretensões ou surtos de tensão ocorrem nas redes de distribuição de energia elétrica aéreas originadas por duas fontes principais: descargas atmosféricas (diretas ou induzidas) e por manobras na rede (chaveamentos). Os pulsos eletromagnéticos gerados por descargas atmosféricas são comumente chamados de LEMP (*Lightning Electromagnetic Pulse*) e os gerados por chaveamentos na rede elétrica de SEMP (*Switching Electromagnetic Pulse*) [11].

Nas redes de baixa tensão de distribuição de energia elétrica as sobretensões características de descargas atmosféricas podem se originar por vários mecanismos, conforme visto anteriormente. Essas sobretensões podem se propagar até as instalações dos consumidores e causar danos em seus aparelhos.

Diante dos diversos mecanismos de propagação das sobretensões transitórias, deve-se pensar em formas eficazes de proteção, principalmente naquelas que agem sobre as causas dessas sobretensões. Uma dessas formas é a opção pela rede subterrânea, que, sendo blindada eletromagneticamente, não está sujeita às descargas atmosféricas. Porém, o alto custo de materiais e infraestrutura de implantação normalmente a tornam economicamente inviável [11].

Buscando outras práticas de proteção adequadas à preservação da qualidade da energia fornecida aos consumidores, foi avaliado em [4] o efeito de diversos parâmetros constituintes do sistema nas sobretensões nas cargas consumidoras e no secundário dos transformadores devido à transferência de surtos atmosféricos da média para a baixa tensão. Nesse estudo foi constatado que o uso de redes multiplexadas pode levar a níveis de solicitação muito menores nas cargas consumidoras e no secundário do transformador de distribuição.

A análise da influência do comprimento das redes de baixa tensão nas sobretensões nas cargas consumidoras para uma rede de baixa tensão convencional mostrou que as menores sobretensões nas cargas são obtidas para as menores distâncias entre o consumidor e o transformador [4].

Essas duas práticas de proteção contra sobretensões de origem atmosférica apesar de adequadas às redes e aos consumidores, nem sempre são viáveis, seja por questões logísticas ou econômicas.

A utilização de para-raios na rede de baixa tensão também foi analisada em [4], que afirma que a instalação destes dispositivos no secundário do transformador de distribuição assegura a

proteção deste equipamento contra os efeitos de descargas atmosféricas. Entretanto, se forem consideradas as sobretensões transferidas, a instalação de para-raios no secundário do transformador é capaz de ampliar as sobretensões nas cargas em comparação com as sobretensões que seriam verificadas em sua ausência. Por outro lado, no caso de redes de baixa tensão instaladas em áreas rurais em que o padrão de entrada do consumidor e o transformador compartilham o mesmo poste, a presença de para-raios no secundário do transformador mostrou-se benéfica não só para o equipamento, mas também para as cargas [4].

Nos estudos realizados por [12], verificou-se que os efeitos referentes aos elevados níveis de tensões nas entradas das unidades consumidoras podem ser atenuados com a instalação de para-raios no secundário do transformador e em alguns pontos da rede secundária, porém, essa ação não é suficiente para suprimir totalmente esses efeitos.

Todas as opções apresentadas oferecem um primeiro estágio de proteção. No entanto, não são suficientes para garantir uma boa proteção aos aparelhos sensíveis dos consumidores, ou ainda, dependem de elevado investimento para a sua implementação. Dessa forma, a análise a ser realizada neste texto buscará avaliar a utilização de dispositivos de proteção junto às cargas consumidoras, conhecidos como DPS (Dispositivos de Proteção contra Surtos).

2.4 Características dos Supressores de Surto e a Normatização Referente

2.4.1 – Características Gerais dos Supressores de Surto

Os dispositivos supressores de surtos, também conhecidos como DPS, são dispositivos destinados à proteção de aparelhos e equipamentos eletroeletrônicos contra sobretensões transitórias. Eles atuam desviando as correntes inerentes aos surtos elétricos e mantendo uma determinada tensão residual em seus terminais.

Existem vários tipos de dispositivos de proteção contra surtos elétricos, dependendo das características dos componentes e dos circuitos a serem protegidos, e da tecnologia empregada em sua fabricação.

Hoje se tem disponíveis no mercado dispositivos de proteção de surto com grande capacidade energética como, por exemplo, os “*Spark Gaps*” ou centelhadores. Esses dispositivos possuem dois eletrodos isolados por um dielétrico, normalmente constituído de ar ou de gás. Quando o componente é submetido a uma tensão maior que a rigidez dielétrica do gás contido na câmara pressurizada, uma descarga elétrica ocorre entre os eletrodos internos,

colocando em curto-circuito os terminais a serem protegidos e reduzindo assim a tensão do surto [20].

Existem também os DPS a base de Diodos de Avalanche de Silício (SAD – *Silicon Avalanche Diode*). Diodos de avalanche de silício são dispositivos semicondutores de estado sólido projetados para a supressão de surtos de origem atmosférica de baixa energia e descargas eletrostáticas. Apresentam um rápido tempo de resposta e baixa tensão residual. A aplicação deste tipo de componente é feita com maior frequência nas proximidades de circuitos de comunicação e circuitos eletrônicos de extrema sensibilidade [20].

Também existem os DPS que utilizam os varistores como componentes para a supressão de surtos, também citado em diversas literaturas como MOV (*Metal-Oxide Varistor*). O material construtivo mais comum deste tipo de componente é o óxido de zinco (ZnO), que possui propriedades semicondutoras e características não lineares de tensão versus corrente [22]. A figura 2.3 ilustra a curva tensão x corrente de um varistor.

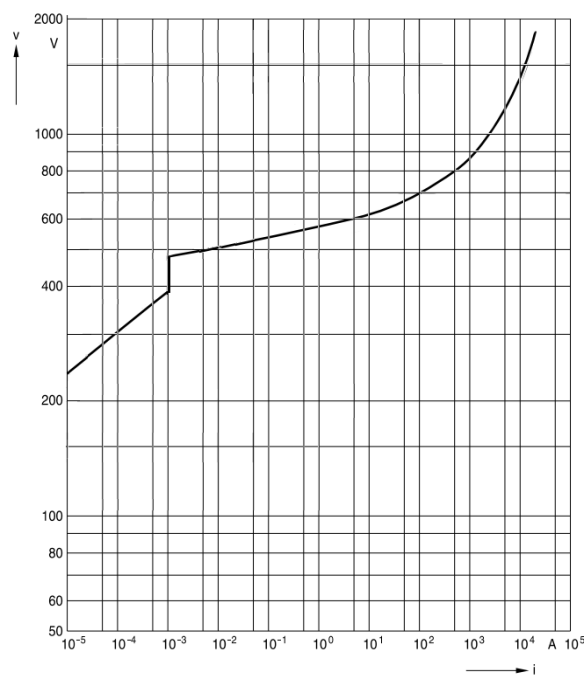


Figura 2.3: Característica não linear da tensão x corrente de um varistor [22]

Para tensões inferiores à tensão nominal de operação, o componente limita a corrente a alguns poucos μA . A partir da tensão de operação, o varistor passa a conduzir grandes correntes elétricas. Isto significa que o componente “entra em curto circuito” quando submetido a tensões elétricas superiores à sua tensão nominal de funcionamento. Embora seja usado o termo curto circuito, vale lembrar que o componente possui uma impedância não nula mesmo durante seu período de condução. Existem varistores comerciais de diversos formatos e potências para

aplicações nas mais diferentes situações. A aplicação e seleção desses varistores constitui o foco deste trabalho.

2.4.2 – *Normalização do que diz respeito aos Supressores de Surto*

A Norma **IEC 61643-1** [16] distingue os DPS em três classes, de acordo com o nível de proteção: Classe I, Classe II e Classe III.

- Classe I: Os DPS Classe I permitem eliminar os efeitos diretos causados por descargas atmosféricas. O DPS Classe I deve ser instalado obrigatoriamente quando a edificação está protegida por um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Os ensaios do DPS Classe I são realizados com uma corrente de impulso de forma de onda 10/350 μ s.

- Classe II: Os DPS Classe II são destinados a proteger os equipamentos elétricos contra os efeitos indiretos causados pelas descargas atmosféricas, ou seja, as sobretensões induzidas. Os ensaios do DPS Classe II são efetuados com corrente máxima de descarga ($I_{m\acute{a}x}$) de forma de onda 8/20 μ s e 1,2/50 μ s para a tensão.

- Classe III: Os DPS Classe III são destinados à proteção fina de equipamentos situados a mais de 30 m do DPS localizado na entrada. O DPS Classe III é testado com uma forma de onda de corrente combinada 1,2/50 μ s e 8/20 μ s.

A norma **ANSI/IEEE C 62.41.2-2002** [17] recomenda a aplicação de dispositivos de proteção na entrada principal do consumidor a fim de propiciar um primeiro estágio de proteção, e sugere ainda a instalação de outros dispositivos de forma coordenada, ou seja, a “filosofia de proteção em cascata”. O número de estágios de um sistema de proteção irá depender das características do aparelho a ser protegido e das instalações elétricas.

Com o objetivo de obter um melhor desempenho da proteção através da coordenação entre os estágios de dispositivos de proteção, a norma ANSI/IEEE C 62.41.2-2002 [17] propõe que a proteção seja dividida em três categorias (C, B e A) e indica os valores esperados das sobretensões e correntes nas várias partes (categorias) da instalação.

Segundo a norma ANSI/IEEE C 62.41.2-2002 [17], a categoria C aplica-se à parte externa da estrutura (na entrada de serviço), e se estende até certo ponto para o interior da edificação. Esta categoria classifica as sobretensões esperadas em até 10 kV e correntes maiores que 10 kA.

A categoria A é situada à uma certa distância em relação à entrada de serviço. Esta categoria classifica as sobretensões esperadas de até 6 kV e correntes de 200 A.

Já a categoria B está localizada entre as categorias C e A. As sobretensões esperadas também são de até 6 kV e as correntes de 3 kA. O conceito de divisão da proteção em categorias reconhece a existência de faixas de transição que ligam as categorias por sobreposição.

A Figura 2.4, ilustra a filosofia de proteção por zonas recomendada pela norma ANSI/IEEE C 62.41.2 -2002 [17].

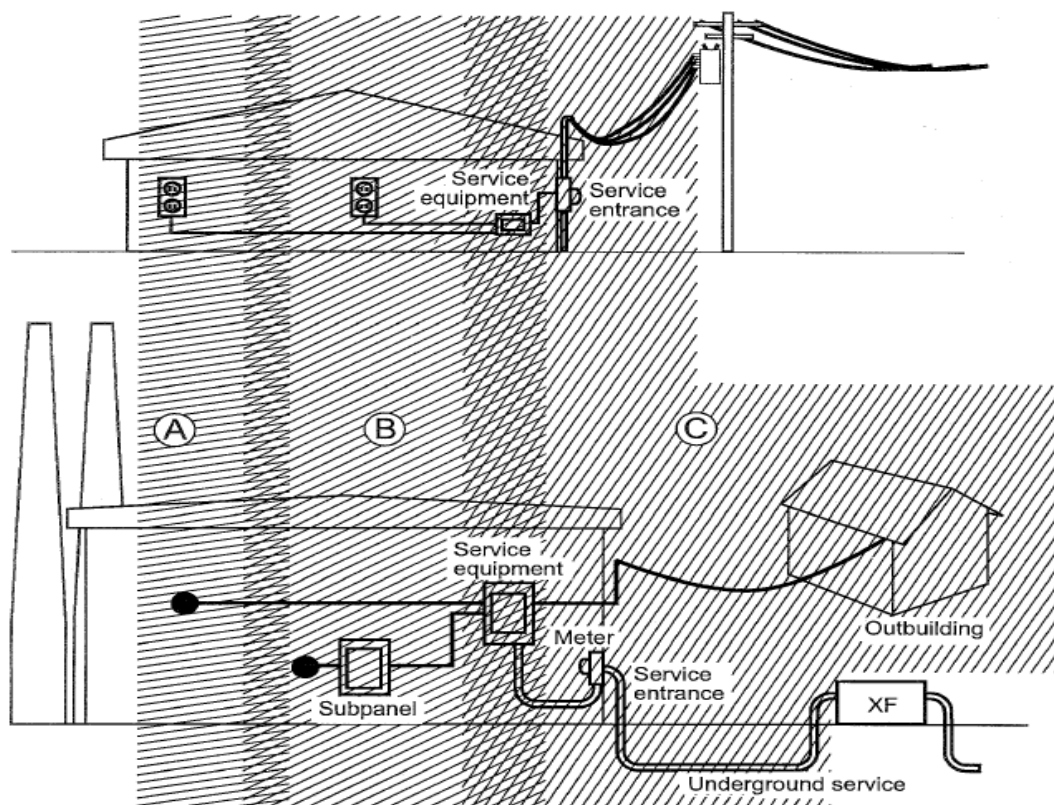


Figura 2.4: Ilustração simplificada da localização das categorias e das faixas de transição conforme ANSI/IEEE C 62.41.2 -2002 [17].

A norma alemã **DIN VDE 0675-6** [23] classifica os dispositivos de proteção contra surtos em 4 classes de aplicação (classes A, B, C e D), dependendo da localização da instalação, conforme segue:

- Classe “A” – para instalação nas linhas aéreas.
- Classe “B” – para instalação na entrada de serviço do consumidor.
- Classe “C” – para instalação nos quadros de distribuição internos; e
- Classe “D” – para instalação nas tomadas e terminais dos aparelhos.

De acordo com a norma alemã DIN VDE 0675-6 os DPS classe “A” são projetados para suportar as intempéries a que as redes aéreas de baixa tensão estão sujeitas. Normalmente, são compostos de centelhadores associados com varistores de óxido metálico. Os DPS classe “B” são projetados para serem instalados em ambientes abrigados e para suportarem correntes de descargas atmosféricas diretas, sendo testados com forma de onda impulsiva de corrente 10/350 μ s com corrente máxima de 100 kA, e apresentam tensões disruptivas residuais máximas de 4 kV.

