

NORMA
BRASILEIRA

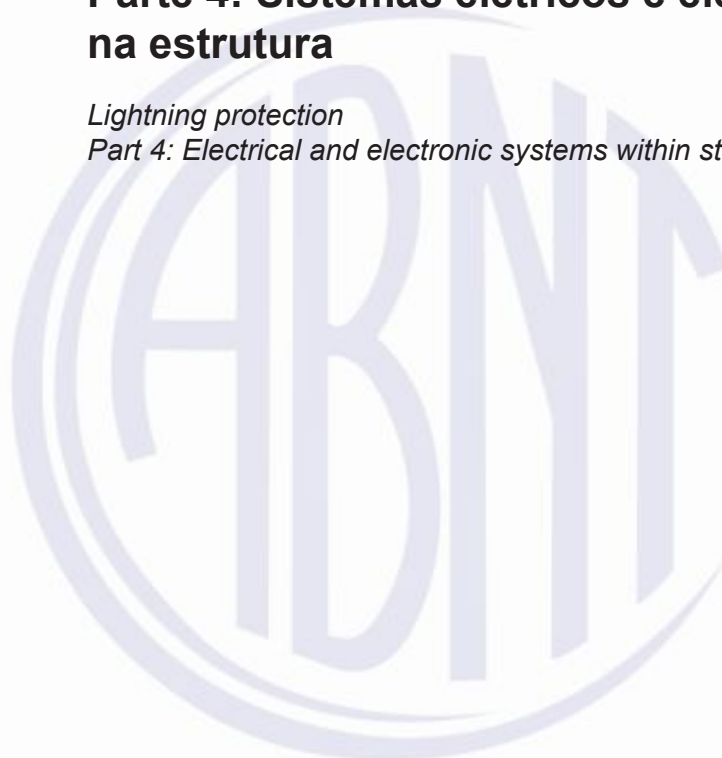
ABNT NBR
5419-4

Primeira edição
22.05.2015

Válida a partir de
22.06.2015

Proteção contra descargas atmosféricas
Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos
na estrutura

Lightning protection
Part 4: Electrical and electronic systems within structures



ICS 91.120.40

ISBN 978-85-07-05504-4



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 5419-4:2015
87 páginas

© ABNT 2015



© ABNT 2015

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio	viii
Introdução	x
1 Escopo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	2
4 Projeto e instalação das medidas de proteção contra surtos (MPS)	5
4.1 Princípios gerais	5
4.2 Projeto de MPS	10
4.3 Zonas de proteção contra raios (ZPR)	11
4.4 MPS Básicas	14
4.4.1 Aterramento e equipotencialização (ver Seção 5)	14
4.4.2 Blindagem magnética e roteamento das linhas (ver Seção 6).....	15
4.4.3 Coordenação de DPS (ver Seção 7)	15
4.4.4 Interfaces isolantes (ver Seção 8)	15
5 Aterramento e equipotencialização.....	15
5.1 Princípios gerais	15
5.2 Subsistema de aterramento	16
5.3 Ligação equipotencial.....	18
5.4 Barras de equipotencialização.....	21
5.5 Equipotencialização na fronteira de uma ZPR	21
5.6 Materiais e dimensões dos componentes de equipotencialização.....	22
6 Blindagem magnética e roteamento de linhas	22
6.1 Princípios gerais	22
6.2 Blindagem espacial.....	23
6.3 Blindagem de linhas internas	23
6.4 Roteamento de linhas internas	23
6.5 Blindagem de linhas externas.....	23
6.6 Materiais e dimensões das blindagens magnéticas	23
7 Coordenação de DPS	24
8 Interfaces isolantes.....	24
9 Gerenciamento das MPS	25
9.1 Princípios gerais	25
9.2 Plano de gerenciamento de MPS.....	25
9.3 Inspeção das MPS.....	27
9.3.1 Princípios gerais	27
9.3.2 Procedimento das inspeções.....	27
9.3.3 Documentação de inspeção.....	28
9.4 Manutenção	28
Anexo A (normativo) Bases de avaliação do ambiente eletromagnético em uma ZPR	29
A.1 Princípios gerais	29
A.2 Danos causados em sistemas elétricos e eletrônicos devido às descargas atmosféricas	29

A.2.1	Fonte de danos.....	29
A.2.2	Objeto dos danos.....	29
A.2.3	Mecanismo de acoplamento entre o objeto e a fonte.....	30
A.3	Blindagem espacial, roteamento e blindagem das linhas.....	30
A.3.1	Princípios gerais	30
A.3.2	Blindagens espaciais.....	34
A.3.3	Blindagem e roteamento das linhas.....	36
A.4	Campo magnético dentro da ZPR.....	39
A.4.1	Aproximação para o campo magnético dentro da ZPR.....	39
A.4.1.1	Blindagem espacial de ZPR 1 no caso de impacto direto da descarga atmosférica..	39
A.4.1.2	Blindagem espacial de ZPR 1 no caso de um impacto direto de uma descarga atmosférica próxima	41
A.4.1.3	Blindagens em forma de grade para ZPR 2 ou maiores.....	46
A.4.2	Avaliação teórica do campo magnético devido a descargas atmosféricas diretas ..	47
A.4.3	Avaliação experimental do campo magnético devido a uma descarga atmosférica direta.....	50
A.5	Cálculo das tensões e correntes induzidas.....	51
A.5.1	Princípios gerais	51
A.5.2	Situação dentro ZPR 1 no caso do impacto direto de uma descarga atmosférica..	52
A.5.3	Situação dentro de ZPR 1 no caso de um ponto de impacto de uma descarga atmosférica próxima	54
A.5.4	Situação dentro de ZPR 2 e mais altas	55
Anexo B	(informativo) Implementação de MPS para uma estrutura existente.....	56
B.1	Princípios gerais	56
B.2	Verificações	56
B.3	Projeto de MPS para uma estrutura existente.....	57
B.4	Projeto das medidas básicas de proteção para ZPR.....	58
B.4.1	Projeto das medidas básicas de proteção para a ZPR 1.....	58
B.4.2	Projeto das medidas básicas de proteção para a ZPR 2.....	58
B.4.3	Projeto das medidas básicas de proteção para a ZPR 3.....	58
B.5	Instalação de um sistema de DPS coordenado.....	58
B.6	Melhoria de um SPDA existente utilizando blindagens em forma de grade em ZPR 1 ..	59
B.7	Estabelecimento de ZPR para sistemas elétricos e eletrônicos	60
B.8	Proteção usando uma interligação para equipotencialização.....	64
B.9	Proteção por dispositivos de proteção contra surtos.....	64
B.10	Proteção por interfaces isolantes.....	64
B.11	Medidas de proteção por roteamento de linhas e blindagem.....	65
B.12	Medidas de proteção para equipamentos instalados externamente	67
B.12.1	Princípios gerais	67
B.12.2	Proteção de equipamentos externos	67
B.12.3	Redução das sobretensões nos cabos.....	69
B.13	Melhoria da interconexão entre as estruturas.....	70
B.13.1	Princípios gerais	70

B.13.2	Linhas isoladas	70
B.13.3	Linhas metálicas	71
B.14	Integração de novos sistemas internos em estruturas existentes	71
B.15	Visão geral das medidas de proteção possíveis.....	73
B.15.1	Entrada de energia	73
B.15.2	Dispositivos de proteção contra surto.....	73
B.15.3	Interfaces isolantes.....	73
B.15.4	Roteamento de linhas e blindagem	73
B.15.5	Blindagem espacial.....	73
B.15.6	Equipotencialização.....	73
B.16	Melhoria do fornecimento de energia e da instalação de cabos no interior da estrutura.....	74
Anexo C (informativo) Seleção e instalação de um sistema coordenado de DPS.....		75
C.1	Introdução.....	75
C.2	Seleção dos DPS	76
C.2.1	Seleção considerando o nível de tensão de proteção.....	76
C.2.2	Seleção considerando a localização e a corrente da descarga atmosférica	79
C.3	Instalação de um sistema coordenado de DPS.....	80
C.3.1	Princípios gerais	80
C.3.2	Local de instalação dos DPS	80
C.3.3	Condutores de conexão	80
C.3.4	Coordenação de DPS.....	80
C.3.5	Procedimento para a instalação de um sistema coordenado de DPS	80
Anexo D (informativo) Fatores a considerar na seleção dos DPS		82
D.1	Introdução.....	82
D.2	Fatores determinantes do estresse experimentado por um DPS.....	82
D.3	Quantificando estatisticamente o nível de solicitação de um DPS.....	84
D.3.1	Princípios gerais	84
D.3.2	Fatores da instalação que afetam na distribuição de corrente	84
D.3.3	Considerações para a seleção das características do DPS I_{imp} , $I_{máx}$, I_n , U_{oc}	85
Bibliografia.....		87

Figuras

Figura 1 – Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR.....	6
Figura 2 – Exemplos de possíveis MPS (medidas de proteção contra surtos).....	9
Figura 3 – Exemplos para interligação de ZPR	13
Figura 4 – Exemplos para ZPR estendidas	14
Figura 5 – Exemplo de um sistema de aterramento tridimensional consistindo em uma rede de equipotencialização, interligada com o subsistema de aterramento.....	16
Figura 6 – Subsistema de aterramento em forma de malha de uma planta	17
Figura 7 – Integração de partes condutoras de sistemas internos em uma interligação para equipotencialização	19

Figura 8 – Combinação de métodos de integração de partes condutivas de sistemas internos na interligação para equipotencialização	20
Figura A.1 – <i>LEMP</i> devido à descarga atmosférica	31
Figura A.2 – Simulação do crescimento do campo magnético por uma oscilação amortecida	34
Figura A.3 – Blindagem para grandes volumes construída por armações ou estruturas metálicas	35
Figura A.4 – Volume para sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma ZPR n interna	36
Figura A.5 – Redução dos efeitos da indução pelas medidas de roteamento e blindagem	38
Figura A.6 – Exemplo de MPS para um prédio de escritórios	39
Figura A.7 – Avaliação dos valores do campo magnético em caso de impacto direto de descarga atmosférica	41
Figura A.8 – Avaliação dos valores do campo magnético no caso do impacto direto de uma descarga atmosférica próxima ao local	43
Figura A.9 – Distância s_a dependendo do raio da esfera rolante e das dimensões da estrutura	46
Figura A.10 – Tipos de blindagens em forma de grade	48
Figura A.11 – Intensidade do campo magnético $H_{1/MÁX}$ dentro de uma blindagem em forma de grade tipo 1	49
Figura A.12 – Intensidade do campo magnético $H_{1/MÁX}$ dentro de uma blindagem em forma de grade tipo 1, de acordo com a largura da malha	50
Figura A.13 – Ensaio com baixo nível de corrente para avaliar o campo magnético dentro da estrutura	52
Figura A.14 – Tensões e correntes induzidas dentro do laço formado pelas linhas elétricas	53
Figura B.1 – MPS etapas do projeto para uma estrutura existente	60
Figura B.2 – Possibilidades para estabelecer ZPR em estruturas existentes	64
Figura B.3 – Redução da área do laço utilizando cabos blindados próximos a placas metálicas	67
Figura B.4 – Exemplo de uma placa metálica para blindagem adicional	68
Figura B.5 – Proteção de antenas e outros equipamentos externos	69
Figura B.6 – Blindagem inerente fornecida por escadas e tubulações equipotencializadas	70
Figura B.7 – Posição ideal para linhas em um mastro (seção transversal de um mastro de aço treliçado)	71
Figura B.8 – Melhoria das MPS em estruturas existentes	73
Figura C.1 – Surto de tensão entre condutores vivos e a barra de equipotencialização	79
Figura D.1 – Exemplo de instalação de DPS classe 1, classe 2 e classe 3	84
Figura D.2 – Exemplo básico de diferentes fontes de danos a uma estrutura e de distribuição da corrente da descarga atmosférica dentro de um sistema	85
Figura D.3 – Exemplo básico de distribuição de corrente da descarga atmosférica	86
Tabelas	
Tabela 1 – Seção transversal mínima para componentes de equipotencialização	22
Tabela 2 – Plano para gerenciamento de MPS para novas edificações e para mudanças significativas na construção ou uso de edificações	26

Tabela A.1 – Parâmetros relevantes para fonte dos danos e os equipamentos	31
Tabela A.2 – Exemplos para $I_{0MÁX} = 100$ kA e $w_m = 2$ m.....	41
Tabela A.3 – Atenuação magnética da blindagem em forma de grade para uma onda plana ...	43
Tabela A.4 – Raio da esfera rolante correspondente à corrente máxima da descarga atmosférica	46
Tabela A.5 – Exemplos para $I_{0/MÁX} = 100$ kA e $w_m = 2$ m correspondendo a $SF = 12,6$ dB	46
Tabela B.1 – Características estruturais e complementares.....	56
Tabela B.3 – Características dos equipamentos	57
Tabela B.4 – Outras questões a serem consideradas para a concepção do projeto.....	57
Tabela D.1 – Valores preferenciais para I_{imp}^a	82



Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da Diretiva ABNT, Parte 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Ressalta-se que Normas Brasileiras podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os Órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar outras datas para exigência dos requisitos desta Norma, independentemente de sua data de entrada em vigor.

A ABNT NBR 5419-4 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03), pela Comissão de Estudo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (CE-03:064.10). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 08, de 12.08.2014 a 10.12.2014, com o número de Projeto 03:064.10-100/4.

Esta parte da ABNT NBR 5419 e as ABNT NBR 5419-1, ABNT NBR 5419-2 e ABNT NBR 5419-3 cancelam e substituem a(s) ABNT NBR 5419:2005.

As instalações elétricas cobertas pela ABNT NBR 5419 estão sujeitas também, naquilo que for pertinente, às normas para fornecimento de energia estabelecidas pelas autoridades reguladoras e pelas empresas distribuidoras de eletricidade.

A ABNT NBR 5419, sob o título geral "*Proteção contra descargas atmosféricas*", tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Princípios gerais;
- Parte 2: Gerenciamento de risco;
- Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida
- Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:

Scope

This part of ABNT NBR 5419 provides information for the design, installation, inspection, maintenance and testing of electrical and electronic system protection (SPM) to reduce the risk of permanent failures due to lightning electromagnetic impulse (LEMP) within a structure.

This part of ABNT NBR 5419 does not cover protection against electromagnetic interference due to lightning, which may cause malfunctioning of internal systems.

However, the information reported in Annex A can also be used to evaluate such disturbances. Protection measures against electromagnetic interference are covered in ABNT NBR 5410 and in the IEC 61000 series.

This part of ABNT NBR 5419 does not deal with detailed design of the electrical and electronic systems themselves.



Introdução

As descargas atmosféricas como fontes de danos são fenômenos de altíssima energia. Descargas atmosféricas liberam centenas de megajoules de energia. Quando comparadas com os milijoules que podem ser suficientes para causar danos aos equipamentos eletrônicos sensíveis em sistemas eletroeletrônicos existentes nas estruturas, fica claro que medidas adicionais de proteção são necessárias para proteger alguns destes equipamentos.

A necessidade desta Norma justifica-se pelo crescente custo associado às falhas de sistemas eletroeletrônicos causadas pelos efeitos eletromagnéticos das descargas atmosféricas. Particularmente importantes são os sistemas eletrônicos usados no armazenamento e processamento de dados, assim como no controle e segurança de processos para plantas de considerável investimento, tamanho e complexidade (para as quais as consequências são muito indesejáveis por razões de custo e segurança).

As descargas atmosféricas podem causar diferentes tipos de danos em uma estrutura, como definido na ABNT NBR 5419-1.

- D1 danos aos seres vivos por choques elétricos;
- D2 danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, vazamento químico) devido aos efeitos da corrente das descargas atmosféricas, incluindo centelhamentos;
- D3 falhas de sistemas internos devido ao *LEMP*.

A ABNT NBR 5419-3 trata das medidas de proteção para reduzir os riscos de danos físicos e perigo de vida, mas não cobre a proteção de sistemas elétricos e eletrônicos.

Esta Parte da Norma fornece as informações sobre as medidas de proteção para reduzir os riscos de dano permanente de sistemas eletroeletrônicos existentes nas estruturas.

Danos permanentes nos sistemas eletroeletrônicos podem ser causados pelo impulso eletromagnético da descarga atmosférica (*LEMP*) por meio de:

- surtos conduzidos ou induzidos transmitidos pelos cabos conectados aos sistemas;
- os efeitos dos campos eletromagnéticos irradiados diretamente para os próprios equipamentos.

Surtos na estrutura podem se originar de fontes externas ou internas à própria estrutura:

- surtos com origem externa à estrutura são criados por descargas atmosféricas que atingem as linhas entrando na estrutura, ou o solo próximo a elas, e são transmitidos aos sistemas elétricos e eletrônicos dentro da estrutura por meio destas linhas;
- surtos com origem interna à estrutura são criados por descargas atmosféricas que atingem a própria estrutura ou o solo próximo a ela.

NOTA Os surtos podem também se originar internamente à estrutura por efeitos de chaveamento, como, por exemplo, o chaveamento de cargas indutivas.

O acoplamento pode surgir por diferentes mecanismos:

- acoplamento resistivo (por exemplo, a impedância do subsistema de aterramento ou a resistência da blindagem dos cabos);

- acoplamento pelo campo magnético (por exemplo, causado pelos laços formados pelos cabos dos sistemas elétricos e eletrônicos ou pela indutância dos condutores de equipotencialização);
- acoplamento pelo campo elétrico (por exemplo, causado pelos mastros metálicos das antenas de recepção).

NOTA Os efeitos do acoplamento pelo campo elétrico são geralmente muito pequenos quando comparados ao acoplamento pelo campo magnético e podem ser desprezados.

Campos eletromagnéticos irradiados podem ser gerados por:

- corrente elétrica que flui no canal das descargas atmosféricas diretas;
- corrente parcial da descarga atmosférica fluindo nos condutores (por exemplo, nos condutores de descida de um SPDA externo de acordo com a ABNT NBR 5419-3 ou em uma blindagem espacial de acordo com esta parte da Norma).



Proteção contra descargas atmosféricas

Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 5419 fornece informações para o projeto, instalação, inspeção, manutenção e ensaio de sistemas de proteção elétricos e eletrônicos (Medidas de Proteção contra Surtos – MPS) para reduzir o risco de danos permanentes internos à estrutura devido aos impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas (LEMP).

Esta Parte da ABNT NBR 5419 não cobre a proteção total contra interferências eletromagnéticas devido às descargas atmosféricas, que podem causar mau funcionamento de sistemas internos.

Entretanto, as informações relacionadas no Anexo A podem reduzir, de forma satisfatória, os danos aos equipamentos e também ser usadas para avaliar tais perturbações. Medidas de proteção contra interferências eletromagnéticas estão relacionadas também na ABNT NBR 5410 e na série IEC 61000.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 não trata em detalhes do projeto dos sistemas elétricos e eletrônicos em si.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 5410:2004, *Instalações elétricas de baixa tensão*

ABNT NBR 5419-1:2015, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais*

ABNT NBR 5419-2:2015, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 2: Gerenciamento de risco*

ABNT NBR 5419-3:2015, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida*

ABNT NBR IEC 61643-1, *Dispositivos de proteção contra surtos em baixa tensão – Parte 1: Dispositivos de proteção conectados a sistemas de distribuição de energia de baixa tensão – Requisitos de desempenho e métodos de ensaio*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61000 (all parts), *Electromagnetic compatibility (EMC)*

IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-9: Testing and measurement techniques – Pulse magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-10, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test*

IEC/TR 61000-5-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling*

IEC 61643-12, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles*

IEC 61643-21, *Low-voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*

IEC 61643-22, *Low-voltage surge protective devices – Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Selection and application principles*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1

sistema elétrico

sistema que incorpora componentes de alimentação em baixa tensão

3.2

sistema eletrônico

sistema que incorpora os componentes de uma instalação elétrica de sinal, por exemplo, equipamentos eletrônicos de telecomunicações, controladores microprocessados, sistemas de instrumentação, sistemas de rádio, instalações de eletrônica de potência

3.3

sistemas internos

sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma estrutura

3.4

proteção contra descargas atmosféricas

PDA

sistema completo para proteção de estruturas contra as descargas atmosféricas, incluindo seus sistemas internos e conteúdo, assim como as pessoas, em geral consistindo em um SPDA e MPS

3.5

sistema de proteção contra descargas atmosféricas

SPDA

sistema utilizado para reduzir danos físicos devido às descargas atmosféricas diretas em uma estrutura

NOTA Consiste nos sistemas externo e interno de proteção contra descargas atmosféricas.