Ainda de acordo com a norma alemã DIN VDE 0675-6, em instalações não sujeitas às descargas diretas, os DPS classe “C” atendem plenamente às condições de severidade dos surtos nas entradas de serviço de energia elétrica (quadro de medição). Estes são, geralmente, compostos por varistores de óxido metálico e são projetados para suportarem pelo menos 15 solicitações de 122 correntes induzidas ou amortecidas de 15 a 20 kA na forma de onda impulsiva de teste 8/20 μ s, apresentando tensão residual máxima de 1,5 kV. Finalmente, os DPS classe “D” são projetados para correntes induzidas ou amortecidas de 2 a 6 kA, considerando uma corrente impulsiva de teste 8/20 μ s, apresentando tensão residual máxima de 0,8 kV.

A norma **IEC 60.664-1** [15] adota uma filosofia que fornece as tensões suportáveis pelos aparelhos nas várias categorias da instalação e apresenta um conceito de controle de sobretensões baseado em quatro categorias. Dependendo da sensibilidade do aparelho a ser protegido, é estabelecido o número de estágios.

Categoria “IV” - linhas aéreas de baixa tensão e entradas de serviço em baixa tensão (quadros de medição). Estabelece que os aparelhos (ex.: medidor de energia, equipamentos de proteção contra sobrecorrente, etc.) devam suportar 4 kV de sobretensão transitória.

Categoria “III”- instalações fixas após a categoria “IV” (quadros de distribuição). É estabelecido que os aparelhos suportem até 2,5 kV.

Categoria “II” - quadros de sub distribuição e circuitos terminais, aparelhos portáteis que suportam 1,5 kV de tensão impulsiva poderão ser instalados.

Categoria “I” - equipamentos especiais e da tecnologia da informação, que suportam tensão máxima de 0,8 kV.

A Tabela 2.3, retirada da norma em questão, mostra os valores recomendados de suportabilidade a sobretensões transitórias de acordo com a categoria dos aparelhos e equipamentos.

Tabela 2.3: Níveis de suportabilidade de equipamentos - Adaptado da norma IEC 60.664-1 [15].

Tensão nominal da instalação (V)		Tensão de impulso suportável requerida (KV)			
		Categoria de Produto			
Sistemas Trifásicos	Sistemas monofásicos com neutro	Produto a ser utilizado na entrada da instalação	Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais	Equipamentos de utilização	Produtos especialmente protegidos
		Categoria de suportabilidade a impulsos			
		IV	III	II	I
-	120-240	4	2,5	1,5	0,8
230/400 277/480	-	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5
1000		Valores sujeitos aos engenheiros de sistemas			
Categoria I é destinada a equipamentos especiais de engenharia. Categoria II é destinada aos comitês de produtos para equipamentos de ligação à rede. Categoria III é destinada aos comitês de produtos de material de instalação e algumas comissões especiais de produtos. Categoria IV é destinada ao atendimento de autoridades e engenheiros de sistemas.					

2.4.3 – Parâmetros e características elétricas dos dispositivos de proteção

Para prover uma proteção efetiva aos aparelhos, os módulos protetores devem ser compatíveis com a susceptibilidade dos aparelhos e ter vida útil compatível com o grau de severidade dos distúrbios elétricos [11].

Conforme a norma IEC 61643-1 [16], os parâmetros listados abaixo devem ser informados pelos fabricantes:

Nível de proteção (U_p): Parâmetro que caracteriza a operação de um protetor de surto pelo nível de tensão residual entre os seus terminais. Sua função principal consiste em reduzir a tensão ao nível suportado pelos equipamentos ligados a jusante.

Corrente nominal de descarga (I_n): Valor de pico de corrente com forma de onda 8/20 μ s que é aplicada 15 vezes no protetor de surto para determinar o valor do nível de proteção.

Máxima corrente de descarga (para o teste de classe II) ($I_{m\acute{a}x}$): É o valor de pico de corrente máxima que pode fluir pelo protetor de surto na onda 8/20 μ s. Sua amplitude é definida de acordo com a sequência de teste de operação para classe II. $I_{m\acute{a}x}$ é sempre maior do que I_n .

Corrente de impulso (para o teste de classe I) (I_{imp}): A corrente de impulso I_{imp} é definida por uma corrente de pico I_{peak} e carga Q , e é testada de acordo com a sequência de teste de operação para classe I. Esse parâmetro é usado para classificar protetores de surto de classe I (a onda 10/350 μ s corresponde a essa definição).

Tensão nominal de uma rede (U_n): Tensão nominal entre fase e neutro (Valor rms em corrente alternada).

Máxima tensão de operação contínua (MTOC) (U_c): É o valor que pode ser aplicado continuamente em um protetor de surto sem que o DPS inicie o processo de condução. Essa tensão deve ser estabelecida de acordo com a tensão nominal da rede. Deve-se considerar para o estabelecimento da MTOC que os DPS estarão susceptíveis a sobretensões temporárias provocadas por acidentes na rede elétrica, tais como, por exemplo, falta de neutro ou até mesmo curto-circuito em outras instalações de tensões mais elevadas. Como qualquer outro componente eletrônico, os DPS também podem sofrer sobrecargas em função de sobretensões temporárias, porém essas falhas não podem comprometer a segurança das instalações.

Sobretensão temporária suportada (U_T): Máxima sobretensão c.a. ou c.c. que excede a tensão de operação contínua (U_c) à qual o protetor de surto pode ser submetido por um tempo determinado.

Corrente de curto-circuito da instalação (kA rms) (I_p): É a corrente que vai fluir em um ponto da instalação no caso de curto-circuito nesse ponto.

2.4.4 – Estudo da norma NBR 5410:2004

A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão [19], que dita as regras e diretrizes a serem seguidas em instalações elétricas no Brasil, também trata a questão das sobretensões na sua nova versão (de setembro de 2004, com data de vigência a partir de 01/04/2005).

A NBR 5410 é baseada na norma internacional IEC 60364: *Electrical Installations of Buildings* [14] e fixa as condições que as instalações de baixa tensão (com tensão de operação menor ou igual a 1000 Volts) devem atender, aplicando-se a instalações novas e a reformas em instalações existentes.

No que diz respeito à proteção contra sobretensões provenientes de faltas e manobras nas redes da concessionária, fenômenos de ressonância e de descargas atmosféricas conduzidas pela rede de alimentação, a NBR 5410 faz várias abordagens nos seus diversos capítulos.

Na NBR 5410:2004, as diretrizes sobre o tema “Proteção contra sobretensões e perturbações eletromagnéticas” estão contidas no capítulo 5.4. A seção 5.4.2 trata das sobretensões transitórias e o artigo 5.4.2.1 é dedicado à proteção nas linhas de energia. O artigo 5.4.2.2 refere-se à proteção em linhas de dados.

Particularmente, no parágrafo 5.4.2.1.1 são descritas as condições em que as instalações de DPS são necessárias e exigidas:

- “Quando a instalação for alimentada por linha total ou parcialmente aérea, ou incluir ela própria linha aérea, e se situar em região sob condições de influências externas AQ2 (mais de 25 dias de trovoadas por ano);
- “Quando a instalação se situar em condições de influências externas AQ3”.

A Tabela 2.4 informa com maiores detalhes as condições exigidas.

Tabela 2.4: Descargas Atmosféricas - Representação da Tabela 15 da norma NBR 5410:2004 [19].

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AQ1	Desprezíveis	≤ 25 dias por ano	-
AQ2	Indireta	> 25 dias por ano. Riscos provenientes da alimentação	Instalações alimentadas por redes aéreas
AQ3	Diretas	Riscos provenientes da exposição dos componentes da instalação	Partes da instalação situadas no exterior da edificação

Em nota a norma admite que a proteção contra sobretensões exigida no parágrafo 5.4.2.1.1 possa não ser provida se as consequências dessa omissão, do ponto de vista material, constituírem um risco calculado e assumido. Porém, prescreve que em nenhuma hipótese a proteção pode ser dispensada se essas consequências puderem resultar em risco direto ou indireto à segurança e à saúde das pessoas.

O parágrafo 5.4.2.1.2 lembra que a proteção contra sobretensões transitórias pode ser provida por DPS ou por meios que garantam a atenuação no mínimo igual àquela obtida pelos DPS.

O parágrafo 5.4.2.2.1 exige que todas as linhas metálicas de sinal (sem exceção) sejam protegidas no ponto de entrada e ou saída da edificação.

A necessidade de proteções adicionais em outros pontos e em particular junto aos equipamentos mais sensíveis está prevista em 5.4.2.2.2.

O artigo 5.4.2.3, referente à suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação, define o valor de sobretensão que os equipamentos elétricos de baixa tensão devem suportar sem danos (referência à IEC 60.664-1 e o anexo E). A Tabela 2.5 apresenta esses valores.

Tabela 2.5: Suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação - Reprodução da Tabela 31 NBR 5410:2004 [19].

Tensão nominal da instalação (V)		Tensão de impulso suportável requerida (KV)			
		Categoria de Produto			
Sistemas Trifásicos	Sistemas monofásicos com neutro	Produto a ser utilizado na entrada da instalação	Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais	Equipamentos de utilização	Produtos especialmente protegidos
		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

No artigo 5.4.3.6, determina-se que em toda edificação alimentada por linha elétrica TN C, deve-se passar ao esquema TN S a partir do ponto de entrada da linha na edificação, ou a partir do quadro de distribuição principal. O esquema permanecerá TN C nas seguintes situações:

- Caso não seja prevista a instalação imediata ou futura de equipamentos eletrônicos interligados por ou compartilhando linha de sinal (em particular linhas de sinal baseadas em cabos metálicos),
- Edículas ou construções adjacentes distantes não mais de 10 metros da edificação principal, eletricamente integradas a esta, com infraestrutura de aterramento provenientes da edificação principal, ou eletrodos de aterramento interligados a ela não precisam ser providas individualmente de uma equipotencialização principal.

A seção 6.3.5 da NBR 5410:2004 fornece as diretrizes sobre “Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)” tanto em linhas de energia (artigo 6.3.5.2) quanto em linhas de sinal (artigo 6.3.5.3).

No que diz respeito à utilização de DPS em linhas de energia, o parágrafo 6.3.5.2.1 referente à disposição destes dispositivos informa que devem-se seguir os seguintes critérios:

- a) quando o objetivo for a proteção contra sobretensões de origem atmosférica transmitidas pela linha externa de alimentação, bem como a proteção contra sobretensões de manobra, os DPS devem ser instalados junto ao ponto de entrada da linha na edificação ou no quadro de distribuição principal, localizado o mais próximo possível do ponto de entrada; ou

b) quando o objetivo for a proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, os DPS devem ser instalados no ponto de entrada da linha na edificação.

Em nota, a norma prescreve que em instalações já existentes é permitido que os DPS sejam instalados na caixa de medição, desde que esta não diste mais de 10 metros do ponto de entrada na edificação e que a barra PE, onde vão ser ligados os DPS, seja conectada ao barramento de equipotencialização principal da edificação.

A terceira e quarta notas informam que, para proteção de equipamentos sensíveis, pode ser necessária a instalação de DPS adicionais sendo necessário coordená-los, e que os DPS que fizerem parte da instalação fixa e não se encontravam instalados em quadros de distribuição devem ter sua presença indicada através de etiqueta ou identificador similar, na origem ou o mais próximo possível da origem do circuito ao qual está inserido.

A Figura 2.5 mostra o fluxograma existente no parágrafo 6.3.5.2.2 da norma NBR 5410:2004 [19] que explica os esquemas de conexão dos dispositivos de proteção contra surtos.

O parágrafo 6.3.5.2.4 se refere à “Seleção dos DPS”: Os DPS devem atender à IEC 61643-1 [16] e ser selecionados com base no mínimo nas seguintes características:

- Nível de proteção (U_p);
- Máxima tensão de operação contínua (U_c);
- Suportabilidade a sobretensões temporárias;
- Corrente nominal de descarga (I_n) e ou corrente de impulso (I_{imp}) dependendo da(s) Classe(s) atendida(s);
- Suportabilidade à corrente de curto-circuito.

Além disso, quando utilizados em mais de um ponto da instalação (em cascata), os DPS devem ser selecionados levando-se em conta também a sua coordenação.

As condições são as seguintes:

a) Nível de proteção (U_p) – O nível de proteção deve ser compatível com a categoria II de suportabilidade a impulsos (1,5 a 4 kV dependendo da tensão) de acordo com a tabela 31 da norma, já apresentada na figura 2.8.

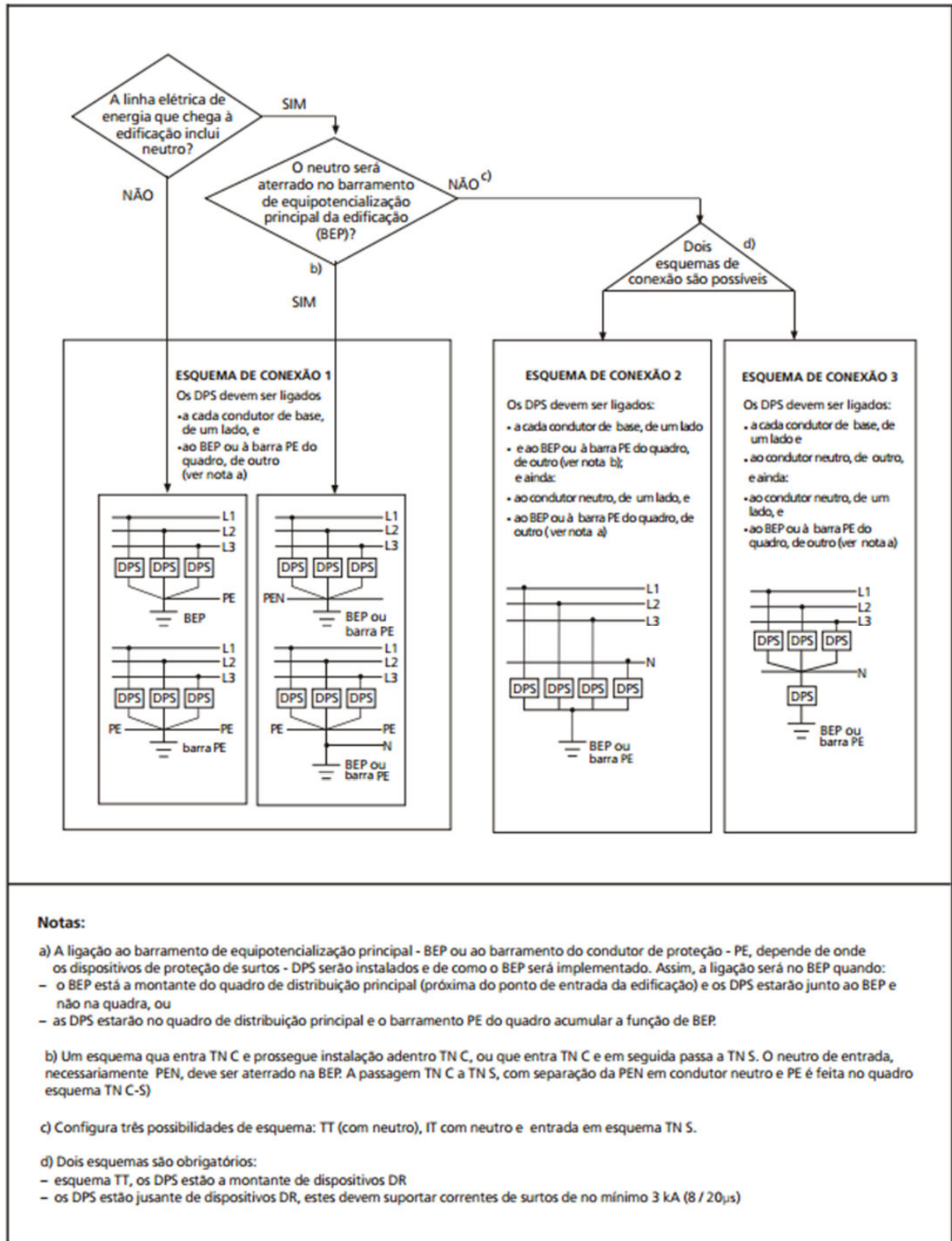


Figura 2.5: Fluxograma explicativo dos esquemas de conexão do DPS segundo a norma NBR 5410:2004 [19].

- Quando o nível de proteção exigido não puder ser atendido com um só conjunto de DPS devem ser providos DPS suplementares;

Em nota, a norma diz que a exigência de que o nível de proteção seja compatível com a categoria II de suportabilidade a impulsos significa que numa instalação com tensão nominal de, por exemplo, 220/380 V, o nível de proteção U_p do DPS não deve ser superior a 2,5 kV. O requisito refere-se à proteção de modo comum e é válido, em particular, quando o DPS é único, posicionado no ponto de entrada ou no quadro de distribuição principal. Os DPS adicionais e, em particular, aqueles destinados à proteção de equipamentos alimentados entre fase e neutro (proteção diferencial), devem ter um nível de proteção menor.

b) A máxima tensão de operação contínua (U_c) dos DPS deve ser igual ou maior aos valores indicados na Tabela 2.6 a seguir:

Tabela 2.6: Valor mínimo de U_c exigível do DPS segundo a norma NBR 5410:2004 [19].

DPS conectado entre				Esquemas de aterramento				
Fase	Neutro	PE	PEN	TT	TNC	TNS	IT com neutro	IT sem neutro
X	X			$1,1 U_0$		$1,1 U_0$	$1,1 U_0$	
X		X		$1,1 U_0$		$1,1 U_0$	$\sqrt{3} U_0$	U
X			X		$1,1 U_0$			
	X	X		U_0		U_0	U_0	

c) Sobretensões temporárias: O DPS deve atender aos ensaios pertinentes especificados na IEC 61.643-1, que prevê que o DPS suporte estas sobretensões e que os DPS conectáveis ao PE não ofereçam nenhum risco à segurança em caso de destruição provocada por estas sobretensões devidas a faltas na média tensão e por perda do neutro.

d) Corrente nominal de descarga (I_n) e corrente de impulso (I_{imp}):

De acordo com a destinação do DPS deve ser determinada a corrente nominal (I_n) ou de impulso (I_{imp}), sendo que se distinguem três situações como resumido na Tabela 2.7:

Tabela 2.7: Características dos DPS para destinação em proteção contra sobretensões segundo norma NBR 5410:2004 [19].

Características dos DPS para destinação em proteção contra sobretensões		Simultaneamente provocadas por descargas diretas e transmitidas pela linha externa	Apenas por descargas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades	Apenas transmitidas pela linha externa de alimentação ou de manobra
Corrente aplicada nos DPS	I_n	X		X
	I_{imp}	X	X	
Capacidade mínima de corrente do DPS usado entre fase e neutro ou entre fase e terra		$I_{imp} = 12,5 \text{ kA}, 6,25 \text{ As (10/350)}$ e $I_n = 5 \text{ kA (8/20)}$	$I_{imp} = 12,5 \text{ kA}, 6,25 \text{ As (10/350)}$	$I_n = 5 \text{ kA (8/20)}$
Capacidade mínima de corrente do DPS usado entre neutro e PE no esquema de conexão 3	Monofásico	$I_{imp} = 25 \text{ kA}, 12,5 \text{ As (10/350)}$ e $I_n = 10 \text{ kA (8/20)}$	$I_{imp} = 25 \text{ kA}, 12,5 \text{ As (10/350)}$	$I_n = 10 \text{ kA (8/20)}$
	Trifásico	$I_{imp} = 50 \text{ kA}, 25 \text{ As (10/350)}$ e $I_n = 20 \text{ kA (8/20)}$	$I_{imp} = 50 \text{ kA}, 25 \text{ As (10/350)}$	$I_n = 20 \text{ kA (8/20)}$
Classe de acordo com a IEC 61.643-11		Classe I e II simultaneamente	Classe I	Classe II

- A corrente de impulso (I_{imp}) deve ser determinada com base na IEC 61.312-1; e
- O ensaio para determinação da I_{imp} é baseado num valor de crista da corrente, dado em kA, e num valor de carga, dado em Coulombs; e
- Não é fixada uma forma de onda particular para a realização desse ensaio e, portanto, essa forma de onda pode ser a 10/350, 10/700, 10/1000 ou, ainda a 8/20, não se descartando outras; e
- Também não são fixadas restrições quanto ao tipo de DPS que pode ser submetido a tal ensaio curto-circuitante, não-curto-circuitante, ou combinado.

e) Suportabilidade à corrente de curto-circuito:

Tendo em vista a possibilidade de falha do DPS, sua suportabilidade a correntes de curto-circuito, já levando em conta a ação do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes que o integrar ou for especificado pelo fabricante, deve ser igual ou superior à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que vier a ser instalado. Além disso, quando o DPS incorporar centelhador (es), a capacidade de interrupção de corrente subsequente declarada pelo fabricante deve ser igual ou superior à corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação do dispositivo. Para os DPS a serem conectados entre neutro e PE, a capacidade de interrupção de

corrente subsequente deve ser de no mínimo 100 A, em esquema TN ou TT, e deve ser a mesma dos DPS conectados entre fase e neutro, no caso de esquema IT.

f) Coordenação dos DPS: Os fabricantes de DPS devem fornecer, em sua documentação, instruções claras e suficientes sobre como obter coordenação entre os DPS dispostos ao longo da instalação.

3 Metodologia

Conforme descrito anteriormente, os surtos causados por descargas atmosféricas ou chaveamentos podem causar mau funcionamento ou danos permanentes em equipamentos eletroeletrônicos em instalações de baixa tensão. Assim, torna-se importante verificar o comportamento dos dispositivos de proteção contra surtos, o que neste trabalho será realizado através de simulações computacionais.

3.1 Caracterização de equipamentos residenciais

A caracterização dos equipamentos residenciais quando submetidos a sobretensões impulsivas baseia-se nos trabalhos desenvolvidos por Bassi [6], que propôs modelos de cargas residenciais baseados em medições reais. Em seus trabalhos, Bassi [6] contribui para a definição de modelos compostos basicamente de redes RLC, que podem ser facilmente utilizados em programas de simulação tais como PSpice e/ou EMTP/ATP.

Com base em medições realizadas em laboratório, foram sintetizados circuitos RLC que reproduzem razoavelmente as curvas de impedância de entrada em função da frequência para cada um dos equipamentos eletroeletrônicos avaliados. As medições de impedância foram efetuadas na faixa de alguns Hz até a ordem de vários MHz, valor considerado adequado aos fenômenos associados a descargas atmosféricas. Como avaliação, foram calculados diversos conteúdos espectrais de formas de onda típicas obtidas em simulações.

As Figuras 3.1 a 3.5 apresentam as curvas de módulo e fase da impedância de entrada dos grupos de equipamentos utilizados neste trabalho e propostas em [6], bem como os modelos sugeridos para sua representação.

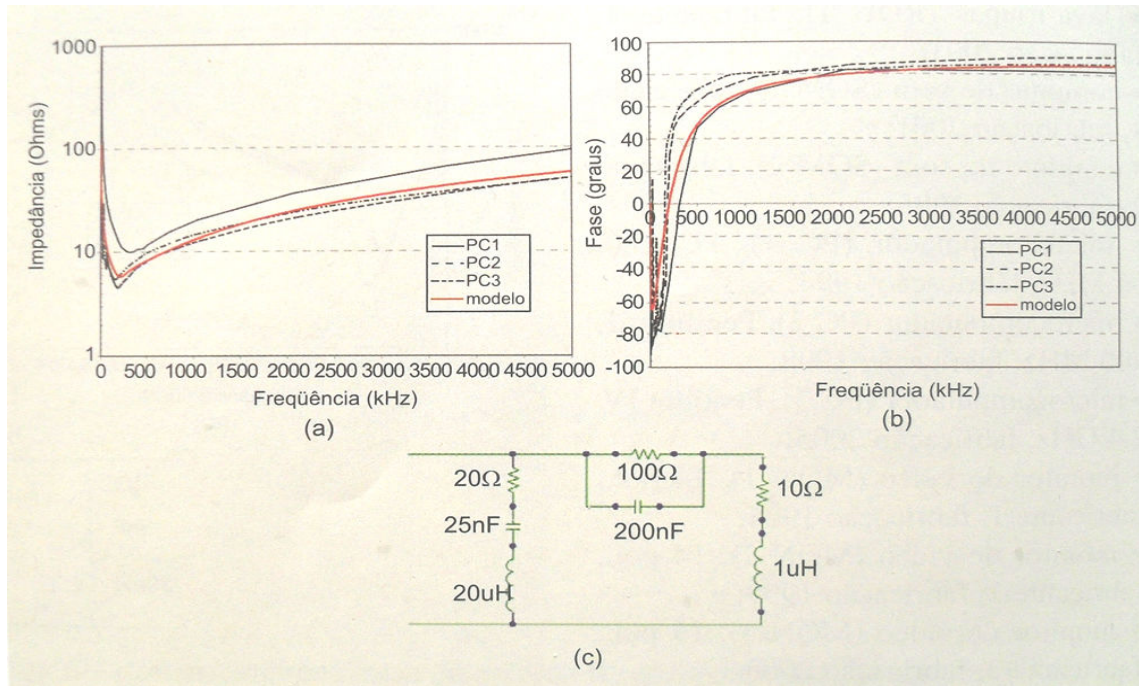


Figura 3.1 – Curvas da Impedância de entrada do grupo microcomputador (a) módulo (b) fase, medidas e calculadas utilizando-se do modelo (c). Reprodução de [6].

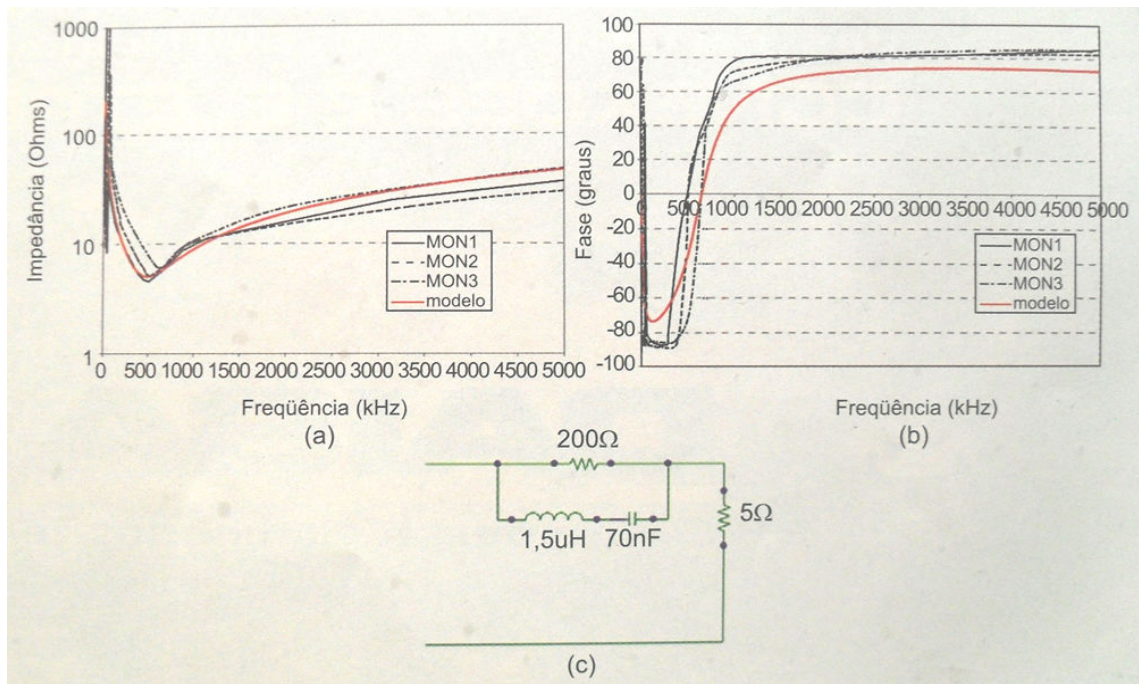


Figura 3.2 – Curvas da Impedância de entrada do grupo monitor de vídeo (a) módulo (b) fase, medidas e calculadas utilizando-se do modelo (c). Reprodução de [6].