3.6

pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas

LEMP

todos os efeitos eletromagnéticos causados pela corrente das descargas atmosféricas por meio de acoplamento resistivo, indutivo e capacitivo, que criam surtos e campos eletromagnéticos irradiados

3.7

surto

efeitos transitórios causados por LEMP que aparecem na forma de sobretensão e/ou sobrecorrente

3.8

nível de tensão suportável nominal de impulso

U_w

tensão suportável de impulso definida pelo fabricante de um equipamento ou de uma parte dele, caracterizando a capacidade de suportabilidade específica da sua isolação contra sobretensões

NOTA Para o objetivo desta Parte da ABNT NBR 5419, somente a suportabilidade à tensão impulsiva entre condutores vivos e o aterramento é considerada.

3.9

nível de proteção contra descargas atmosféricas

NP

número associado a um conjunto de parâmetros da corrente da descarga atmosférica para garantir que os valores especificados em projeto não estejam superdimensionados ou subdimensionados quando da ocorrência de uma descarga atmosférica

NOTA O nível de proteção contra descargas atmosféricas é utilizado para se projetar as medidas de proteção de acordo a um conjunto relevante de parâmetros das descargas atmosféricas.

3.10

zona de proteção contra descarga atmosférica “raio”

ZPR

zona onde o ambiente eletromagnético causado pelo raio é definido

NOTA A fronteira entre as zonas de uma ZPR não é necessariamente uma fronteira física (por exemplo, paredes, chão e teto).

3.11

medidas de proteção contra surtos causados por LEMP

MPS

conjunto de medidas tomadas para proteger os sistemas internos contra os efeitos causados por LEMP

3.12

blindagem espacial em forma de grade

blindagem magnética caracterizada por aberturas

NOTA Para um edifício ou uma sala, a blindagem é preferencialmente construída pela interconexão dos elementos naturais da estrutura (por exemplo, barras do concreto armado, molduras e suportes metálicos).

3.13

subsistema de aterramento

parte de um SPDA externo que tem como objetivo conduzir e dispersar a descarga atmosférica no solo

3.14

ligações equipotenciais em rede

rede de interconexões de todas as partes condutoras da estrutura e dos sistemas internos (condutores vivos excluídos) para um barramento de aterramento

3.15

sistema de aterramento

sistema completo que combina o subsistema externo de aterramento e o sistema de equipotencialização. É definido também como o conjunto de todos os eletrodos e condutores de aterramento, interligados ou não, assim como partes metálicas que atuam direta ou indiretamente com a função de aterramento, como torres e pórticos, armaduras de edificações, capas metálicas de cabos, tubulações etc.

3.16

dispositivo de proteção contra surtos

DPS

dispositivo destinado a limitar as sobretensões e desviar correntes de surto. Contém pelo menos um componente não linear

3.17

DPS ensaiado com I_{imp}

DPS que em ensaios suporta correntes impulsivas parciais das descargas atmosféricas I_{imp} com forma de onda típica 10/350 μ s

NOTA Para linhas elétricas de energia, uma corrente de ensaio adequada I_{imp} é definida para ensaio na classe I segundo procedimento descrito na ABNT NBR IEC 61643-1.

3.18

DPS ensaiado com I_n

DPS que suporta correntes induzidas de surto com uma forma de onda típica 8/20 μ s. No ensaio, exige-se uma corrente impulsiva correspondente a I_n

NOTA Para linhas de energia uma corrente de ensaio adequada I_n é definida para ensaio na classe 2 segundo procedimento descrito na ABNT NBR IEC 61643-1.

3.19

DPS ensaiado com uma onda combinada

DPS que suporta correntes induzidas de surto com uma forma de onda típica 8/20 μ s. No ensaio exige-se uma corrente impulsiva correspondente a I_{sc}

NOTA Para linhas elétricas de energia uma combinação adequada de ondas é definida para ensaio na classe 3 segundo o procedimento descrito na ABNT NBR IEC 61643-1 definindo a tensão de circuito aberto U_{OC} 1,2/50 μ s e a corrente de curto-circuito I_{SC} 8/20 μ s de um gerador de ondas combinadas com relação-limite entre estes parâmetros de 2 Ω .

3.20

DPS tipo comutador de tensão

DPS que possui alta impedância em condições normais, mas que em resposta a um surto de tensão sofre uma mudança brusca nesta impedância para um valor muito baixo

NOTA 1 Exemplos comuns de componentes usados como dispositivos comutadores de tensão incluem centelhadores, centelhadores encapsulados a gás, tiristores (retificadores controlados de silício) e triacs. Estes DPS são algumas vezes chamados de "centelhadores".

NOTA 2 Um dispositivo comutador de tensão tem uma característica tensão/corrente descontínua.

3.21

DPS tipo limitador de tensão

DPS que tem uma alta impedância em condições normais, mas irá reduzir-se continuamente com o aumento da tensão e corrente do surto

NOTA 1 Exemplos comuns de componentes usados como dispositivos não lineares são varistores e diodos supressores.

NOTA 2 Um dispositivo limitador de tensão tem uma característica tensão/corrente contínua.

3.22

DPS tipo combinado

DPS que incorpora componentes com ambas as características (comutador e limitador de tensão) e, portanto, pode apresentar comportamento como comutador de tensão, limitador de tensão, ou ambos, dependendo das características da tensão aplicada

3.23

coordenação de DPS

DPS adequadamente selecionados, coordenados e instalados para formar um conjunto que visa reduzir falhas dos sistemas internos

3.24

interfaces isolantes

dispositivos que são capazes de reduzir surtos conduzidos nas linhas que adentram as zonas de proteção contra os raios (ZPR)

3.25

equipotencialização

conjunto de medidas que visa a redução das tensões nas instalações causadas pelas descargas atmosféricas a níveis suportáveis para essas instalações e equipamentos por elas servidos, além de reduzir riscos de choque elétrico. Tais medidas consistem tipicamente em ligações entre partes metálicas das instalações e destas ao SPDA, direta ou indiretamente (por meio de DPS), envolvendo massas metálicas de equipamentos, condutores de proteção, malhas de condutores instaladas sob ou sobre equipamentos sensíveis, blindagens de cabos e condutos metálicos, elementos metálicos estruturais, tubulações metálicas entre outros

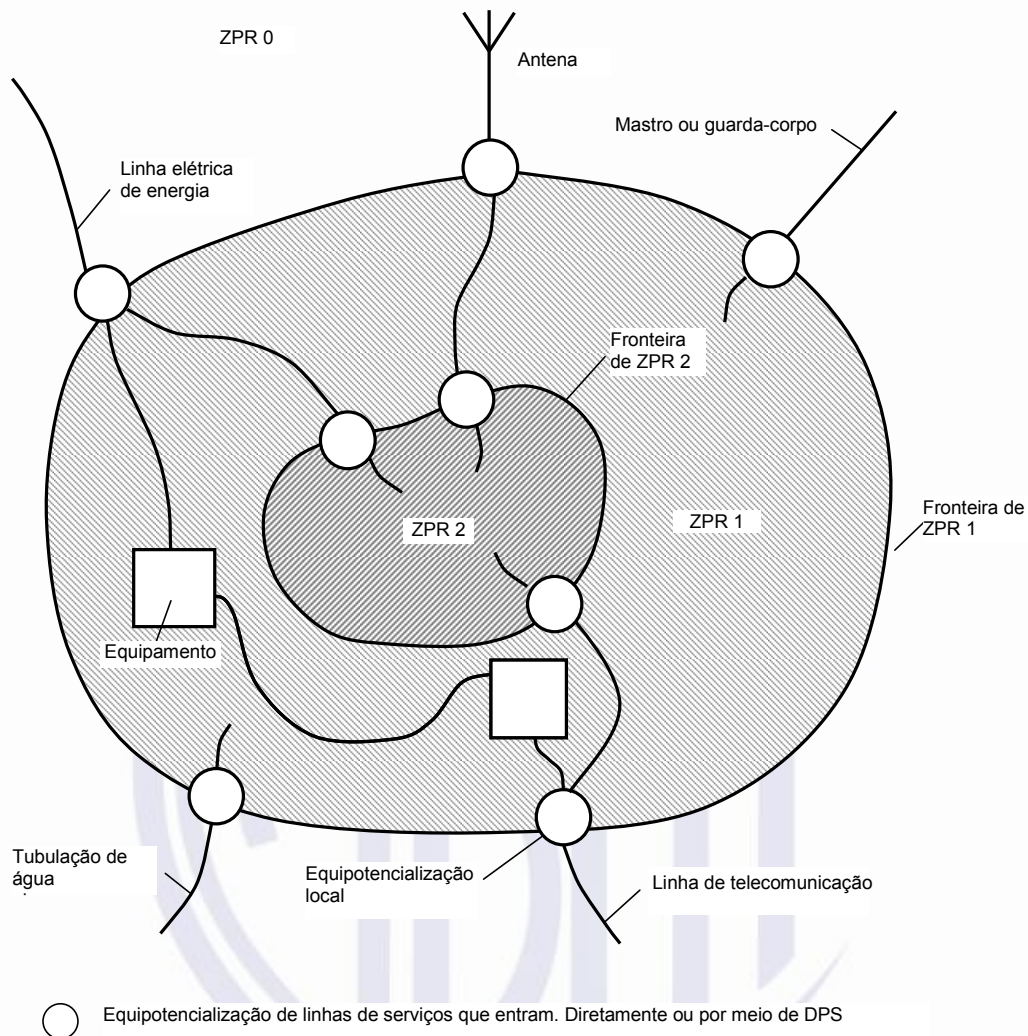
NOTA Rigorosamente, equipotencialização é um conceito que somente se aplica em corrente contínua ou, de forma aproximada, em baixas frequências. Para as componentes de frequências mais altas das correntes das descargas atmosféricas, algumas das medidas tipicamente empregadas com finalidade de equipotencialização podem ter efeito de redução de tensão entre os pontos onde a ligação equipotencial é feita, contanto que essa ligação seja curta (por exemplo, não mais que poucas dezenas de centímetros para condutores cilíndricos de bitolas usuais em instalações elétricas). Medidas como o uso de cabos blindados, o encaminhamento de cabos por condutos metálicos ou próximos a grandes estruturas condutoras são geralmente mais eficientes e espacialmente mais abrangentes em alta frequência. A noção de equipotencialização de modo genérico, porém, é útil no controle da sobretensão durante a parte em que a progressão do impulso de corrente da descarga atmosférica é mais lenta, sobretensão esta que pode estar associada a elevados níveis de energia por conta da longa duração.

4 Projeto e instalação das medidas de proteção contra surtos (MPS)

4.1 Princípios gerais

Sistemas elétricos e eletrônicos estão sujeitos a danos devido a impulsos eletromagnéticos causados pelas descargas atmosféricas (LEMP). Portanto, para evitar danos nos sistemas internos, é necessária a adoção de MPS.

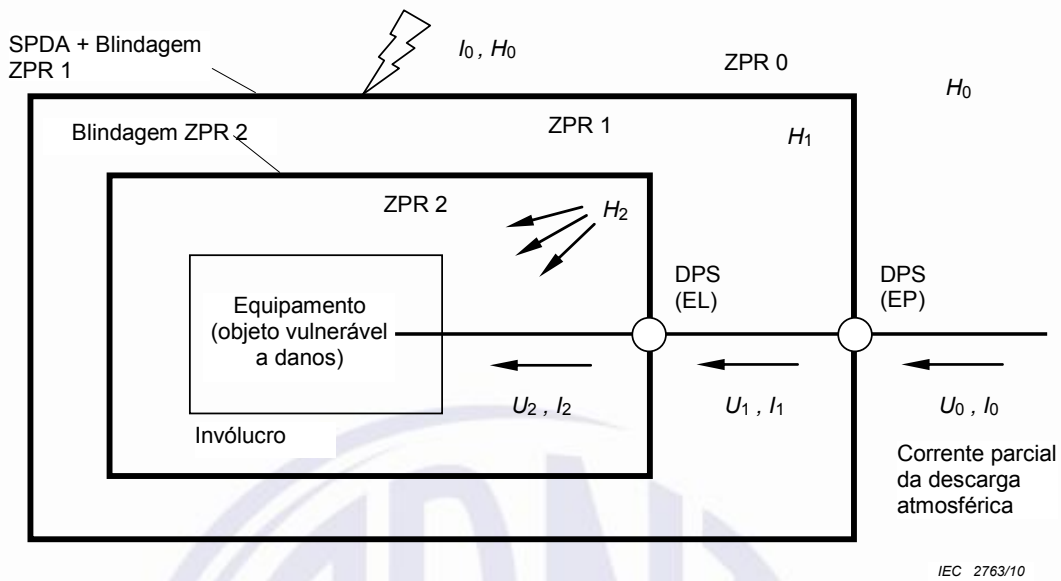
A proteção contra LEMP é baseada no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR): o volume contendo sistemas que devem ser protegidos deve ser dividido em ZPR. Estas zonas são teoricamente associadas à parte do espaço (ou de um sistema interno) onde a severidade do LEMP é compatível com a suportabilidade dos sistemas internos existentes (Figura 1). As sucessivas zonas são caracterizadas por significativas mudanças na severidade no LEMP. A fronteira de uma ZPR é definida pelas medidas de proteção empregadas (Figura 2).



IEC 2762/10

NOTA A Figura 1 mostra um exemplo de divisão de uma estrutura dentro de ZPR internas. Todos os serviços entrando na estrutura são equipotencializados por meio de barras de equipotencialização na fronteira de ZPR 1. Ainda, os serviços por meio de partes condutoras entrando em ZPR 2 (por exemplo, salas de computadores) são equipotencializados por meio de barras de equipotencialização em ZPR 2.

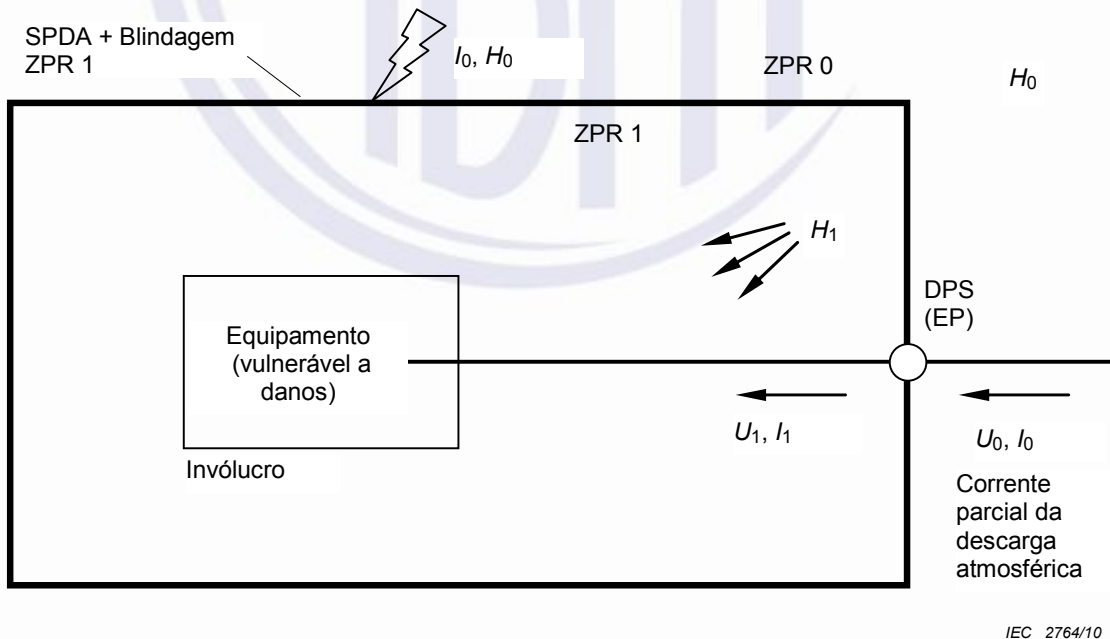
Figura 1 – Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR



Legenda

- EP equipotencialização principal
- EL equipotencialização local

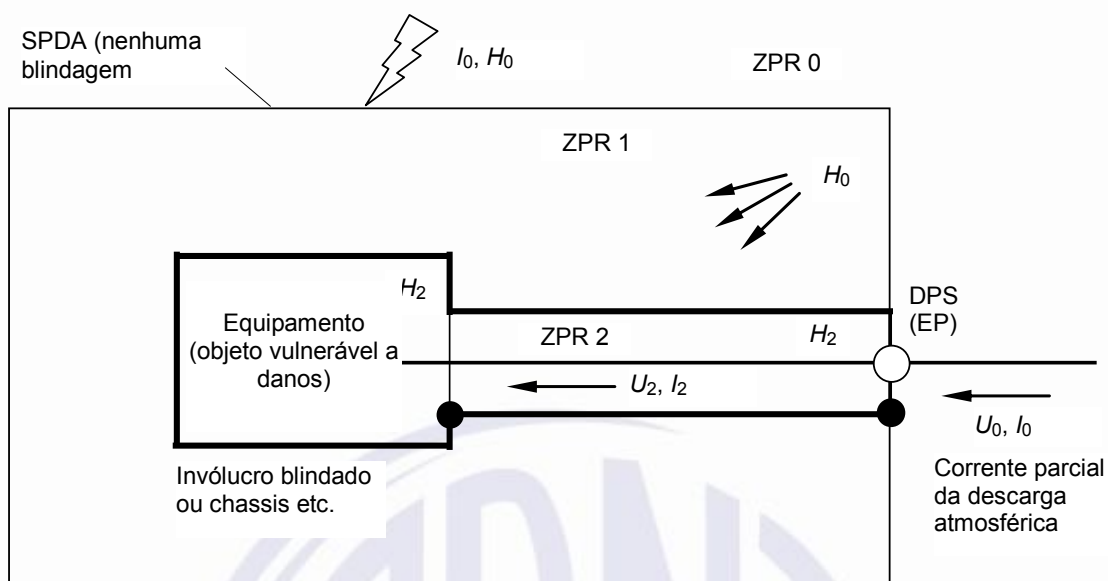
a) MPS usando blindagem espacial e um sistema coordenado de DPS – Equipamentos bem protegidos contra surtos conduzidos ($U_2 \ll U_0$ e $I_2 \ll I_0$) e contra campos magnéticos irradiados ($H_2 \ll H_0$)



Legenda

- EP equipotencialização principal

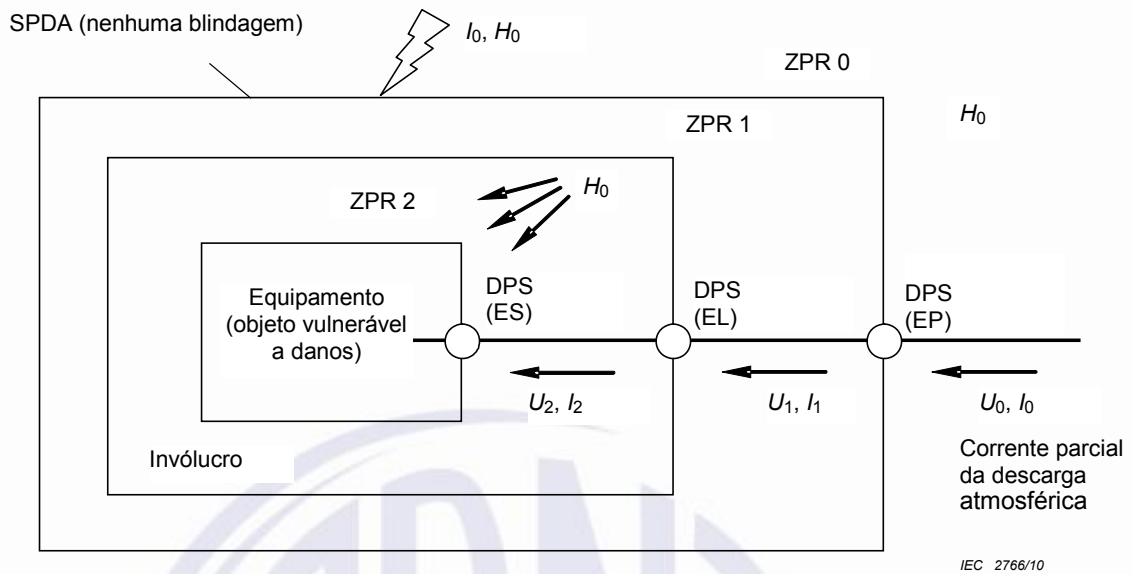
b) MPS usando blindagem espacial em ZPR 1 e DPS na entrada – Equipamentos protegidos contra surtos conduzidos ($U_1 \ll U_0$ e $I_1 \ll I_0$) e contra campos magnéticos irradiados ($H_1 \ll H_0$)



Legenda

EP equipotencialização principal

c) MPS usando linhas internas blindadas e proteção por meio de DPS na entrada de ZPR 1 – Equipamentos protegidos contra surtos conduzidos ($U_2 < U_0$ e $I_2 < I_0$) e contra campos eletromagnéticos irradiados ($H_2 < H_0$)



Legenda

- EP equipotencialização principal
- EL equipotencialização local
- ES equipotencialização suplementar
- Fronteiras blindadas
- Fronteiras não blindadas

d) MPS usando apenas um sistema coordenado de DPS – Equipamento protegido contra surtos conduzidos ($U_2 \ll U_0$ e $I_2 \ll I_0$), mas não contra campos magnéticos irradiados (H_0)

NOTA 1 DPS podem ser instalados nos seguintes pontos:

- na fronteira de ZPR 1 (por exemplo, no quadro de distribuição principal – QDP);
- nas fronteiras de ZPR 2 (por exemplo, nos quadros de distribuição secundária – QDS);
- no ou o mais próximo dos equipamentos (por exemplo, nas tomadas).