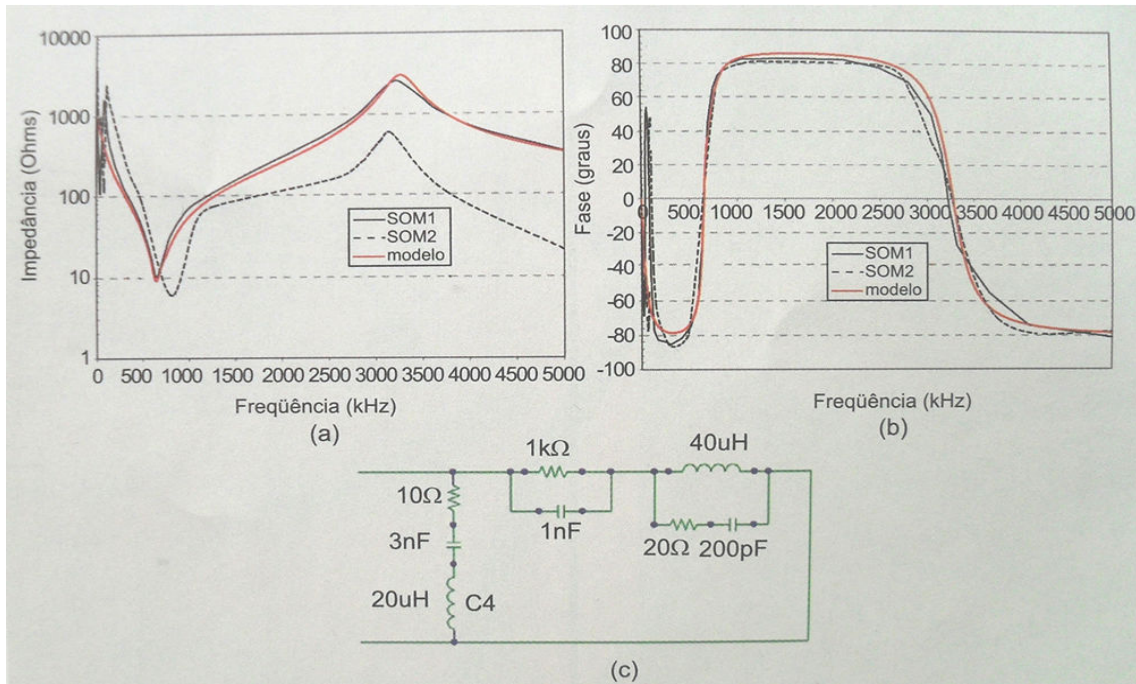


Figura 3.3 – Curvas da Impedância de entrada do grupo conjunto de som (a) módulo (b) fase, medidas e calculadas utilizando-se do modelo (c). Reprodução de [6].

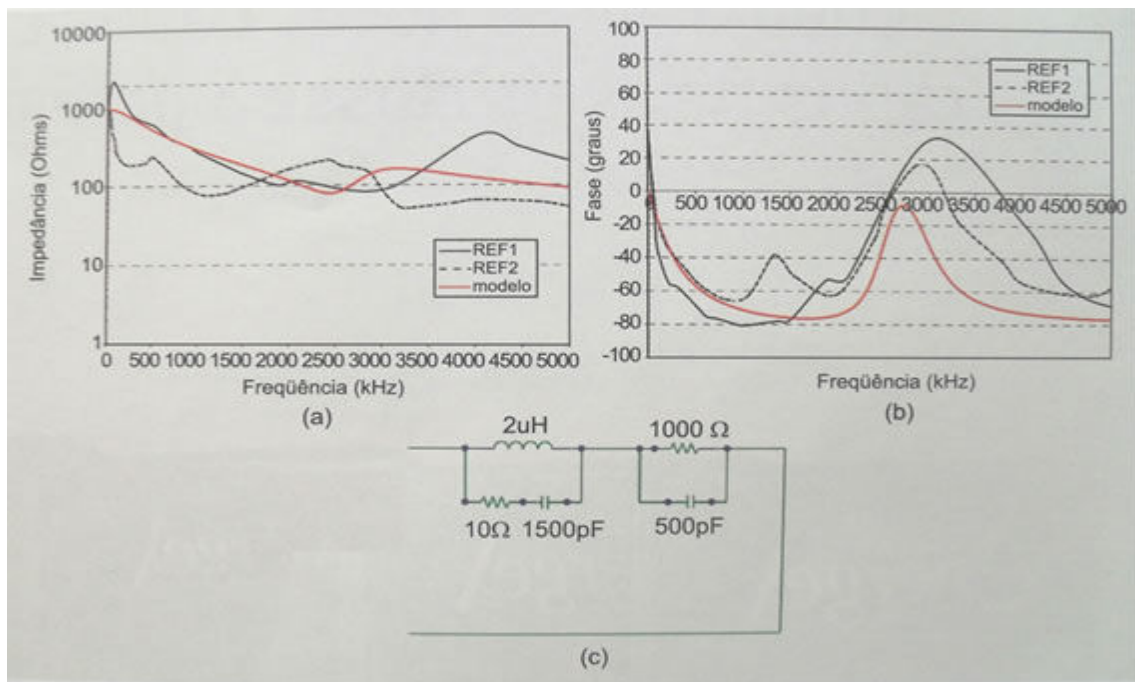


Figura 3.4 – Curvas da Impedância de entrada do grupo Refrigerador (a) módulo (b) fase, medidas e calculadas utilizando-se do modelo (c). Reprodução de [6].

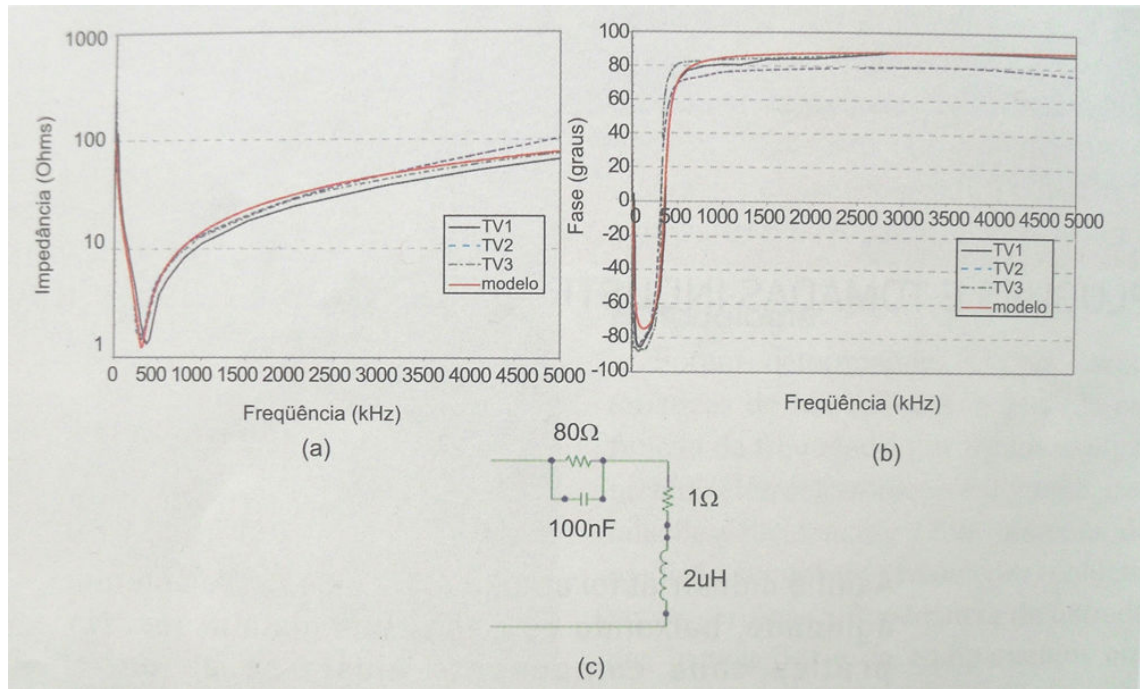


Figura 3.5 – Curvas da Impedância de entrada do grupo aparelho de TV (a) módulo (b) fase, medidas e calculadas utilizando-se do modelo (c). Reprodução de [6]

3.2 Dispositivos Protetores de Surto utilizados na Simulação

3.2.1– Características dos DPS existentes no mercado

Conforme salientado no capítulo 2, a norma NBR 5410:2004 informa que os DPS devem atender à norma IEC 61643-1 e serem selecionados com base nas seguintes características: nível de proteção, máxima tensão de operação contínua, suportabilidade a sobretensões temporárias, corrente nominal de descarga e/ou corrente de impulso dependendo da Classe atendida, e suportabilidade à corrente de curto-circuito.

Além disso, quando utilizados em mais de um ponto da instalação, em cascata, os DPS devem ser selecionados levando-se em conta também a sua coordenação.

O primeiro dispositivo considerado nas análises computacionais apresentados neste texto, é descrito pelas características técnicas apresentadas na Figura 3.6. Essas características foram obtidas junto a um fabricante que atua há mais de vinte anos no mercado de dispositivos protetores de surto [22]. O DPS pertence à linha de produtos conhecidos como “VCL Slim”, que utiliza a tecnologia de proteção baseada na utilização do varistor de óxido de zinco e atendem aos requisitos da norma IEC 61643-1 bem como aos da NBR 5410. O comportamento da curva tensão x corrente do varistor foi disponibilizado pelo fabricante [21] e pode ser

verificado na Figura 3.6. O dispositivo em questão é projetado para ser instalado na entrada de serviço do consumidor.

Características Técnicas

Descrição (versão básica)	Máxima tensão de operação contínua (Uc)		Corrente de descarga nominal (In) - 15 a 20 aplicações (8/20) us	Corrente máxima de descarga (Imáx.) - 2 aplicações (8/20) us	Corrente máxima de descarga (limp.) (10/350) μs	Nível de proteção (Tensão residual) em função de In (Up/Ures)	Máxima energia de pulso (W _{máx.}) @ (10/1000) μs	Máxima potência de dissipação (P _{máx.})
	~	-						
VCL 275 V 45 kA Slim	275 V	350 V	20 kA	45 kA	45 kA	1,5 kV	1280 J	1,4 W

Características Técnicas	
Aplicação	Entre (F / N), (F / PE) e (F / PEN)
Tecnologia de proteção	Varistor de Óxido de Zinco - MOV
Tempo de resposta	< 25 ns
Temperatura nominal de operação	- 40 °C a + 80 °C
Temperatura máxima de operação	- 40 °C a + 125 °C
Máxima corrente de curto-circuito	10 kA @ 50 / 60 Hz; *5 kA @ 50 / 60 Hz
Valores máximos para o contato da supervisão remota	1 A @ 120 Vca / 1 A @ 24 Vcc
Conexão à rede elétrica	Bornes a parafuso para cabos de 4 a 16 mm ²
Conexão da sinalização remota	Conector a parafuso para cabos de até 2,5 mm ²
Grau de proteção	IP 20
Fixação	Trilho 35 mm padrão DIN / Garras padrão NEMA
Cor	Vermelho
Acondicionamento	Caixa termoplástica, não propagante à chama
Dimensões (modelo básico)	90 x 64 x 18 mm (comprimento x altura x largura)
Dimensões (modelo com sinalização remota)	94 x 64 x 18 mm (comprimento x altura x largura)

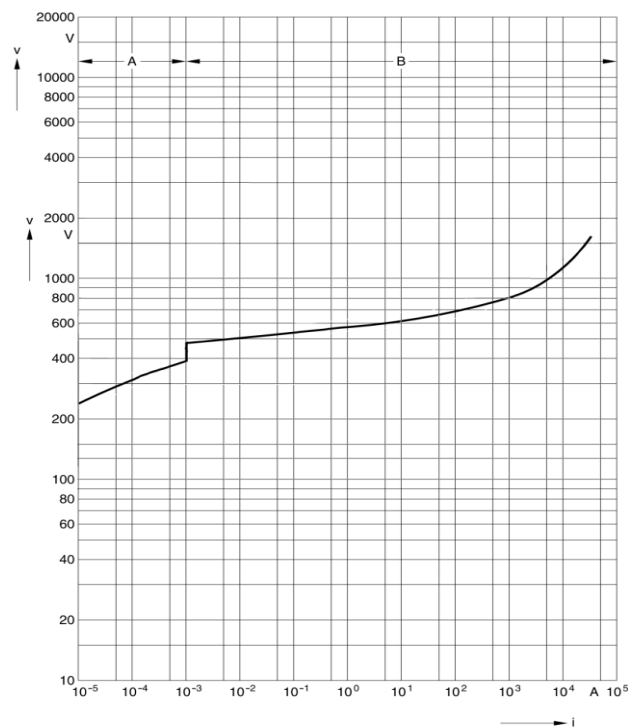


Figura 3.6 – Características Gerais de um Supressor de surto [22] e curva Tensão x Corrente do varistor utilizado na entrada de serviço do consumidor [21]

A fim de testar a coordenação de dispositivos supressores de surto, foi instalado um segundo componente em um quadro de distribuição localizado entre a entrada de serviço do consumidor e a carga. As características deste componente estão ilustradas na Figura 3.7. Assim como o dispositivo instalado na entrada de serviço do consumidor, o DPS descrito na Figura 3.7 também pertence à linha de produtos conhecidos como “VCL Slim” do mesmo fabricante [22] e também utiliza a tecnologia de proteção baseada no emprego do varistor de óxido de zinco.

Características Técnicas

Descrição (versão básica)	Máxima tensão de operação contínua (Uc)		Corrente de descarga nominal (In) - 15 a 20 aplicações (8/20) us	Corrente máxima de descarga (Imáx.) - 2 aplicações (8/20) us	Corrente máxima de descarga (Iimp.) (10/350) μs	Nível de proteção (Tensão residual) em função de In (Up/Ures)	Máxima energia de pulso (W _{máx.}) @ (10/1000) μs	Máxima potência de dissipação (P _{máx.})
	~	-						
VCL 275 V 20 kA Slim	275 V	350 V	10 kA	20 kA	20 kA	1,5 kV	530 J	1,0 W

Características Técnicas	
Aplicação	Entre (F / N), (F / PE) e (F / PEN)
Tecnologia de proteção	Varistor de Óxido de Zinco - MOV
Tempo de resposta	< 25 ns
Temperatura nominal de operação	- 40 °C a + 80 °C
Temperatura máxima de operação	- 40 °C a + 125 °C
Máxima corrente de curto-circuito	10 kA @ 50 / 60 Hz; *5 kA @ 50 / 60 Hz
Valores máximos para o contato da supervisão remota	1 A @ 120 Vca / 1 A @ 24 Vcc
Conexão à rede elétrica	Bornes a parafuso para cabos de 4 a 16 mm ²
Conexão da sinalização remota	Conector a parafuso para cabos de até 2,5 mm ²
Grau de proteção	IP 20
Fixação	Trilho 35 mm padrão DIN / Garras padrão NEMA
Cor	Vermelho
Acondicionamento	Caixa termoplástica, não propagante à chama
Dimensões (modelo básico)	90 x 64 x 18 mm (comprimento x altura x largura)
Dimensões (modelo com sinalização remota)	94 x 64 x 18 mm (comprimento x altura x largura)

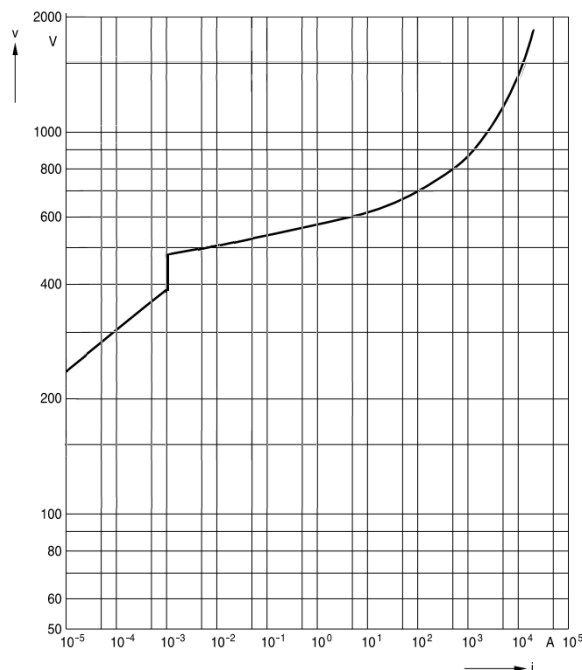


Figura 3.7 – Características gerais de um supressor de surto [22] e curva Tensão x Corrente do varistor utilizado no quadro de distribuição localizado entre a entrada de serviço do consumidor e a carga. [21]

Por fim, supôs-se a instalação de um terceiro dispositivo supressor de surto próximo à carga do consumidor. Este DPS apresenta as características expostas na Figura 3.8 [21, 22].

Características Técnicas

Descrição (versão básica)	Máxima tensão de operação contínua (Uc)		Corrente de descarga nominal (In) - 15 a 20 aplicações (8/20) us	Corrente máxima de descarga (Imáx.) - 2 aplicações (8/20) us	Corrente máxima de descarga (limp.) (10/350) μs	Nível de proteção (Tensão residual) em função de In (Up/Ures)	Máxima energia de pulso (W _{máx.}) @ 2ms	Máxima potência de dissipação (P _{máx.})
	~	-						
VCL 175 V 8kA	175 V	225 V	3 kA	8kA	kA	0,8 kV	325 J	0,8 W

Características Técnicas	
Aplicação	Entre (F / N), (F / PE) e (F / PEN)
Tecnologia de proteção	Varistor de Óxido de Zinco - MOV
Tempo de resposta	< 25 ns
Temperatura nominal de operação	- 40 °C a + 80 °C
Temperatura máxima de operação	- 40 °C a + 125 °C
Máxima corrente de curto-circuito	10 kA @ 50 / 60 Hz; *5 kA @ 50 / 60 Hz
Valores máximos para o contato da supervisão remota	1 A @ 120 Vca / 1 A @ 24 Vcc
Conexão à rede elétrica	Bornes a parafuso para cabos de 4 a 16 mm ²
Conexão da sinalização remota	Conector a parafuso para cabos de até 2,5 mm ²
Grau de proteção	IP 20
Fixação	Trilho 35 mm padrão DIN / Garras padrão NEMA
Cor	Vermelho
Acondicionamento	Caixa termoplástica, não propagante à chama
Dimensões (modelo básico)	90 x 64 x 18 mm (comprimento x altura x largura)
Dimensões (modelo com sinalização remota)	94 x 64 x 18 mm (comprimento x altura x largura)

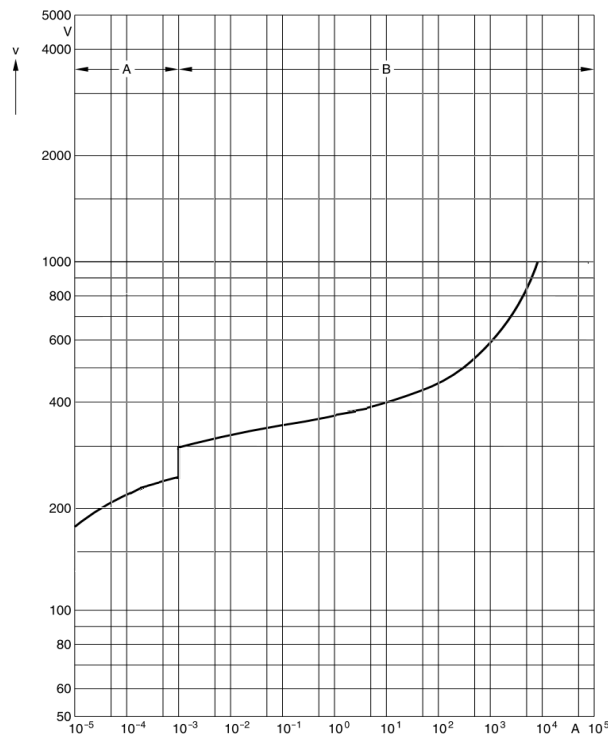
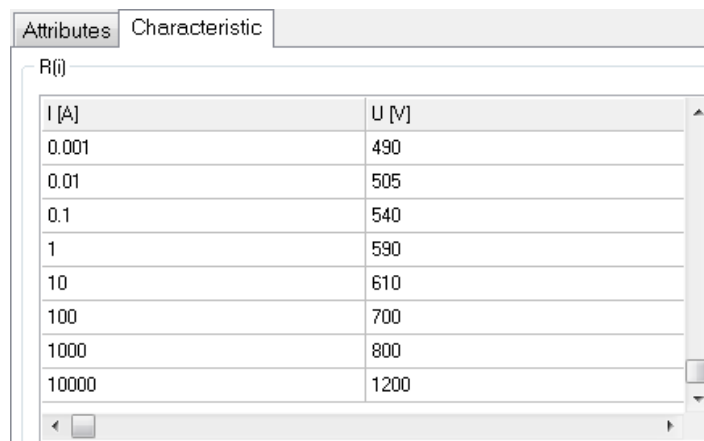


Figura 3.8 – Características Gerais de um Supressor de surto [22] e curva Tensão x Corrente do varistor utilizado junto à carga do consumidor. [21]

3.2.2– Modelagem dos Dispositivos Protetores de surto

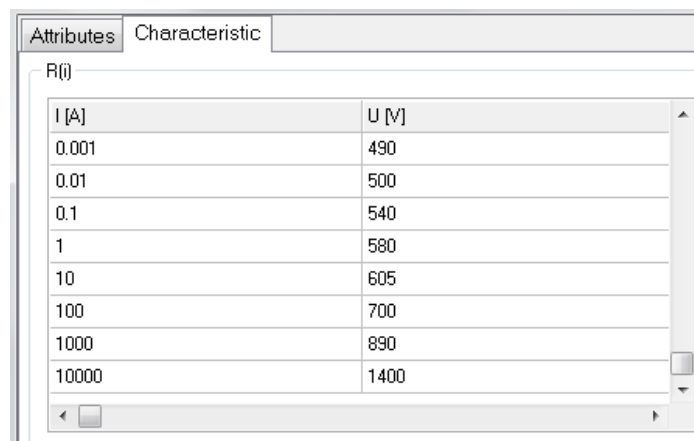
Os dispositivos supressores de surto utilizados neste trabalho buscam representar o comportamento não linear dos varistores utilizados neste tipo de componente. O software de simulação ATP fornece alguns tipos de varistores, os quais nos possibilitam entrar com os dados das curvas de tensão x corrente características dos varistores.

O modelo utilizado foi o “ $R(i)$ type 99”, que consiste em uma resistência variável de valor dependente da corrente. Os dados da curva a serem inseridos no ATP foram extraídos das curvas tensão x corrente apresentados nas Figuras 3.6, 3.7 e 3.8. Os seus atributos inseridos no ATP são mostrados nas Figuras 3.9, 3.10 e 3.11 respectivamente:



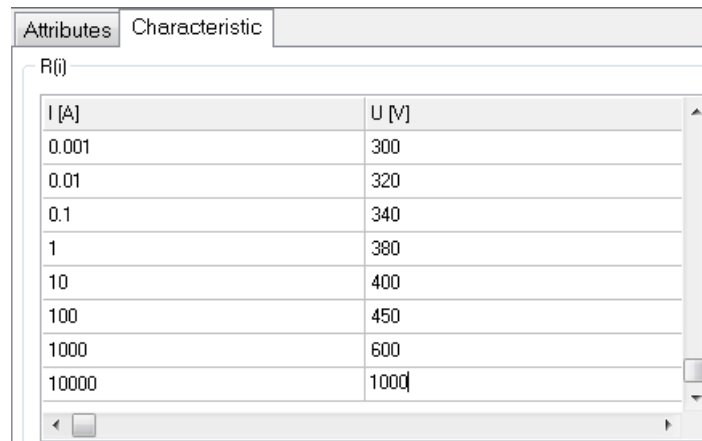
I [A]	U [V]
0.001	490
0.01	505
0.1	540
1	590
10	610
100	700
1000	800
10000	1200

Figura 3.9: Pontos da curva característica inseridos na janela de atributos do supressor instalado na entrada do consumidor referentes à curva tensão x corrente da Figura 3.6.



I [A]	U [V]
0.001	490
0.01	500
0.1	540
1	580
10	605
100	700
1000	890
10000	1400

Figura 3.10: Pontos da curva característica inseridos na janela de atributos do supressor instalado no painel de distribuição interno referentes à curva tensão x corrente da Figura 3.7.



The screenshot shows a software window with two tabs: 'Attributes' and 'Characteristic'. The 'Characteristic' tab is active, displaying a table with two columns: 'I [A]' and 'U [V]'. The table contains ten rows of data points. The current values (I) are 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000, and 10000. The corresponding voltage values (U) are 300, 320, 340, 380, 400, 450, 600, and 1000.

I [A]	U [V]
0.001	300
0.01	320
0.1	340
1	380
10	400
100	450
1000	600
10000	1000

Figura 3.11: Pontos da curva característica inseridos na janela de atributos do supressor instalado junto à carga referentes à curva tensão x corrente da Figura 3.8.

3.3 Simulação Computacional

A norma IEC 61000-4-5 [18] define os requisitos e níveis de imunidade a surtos atmosféricos aplicados a equipamentos eletrônicos.

Com a utilização da plataforma computacional ATP buscou-se por meio de simulações computacionais avaliar a utilização dos DPS trabalhando de forma coordenada e a sua influência nos níveis de sobretensão atingidos em cargas residenciais frente a um surto atmosférico.

Para simulação da fonte de surto foram utilizadas as características do gerador normalizado pela IEC 61000-4-5 [18], que apresenta uma tensão de saída a vazio com forma de onda com tempo de frente de 1,2 μ s e tempo até o meio valor de 50 μ s. O modelo utilizado para simular a fonte do surto foi o Cigre – Type 15, cujo nível de tensão foi selecionado conforme diretivas indicadas na própria norma, de acordo com a severidade de exposição aos surtos.

Em um primeiro momento foram aplicados surtos de 4 kV na entrada do consumidor e em quatro tipos de cargas distintas modeladas por [6]: Aparelho de TV, conjunto de som, computador e monitor e um refrigerador. Os níveis de sobretensão atingidos por essas cargas foram calculados de forma independente, ou seja, a cada simulação foi considerado o comportamento de um tipo de carga. Os dispositivos supressores de surto foram conectados em três diferentes pontos, segundo as classes A, B e C da norma IEEE C 62.41.2-2002 [17], ou seja, na entrada do consumidor, em um quadro de distribuição interno e junto à carga.

Um modelo de linha de transmissão do tipo “Pi” foi utilizado para simular o circuito entre o quadro de distribuição, o painel de distribuição interno e as cargas. A uma distância de 30

metros da entrada está localizado o quadro de distribuição interno. A carga localiza-se a 20 metros deste quadro. Os parâmetros utilizados para representação da linha foram: capacitância de 50 pF/m, indutância de 1 μ H/m e resistência de 10 m Ω /m.

Na Figura 3.12 ilustra-se o circuito simulado, cuja carga é representada neste caso com um aparelho de TV.