NOTA 2 Para informações mais detalhadas, ver ABNT NBR 5410.

Figura 2 – Exemplos de possíveis MPS (medidas de proteção contra surtos)

Danos permanentes de sistemas elétricos e eletrônicos devido a LEMP podem ser causados por:

- surtos conduzidos e induzidos transmitidos aos equipamentos por meio da conexão por condutores metálicos;
- efeitos de campos eletromagnéticos irradiados diretamente para os próprios equipamentos.

Para proteção contra os efeitos de campos eletromagnéticos irradiados diretamente para os próprios equipamentos, devem ser usadas MPS consistindo em blindagens espaciais e/ou condutores blindados, combinados com a blindagem dos invólucros dos equipamentos.

Para a proteção contra os efeitos de surtos conduzidos ou induzidos, sendo transmitidos para os equipamentos por meio de conexões por cabos, devem ser usadas MPS consistindo em um sistema coordenado de DPS.

Falhas devido a campos eletromagnéticos irradiados diretamente para os equipamentos podem ser consideradas desprezíveis se os equipamentos atenderem às normas de EMC do produto, pertinentes às emissões em radiofrequência e imunidades.

Em geral, os equipamentos devem atender as normas de EMC do produto, portanto MPS consistindo em uma coordenação de DPS são normalmente consideradas suficientes para proteger tais equipamentos contra os efeitos do LEMP.

Para equipamentos que não atendem às normas de EMC do produto, MPS consistindo apenas em uma coordenação de DPS são consideradas inadequadas para proteger tais equipamentos contra os efeitos de LEMP. Neste caso, o Anexo A fornece mais informações sobre como alcançar melhor proteção contra campos eletromagnéticos atingindo diretamente os equipamentos. A suportabilidade dos equipamentos quanto a campos magnéticos deve ser selecionada de acordo com a IEC 61000-4-9 e IEC 61000-4-10.

Se necessário, para aplicações específicas, sistemas simulados para ensaio que incluam os DPS, condutores da instalação e os atuais equipamentos podem ser ensaiados em laboratório para verificar coordenação de suportabilidade.

4.2 Projeto de MPS

MPS podem ser projetadas para a proteção de equipamentos contra surtos e campos eletromagnéticos. A Figura 2 fornece alguns exemplos de MPS usando medidas de proteção como SPDA, blindagens eletromagnéticas e a coordenação de DPS:

- a) MPS empregando blindagens espaciais em forma de grade e a coordenação de DPS protegem contra campos eletromagnéticos irradiados e surtos conduzidos (ver Figura 2a)). Sucessivas blindagens espaciais em forma de grade e DPS coordenados podem reduzir o campo eletromagnético e os surtos a um nível mais baixo de ameaça;
- b) MPS empregando uma blindagem espacial em forma de grade em ZPR 1 e DPS na entrada da ZPR 1 podem proteger equipamentos contra campos magnéticos irradiados e contra surtos conduzidos (Figura 2b));

NOTA 1 A proteção pode não ser suficiente se o campo magnético permanecer muito alto (devido à baixa efetividade da blindagem em ZPR 1), ou se a intensidade do surto permanecer muito alta (devido ao alto nível de proteção do DPS e aos efeitos da indução nos cabos a jusante do DPS).

- c) MPS usando linhas blindadas, combinadas com invólucros blindados dos equipamentos protegem contra campos magnéticos irradiados. O DPS na entrada de ZPR 1 providencia proteção contra surtos conduzidos (ver Figura 2c)). Para alcançar um menor nível de ameaça (entre as ZPR 0 e ZPR 2), DPS adicionais podem ser necessários (por exemplo, estágios adicionais internos coordenados entre si) para alcançar um nível de proteção suficientemente baixo;
- d) MPS usando coordenação de DPS somente são adequadas para proteger equipamentos que não são sensíveis a campos magnéticos irradiados, já que os DPS somente fornecem proteção contra surtos conduzidos (ver Figura 2d)). Um nível mais baixo de ameaças de surto pode ser alcançado utilizando DPS coordenados.

NOTA 2 Soluções de acordo com as Figuras 2a) a c) são recomendadas especialmente para equipamentos que não atendem às normas EMC pertinentes para produtos.

NOTA 3 Um SPDA de acordo com a ABNT NBR 5419-3 que emprega somente DPS para ligação equipotencial pode não fornecer proteção eficaz contra danos em sistemas elétricos e eletrônicos sensíveis. O SPDA pode aumentar sua eficiência ao reduzir as dimensões da malha e selecionar DPS adequados, fazendo-os uma parte efetiva das MPS.

4.3 Zonas de proteção contra raios (ZPR)

Com relação à ameaça de descargas atmosféricas, são definidas as seguintes ZPR (ver ABNT NBR 5419-1):

4.3.1 Zonas externas:

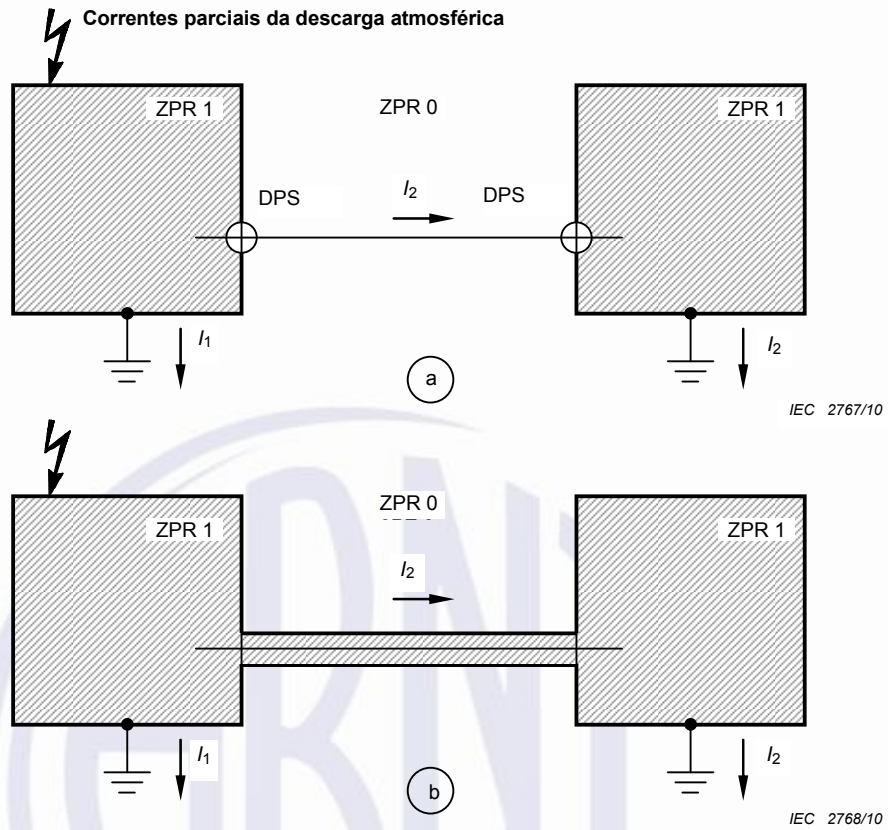
- a) ZPR 0 zona onde a ameaça é devido a não atenuação do campo eletromagnético da descarga atmosférica e onde os sistemas internos podem ser sujeitos às correntes de surto totais ou parciais. A ZPR 0 é subdividida em:
- b) ZPR 0_A zona onde a ameaça é devido à descarga atmosférica direta e a totalidade do campo eletromagnético gerado por esta descarga. Os sistemas internos podem estar sujeitos à totalidade da corrente de surto;
- c) ZPR 0_B zona protegida contra as descargas atmosféricas diretas, mas onde a ameaça é causada pela totalidade do campo eletromagnético. Os sistemas internos podem estar sujeitos às correntes de surto parciais.

4.3.2 Zonas internas (protegidas contra descargas atmosféricas diretas):

- a) ZPR 1: zona onde a corrente de surto é limitada pela distribuição das correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS ou blindagem espacial instalados na fronteira das zonas. Blindagens espaciais em formas de grade podem atenuar significativamente o campo eletromagnético;
- b) ZPR 2...n: zona onde a corrente de surto pode ser ainda mais limitada pela distribuição de correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS adicionais nas fronteiras entre as zonas mais internas. Blindagens adicionais podem ser usadas para atenuação adicional do campo eletromagnético gerado pela descarga atmosférica.

As ZPR são implantadas pela instalação das MPS, por exemplo, instalação de um sistema coordenado de DPS e/ou blindagem eletromagnética (ver Figura 2). Dependendo do número, tipo e suportabilidade dos equipamentos protegidos, ZPR adicionais podem ser definidas. Estas podem incluir menores zonas internas localizadas (por exemplo, invólucros metálicos dos equipamentos) ou zonas maiores (por exemplo, a estrutura completa) (ver Figura 2 b)).

A interconexão de ZPR de mesma ordem pode ser necessária se duas estruturas separadas são conectadas por linhas elétricas de energia ou de sinal, ou se desejar reduzir o número de DPS utilizados (ver Figura 3).



NOTA A Figura 3 a) mostra duas ZPR 1 conectadas por linhas elétricas (de energia ou de sinal). Recomenda-se cuidados adicionais se ambas ZPR 1 representam estruturas separadas com sistemas de aterramento separados, espaçados dezenas ou centenas de metros entre si. Neste caso, uma grande parcela da corrente da descarga atmosférica pode fluir pelas linhas conectadas que não estiverem protegidas.

NOTA A Figura 3 b) mostra que este problema pode ser resolvido usando cabos blindados ou dutos blindados interconectando ambas ZPR 1, providenciando que as blindagens sejam capazes de conduzir uma parcela da corrente da descarga atmosférica. O DPS pode ser eliminado se a queda de tensão ao longo das blindagens não for muito alta.

onde

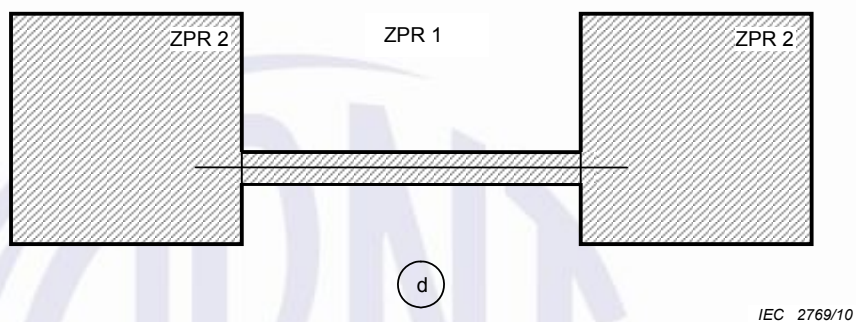
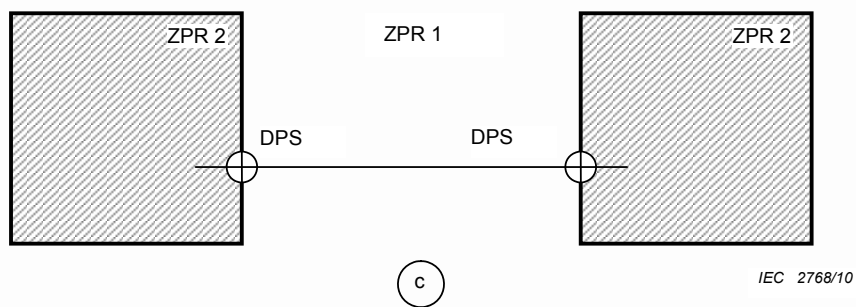
I_1, I_2 Correntes parciais da descarga atmosférica.

onde

I_1, I_2 Correntes parciais da descarga atmosférica.

a) Interligando duas ZPR 1 usando DPS

b) Interligando duas ZPR 1 usando cabos blindados ou dutos blindados



NOTA A Figura 3 c) mostra duas ZPR 2 conectadas por linhas elétricas (de energia ou de sinal). Devido às linhas estarem expostas no nível de ameaça da ZPR 1, DPS na entrada de cada ZPR 2 são necessários.

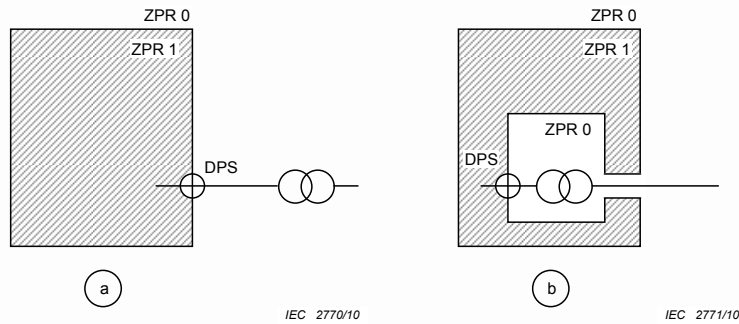
NOTA A Figura 3 d) mostra que tais interferências podem ser evitadas e os DPS podem ser omitidos, se cabos ou dutos blindados forem utilizados para interligar ambas ZPR 2.

c) Interligando-se duas ZPR usando DPS

d) Interligando-se duas ZPR 2 usando cabos blindados ou dutos blindados

Figura 3 – Exemplos para interligação de ZPR

Avaliação detalhada do ambiente eletromagnético em uma ZPR é descrita no Anexo A.



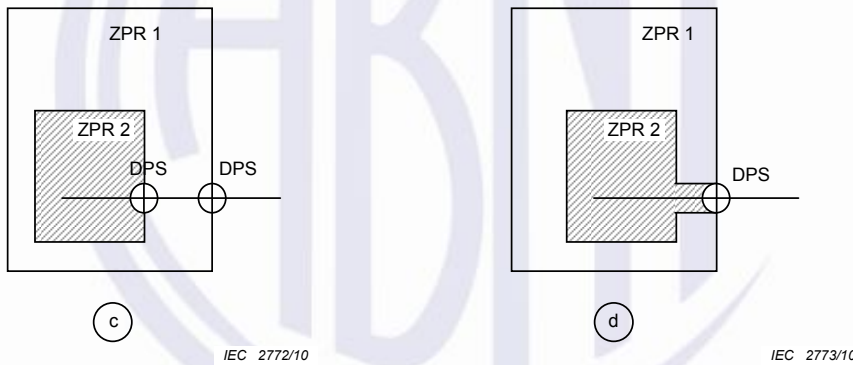
NOTA Figura 4 a) mostra uma estrutura alimentada por um transformador. Se o transformador é localizado fora da estrutura, somente a linha de baixa tensão entrando na estrutura requer proteção por meio de um DPS.

NOTA Se o transformador é localizado dentro da estrutura e não tem um DPS instalado no lado MT (uma vez que ao proprietário da edificação frequentemente não é permitido adotar medidas no lado da média tensão), então a Figura 4 b) se aplica.

A Figura 4 b) mostra que o problema pode ser resolvido por se estender a ZPR 0 dentro da ZPR 1, o que novamente requer que DPS sejam instalados apenas no lado de baixa tensão.

a) Transformador fora da estrutura (dentro de ZPR 0)

b) Transformador dentro da estrutura (ZPR 0 estendido dentro de ZPR 1)



NOTA Figura 4 c) mostra uma ZPR 2 alimentada por uma linha elétrica de energia ou sinal. Esta linha necessita 2 DPS coordenados: um na fronteira das ZPR 0/1, o outro na fronteira das ZPR 1/2.

NOTA Figura 4 d) mostra que uma linha pode entrar imediatamente na ZPR 2 e, nessa condição, (se a ZPR 2 é estendida para a ZPR 1 usando cabos blindados ou dutos blindados para cabos) somente um DPS é necessário. Entretanto, este DPS precisa ser compatível para reduzir a ameaça imediatamente ao nível da ZPR 2.

c) São necessários 2DPSs coordenados – DPS (entre as zonas 0/1) e DPS (entre zonas 1/2)

d) Somente um DPS é necessário – DPS (entre as zonas ZPR 0/2) (ZPR 2 estendido dentro de ZPR 1)

Figura 4 – Exemplos para ZPR estendidas

4.4 MPS Básicas

As medidas básicas de proteção contra LEMP incluem os itens a seguir:

4.4.1 Aterramento e equipotencialização (ver Seção 5)

O sistema de aterramento conduz e dispersa as correntes da descarga atmosférica para o solo.

A rede de equipotencialização minimiza as diferenças de potencial e pode reduzir o campo magnético.

4.4.2 Blindagem magnética e roteamento das linhas (ver Seção 6)

Blindagens espaciais atenuam os campos magnéticos dentro da ZPR, decorrentes de descargas atmosféricas diretas ou próximas à estrutura, e reduzem internamente os surtos.

Blindagem de linhas internas, utilizando cabos blindados ou os dutos blindados, minimiza surtos induzidos internamente.

Roteamento de linhas internas pode minimizar laços de indução e reduzir surtos.

NOTA Blindagem espacial, blindagem e roteamento de linhas internas podem ser usadas combinadas ou separadamente.

Blindagem de linhas externas entrando na estrutura limita os surtos conduzidos para dentro dos sistemas internos.

4.4.3 Coordenação de DPS (ver Seção 7)

Um sistema coordenado de DPS minimiza os efeitos de surtos originados interna ou externamente.

4.4.4 Interfaces isolantes (ver Seção 8)

Interfaces isolantes minimizam os efeitos de surtos em linhas entrando na ZPR.

Aterramento e equipotencialização devem sempre ser assegurados, particularmente a equipotencialização de todos os condutores de serviço diretamente ou por meio do uso de DPS, no ponto de entrada da estrutura.

Outras MPS podem ser utilizadas sozinhas ou combinadas.

MPS devem suportar o desgaste operacional esperado no local da instalação (por exemplo, desgaste de temperatura, umidade, atmosfera corrosiva, vibração, tensão e corrente).

A seleção das MPS mais adequadas deve ser feita usando um método de análise de risco de acordo com o ABNT NBR 5419-2, levando em conta fatores técnicos e econômicos.

Informações práticas sobre a implementação de MPS para sistemas internos em estruturas existentes são fornecidas no Anexo B.

NOTA 1 Ligações equipotenciais de acordo com a ABNT NBR 5419-3 protege apenas contra centelhamentos perigosos. A proteção contra surtos de sistemas internos requer uma coordenação de DPS de acordo com esta Norma.

NOTA 2 Informações adicionais sobre a implementação de MPS podem ser obtidas na ABNT NBR 5410.

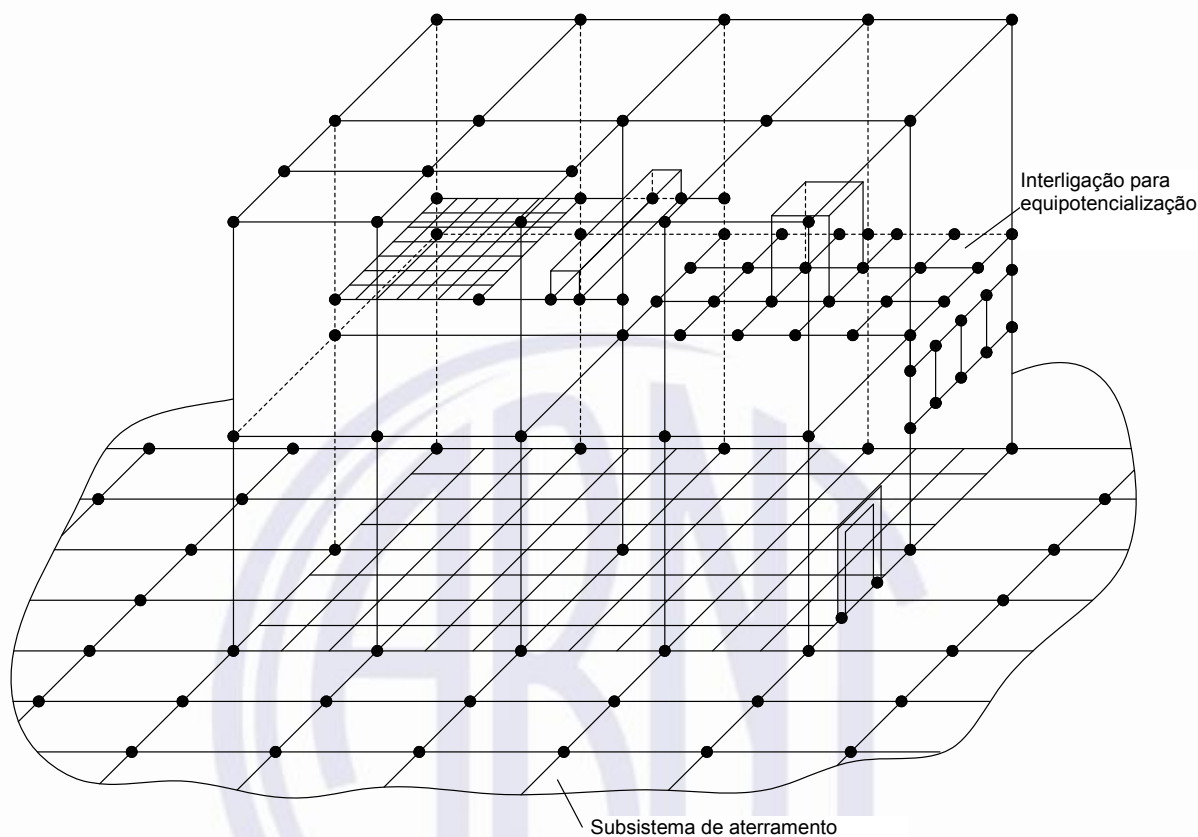
5 Aterramento e equipotencialização

5.1 Princípios gerais

Aterramento e equipotencialização adequados estão baseados em um sistema combinado (ver Figura 5):

a) o subsistema de aterramento (dispersando as correntes da descarga atmosférica no solo), e

b) a malha de equipotencialização (minimizando as diferenças de potencial e reduzindo o campo magnético).



IEC 2774/10

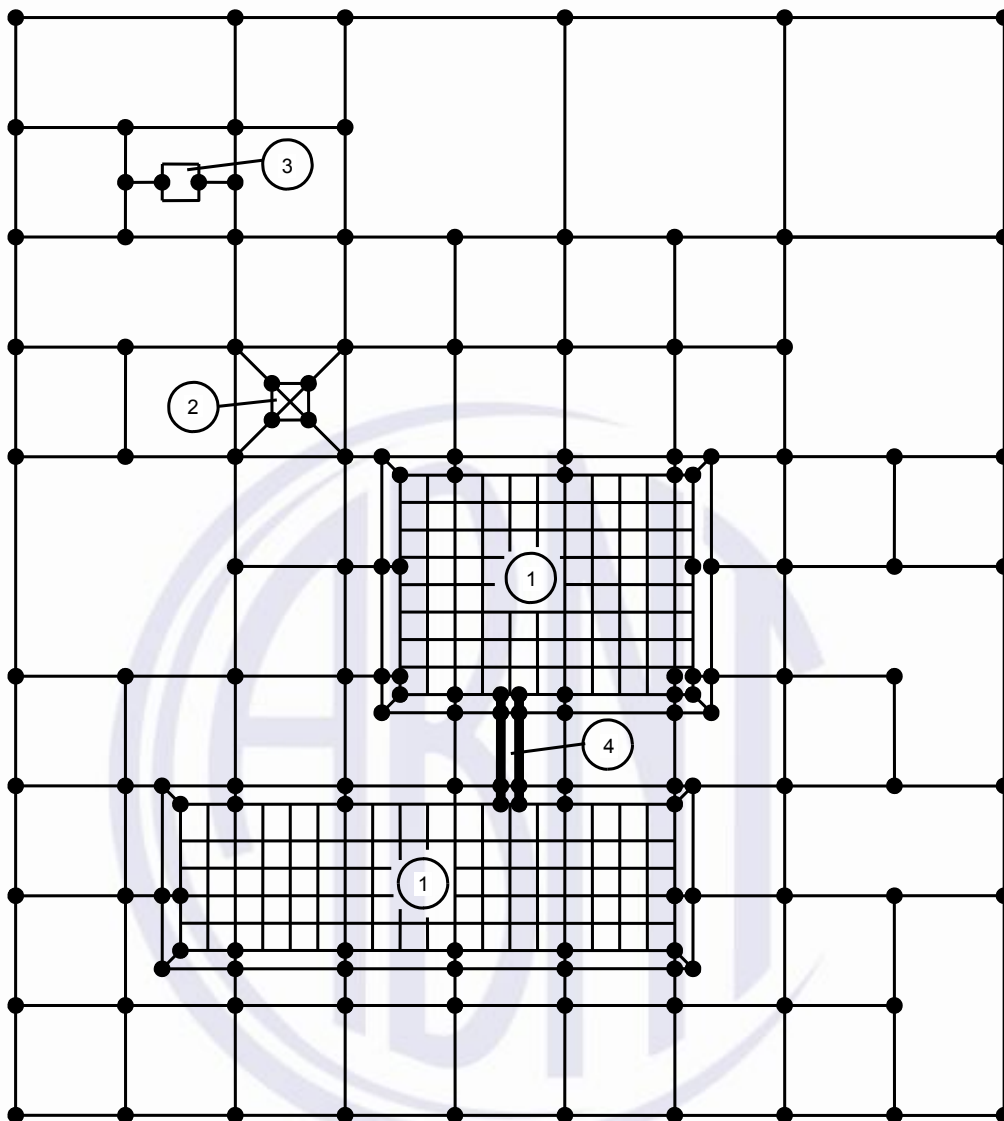
NOTA Todos os condutores desenhados são elementos metálicos estruturais equipotencializados ou condutores de equipotencialização. Alguns deles podem servir para interceptar, conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica para a terra.

Figura 5 – Exemplo de um sistema de aterramento tridimensional consistindo em uma rede de equipotencialização, interligada com o subsistema de aterramento

5.2 Subsistema de aterramento

O subsistema de aterramento deve atender a ABNT NBR 5419-3.

Tanto o eletrodo em forma de anel ao redor da estrutura quanto o eletrodo natural usando as armaduras do concreto das fundações devem ser interligados. Eventuais módulos internos podem ser considerados para minimizar tensões superficiais indesejáveis. A Figura 6 mostra o exemplo de uma malha com largura de, tipicamente 5 m.



IEC 2775/10

Legenda

- 1 edificação com uma rede reforçada em forma de malha
- 2 torre no interior da planta
- 3 equipamento autônomo
- 4 bandeja de cabos

Figura 6 – Subsistema de aterramento em forma de malha de uma planta

Para reduzir as diferenças de potencial entre dois sistemas internos, os quais possam ser referenciados em alguns casos especiais para separar sistemas de aterramento, os seguintes métodos podem ser aplicados:

- a) vários condutores de equipotencialização em paralelo percorrendo os mesmos caminhos que os cabos elétricos, ou os cabos instalados nos dutos de concreto armado (ou eletroduto metálico contínuo e equipotencializado) os quais foram integrados em ambos subsistemas de aterramento;

- b) cabos blindados com blindagem de seção adequada e equipotencializada aos sistemas de aterramento separados em cada extremidade.

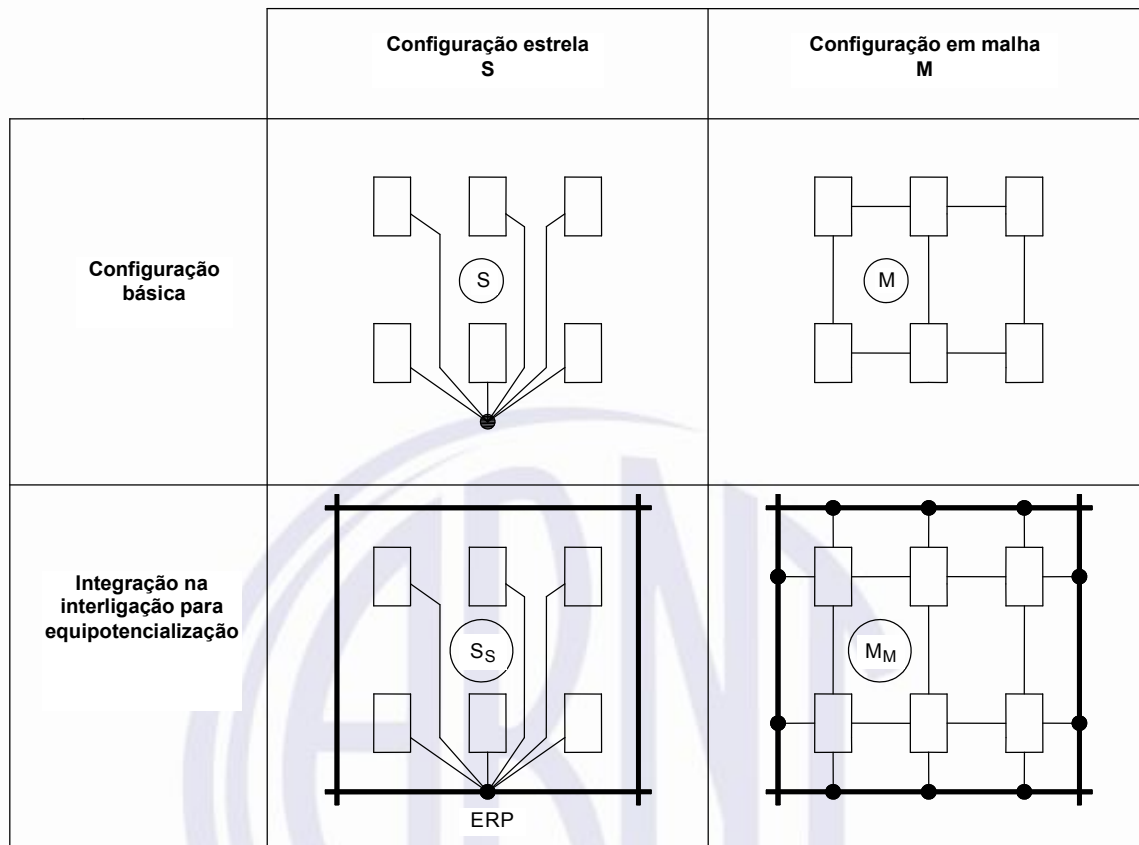
5.3 Ligação equipotencial

Uma ligação equipotencial de baixa impedância é necessária para minimizar diferenças de potencial perigosas entre todos os equipamentos dentro da ZPR. Ainda, tais ligações equipotenciais também podem reduzir os efeitos do campo magnético (ver Anexo A)

Isto pode ser realizado por uma malha que interliga elementos condutores da estrutura, ou partes de sistemas internos, e pela ligação de partes metálicas ou serviços condutores no limite de cada ZPR, diretamente ou usando DPS adequados.

A rede de equipotencialização pode ser arranjada como uma malha tridimensional. Para este objetivo são necessárias múltiplas interligações dos componentes metálicos da estrutura como concreto armado, trilhos do elevador, guindastes, telhados e fachadas metálicas, armações metálicas de fachadas, portas e pisos, tubulações e bandejas de cabos. Barramentos de equipotencialização (barras de equipotencialização em anel ou várias barras de equipotencialização em níveis diferentes da estrutura) e blindagens magnéticas da ZPR devem ser interligados da mesma forma.

Partes condutoras (por exemplo, gabinetes, caixas, armários) e o condutor de proteção (PE) dos sistemas internos devem ser conectados ao sistema de equipotencialização de acordo com as seguintes configurações (ver Figura 7):



IEC 2778/10

Legenda

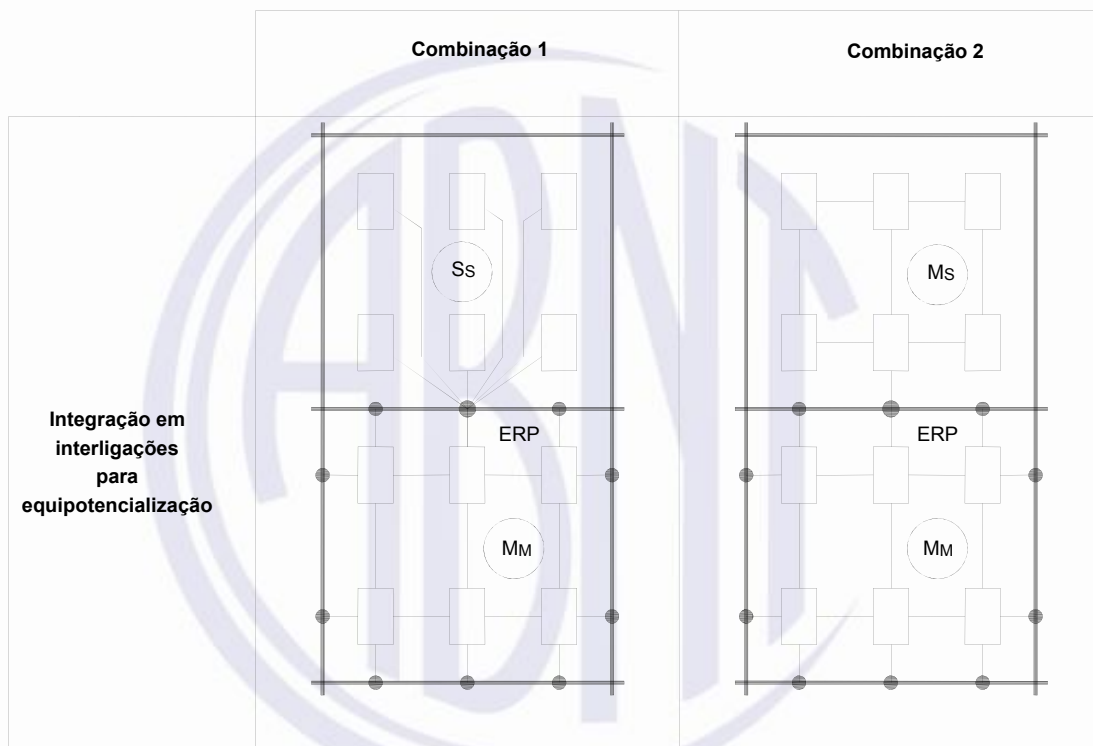
- barra para equipotencialização
- condutor para equipotencialização
- equipamento
- ponto de conexão para interligação para equipotencialização
- ERP ponto de referência para o sistema de aterramento
- S_S configuração em estrela, integrada em um ponto “estrela”
- M_M configuração em malha integrada em uma malha

Figura 7 – Integração de partes condutoras de sistemas internos em uma interligação para equipotencialização

Se a configuração S é usada, todos os componentes metálicos (por exemplo, gabinetes, caixas, armários) dos sistemas internos devem ser isolados do sistema de aterramento. A configuração S deve ser integrada ao sistema de aterramento apenas por uma única barra de equipotencialização atuando como ponto de referência do aterramento (ERP) resultando no tipo S_S. Quando a configuração S é utilizada, todas as linhas entre os equipamentos individuais devem correr paralelamente entre si e próximos aos condutores de equipotencialização conforme uma configuração em estrela para evitar laços de indução. A configuração S pode ser utilizada onde sistemas internos estão localizados em zonas relativamente pequenas e todas as linhas entram nesta zona no mesmo ponto.

Se a configuração M é utilizada, os componentes metálicos (por exemplo, gabinetes, caixas, armários) dos sistemas internos não serão isolados do sistema de aterramento, mas devem ser integrados em múltiplos pontos de equipotencialização, resultando em o tipo M_M . A configuração M é preferida para sistemas internos estendidos sobre zonas relativamente amplas ou sobre uma estrutura inteira, onde muitas existem entre partes do equipamento, e onde as linhas entram na estrutura em vários pontos.

Em sistemas complexos, as vantagens de ambas as configurações (configurações M e S) podem ser combinadas como ilustrado na Figura 8, resultando na combinação 1 (S_S combinado com M_M) ou na combinação 2 (M_S combinado com M_M).



IEC 2779/10

Legenda

- interligação para equipotencialização
- condutor para equipotencialização
- equipamento
- ponto de conexão para interligação para equipotencialização
- ERP** ponto de referência para o sistema de aterramento
- S_S** configuração em estrela, integrada em um ponto "estrela"
- M_M** configuração em malha integrada em uma malha
- M_S** configuração em malha integrada em um ponto "estrela"

Figura 8 – Combinação de métodos de integração de partes condutivas de sistemas internos na interligação para equipotencialização

5.4 Barras de equipotencialização

5.4.1 Barras de equipotencialização devem ser instaladas para redução de tensão entre:

- a) todos os condutores de serviços que adentram uma ZPR (diretamente ou por meio de DPS adequados);
- b) o condutor de proteção PE;
- c) componentes metálicos dos sistemas internos (por exemplo, gabinetes, invólucros, *racks*);
- d) a blindagem magnética da ZPR na periferia e dentro da estrutura.

5.4.2 Para equipotencialização eficiente, as seguintes regras de instalação são importantes:

- a) a base para todas as medidas de equipotencialização é uma baixa impedância da rede a ser equipotencializada;
- b) barras de equipotencialização devem ser conectadas ao sistema de aterramento por rota mais curta e retilínea possível;
- c) materiais e dimensões das barras e condutores de equipotencialização devem estar de acordo com 5.6;
- d) DPS devem ser instalados de tal forma que utilizem as conexões mais curtas possíveis à barra de equipotencialização e também aos condutores vivos, de forma a minimizar as quedas de tensão indutivas;
- e) no lado protegido do circuito (após o DPS), os efeitos de indução mútua devem ser minimizados, por meio da diminuição da área do laço ou pela utilização de cabos blindados ou dutos blindados.

5.5 Equipotencialização na fronteira de uma ZPR

Onde uma ZPR é definida, a equipotencialização deve ser providenciada para todas as partes metálicas e serviços (por exemplo, tubulações metálicas, linhas elétricas de energia e de sinal), penetrando na fronteira da ZPR.

NOTA Recomenda-se que a equipotencialização dos serviços entrando na ZPR 1 seja discutida com os provedores das redes envolvidas (por exemplo, responsáveis pela energia elétrica ou telefonia), para evitar conflitos entre recomendações.

A equipotencialização deve ser realizada por meio de barras de equipotencialização, que são instaladas tão próximas quanto possível do ponto de entrada na fronteira.

Onde for possível, os serviços entrando na estrutura devem entrar na ZPR nos mesmos locais e serem conectados na mesma barra de equipotencialização. Se existem serviços entrando na mesma ZPR em diferentes locais, então cada serviço deve ser conectado a uma barra de equipotencialização e estas barras devem ser conectadas juntas. Para realizar este objetivo, é recomendado utilizar uma barra de equipotencialização em forma de anel (anel condutor).

Ligações equipotenciais por meio de DPS são sempre necessárias nas entradas das ZPR para equipotencializar as linhas que entram na ZPR e são conectadas aos sistemas internos nesta zona na barra de equipotencialização. Interconectar as ZPR ou estendê-las pode reduzir o número de DPS necessários.

Cabos blindados ou dutos metálicos para cabos interconectados, equipotencializados em cada fronteira da ZPR, podem ser utilizados para interconectar várias ZPR de uma mesma ordem para uma junção de zonas, ou para estender uma ZPR para a próxima fronteira.

5.6 Materiais e dimensões dos componentes de equipotencialização

Materiais, dimensões e condições de utilização devem atender a ABNT NBR 5419-3. A seção transversal mínima para componentes da equipotencialização deve atender à Tabela 1.

Conectores devem ser dimensionados de acordo com os valores da descarga atmosférica dos NP (ver ABNT NBR 5419-1) e a análise da divisão das correntes (ver ABNT NBR 5419-3).

DPS devem ser dimensionados de acordo com a Seção 7.