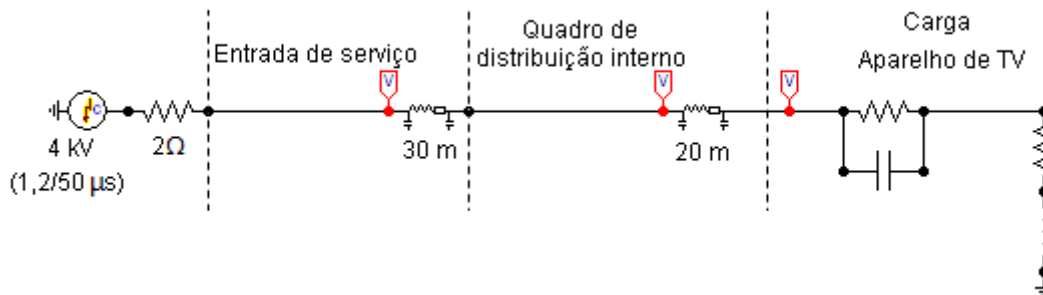


Figura 3.12: Parte do circuito simulado no software ATP referente ao aparelho de TV.

Em um segundo momento foram calculados os valores máximos de sobretensão, considerando-se a conexão das cargas modeladas por [6] no circuito de forma simultânea. Os níveis de sobretensão foram avaliados levando-se em consideração a ausência de dispositivos protetores de surto e comparados com os níveis de sobretensão atingidos na presença de tais dispositivos conectados na entrada do consumidor, em um quadro de distribuição interno e em apenas uma das cargas.

Para a simulação da fonte de surto utilizou-se novamente o modelo *Cigre – Type 15*, aplicando-se 4 kV (1,2/50). A linha de transmissão considerada foi a do tipo “*Pi*” para simular o circuito entre o quadro de distribuição, o painel de distribuição interno e as cargas. Os parâmetros utilizados para esta linha foram: capacitância de 50 pF/m, indutância de 1 μ H/m e resistência de 10 m Ω /m.

A 30 metros da entrada se encontra o quadro de distribuição interno. Em relação a esse quadro de distribuição interno as linhas de transmissão que o conectam às cargas foram consideradas com seguintes extensões: 20 metros para o circuito que representa o computador, 22 metros para o aparelho de TV, 30 metros para o refrigerador e finalmente, 25 metros para o aparelho de som.

Na Figura 3.13 ilustra-se o circuito simulado em que foi considerada a conexão das cargas de forma simultânea.

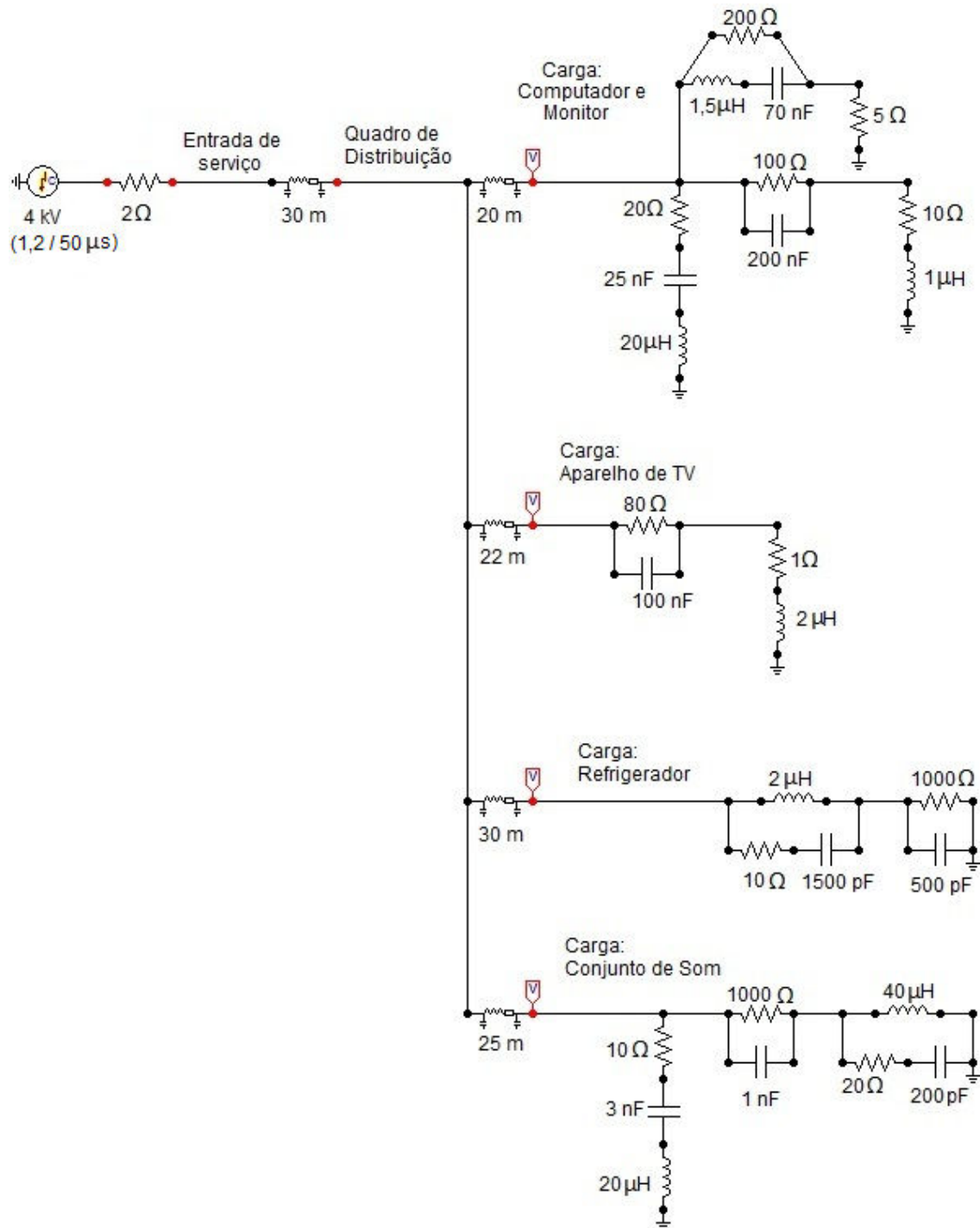


Figura 3.13: Circuito simulado no software ATP referente à conexão das quatro cargas ao circuito.

Essas simulações foram baseadas no trabalho de Bassi [6], porém o mesmo considera apenas a carga referente ao computador e monitor e utiliza somente um dispositivo de proteção na entrada do circuito.

4 Resultados e Análises

A partir de simulações realizadas com o circuito ilustrado na Figura 3.12, foram obtidos diversos resultados que se encontram ilustrados neste capítulo. Nas análises variou-se não somente o tipo de carga, mas também a presença ou não do DPS nos diferentes pontos do circuito.

4.1 Sobretensões na Carga na Ausência de DPS

Inicialmente, foi aplicado o surto sem a presença dos dispositivos de proteção. A Figura 4.1 apresenta os valores de sobretensões calculadas com auxílio do recurso “*Show cursor*” localizado na janela de plotagem do ATP. Foram consideradas quatro cargas diferentes: aparelho de TV, computador, conjunto de som, e refrigerador.

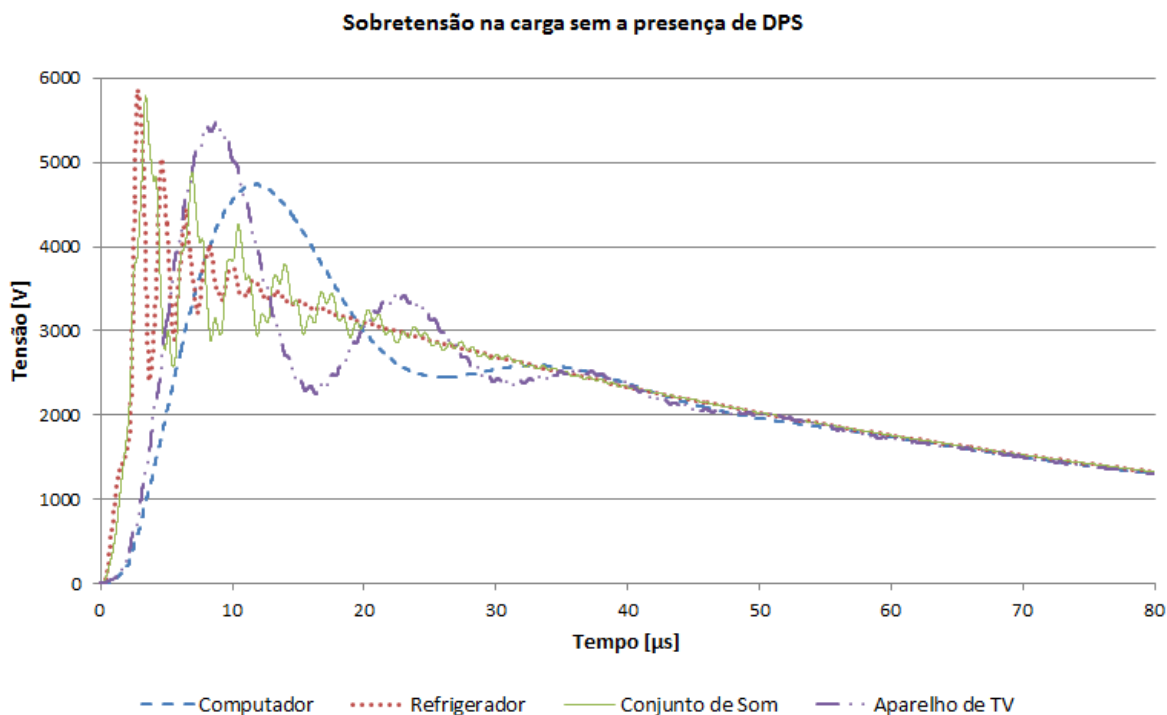


Figura 4.1: Sobretensão na carga sem a presença do DPS

A Tabela 4.1 apresenta os valores máximos das sobretensões calculadas nos aparelhos.

Tabela 4.1: Sobretensões máximas calculadas nos aparelhos

Aparelho	Sobretensão Máxima Atingida (V)
Computador	4748,3
Aparelho de TV	5475,2
Conjunto de Som	5793,5
Refrigerador	5860,4

Na Tabela 4.1, percebe-se que a maior sobretensão atingiu 5,8 kV no refrigerador. A sobretensão em todos os aparelhos sem a presença do dispositivo de proteção tem um valor de pico superior ao aplicado (4 kV). Isto se deve ao fato de que, ao percorrer a distância entre a entrada do consumidor e a carga, a onda da tensão sofre reflexões, o que neste caso causou o aumento da amplitude da sobretensão. Em termos percentuais, o aumento da sobretensão calculada no refrigerador foi de 46,51% em relação ao valor aplicado. O aumento percentual da sobretensão nas cargas em relação ao surto aplicado pode ser observado na Tabela 4.2:

Tabela 4.2: Variação Percentual do Nível de Sobretensão

Aparelho	Variação Percentual da Sobretensão
Computador	Aumento de 18,71%
Aparelho de TV	Aumento de 36,88%
Conjunto de Som	Aumento de 44,84%
Refrigerador	Aumento de 46,51%

4.2 Sobretensões na carga com o DPS na Entrada de Serviço

Em um segundo momento, considerou-se a aplicação de um surto com a presença de um DPS na entrada do consumidor. A Figura 4.2 ilustra os níveis de sobretensão calculados na carga. Para a simulação do DPS considerou-se a curva tensão x corrente ilustrada na Figura 3.6.

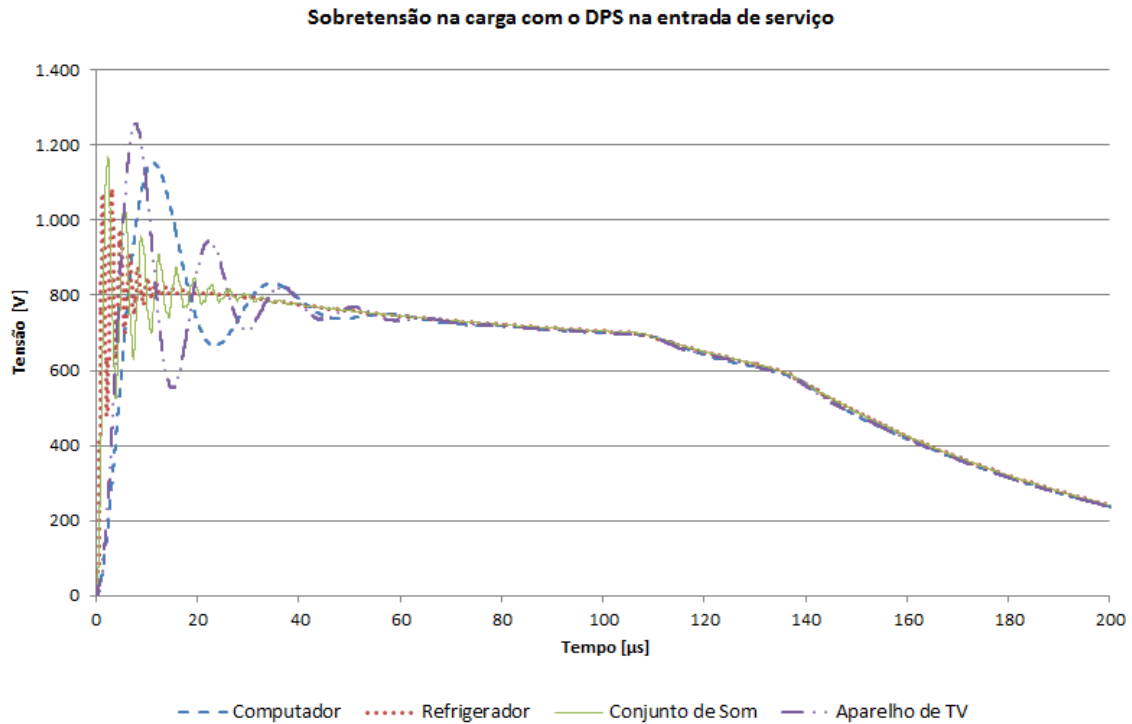


Figura 4.2: Sobretensão na carga com DPS instalado na entrada de serviço

Com a instalação do supressor de surto na entrada de serviço do consumidor, observa-se uma queda significativa dos níveis de sobretensão nas cargas. Comparando-se esses níveis com os valores máximos de sobretensões calculados na situação onde não havia dispositivos de proteção verifica-se que o refrigerador apresentou uma maior redução do valor máximo de sobretensão atingida em relação aos outros aparelhos. As sobretensões máximas calculadas nos aparelhos, bem como a variação percentual do nível de sobretensão são mostradas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Sobretensões máximas calculadas nos aparelhos

Aparelho	Sobretensão máxima atingida sem a presença de DPS (V)	Sobretensão máxima atingida com o DPS na entrada de serviço (V)	Varição Percentual da Sobretensão
Computador	4748,3	1153,7	Redução de 75,70%
Aparelho de TV	5475,2	1258,2	Redução de 77,02%
Conjunto de Som	5793,5	1169,5	Redução de 79,81%
Refrigerador	5860,4	1084	Redução de 81,5%

4.3 Sobretensões na carga com o DPS na Entrada de Serviço e no Quadro de Distribuição Interno

Nesta seção, considera-se a aplicação de surto na presença de dois DPS, um na entrada do consumidor e outro no quadro de distribuição interno. A Figura 4.3 ilustra as sobretensões calculadas. Para a simulação do DPS instalado no quadro de distribuição interno considerou-se a curva tensão x corrente ilustrada na Figura 3.7.