Tabela 1 – Seção transversal mínima para componentes de equipotencialização

Componentes da equipotencialização		Material ^a	Seção transversal mm ²
Barras de equipotencialização (cobre, aço cobreado ou aço galvanizado)		Cu Fe	50 50
Condutores para conexão de barras de equipotencialização para o subsistema de aterramento		Cu Fe	50 80
Condutores para conexão entre barras de equipotencialização (Conduzindo total ou parte significativa da corrente da descarga atmosférica)		Cu Al Fe	16 25 50
Condutores para conexão de partes metálicas internas da instalação para as barras de equipotencialização (conduzindo uma parcela da corrente de raio)		Cu Al Fe	6 10 16
Condutores de aterramento para os DPS (conduzindo a totalidade ou parte significativa da corrente da descarga atmosférica) ^b	Classe I Classe II Classe III Outros DPS ^c	Cu	16 6 1 1
^a Outros materiais utilizados devem ter seção transversal assegurando resistência mecânica e condutância equivalentes. ^b Para DPS usados em aplicações de energia, informações adicionais de condutores para conexão são fornecidas na ABNT NBR 5410:2004, 6.3.5.. ^c Incluindo DPS usados em sistemas de sinal.			

6 Blindagem magnética e roteamento de linhas

6.1 Princípios gerais

Blindagens magnéticas podem reduzir o campo eletromagnético assim como a intensidade dos surtos induzidos internamente. Um roteamento adequado das linhas internas também pode minimizar a intensidade dos surtos induzidos internamente. Ambas as medidas são eficazes em reduzir falhas permanentes de sistemas internos.

6.2 Blindagem espacial

A blindagem espacial define zonas protegidas, que podem cobrir toda a estrutura, uma parte dela, um cômodo ou apenas o gabinete do equipamento. Estas blindagens podem ser em forma de grade, blindagens metálicas contínuas ou compreender os “componentes naturais” da própria estrutura (ver ABNT NBR 5419-3).

Blindagens espaciais são aconselháveis onde for mais prático e útil proteger uma zona específica da estrutura em vez de várias partes do equipamento. Blindagens espaciais preferencialmente podem ser providenciadas nos estágios iniciais do projeto de uma nova estrutura ou sistema interno. Readequações de instalações existentes normalmente resultam em custos mais altos e maiores dificuldades técnicas.

6.3 Blindagem de linhas internas

Blindagens podem se restringir ao cabeamento e equipamentos do sistema a ser protegido; blindagem metálica dos cabos, dutos metálicos fechados dos cabos e gabinetes metálicos dos equipamentos são usados para este propósito.

6.4 Roteamento de linhas internas

Um roteamento adequado das linhas internas minimiza os laços de indução e reduz a criação de surtos de tensão dentro da estrutura. A área do laço pode ser reduzida por rotear os cabos junto aos componentes naturais da estrutura que foram aterrados e/ou por rotear juntas as linhas elétricas de energia e sinal.

NOTA Pode ainda ser necessário distanciar as linhas de energia e linhas de sinal não blindadas para evitar interferências.

6.5 Blindagem de linhas externas

A blindagem de linhas externas entrando na estrutura inclui a blindagem dos cabos, dutos metálicos fechados e dutos de concreto armado.

A blindagem de linhas externas é útil, mas quando o proprietário das linhas externas for um provedor de serviços, esta não é de responsabilidade do projetista das MPS.

6.6 Materiais e dimensões das blindagens magnéticas

6.6.1 Na fronteira entre as ZPR 0_A e ZPR 1, materiais e dimensões das blindagens eletromagnéticas (por exemplo, blindagens em forma de grade, blindagem de cabos e gabinetes de equipamentos) devem atender às prescrições da ABNT NBR 5419-3 para condutores do subsistema de captação ou de descida.

Particularmente:

- a) espessura mínima das chapas das partes metálicas, dutos metálicos, eletrodutos e blindagens de cabos devem atender a ABNT NBR 5419-3:2015, Tabela 3;
- b) os materiais das blindagens em forma de grade e a seção transversal mínima dos seus condutores, devem atender a ABNT NBR 5419-3:2015, Tabela 6.

6.6.2 Nas dimensões das blindagens magnéticas que não se pretenda conduzir correntes da descarga atmosférica, não é necessário atender às prescrições da ABNT NBR 5419-3:2015, Tabelas 3 e 6:

- a) na fronteira entre as ZPR 1 e ZPR 2 ou subsequentes, providenciar que a distância de segurança “s” entre as blindagens magnéticas e o SPDA seja atendida (Ver ABNT NBR 5419-3:2015, 6.3),
- b) nas fronteiras de qualquer ZPR, se o número de eventos perigosos N_D devido às descargas atmosféricas para a estrutura for desprezível.

7 Coordenação de DPS

7.1 A proteção contra surtos dos sistemas internos necessita uma abordagem sistemática consistindo na coordenação de DPS para as linhas de energia e sinal. As regras para a seleção e instalação de um sistema coordenado de DPS são similares para ambos os casos (ver Anexo C).

- a) Em MPS utilizando o conceito de zonas de proteção contra raios, com mais do que uma zona interna (ZPR 1, ZPR 2 e zonas adicionais), os DPS devem ser localizados no ponto em que a linha entra em cada ZPR (ver Figura 2).
- b) Em MPS usando somente a ZPR 1, um DPS deve ser localizado ao menos no ponto em que a linha entra em ZPR 1.
- c) Em ambos os casos, DPS adicionais podem ser necessários se a distância entre a localização do DPS e o equipamento a ser protegido é considerada longa (ver Anexo C).

7.2 Os requisitos para ensaios dos DPS devem atender à:

- a) ABNT NBR IEC 61643-1, para sistemas de energia;
- b) IEC 61643-21; para sistemas de sinal.

7.3 Informações para a seleção e instalação de um sistema coordenado de DPS estão relacionadas no Anexo C. A seleção e a instalação de um sistema coordenado de DPS também devem atender à:

- a) IEC 61643-12 e ABNT NBR 5410, para proteção de sistemas de energia;
- b) IEC 61643-22, para proteção de sistemas de sinal.

7.4 Informações e orientações sobre a intensidade dos surtos criados por descargas atmosféricas, com o objetivo de dimensionar DPS em diferentes pontos da instalação em uma estrutura, são fornecidas na ABNT NBR 5419-1:2015, Anexos D e E.

8 Interfaces isolantes

Interfaces isolantes podem ser usadas para reduzir os efeitos dos LEMP. A proteção das interfaces contra sobretensões, quando necessária, pode ser alcançada usando-se DPS. O valor da suportabilidade das interfaces isolantes e o nível de proteção dos DPS U_P devem ser coordenados com as categorias de sobretensões da IEC 60664-1.

NOTA O escopo desta Parte da norma trata da proteção de equipamentos dentro das estruturas e não com a proteção de estruturas interconectadas para as quais o transformador de isolamento pode providenciar algum benefício.

9 Gerenciamento das MPS

9.1 Princípios gerais

Para alcançar um sistema de proteção eficiente e economicamente viável, o projeto deve ser desenvolvido durante a concepção inicial da edificação e antes do início da sua construção. Esta recomendação possibilita otimizar o uso dos componentes naturais da estrutura e escolher o melhor caminho para a passagem dos cabos e para a localização dos equipamentos.

Para uma reforma de estruturas existentes, o custo das MPS é geralmente mais alto do que o custo para novas estruturas. Entretanto, é possível minimizar este custo por uma definição apropriada das ZPR, utilizando ou aperfeiçoando as ZPR existentes.

Uma proteção adequada pode ser alcançada somente se:

- a) as disposições são definidas por um especialista em proteção contra descargas atmosféricas;
- b) existe uma boa coordenação entre os diferentes especialistas envolvidos na construção da edificação e nas MPS (por exemplo, engenheiros civil e eletricitista);
- c) o plano de gerenciamento de 9.2 é seguido.

As MPS devem ser mantidas ao longo do tempo pela inspeção e manutenção periódicas. Após alterações relevantes na estrutura ou nas medidas de proteção, uma nova avaliação de risco deve ser realizada.

9.2 Plano de gerenciamento de MPS

O planejamento e coordenação das MPS requer um plano de gerenciamento (ver Tabela 2), que começa com uma análise inicial de risco (ABNT NBR 5419-2) para determinar as medidas de proteção necessárias para reduzir os riscos para um nível tolerável. Para alcançar este objetivo, devem ser determinadas as zonas de proteção contra raios.

De acordo com os NP definidos na ABNT NBR 5419-1, e as medidas de proteção adotadas, os seguintes passos devem ser adotados:

- a) fornecimento de um sistema de aterramento, compreendendo uma interligação para equipotencialização e um subsistema de aterramento;
- b) equipotencialização das partes metálicas externas e linhas metálicas entrando na estrutura diretamente ou por meio de DPS;
- c) integração dos sistemas internos em uma interligação para equipotencialização;
- d) implementação de blindagens espaciais combinadas com o roteamento e blindagens das linhas;
- e) recomendações para a coordenação de DPS;
- f) determinação das interfaces isolantes adequadas;
- g) medidas especiais para estruturas existentes (ver Anexo B), se necessárias.

Após estas medidas, a relação custo-benefício das medidas selecionadas deve ser reavaliada e otimizada utilizando novamente o método de análise de risco.

Tabela 2 – Plano para gerenciamento de MPS para novas edificações e para mudanças significativas na construção ou uso de edificações

Etapa	Objetivo	Participação na ação empregada
Análise inicial de risco ^a	<p>Checar a necessidade de proteção para LEMP</p> <p>Selecionar as MPS adequadas, se necessárias, usando o método de avaliação de risco</p> <p>Checar a redução dos riscos após cada sucessiva medida de proteção a ser empregada</p>	<p>Especialista em proteção contra descargas atmosféricas ^b</p> <p>Proprietário</p>
Análise final de riscos ^a	<p>A relação custo-benefício para as medidas de proteção selecionadas deve ser otimizada usando novamente o método de avaliação de risco</p> <p>Como resultados são definidos:</p> <ul style="list-style-type: none"> – NP e os parâmetros das descargas atmosféricas – ZPR e suas fronteiras 	<p>Especialista em proteção contra descargas atmosféricas ^b</p> <p>Proprietário</p>
Planejamento de MPS	<p>Definição das MPS:</p> <ul style="list-style-type: none"> – medidas para blindagem – interligação equipotencial – subsistema de aterramento – roteamento e blindagem das linhas – blindagem dos condutores de serviço – coordenação de DPS – interfaces isolantes 	<p>Especialista em proteção contra descargas atmosféricas</p> <p>Proprietário</p> <p>Arquiteto</p> <p>Projetistas dos sistemas internos</p> <p>Projetistas de outras instalações consideradas relevantes</p>
Projeto de MPS	<p>Desenhos e descrições gerais</p> <p>Relação das medidas propostas</p> <p>Desenhos detalhados e cronogramas para a instalação</p>	<p>Escritórios de engenharia</p>
Instalação de MPS, incluindo a sua supervisão	<p>Qualidade da instalação</p> <p>Documentação</p> <p>Possibilidade de revisão dos desenhos detalhados</p>	<p>Especialista em proteção contra descargas atmosféricas</p> <p>Instalador das MPS</p> <p>Escritório de engenharia</p> <p>Supervisor</p>
Aprovação das MPS	<p>Inspeção e emissão de relatório das MPS implantadas</p>	<p>Especialista independente em proteção contra descargas atmosféricas</p> <p>Supervisor</p>

Tabela 2 (continuação)

Etapa	Objetivo	Participação na ação empregada
Inspeções periódicas	Confirmação da eficácia das MPS	Especialista em proteção contra descargas atmosféricas
^a Ver ABNT NBR 5419-2. ^b Com um conhecimento amplo de EMC e conhecimento de instalações elétricas em baixa tensão.		

9.3 Inspeção das MPS

9.3.1 Princípios gerais

9.3.1.1 A inspeção compreende a conferência da documentação técnica, inspeção visual e medições.

O objetivo da inspeção é verificar se:

- a) as MPS estão de acordo com o projeto;
- b) as MPS são capazes de atender às funções determinadas no projeto;
- c) qualquer nova medida de proteção está adicionada corretamente às MPS.

9.3.1.2 Inspeções devem ser feitas:

- a) durante a instalação das MPS;
- b) após a instalação das MPS;
- c) periodicamente;
- d) após qualquer alteração dos componentes relevantes das MPS;
- e) possivelmente após uma descarga atmosférica direta na estrutura (por exemplo, quando indicado por um contador de descargas atmosféricas, quando testemunhada visualmente, ou quando observada a evidência de um dano na estrutura causado por uma descarga atmosférica).

9.3.1.3 A frequência das inspeções periódicas deve ser determinada considerando:

- a) o ambiente local, como a existência de atmosfera ou solo corrosivo,
- b) o tipo das medidas de proteção empregadas.

9.3.2 Procedimento das inspeções

9.3.2.1 Verificação da documentação técnica

Após a instalação de novas MPS, a documentação técnica deve ser verificada para o atendimento total às normas técnicas pertinentes. Conseqüentemente, a documentação técnica deve ser atualizada constantemente, por exemplo, após qualquer alteração ou extensão das MPS.

9.3.2.2 Inspeção visual

Devem ser feitas inspeções visuais para verificar se:

- a) não existem maus contatos em condutores e conexões;
- b) nenhuma parte do sistema foi comprometida devido à corrosão, principalmente ao nível do solo;
- c) condutores de equipotencialização e blindagens dos cabos estão intactos e interligados;
- d) não existem acréscimos ou alterações que necessitam medidas de proteção adicionais;
- e) não existe indicação de danos nos DPS e seus fusíveis ou interruptores;
- f) os roteamentos apropriados estão mantidos;
- g) as distâncias de segurança para as blindagens espaciais estão mantidas.

9.3.2.3 Medições

Uma medição da continuidade elétrica deve ser feita naquelas partes dos sistemas de aterramento e equipotencialização que não são visíveis na inspeção.

NOTA Caso um DPS não tenha uma sinalização visual de estado, recomenda-se que sejam feitas, quando necessário, medidas de acordo com as instruções do fabricante para confirmar seu estado.

9.3.3 Documentação de inspeção

9.3.3.1 Um guia da inspeção deve ser preparado para facilitar o processo. O guia deve conter informação suficiente para ajudar o inspetor na sua tarefa, para que todos os aspectos da instalação e seus componentes, métodos e dados dos ensaios que forem registrados possam ser documentados.

9.3.3.2 O inspetor deve preparar um relatório que deve ser anexado aos demais documentos técnicos, incluindo relatórios anteriores. O relatório da inspeção deve conter informações sobre:

- a) a situação geral das MPS;
- b) qualquer alteração referente ao que consta na documentação técnica;
- c) o resultado dos ensaios efetuados.

9.4 Manutenção

Após a inspeção, todos os problemas observados devem ser corrigidos imediatamente. Se necessário, a documentação técnica deve ser atualizada.

Anexo A (normativo)

Bases de avaliação do ambiente eletromagnético em uma ZPR

A.1 Princípios gerais

Este Anexo fornece informações para a avaliação do ambiente eletromagnético no interior de uma ZPR, que pode ser usada para proteção contra LEMP. Ele também é adequado para a proteção contra interferências eletromagnéticas.

A.2 Danos causados em sistemas elétricos e eletrônicos devido às descargas atmosféricas

A.2.1 Fonte de danos

A fonte primária de danos é a corrente da descarga atmosférica e seu campo magnético associado, que tem a mesma forma de onda da corrente da descarga atmosférica.

A.2.2 Objeto dos danos

Sistemas internos instalados na estrutura ou dentro dela, com suportabilidade limitada aos surtos de tensão e campos magnéticos, podem ser danificados ou apresentar falhas no funcionamento quando sujeitos aos efeitos de descargas atmosféricas e seus campos magnéticos subsequentes.

Sistemas instalados fora de uma estrutura podem estar em risco devido ao campo magnético não atenuado e, se posicionados em local exposto, devido a surtos provocados pela corrente elétrica completa de uma descarga atmosférica direta.

Sistemas instalados dentro da estrutura podem estar sujeitos a riscos devido a surtos internos conduzidos ou induzidos e devido a surtos externos conduzidos pelas linhas que entram na estrutura.

Para detalhes relacionados à suportabilidade das instalações elétricas e de alguns equipamentos, as seguintes normas são pertinentes:

- a) a tensão suportável ao impulso das instalações de energia é definida na ABNT NBR 5410:2004, Tabela 31 e varia conforme a tensão eficaz de alimentação;
- b) a suportabilidade dos equipamentos de telecomunicação é definido na ITU-T K.20, K.2 e K.45.

A suportabilidade dos equipamentos é geralmente definida nos dados especificados para o produto, ou pode ser ensaiada.

— contra surtos conduzidos utilizando IEC 61000-4-5 com níveis de ensaio para tensão: 0,5 kV – 1 kV – 2 kV e 4 kV na forma de onda 1,2/50 μ s e com níveis de ensaio para corrente: 0,25 kA – 0,5 kA – 1 kA e 2 kA na forma de onda 8/20 μ s.

NOTA Para que certos equipamentos atendam às determinações das normas mencionadas em A.2.2, eles podem incorporar DPS internos. As características destes DPS internos podem afetar as necessidades de coordenação.

— contra campos magnéticos utilizando IEC 61000-4-9, com níveis de ensaio: 100 A/m – 300 A/m – 1 000 A/m na forma de onda 8/20 μ s, e IEC 61000-4-10, com níveis de ensaio: 10 A/m – 30 A/m – 100 A/m em 1MHz.

A.2.3 Mecanismo de acoplamento entre o objeto e a fonte

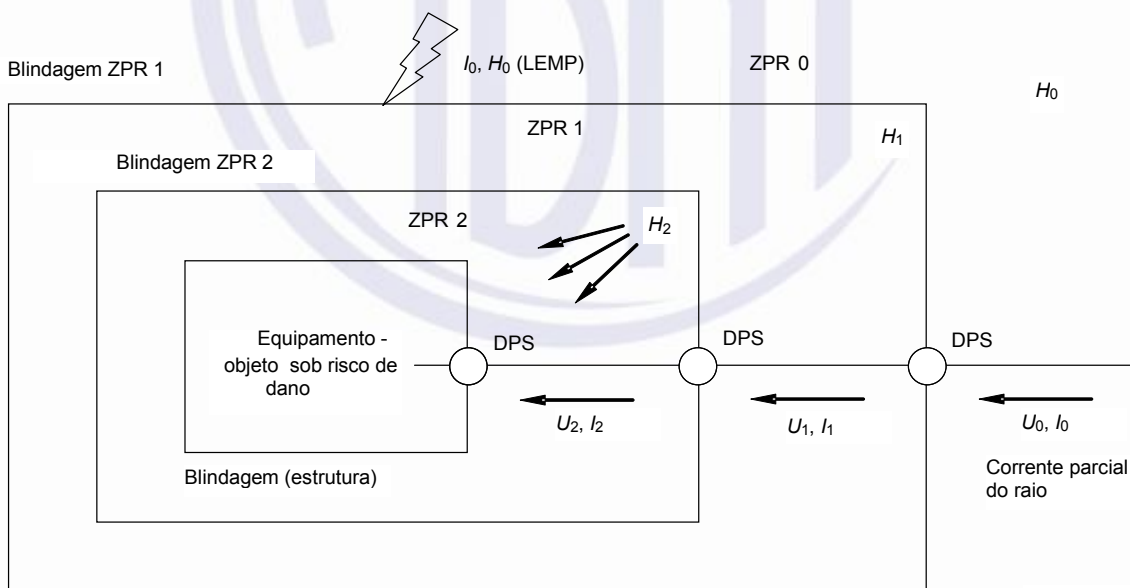
A suportabilidade dos equipamentos deve ser compatível com a fonte de danos. Para alcançar este objetivo, o mecanismo de acoplamento deve ser adequadamente controlado pela correta criação de zonas de proteção contra descargas atmosféricas “raios” (ZPR).

A.3 Blindagem espacial, roteamento e blindagem das linhas

A.3.1 Princípios gerais

O campo magnético criado no interior de uma ZPR por descargas atmosféricas diretas ou no solo próximo à estrutura pode ser reduzido pela blindagem espacial. Surto induzidos nos sistemas eletrônicos podem ser minimizados pela blindagem espacial, ou pelo roteamento das linhas, ou pela combinação dos métodos.

A Figura A.1 fornece um exemplo do LEMP no caso do impacto da descarga atmosférica na estrutura, mostrando as zonas de proteção ZPR 0, ZPR 1 e ZPR 2. Os sistemas eletrônicos que devem ser protegidos são instalados dentro da ZPR 2.