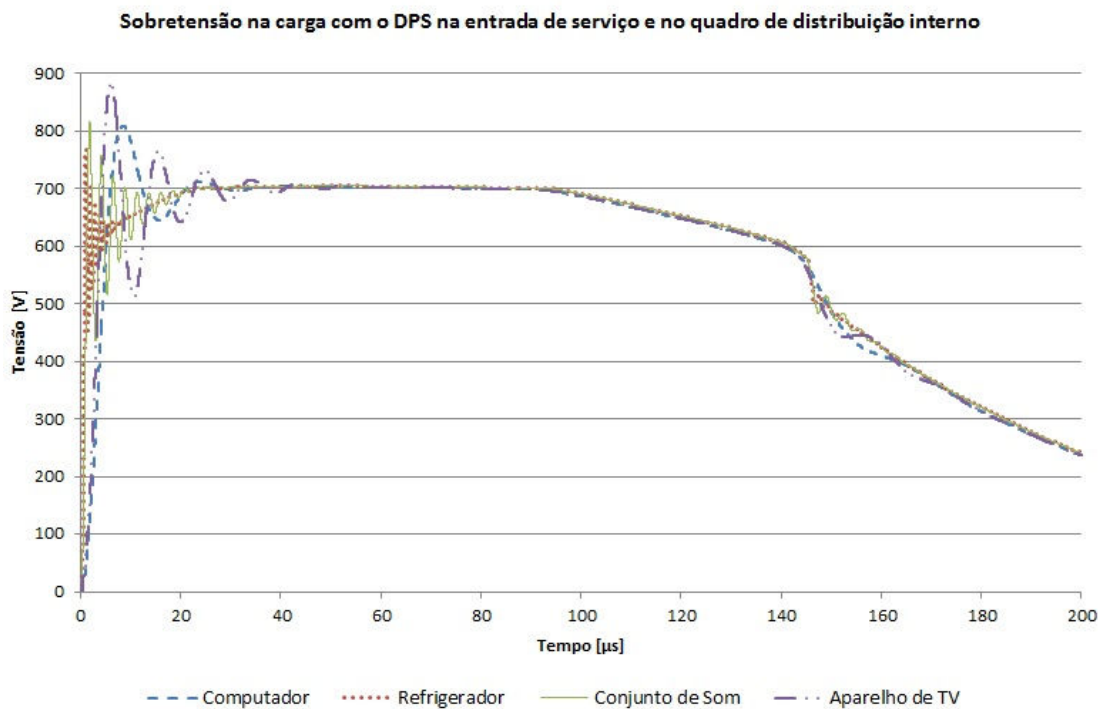


Figura 4.3: Sobretensão na carga com DPS instalado na entrada e no quadro de distribuição interno

A Tabela 4.4 apresenta uma comparação entre as sobretensões máximas calculadas nos aparelhos e os valores de sobretensões máximas atingidas na presença de dois DPS, um localizado na entrada de serviço e outro no quadro de distribuição interno, bem como a variação percentual entre esses níveis.

Tabela 4.4: Sobretensões máximas calculadas nos aparelhos

Aparelho	Sobretensão máxima atingida sem a presença de DPS (V)	Sobretensão máxima atingida com o DPS na entrada de serviço e no quadro de distribuição interno (V)	Variação Percentual da Sobretensão
Computador	4748,3	810,15	Redução de 82,94%
Aparelho de TV	5475,2	883,96	Redução de 83,85%
Conjunto de Som	5793,5	817,65	Redução de 85,88%
Refrigerador	5860,4	766,97	Redução de 86,91%

Conforme esperado, observa-se uma redução ainda maior da sobretensão com a instalação de mais um DPS. Neste caso, a maior redução verificada foi no nível de tensão do conjunto de som.

Apesar da redução no nível de sobretensão nas cargas, estas ainda são submetidas valores perigosos de sobretensão se forem comparados os níveis atingidos com os valores de suportabilidade a impulsos exigidos pela norma NBR 5410:2004 [19]. Estes foram apresentados no Capítulo 2, Tabela 2.5, e são aqui reproduzidos por conveniência a fim de facilitar a comparação dos resultados. Com exceção do nível de tensão calculado no refrigerador, todas as demais sobretensões se encontram acima do valor desejado de 0,8 kV. O bom comportamento do refrigerador foi benéfico ao não levar a um nível de tensão que ultrapassasse os limites recomendados.

Tabela 4.5: Representação da Tabela 31 da norma NBR 5410:2004

Tensão nominal da instalação (V)		Tensão de impulso suportável requerida (KV)			
		Categoria de Produto			
Sistemas Trifásicos	Sistemas monofásicos com neutro	Produto a ser utilizado na entrada da instalação	Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais	Equipamentos de utilização	Produtos especialmente protegidos
		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

4.4 Sobretensões na carga com o DPS na Entrada de Serviço, Quadro de Distribuição Interno e junto à Carga.

São apresentados nesta seção os níveis de sobretensão na carga calculados com a instalação dos supressores de surto na entrada de serviço, no quadro de distribuição interno e junto à carga de forma coordenada. A Figura 4.4 mostra as formas de onda calculadas. Para a simulação do DPS instalado junto à carga considerou-se a curva tensão x corrente ilustrada na Figura 3.8. A Tabela 4.5 apresenta uma comparação entre as sobretensões máximas calculadas nos aparelhos e os valores de sobretensões máximas atingidas na presença de três DPS, um localizado na entrada de serviço, outro no quadro de distribuição interno e ainda, outro DPS localizado junto à carga, bem como a variação percentual entre esses níveis.

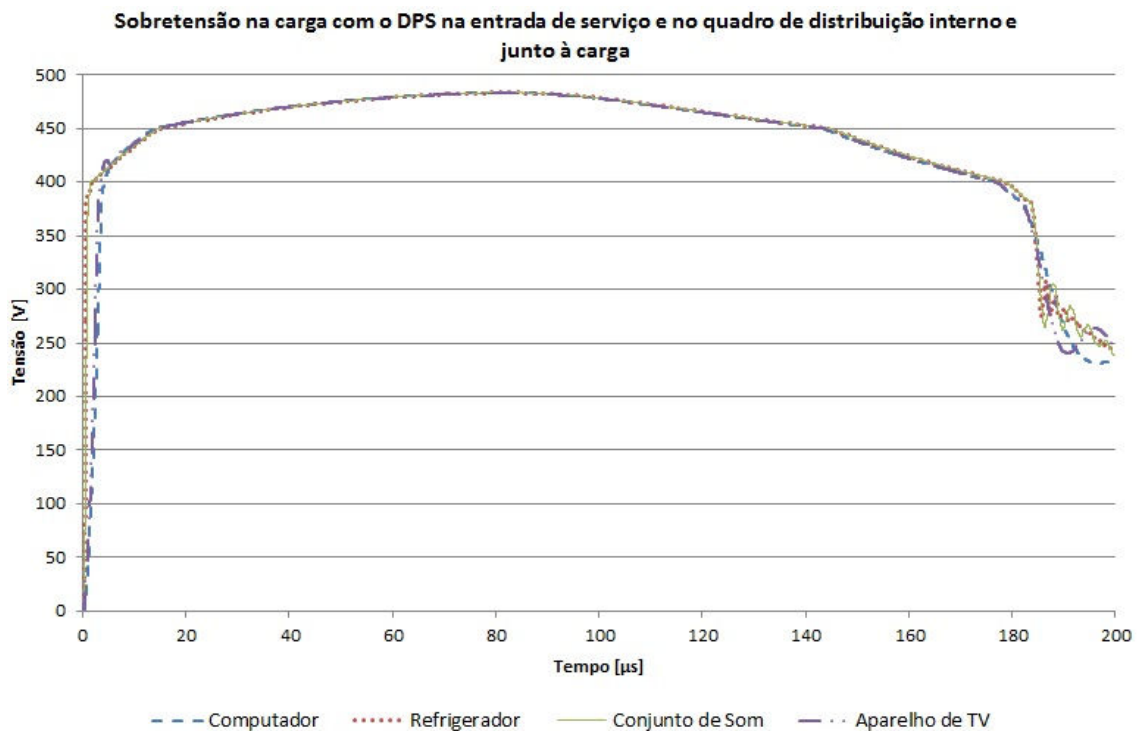


Figura 4.4: Sobretensão na carga com DPS instalado na entrada e no quadro de distribuição interno e junto à carga do consumidor

Tabela 4.6: Sobretensões máximas calculadas nos aparelhos

Aparelho	Sobretensão máxima atingida sem a presença de DPS (V)	Sobretensão máxima atingida com o DPS na entrada de serviço, quadro de distribuição interno e junto à carga (V)	Variação Percentual da Sobretensão
Computador	4748,3	483,18	Redução de 89,82%
Aparelho de TV	5475,2	483,13	Redução de 91,17%
Conjunto de Som	5793,5	483,47	Redução de 91,65%
Refrigerador	5860,4	483,43	Redução de 91,75%

Conforme se observa na Figura 4.4 e na Tabela 4.6, com a instalação de mais um dispositivo de proteção junto a carga é obtida uma proteção eficiente. Com uma redução média de 91% em relação ao nível de sobretensão obtido na ausência de proteção na carga, os níveis de sobretensões se tornam aceitáveis e, conseqüentemente, os aparelhos são protegidos levando-se em consideração os valores apresentados na Norma NBR 5410:2004 [19], apresentados na Tabela 4.5.

4.5 Sobretensões na Ausência de DPS Considerando-se Várias Cargas Conectadas ao Circuito de Forma Simultânea

Nesta seção considera-se o funcionamento dos quatro tipos de carga de forma simultânea para o cálculo da sobretensão. A partir de simulações realizadas com o circuito da Figura 3.13, foram obtidos os seguintes resultados mostrados na Figura 4.5 e na Tabela 4.7, na ausência de qualquer dispositivo de proteção contra surtos.

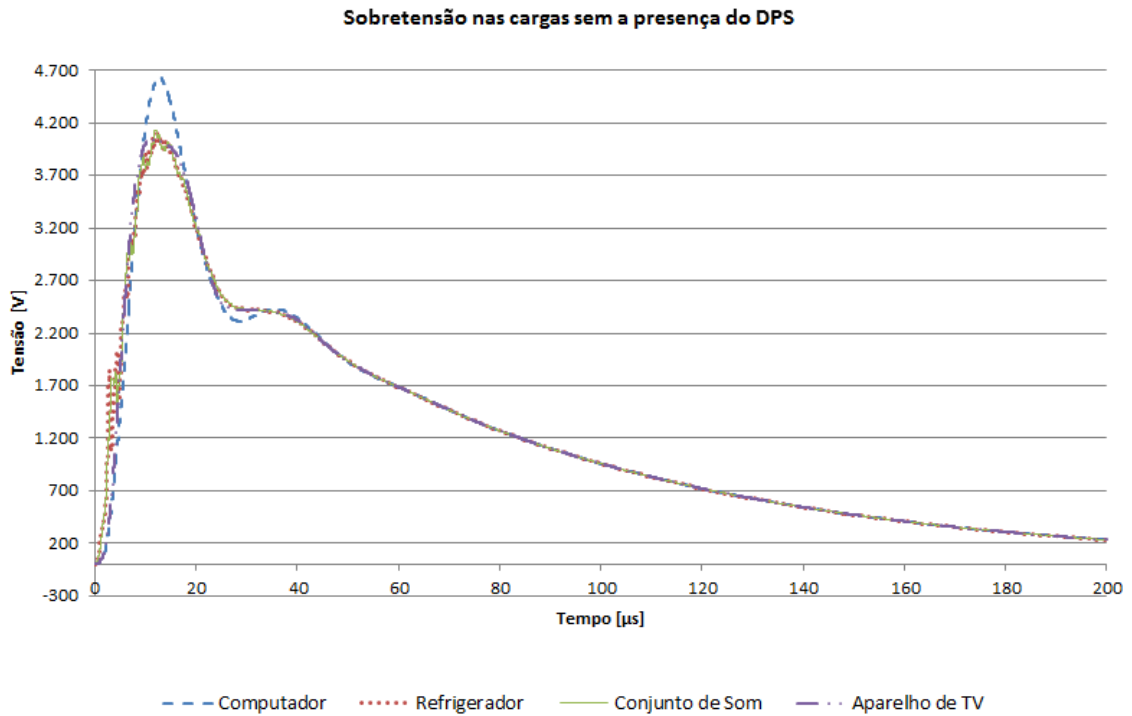


Figura 4.5: Sobretensão nas cargas sem a presença do DPS

A Tabela 4.7 apresenta os valores máximos de sobretensões calculados nos aparelhos.

Tabela 4.7: Sobretensões máximas calculadas nos aparelhos

Aparelho	Sobretensão Máxima Atingida (V)
Computador	4633,4
Aparelho de TV	4054,5
Conjunto de Som	4137,9
Refrigerador	4101,9

Verifica-se através da Tabela 4.7 que o maior nível de sobretensão calculado é referente ao computador, cujo valor é de aproximadamente 4,6 kV. Em uma análise semelhante àquela realizada na seção 4.1 observa-se que os níveis de sobretensões calculados são devido às reflexões sofridas pela onda de tensão ao percorrer a distância entre a entrada do consumidor e a carga, que resulta no aumento da amplitude em relação ao valor de 4 kV aplicado.

Na Tabela 4.8 é possível verificar o aumento percentual da sobretensão nas cargas em relação ao surto de 4 kV aplicado.

Tabela 4.8: Variação Percentual do Nível de Sobretensão

Aparelho	Variação Percentual da Sobretensão
Computador	Aumento de 15,83%
Aparelho de TV	Aumento de 1,36%
Conjunto de Som	Aumento de 3,45%
Refrigerador	Aumento de 2,55%

4.6 Sobretensões na carga com o DPS na Entrada de Serviço, Quadro de Distribuição Interno e junto à Carga, Considerando-se Várias Cargas Conectadas ao Circuito de Forma Simultânea.

Os níveis de sobretensão na carga são apresentados nesta seção considerando-se um primeiro DPS localizado na entrada de serviço, um segundo DPS no quadro de distribuição interno e um terceiro dispositivo instalado em apenas uma das cargas, que no caso considerado corresponde ao computador. A Figura 4.6 mostra as formas de onda calculadas.

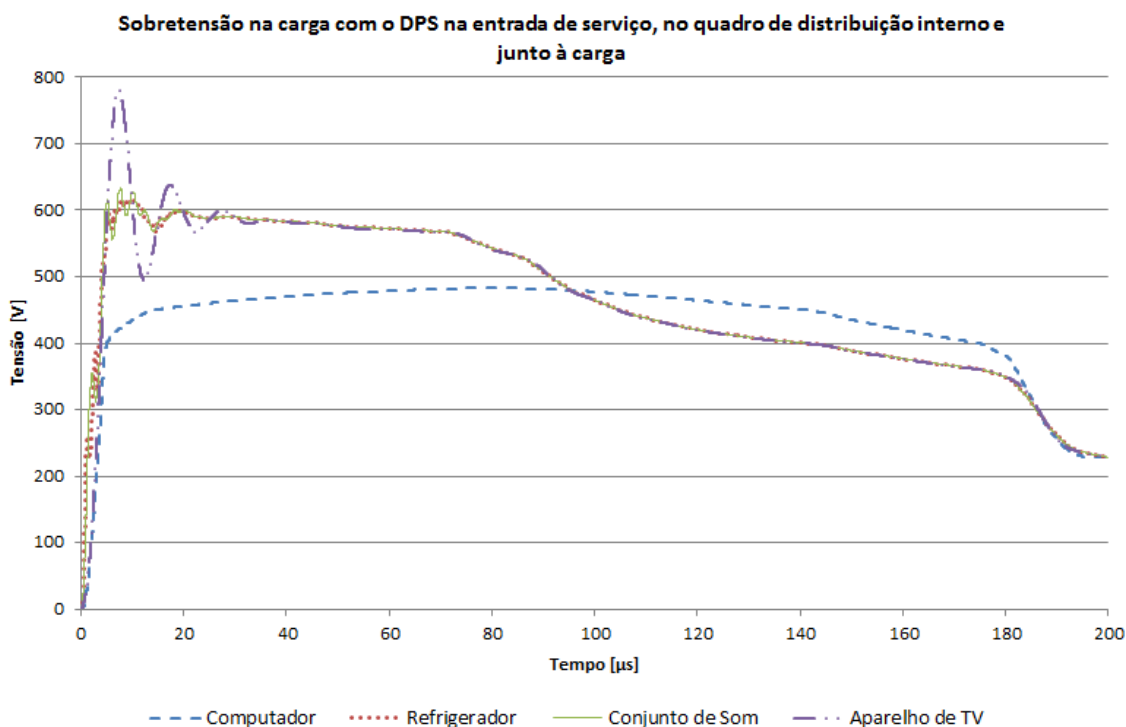


Figura 4.6: Sobretensão na carga com DPS instalado na entrada e no quadro de distribuição interno e junto à carga do consumidor

Verifica-se na Tabela 4.9, que com a utilização de dispositivos protetores de surto de forma coordenada na entrada de serviço, quadro de distribuição interno e em apenas uma das cargas é possível prover uma proteção eficiente para todo o restante das cargas conectadas ao circuito. A redução média dos níveis de sobretensão foi de 85% em relação à situação onde nenhum dispositivo estava conectado ao circuito.

O maior nível de sobretensão calculado foi de 0,78 kV no aparelho de TV, e portanto este valor de sobretensão está localizado dentro dos limites especificados pela norma NBR 5410:2004 [19].

Tabela 4.9: Sobretensões máximas calculadas nos aparelhos

Aparelho	Sobretensão máxima atingida sem a presença de DPS (V)	Sobretensão máxima atingida com o DPS na entrada de serviço, quadro de distribuição interno e junto à carga (V)	Variação Percentual da Sobretensão
Computador	4633,4	482,73	Redução de 89,58%
Aparelho de TV	4054,5	778,42	Redução de 80,80%
Conjunto de Som	4137,9	632,87	Redução de 84,71%
Refrigerador	4101,9	616,12	Redução de 84,98%

4.7 Análise de algumas recomendações da norma NBR 5410:2004

Através da análise da norma NBR 5410:2004 observa-se que, no item 6.6.5.2.1, esta define a utilização de dispositivos de proteção contra surtos em pelo menos um ponto da instalação. Essa recomendação se torna importante ao levar em consideração os efeitos perigosos dos altos níveis de sobretensão que os diversos aparelhos residenciais podem estar sujeitos. Todavia, de acordo com os resultados apresentados no presente trabalho é possível verificar que níveis elevados de sobretensão podem ser facilmente atingidos pelos aparelhos nos casos onde a aplicação do dispositivo protetor de surto se dá em apenas um ponto da instalação.

Os valores especificados para os níveis de proteção contra surtos são indicados na norma através da tabela de suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação, onde a suportabilidade a impulsos é classificada em quatro categorias de acordo com os tipos dos equipamentos.

Diferentes valores de sobretensão podem ser obtidos dependendo da particularidade de cada aparelho, tal como o modelo ou o fabricante, mesmo dentro de uma categoria. Nesse contexto, a normalização de um padrão que determine um nível de suportabilidade que contemple os diversos aparelhos existentes no mercado pode ser inviável.

A fim de verificar a existência de uma definição clara quanto aos limites de suportabilidade de cada aparelho e realizar uma comparação entre essas informações e os valores sugeridos pela tabela de suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação da NBR 5410:2004, foi empreendida uma pesquisa direta junto aos fabricantes de aparelhos eletrônicos residenciais. No entanto, esse contato foi infrutífero e essas informações não foram divulgadas, seja porque não houve interesse por parte dos fabricantes em divulgar esses resultados, seja porque os fabricantes não dispõem dessas informações, ou até mesmo por uma questão de sigilo industrial. Em função dessa dificuldade, essas informações não puderam ser colocadas nesse texto e os valores sugeridos pela tabela de suportabilidade a impulso exigível dos componentes da instalação da norma foram aceitos como referência.

A partir de uma análise particular como a que foi realizada nesse trabalho, os níveis sugeridos pela norma foram considerados coerentes, haja visto que os níveis de sobretensão atingidos nos aparelhos analisados sofreram em média reduções de 85% com a instalação de protetores de surto em três pontos distintos do circuito em comparação com o caso onde nenhuma proteção foi aplicada. Contudo, uma análise mais abrangente que leve em consideração medidas como a equipotencialização local e a instalação de um aterramento eficiente agregados à utilização de DPS, torna-se necessária para uma conclusão definitiva a esse respeito.

5 Conclusões

O presente trabalho buscou avaliar a utilização de dispositivos supressores de surto como uma forma de proteção dos equipamentos sensíveis do consumidor frente a sobretensões de origem atmosférica.

A análise dos surtos aos quais os aparelhos eletroeletrônicos estão expostos possibilitou identificar, mesmo com uma abordagem simples, que a instalação de DPS de forma coordenada é necessária para compatibilizar a severidade dos distúrbios transitórios na rede elétrica com a suportabilidade dos aparelhos residenciais. Ao aplicarem-se as recomendações das normas existentes, foi possível observar que a instalação dos DPS de forma coordenada promove e garante uma proteção eficiente a tais aparelhos.

Com o auxílio do programa computacional ATP foram avaliados os níveis de sobretensões nas cargas simuladas e a sua variação após a inserção de protetores de surto em diferentes pontos do circuito. O benefício da utilização coordenada de DPS é permitir que um primeiro dispositivo na entrada de serviço execute a supressão de um surto de maior energia, enquanto que os outros dispositivos de menores capacidades dentro das instalações possam realizar supressão local.

Verificou-se que as sobretensões calculadas dentro da instalação são dependentes dos componentes utilizados nessas simulações, o que justifica a necessidade do uso de modelos mais reais das cargas para trabalhos mais realísticos.

Também foi realizada uma pesquisa acerca dos níveis de sobretensão admissíveis nos equipamentos residenciais junto a diversos fabricantes desses equipamentos. Porém, essas informações não foram divulgadas, seja porque não houve interesse por parte dos fabricantes em divulgar esses resultados, seja porque os fabricantes não dispõem dessas informações, ou até mesmo por uma questão de sigilo industrial. Esses dados seriam importantes para uma análise mais profunda da especificação da proteção requerida para cada aparelho de uma forma

particular e na verificação dessas informações com respeito aos valores especificados pelas normas existentes.

6 Referências Bibliográficas

- [1] SILVA NETO, A., “**Tensões Induzidas por Descargas Atmosféricas em Redes de Distribuição de Baixa Tensão**”, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- [2] VISACRO, S., “**Descargas Atmosféricas: Uma Abordagem de Engenharia**”, ArtLiber Editora, São Paulo, em 2005.
- [3] SILVEIRA, F.H., “**Aplicação de um Novo Modelo para o Cálculo de Sobretensões Induzidas por Descargas Atmosféricas**”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Julho, 2001.
- [4] DE CONTI, A.R., “**Proteção de Redes Elétricas de Baixa Tensão Contra Descargas Atmosféricas: Transferência de Surtos Através de Transformadores de Distribuição**”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dezembro, 2001.
- [5] VISACRO, S., DE CONTI, A.R., PEREIRA, C.S., SILVEIRA, F.H., DUARTE, J.V.P., “**Proteção de Redes Elétricas de Baixa Tensão Contra Descargas Atmosféricas**”, Anais do II CITENEL – Congresso de Inovação Tecnológica em Engenharia Elétrica, Salvador, Novembro, 2003.
- [6] BASSI, W., “**Caracterização de equipamentos residenciais para estudos de sobretensões**”. Revista Eletricidade Moderna, São Paulo, p. 120 - 131, 01 jun. 2007
- [7] BERGER, K., ANDERSON, R.B., KRONINGER, H., “**Parameters of Lightning Flashes**”, Electra, N°41, pp. 23-37, Julho, 1975
- [8] ANDERSON, R.B., ERIKSSON, A.J., “**Lightning Parameters for Engineering Application**”, Electra, N°69, pp. 65-102, Março, 1980.
- [9] SCHROEDER, M.A.O., SOARES, J.A., VISACRO, S.F., “**Evaluation of Directly Measured Lightning Parameters**”, Proceedings of V International Symposium on Lightning Protection (SIPDA), São Paulo, Maio, 1999.
- [10] SHIGIHARA, M., “**Avaliação de Correntes de Descargas Atmosféricas Através de Medições Diretas em Estruturas Altas**”, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- [11] JUCÁ, A.S., “**Avaliação do Relacionamento Entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta e Adequação**”, Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- [12] OBASE, P.F., “**Surtos atmosféricos transferidos à rede secundária via transformador**”, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
-

-
- [13] DOS SANTOS, C.G., “**A Influência do Aterramento na Atenuação de Descargas Atmosféricas**”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Abril, 2009.
- [14] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **STANDARD IEC 60364: Electrical Installations of Buildings**, 2001.
- [15] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **STANDARD IEC 60664-1: Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests**, 2002.
- [16] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **STANDARD IEC 61643-1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Part 1: Performance requirements and testing methods**, 2002.
- [17] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS (IEEE). **STANDARD C 62.41.2-2002: IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits**, 2002
- [18] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **STANDARD IEC 61000-4-5: Testing and Measurement Techniques**, 2001
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NORMA NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**, Rio de Janeiro, 2004.
- [20] ARAÚJO, R.L., ARDJOMAND, L. M., ARAÚJO, A.R., MARTINS, D., “**Componentes para a Supressão de Surtos Elétricos**”, EMField, short paper 03 – 2008
- [21] Catálogo de varistores Epcos disponível em <www.epcos.com/inf/70/db/var_11/SIOV_Block_HighE.pdf>, acessado em 20/05/12.
- [22] Catálogo de dispositivos de proteção contra surtos VCL Slim da Clamper disponível no site <www.clamper.com.br>, acessado em 20/05/2012.
- [23] **DIN VDE 0675-6: Surge protection devices for low voltage - Surge protection devices for use in low voltage systems**, 2002
-