IEC 2780/10

Figura A.1 – LEMP devido à descarga atmosférica

Na Tabela A.1, os pontos 1, 2 e 3 definem os parâmetros I_0 , H_0 , e U_W da Figura A.1; nos pontos 4 e 5, são fornecidos parâmetros adequados de ensaio para assegurar que os equipamentos sejam capazes de suportar o nível esperado de desgaste no ponto da sua localização.

Tabela A.1 – Parâmetros relevantes para fonte dos danos e os equipamentos

Fonte primária dos danos, LEMP Como definidas pelos parâmetros de acordo com as NPs I à IV:					
1		Impulso μs	Amplitude para NP I – II – III - IV kA	Taxa de variação para NP I – II – III - IV kA/ μs	Efeitos relevantes:
ABNT NBR 5419-1	I_0	10/350	200 – 150 – 100 – 100	20 – 15 – 10 – 10	Corrente parcial da descarga atmosférica Indução Indução
		1/200 0,25/100	100 – 75 – 50 – 50 50 – 37,5 – 25 – 25	100 – 75 – 50 – 50 200 – 150 – 100 – 100	
	H_0	Derivado do I_0 correspondente			
2	Nível de tensão nominal de impulso da rede de energia Como definida para categoria de sobretensão I à IV para tensão nominal 120/208 V, 127/220 V, 115–230 V, 120–240 V, 127–254 V: ABNT NBR 5410:2004 U_W Categoria de sobretensão I à IV 4 kV – 2,5 kV – 1,5 kV – 0,8 kV				
	Como definida para categoria de sobretensão I à IV para tensão nominal 220/380 V, 230/400 V, 277/480 V: ABNT NBR 5410:2004 U_W Categoria de sobretensão I à IV 6 kV – 4 kV – 2,5 kV – 1,5 kV				
3	Nível de suportabilidade de equipamentos de telecomunicação Recomendação ITU K.20, K.21 e K.45				
4	Ensaio para equipamentos sem normas de produtos adequadas Nível de suportabilidade para equipamentos como definido para efeitos conduzidos (U, I) das descargas atmosféricas				
	IEC 61000-4-5	U_{OC}	impulso 1,2/50 μs	4 kV – 2 kV – 1 kV – 0,5 kV	
		I_{SC}	impulso 8/20 μs	2 kA – 1 kA – 0,5 kA – 0,25 kA	
5	Ensaio para equipamentos que não atendem os padrões de EMC relevantes para produtos Suportabilidade dos equipamentos como definido para efeitos induzidos (H) das descargas atmosféricas:				
	IEC 61000-4-9	H	Impulso 8/20 μs , (oscilação amortecida 25 kHz, TP = 10 μs)	1 000 A/m – 300 A/m – 100 A/m	
	IEC 61000-4-10	H	Oscilação amortecida 1 MHz, (impulso 0,2/0,5 μs , TP = 0,25 μs)	100 A/m – 30 A/m – 10 A/m	

As fontes eletromagnéticas primárias de danos para os sistemas eletrônicos são a corrente da descarga atmosférica I_0 e o campo magnético H_0 . Correntes parciais da descarga atmosférica são conduzidas por meio das tubulações metálicas das entradas de serviço. Estas correntes, assim como os campos magnéticos, têm aproximadamente a mesma forma de onda. A corrente da descarga atmosférica considerada aqui consiste em um primeiro componente positivo da descarga atmosférica I_F (tipicamente com uma cauda de longa duração na forma de onda 10/350 μs) e um primeiro componente negativo I_{FN} (forma de onda 1/200 μs) e componentes subsequentes I_S (forma de onda 0,25/100 μs). A corrente do primeiro componente positivo da descarga atmosférica I_F gera o campo magnético H_F , a corrente do primeiro componente negativo da descarga atmosférica I_{FN} gera o campo magnético H_{FN} , e as correntes dos componentes subsequentes geram os campos magnéticos H_S .

Os efeitos magnéticos da indução são causados principalmente pela frente ascendente do campo magnético. Como mostrado na Figura A.2, a frente ascendente de H_F pode ser caracterizada por uma oscilação amortecida do campo magnético de 25 kHz com um valor máximo $H_{F/MAX}$ e tempo para alcançar este valor $T_{P/F}$ de 10 μs . Do mesmo modo, a frente ascendente de H_S pode ser caracterizada por uma oscilação amortecida do campo magnético de 1 MHz com um valor máximo $H_{S/MAX}$ e tempo para alcançar o valor máximo $T_{P/S}$ de 0,25 μs . Do mesmo modo, a frente ascendente de H_{FN} pode ser caracterizada por uma oscilação amortecida de 250 kHz com um valor máximo $H_{FN/MAX}$ e tempo para alcançar este valor $T_{P/FN}$ de 1 μs .

O campo magnético do primeiro componente positivo pode ser caracterizado por uma frequência típica de 25 kHz, o campo magnético do primeiro componente negativo por uma frequência típica de 250 kHz, e o campo magnético dos componentes subsequentes por uma frequência típica de 1 MHz. Oscilações amortecidas dos campos magnéticos destas frequências são definidas para efeito de ensaios na IEC 61000-4-9 e IEC 61000-4-10.

Ao instalar blindagens eletromagnéticas e DPS nas fronteiras das ZPR, o efeito da descarga atmosférica sem atenuação definida por I_0 e H_0 , deve ser reduzido para abaixo do valor da suportabilidade a impulso do equipamento. Como mostrado na Figura A.1, o equipamento deve suportar o campo magnético H_2 nas redondezas e a corrente da descarga atmosférica conduzida I_2 e tensão U_2 .

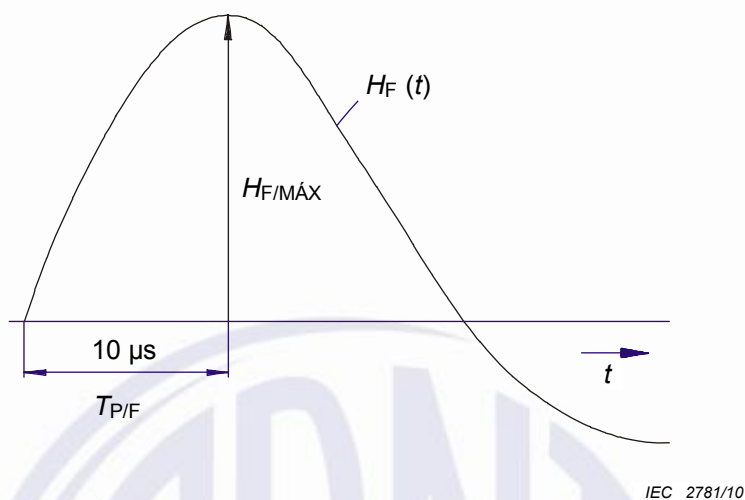
A redução de I_1 para I_2 e de U_1 para U_2 é o assunto do Anexo C, enquanto a redução de H_0 para um valor suficientemente abaixo de H_2 é considerado aqui como a seguir:

No caso de uma blindagem em forma de grade, pode ser assumido que a forma de onda do campo magnético dentro das ZPR (H_1 , H_2) é a mesma do campo magnético fora delas (H_0).

A forma de onda da oscilação amortecida mostrada na Figura A.2 está de acordo com os ensaios definidos nas IEC 61000-4-9 e IEC 61000-4-10 e pode ser usada para determinar a suportabilidade dos equipamentos aos campos magnéticos criados pelo aumento do campo magnético do primeiro componente positivo H_F e dos componentes subsequentes H_S .

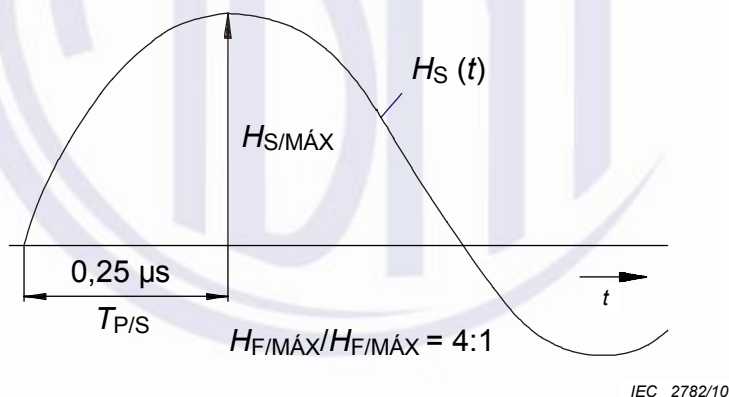
Os surtos causados pelo campo magnético acoplado dentro do laço de indução (ver A.5) devem ser mais baixos do que, ou iguais, a suportabilidade dos equipamentos.

Norma básica: IEC 61000-4-9



a) Simulação do crescimento do campo do primeiro componente positivo (10/350 μs) por um impulso único 8/20 μs (oscilação amortecida 25 kHz)

Norma básica: IEC 61000-4-10



b) Simulação do crescimento do campo dos componentes subsequentes (0,25/100 μs) pela oscilação amortecida de 1 MHz (múltiplos impulsos 0,2/0,5 μs)

NOTA 1 Embora as definições dos tempos para o valor máximo T_P e o tempo de frente T_1 sejam diferentes, para uma aproximação conveniente, seus valores numéricos são considerados iguais aqui.

NOTA 2 A taxa do valor máximo $H_{F/MAX} / H_{FN/MAX} / H_{S/MAX} = 4: 2: 1$.

Figura A.2 – Simulação do crescimento do campo magnético por uma oscilação amortecida

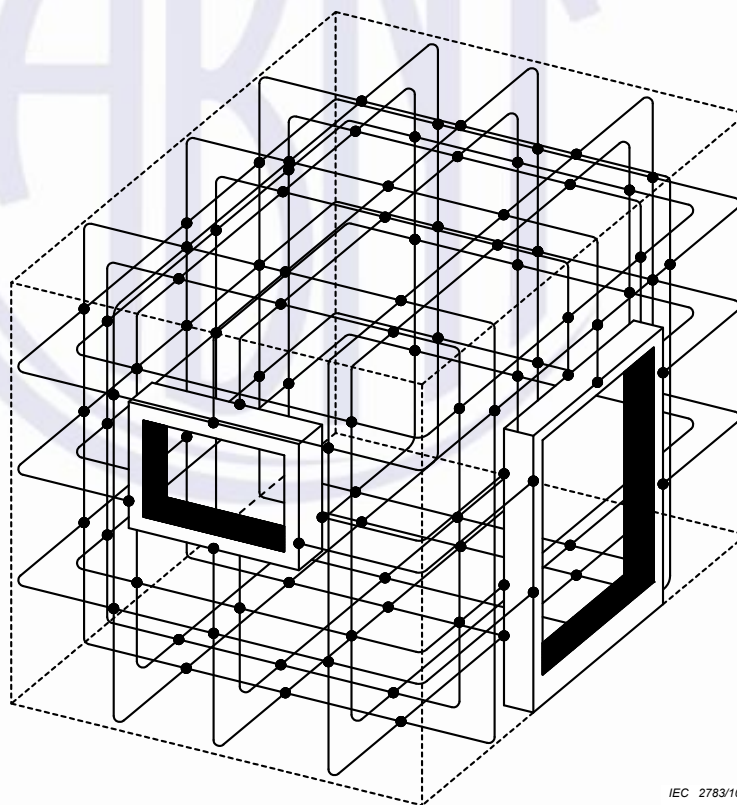
A.3.2 Blindagens espaciais

Na prática, a blindagem dos grandes volumes correspondentes às ZPR é usualmente criada pelos componentes naturais das estruturas, como armações metálicas nos tetos, paredes e pisos, as estruturas, os telhados e as fachadas metálicas. Estes componentes juntos criam uma blindagem em forma de grade. Para uma blindagem eficaz, é necessário que a largura típica da malha seja menor que 5 m.

NOTA 1 O efeito da blindagem pode ser desconsiderado se a ZPR 1 for criada por um SPDA externo de acordo com a ABNT NBR 5419-3, com largura da malha e distâncias típicas maiores que 5 m. Caso contrário, uma grande armação de aço com muitos pilares estruturais de aço fornece uma blindagem significativa.

NOTA 2 Blindagens em ZPR internas subsequentes também podem ser obtidas utilizando-se componentes em forma de grade, caixas ou gabinetes metálicos, ou ainda os invólucros metálicos dos próprios equipamentos.

A Figura A.3 mostra na prática como as armaduras no concreto e as estruturas metálicas (para portas metálicas e possíveis janelas metálicas) podem ser utilizadas para criar um grande volume para uma única sala ou edifício.



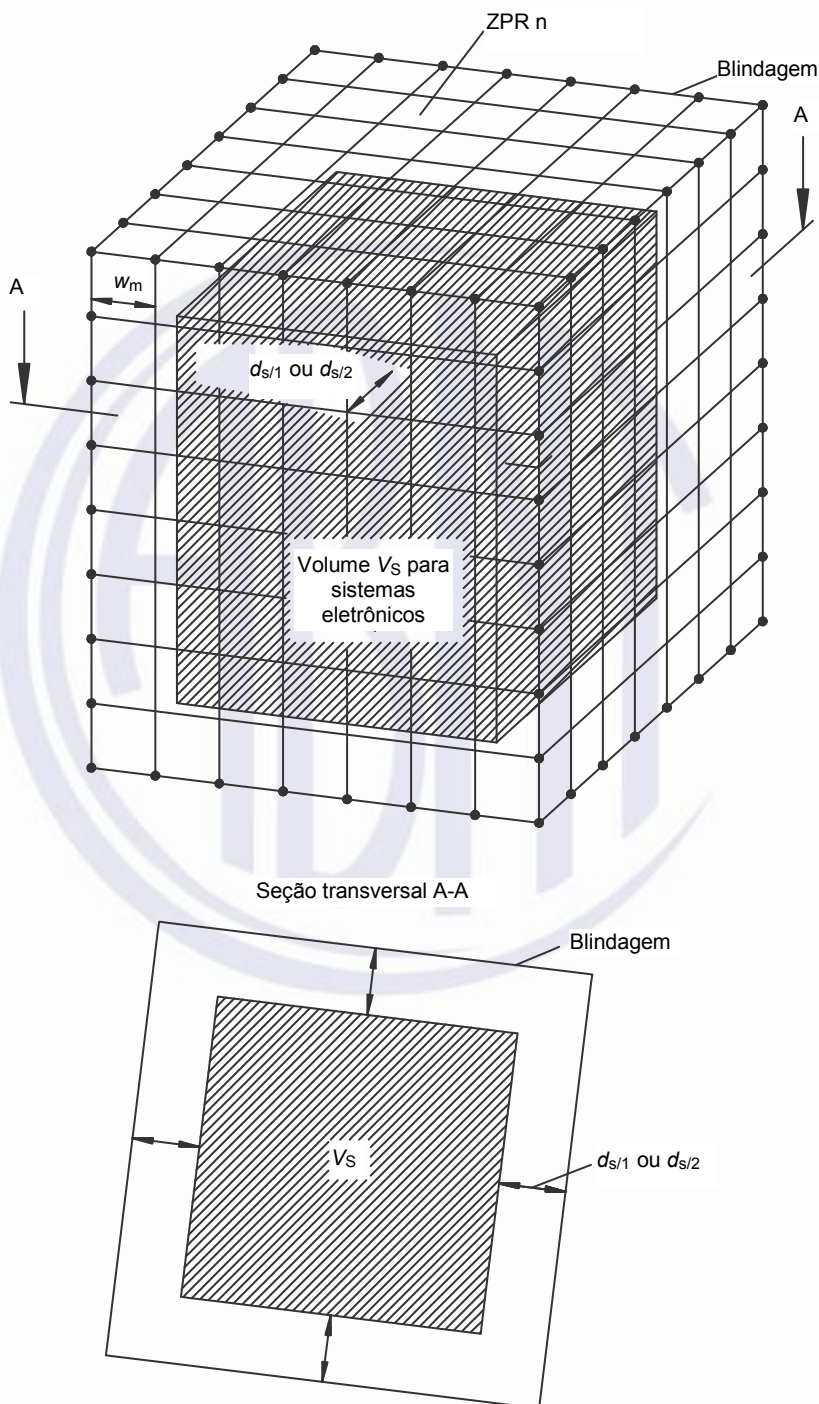
Legenda

- solda ou conexão mecânica em todas as junções de barras ou cruzamentos

NOTA Na prática, não é possível soldar ou conectar mecanicamente todos os pontos nas grandes estruturas. Entretanto, a maioria dos pontos naturalmente está conectada por contato direto ou por amarração de arames.

Figura A.3 – Blindagem para grandes volumes construída por armações ou estruturas metálicas

Sistemas internos devem ser localizados dentro de um volume seguro que respeita a distância de segurança da blindagem da ZPR (ver Figura A.4). Isto se deve ao campo magnético ser relativamente alto próximo à blindagem, devido às correntes parciais fluindo na blindagem (particularmente para ZPR 1).



IEC 2784/10

NOTA O volume V_s deve manter uma distância de segurança $d_{s/1}$ ou $d_{s/2}$ da blindagem da ZPR n (ver A.4).

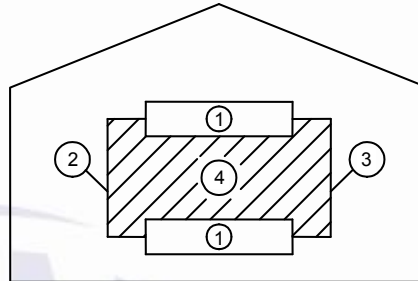
Figura A.4 – Volume para sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma ZPR n interna

A.3.3 Blindagem e roteamento das linhas

Surtos induzidos dentro dos sistemas internos podem ser reduzidos por meio de roteamento adequado das linhas (minimizando a área do *loop* de indução) ou utilizando-se cabos blindados ou dutos metálicos (minimizando os efeitos da indução interna) ou a combinação de ambos (ver Figura A.5).

Legenda

- 1 equipamento
- 2 cabo de sinal
- 3 cabo de energia
- 4 laço de indução

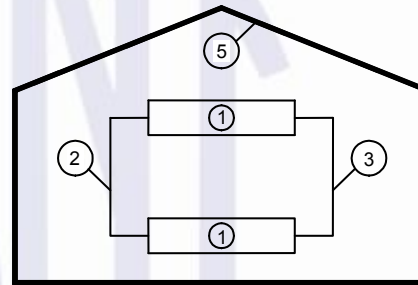


IEC 2785/10

a) Sistema desprotegido

Legenda

- 1 equipamento
- 2 cabo de sinal
- 3 cabo de energia
- 5 blindagem

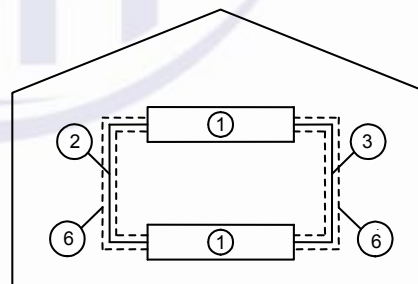


IEC 2786/10

b) Reduzindo o campo magnético no interior de uma ZPR pela sua blindagem

Legenda

- 1 equipamento
- 2 cabo de sinal
- 3 cabo de energia
- 6 blindagem da linha

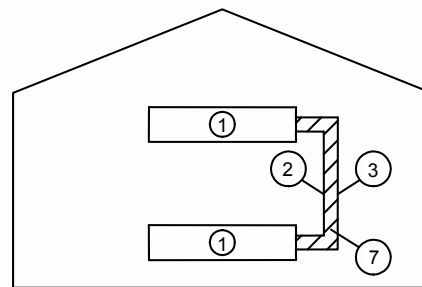


IEC 2787/10

c) Reduzindo a influência do campo nas linhas por meio de blindagem

Legenda

- 1 equipamento
- 2 cabo de sinal
- 3 cabo de energia
- 7 redução da área do laço de indução



IEC 2788/10

d) Reduzindo a área do laço de indução por um roteamento adequado das linhas**Figura A.5 – Redução dos efeitos da indução pelas medidas de roteamento e blindagem**

Os condutores conectados aos sistemas internos devem ser roteados tão próximos quanto possível aos componentes metálicos da interligação para equipotencialização. É benéfico colocar estes cabos em condutos metálicos da interligação para equipotencialização, por exemplo, condutos ou canaletas metálicas em forma de *U* (ver também IEC/TR 61000-5-2).

Particular atenção deve ser dada quando cabos forem instalados próximos à blindagem de uma ZPR (especialmente ZPR 1) devido ao valor substancial do campo magnético no local.

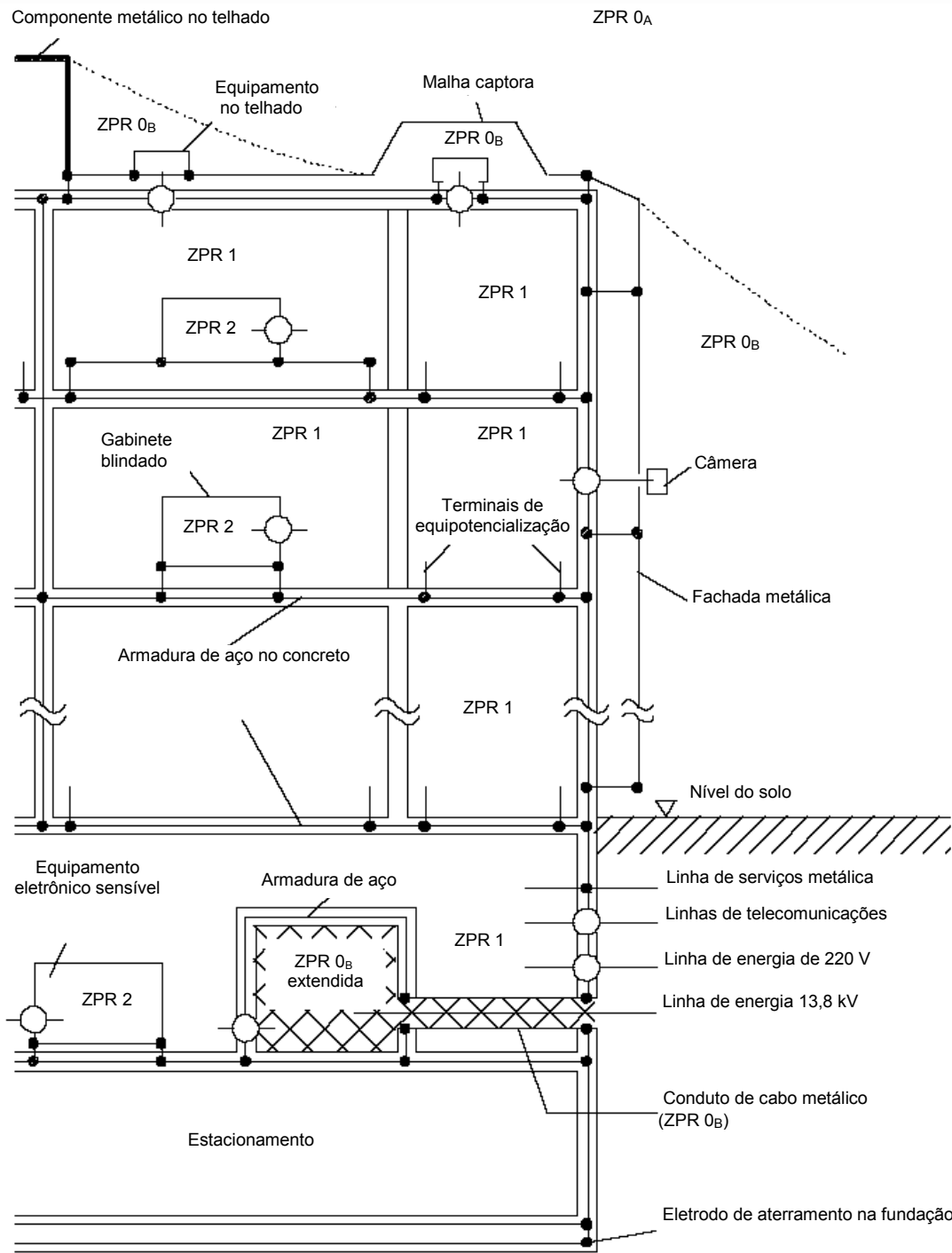
Quando cabos, que correm entre estruturas separadas, necessitam ser protegidos, eles devem ser colocados em dutos metálicos. Estes dutos devem ser equipotencializados nas duas extremidades das barras de equipotencialização das estruturas separadas. Se os cabos forem blindados (equipotencializados em ambas as extremidades) e esta blindagem tiver capacidade para conduzir a parcela da corrente da descarga atmosférica prevista, dutos metálicos adicionais não são necessários.

Tensões e correntes induzidas dentro do laço, formadas pelas instalações, resultam em surtos de tensão de modo comum nos sistemas internos. Cálculos destas tensões e correntes induzidas são descritos em A.5.

A Figura A.6 fornece um exemplo de um grande edifício de escritórios.

A blindagem é obtida pelas armaduras de aço e fachadas metálicas para ZPR 1 e por invólucros blindados para os sistemas internos em ZPR 2. Para ser capaz de instalar uma malha estreita para o sistema de blindagens, vários terminais de equipotencialização são fornecidos em cada ambiente.

A ZPR 0 é estendida dentro da ZPR 1 para abrigar uma subestação de 20 kV, porque não foi possível a instalação de DPS no lado da alta tensão e da media tensão imediatamente na entrada de energia neste caso.



Legenda

- Interligação para equipotencialização
- dispositivo de proteção contra surtos (DPS)

Figura A.6 – Exemplo de MPS para um prédio de escritórios

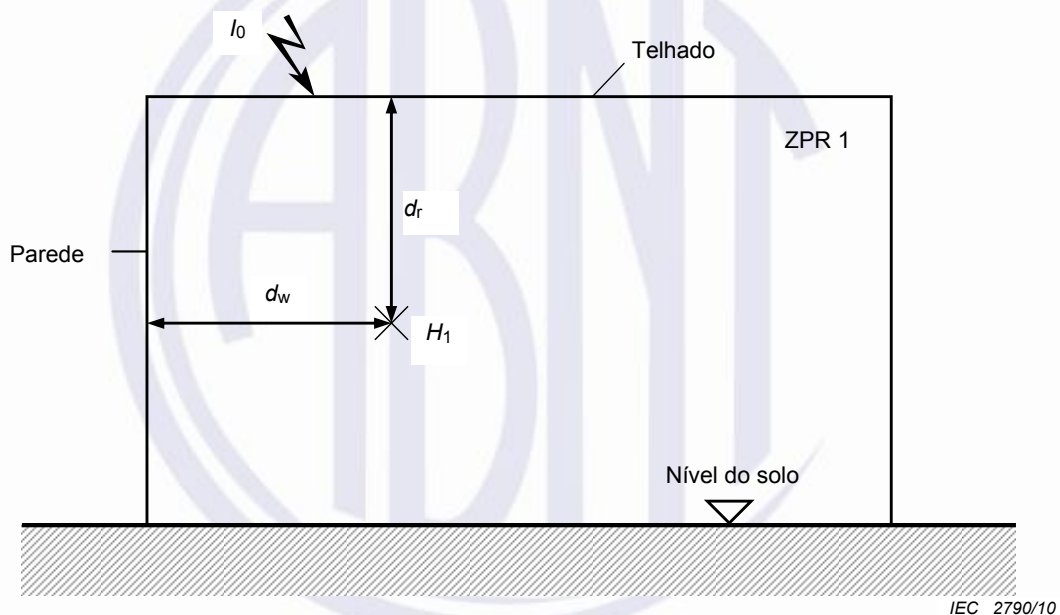
A.4 Campo magnético dentro da ZPR

A.4.1 Aproximação para o campo magnético dentro da ZPR

Se uma investigação teórica (ver A.4.2) ou experimental (ver A.4.3) da eficácia da blindagem não for executada, a atenuação deve ser avaliada como a seguir.

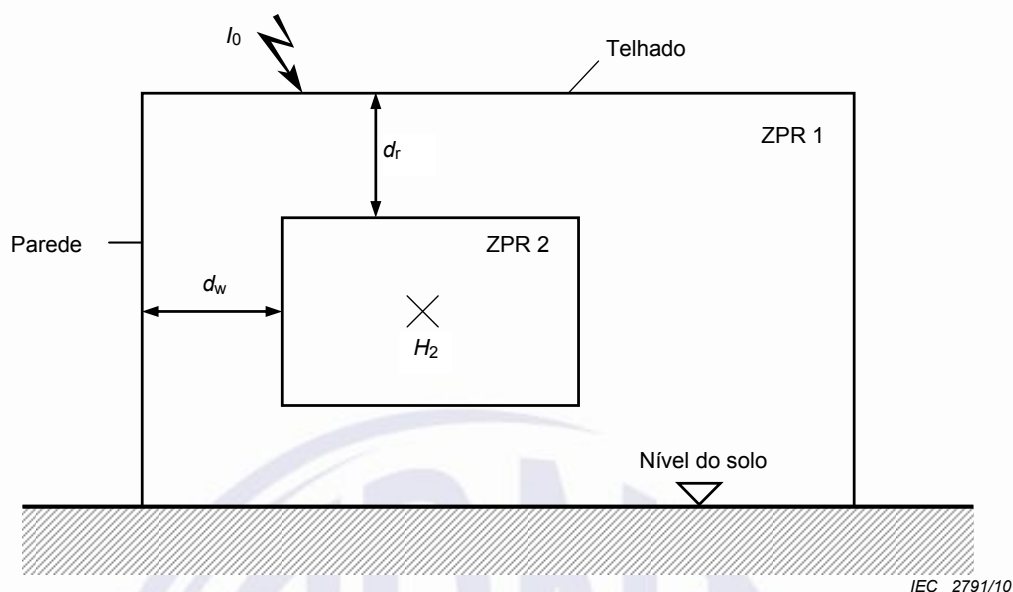
A.4.1.1 Blindagem espacial de ZPR 1 no caso de impacto direto da descarga atmosférica

A blindagem de um edifício (blindagem envolvendo a ZPR 1) pode ser parte de um SPDA externo; correntes elétricas devido ao impacto direto de uma descarga atmosférica serão conduzidas ao longo dela. Esta situação é relatada pela Figura A.7 a), assumindo que a descarga atmosférica atinja a estrutura em um ponto arbitrário do telhado.



NOTA As distâncias d_w e d_r são determinadas para o ponto considerado.

a) Campo magnético dentro de ZPR 1



NOTA As distâncias d_w e d_r são determinadas para a fronteira de ZPR 2.

b) Campo magnético dentro de ZPR 2

Figura A.7 – Avaliação dos valores do campo magnético em caso de impacto direto de descarga atmosférica

Para a intensidade do campo magnético H_1 em um ponto arbitrário dentro da ZPR 1, aplica-se a seguinte equação:

$$H_1 = k_h \times I_0 \times w_m / (d_w \times \sqrt{d_r}) \quad (\text{A/m}) \quad (\text{A.1})$$

onde

d_r (m) é a distância mais curta entre o ponto considerado e o telhado da ZPR 1 blindada;

d_w (m) é a distância mais curta entre o ponto considerado e a parede da ZPR 1 blindada;

I_0 (A) é a intensidade da corrente da descarga atmosférica em ZPR 0_A;

k_h (1/√m) é o fator de configuração, tipicamente $k_h = 0,01$;

w_m (m) é a largura da malha da blindagem em forma de grade de ZPR 1.

O resultado desta equação é o valor máximo do campo magnético em ZPR 1 (levando em consideração a nota):

- $H_{1/F/MÁX} = k_h \times I_{F/MÁX} \times w_m / (d_w \times \sqrt{d_r})$ (A/m) causado pelo primeiro componente positivo (A.2)

- $H_{1/FN/MÁX} = k_h \times I_{FN/MÁX} \times w_m / (d_w \times \sqrt{d_r})$ (A/m) causado pelo primeiro componente negativo (A.3)

- $H_{1/S/MÁX} = k_h \times I_{S/MÁX} \times w_m / (d_w \times \sqrt{d_r})$ (A/m) causado pelos componentes subsequentes (A.4)

onde

$I_{F/MÁX}$ (A) é o valor máximo da corrente do primeiro componente positivo de acordo com o nível de proteção;

$I_{FN/MÁX}$ (A) é o valor máximo da corrente do primeiro componente negativo de acordo com o nível de proteção;

$I_S/MÁX$ (A) é o valor máximo dos componentes subsequentes de acordo com o nível de proteção.

NOTA 1 O campo é reduzido por um fator de 2 se uma interligação para equipotencialização em forma de malha é instalada conforme 5.2.

Estes valores do campo magnético são válidos somente para um volume seguro V_S dentro da blindagem em forma de grade com uma distância de segurança $d_{s/1}$ da blindagem (ver Figura A.4):

$$d_{s/1} = w_m \times SF / 10 \quad (\text{m}) \text{ para } SF \geq 10 \quad (\text{A.5})$$

$$d_{s/1} = w_m \text{ (m)} \text{ para } SF < 10 \quad (\text{A.6})$$

onde

SF (dB) é o fator de blindagem obtido da equação da Tabela A.3;

w_m (m) é a largura da malha da blindagem em forma de grade.

NOTA 2 Resultados experimentais do campo magnético dentro de uma ZPR 1 com uma blindagem em forma de grade indica que o aumento do campo magnético próximo à blindagem é menor do que o resultante das equações acima.

EXEMPLO

Como exemplo, três blindagens em forma de grade com dimensões dadas na Tabela A.2, e tendo uma largura de malha media de $w_m = 2$ m, são consideradas (Figura A.10). Isto resulta em uma distância de segurança $d_{s/1} = 2,0$ m definindo o volume seguro V_S . Os valores para $H_{1/MÁX}$ válidos dentro de V_S são calculados para $I_{0/MÁX} = 100$ kA e mostrados na Tabela A.2. A distância para o telhado é metade da altura: $d_t = H/2$. A distância para o muro é metade do comprimento: $d_w = L/2$ (centro) ou igual a: $d_w = d_{s/1}$ (pior caso próximo à parede).

Tabela A.2 – Exemplos para $I_{0MÁX} = 100$ kA e $w_m = 2$ m

Tipo da blindagem ver Figura A.10	$L \times W \times H$ m	$H_{1/MÁX}$ (centro) A/m	$H_{1/MÁX}$ ($d_w=d_{s/1}$) A/m
1	10 × 10 × 10	179	447
2	50 × 50 × 10	36	447
3	10 × 10 × 50	80	200

A.4.1.2 Blindagem espacial de ZPR 1 no caso de um impacto direto de uma descarga atmosférica próxima

A situação para o impacto de uma descarga atmosférica próxima é mostrada na Figura A.8. O campo magnético incidente em volta do volume blindado da ZPR 1 pode ser aproximado como uma onda plana.

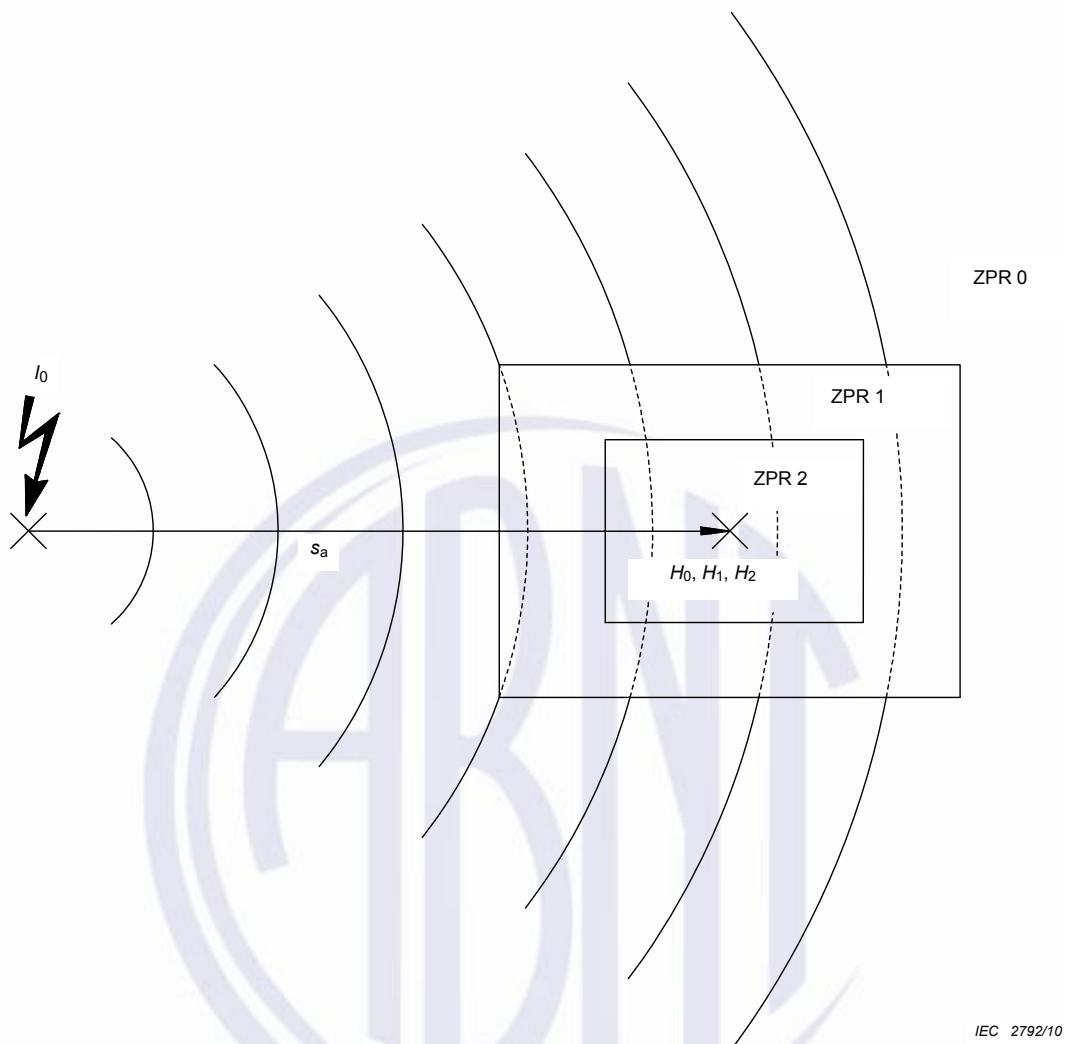


Figura A.8 – Avaliação dos valores do campo magnético no caso do impacto direto de uma descarga atmosférica próxima ao local

O fator de blindagem SF da blindagem em forma de grade para uma onda plana é fornecido na Tabela A.3.

Tabela A.3 – Atenuação magnética da blindagem em forma de grade para uma onda plana

Material	SF (dB) ^{a, b}	
	25 kHz (válido para a primeira componente positiva)	1 MHz (válido para as componentes subsequentes) ou 250 kHz (válido para a primeira componente negativa)
Cobre ou alumínio	$20 \times \log (8,5 / w_m)$	$20 \times \log (8,5 / w_m)$
Aço ^c	$20 \times \log \left[(8,5 / w_m) / \sqrt{1 + 18 \times 10^{-6} / r_c^2} \right]$	$20 \times \log (8,5 / w_m)$
Legenda		
w_m	largura da malha da blindagem em forma de grade (m).	
r_c	raio de um condutor da blindagem em forma de grade (m).	
^a	SF = 0 no caso de resultados negativos da equação.	
^b	SF aumentado de 6 dB, se uma malha de equipotencialização de acordo com 5.2 está instalada	
^c	Permeabilidade $\mu r \approx 200$.	

O campo magnético incidente H_0 é calculado usando a equação:

$$H_0 = I_0 / (2 \times \pi \times s_a) \text{ (A/m)} \tag{A.7}$$

onde

I_0 (A) é a corrente da descarga atmosférica na ZPR 0_A ;

s_a (m) é a distância entre o ponto de impacto e o centro do volume blindado.

Então, segue para o valor máximo do campo magnético em ZPR 0

— $H_{0/F/MÁX} = I_{F/MÁX} / (2 \times \pi \times s_a) \text{ (A/m)}$ causado pelo primeiro componente positivo (A.8);

— $H_{0/FN/MÁX} = I_{FN/MÁX} / (2 \times \pi \times s_a) \text{ (A/m)}$ causado pelo primeiro componente negativo (A.9);

— $H_{0/S/MÁX} = I_{S/MÁX} / (2 \times \pi \times s_a) \text{ (A/m)}$ causado pelos componentes subsequentes (A.10).

onde

— $I_{F/MÁX}$ (A) é o valor máximo do primeiro componente positivo da corrente da descarga atmosférica de acordo com o nível de proteção escolhido;

— $I_{FN/MÁX}$ (A) é o valor máximo do primeiro componente negativo da corrente da descarga atmosférica de acordo com o nível de proteção escolhido;

— $I_{S/MÁX}$ (A) é o valor máximo dos componentes subsequentes da corrente da descarga atmosférica de acordo com o nível de proteção escolhido.

A redução de H_0 para H_1 dentro de ZPR 1 pode ser obtida usando os valores de SF dados na Tabela A.3:

$$H_{1/MÁX} = H_{0/MÁX} / 10^{SF/20} \text{ (A/m)} \quad (\text{A.11})$$

onde

SF (dB) é o fator de blindagem obtido da equação da Tabela A.3;

$H_{0/MÁX}$ (A/m) é o campo magnético na ZPR 0.

Desta equação se obtém o valor máximo do campo magnético na ZPR 1:

— $H_{1/F/MÁX} = H_{0/F/MÁX} / 10^{SF/20}$ (A/m) causado pelo primeiro componente positivo (A.12);

— $H_{1/FN/MÁX} = H_{0/FN/MÁX} / 10^{SF/20}$ (A/m) causado pelo primeiro componente negativo (A.13);

— $H_{1/S/MÁX} = H_{0/S/MÁX} / 10^{SF/20}$ (A/m) causado pelos componentes subsequentes (A.14).

Estes valores do campo magnético são válidos somente para um volume seguro V_S dentro da blindagem em forma de grade, com uma distância de segurança $d_{s/2}$ da blindagem (ver Figura A.4).

— $d_{s/2} = w_m^{SF/10}$ (m) para $SF \geq 10$ (A.15);

— $d_{s/2} = w_m$ (m) para $SF < 10$ (A.16);

onde

SF (dB) é o fator de blindagem obtido da equação da Tabela A.3;

w_m (m) é a largura da malha da blindagem em forma de grade.

Para informações adicionais relacionadas ao cálculo da intensidade do campo magnético dentro da blindagem em forma de grade no caso do impacto de uma descarga atmosférica próxima, ver A.4.3.

EXEMPLOS

A intensidade do campo magnético $H_{1/MÁX}$ dentro da ZPR 1 no caso de uma descarga atmosférica próxima depende: da corrente da descarga atmosférica $I_{0/MÁX}$ dentro de ZPR 1, do fator de blindagem SF da blindagem da ZPR 1 e da distância s_a entre o canal da descarga atmosférica e o centro da ZPR 1 (ver Figura A.8).

A corrente da descarga atmosférica $I_{0/MÁX}$ depende do NP escolhido (ver ABNT NBR 5419-1). O fator de blindagem é principalmente uma função da largura da malha da blindagem em forma de grade. A distância s_a é uma das opções a seguir:

— uma dada distância entre o centro de ZPR 1 e um objeto próximo (por exemplo, um mastro) no caso de um impacto direto da descarga atmosférica neste objeto; ou

— a distância mínima entre o centro de ZPR 1 e o canal da descarga atmosférica no caso do impacto da descarga atmosférica para o solo próximo à ZPR 1.

A pior condição é a maior intensidade da corrente $I_{0/MÁX}$ combinada com a menor distância s_a possível. Como mostrado na Figura A.9, esta distância mínima s_a é uma função da altura H e do comprimento L (ou largura W) da estrutura (ZPR 1), e do raio da esfera rolante, r , correspondente à $I_{0/MÁX}$ (ver Tabela A.4), definida do modelo eletrogeométrico (ver ABNT NBR 5419-1:2015, A.4).

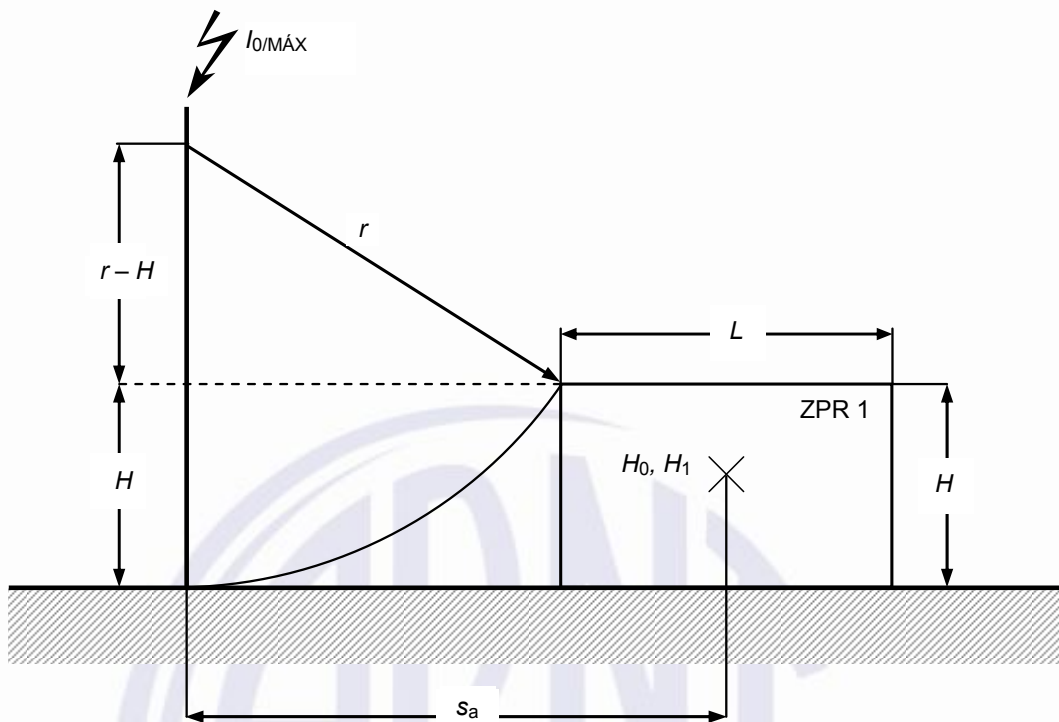


Figura A.9 – Distância s_a dependendo do raio da esfera rolante e das dimensões da estrutura

A distância pode ser calculada como a seguir:

$$s_a = \sqrt{2 \times r \times H - H^2} + L / 2 \quad \text{para } H < r \quad (\text{A.17})$$

$$s_a = r + L / 2 \quad \text{para } H \geq r \quad (\text{A.18})$$

NOTA Para distâncias menores que este valor mínimo, a descarga atmosférica atinge a estrutura diretamente.

Três blindagens típicas podem ser definidas, com as dimensões dadas na Tabela A.5. Uma blindagem espacial de cobre com um comprimento médio da malha $w_m = 2$ é assumida. Isto resulta em um fator de blindagem $SF = 12,6$ dB e uma distância de segurança $d_{S/2} = 2,5$ m definindo o volume seguro V_S . O valor para $H_{0/MÁX}$ e $H_{1/MÁX}$, que são assumidos como válidos em qualquer lugar dentro de V_S , são calculados para $I_{0/MÁX} = 100$ kA e mostrado na Tabela A.5.

Tabela A.4 – Raio da esfera rolante correspondente à corrente máxima da descarga atmosférica

Nível de proteção	Corrente máxima da descarga atmosférica $I_{0/MÁX}$ kA	Raio da esfera rolante, r m
I	200	313
II	150	260
III – IV	100	200

Tabela A.5 – Exemplos para $I_{0/MÁX} = 100$ kA e $w_m = 2$ m correspondendo a $SF = 12,6$ dB

Tipos de blindagens Ver Figura A.10	$L \times W \times H$ m	s_a m	$H_{0/MÁX}$ A/m	$H_{1/MÁX}$ A/m
1	10 × 10 × 10	67	236	56
2	50 × 50 × 10	87	182	43
3	10 × 10 × 50	137	116	27

A.4.1.3 Blindagens em forma de grade para ZPR 2 ou maiores

Nas blindagens em forma de grade em ZPR 2, ou maiores, irão fluir parcelas não significativas da corrente da descarga atmosférica. Portanto, como uma primeira aproximação, a redução de H_n para H_{n+1} dentro de ZPR $n + 1$ pode ser avaliada como dada por A.4.1.2 para pontos de impacto próximos da descarga atmosférica:

$$H_{n+1} = H_n / 10^{SF/20} \text{ (A/m)} \tag{A.19}$$

onde

SF (dB) é o fator de blindagem da Tabela A.3;

H_n (A/m) é o campo magnético dentro de ZPR n (A/m).

Se $H_n = H_1$, esta intensidade do campo pode ser avaliada como a seguir:

- no caso do impacto direto para uma blindagem em forma de grade em ZPR 1, ver A.4.1.1 e Figura A.7 b), enquanto d_w e d_r são as distâncias entre a blindagem de ZPR 2 e a parede respectiva ao telhado;
- no caso do impacto direto de uma descarga atmosférica próxima à ZPR 1, ver A.4.1.2 e Figura A.8.

Estes valores do campo magnético são válidos apenas para um volume seguro V_S dentro da blindagem em forma de grade, com uma distância de segurança $d_{S/2}$ da blindagem (como definido em A.4.1.2 e mostrado na Figura A.4).

A.4.2 Avaliação teórica do campo magnético devido a descargas atmosféricas diretas

Em A.4.1.1, as equações para a avaliação da intensidade do campo eletromagnético $H_{1/MAX}$ são baseadas no cálculo numérico do campo eletromagnético para três típicas blindagens em forma de grade como mostrado na Figura A.10. Para estes cálculos, é considerado o ponto de impacto da descarga atmosférica em uma das bordas do telhado. O canal da descarga atmosférica é simulado por um condutor de descida com um comprimento de 100 m no alto do telhado, uma placa condutora apropriada simula o plano de terra.

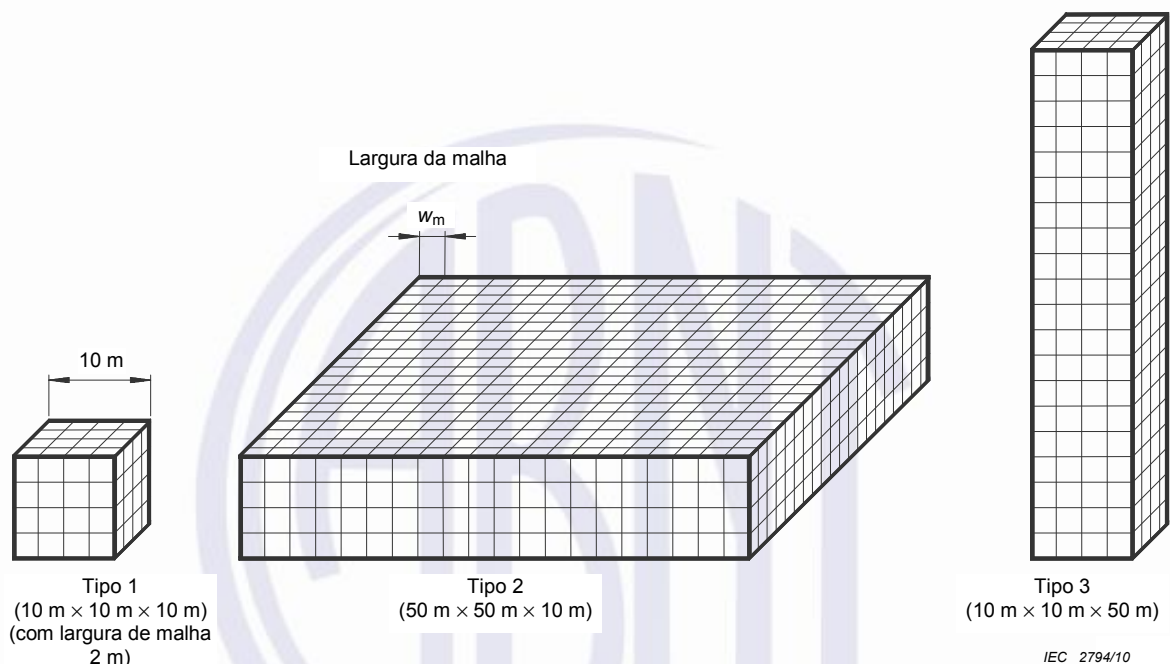


Figura A.10 – Tipos de blindagens em forma de grade

No cálculo, é considerado o acoplamento de todos os condutores dentro da blindagem em forma de grade, incluindo todos os outros condutores e o canal simulado da descarga atmosférica, resultando em um conjunto de equações para calcular a distribuição da corrente da descarga atmosférica na grade. Desta distribuição de corrente, é derivada a intensidade do campo magnético dentro da blindagem. Assume-se que a resistência dos condutores pode ser desconsiderada. Portanto, a distribuição de corrente na blindagem em forma de grade e a intensidade do campo magnético são independentes da frequência. Também é desconsiderado o acoplamento capacitivo para evitar efeitos transitórios.

Para o caso de uma blindagem tipo 1 (ver Figura A.10), alguns resultados são apresentados nas Figuras A.11 e A.12.

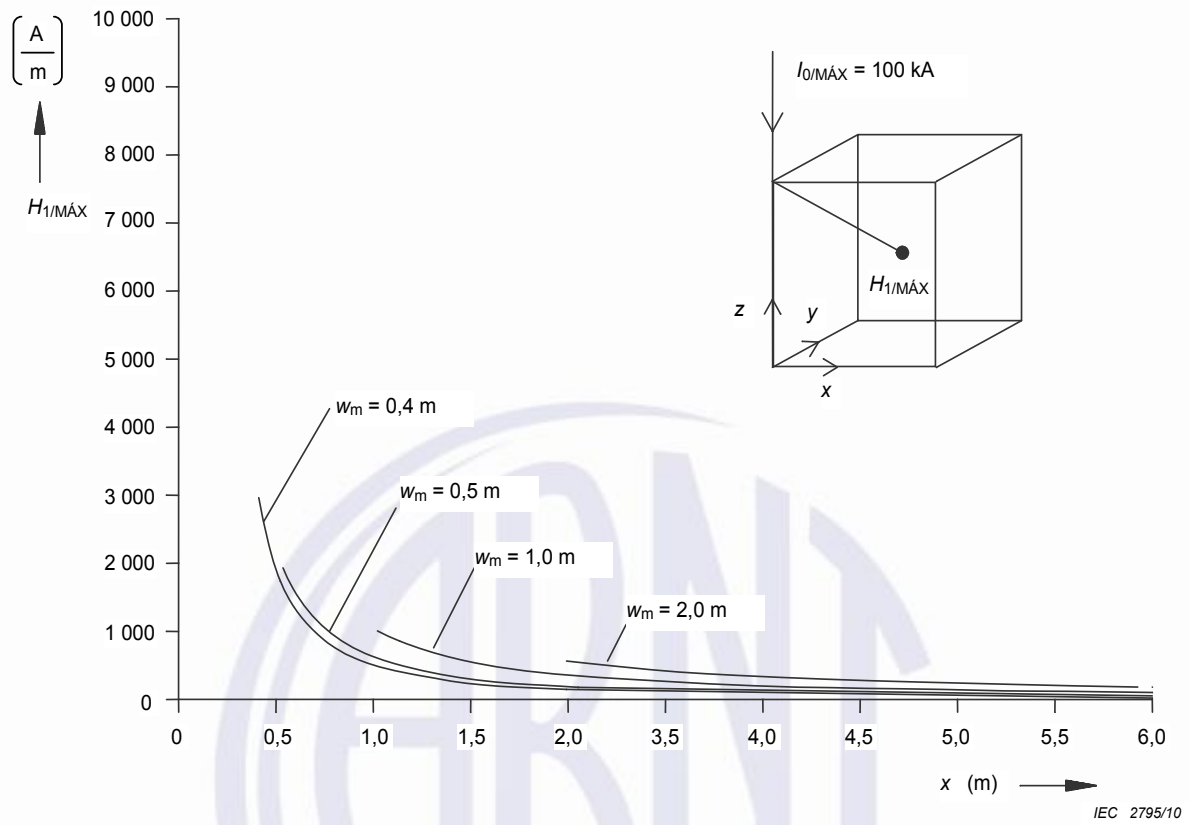


Figura A.11 – Intensidade do campo magnético $H_{1/MAX}$ dentro de uma blindagem em forma de grade tipo 1

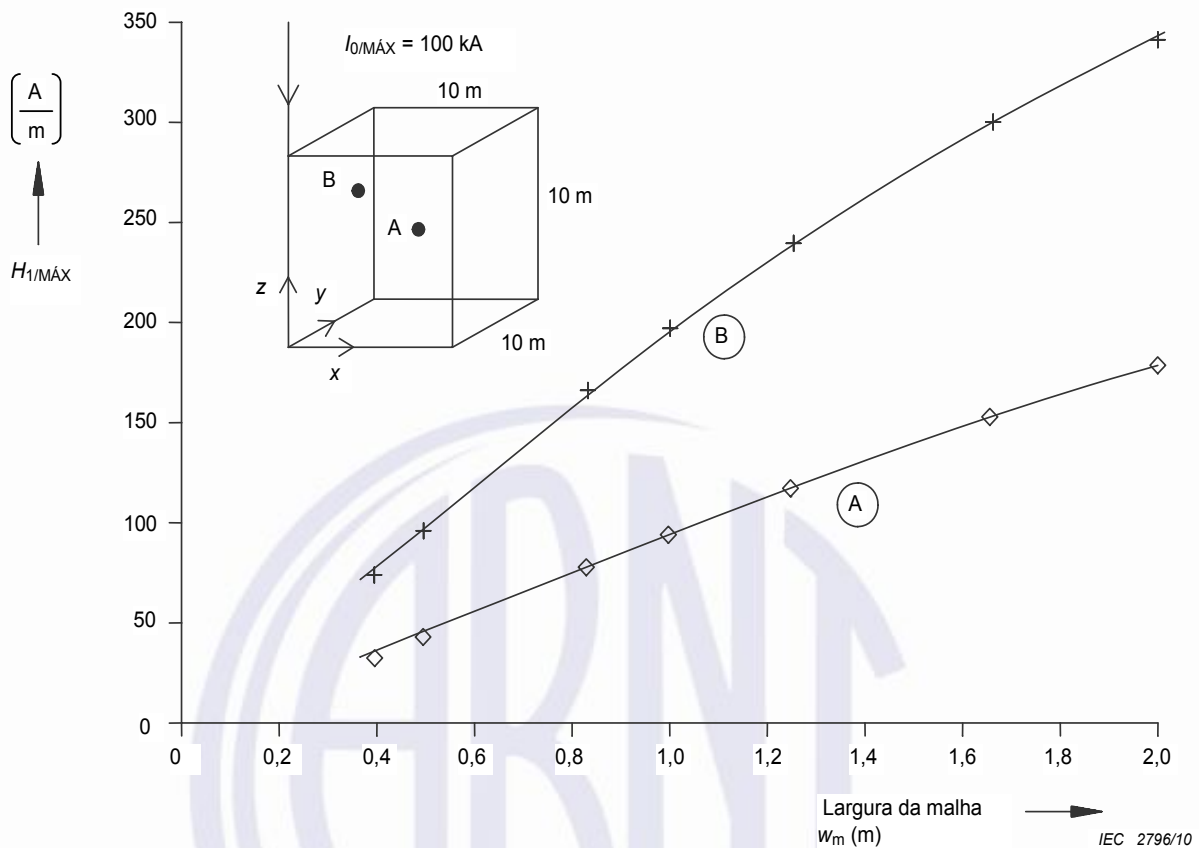


Figura A.12 – Intensidade do campo magnético $H_{1/MAX}$ dentro de uma blindagem em forma de grade tipo 1, de acordo com a largura da malha

NOTA 1 Resultados experimentais do campo magnético dentro de uma ZPR 1 com uma blindagem em forma de grade indicam que o aumento campo magnético próximo à blindagem é menor do que a resultante das equações descritas anteriormente.

NOTA 2 Os resultados calculados são válidos apenas para distâncias $d_{s/1} > w_m$ para a blindagem em forma de grade.

Em todos os casos, é assumida uma corrente máxima da descarga atmosférica $I_{O/MAX} = 100 \text{ kA}$. Em ambas as Figuras A.11 e A.12, $H_{1/MAX}$ é a intensidade máxima do campo magnético em um ponto, derivado de seus componentes H_x , H_y e H_z :

$$H_{1/MAX} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \tag{A.20}$$

Na Figura A.11, $H_{1/MAX}$ é calculado ao longo de uma linha reta começando do ponto de impacto ($x = y = 0, z = 10 \text{ m}$) e terminando no centro do volume ($x = y = 5 \text{ m}, z = 5 \text{ m}$). $H_{1/MAX}$ é plotado como uma função da coordenada x para cada ponto nesta linha, onde o parâmetro é a largura da malha w_m da blindagem em forma de grade.

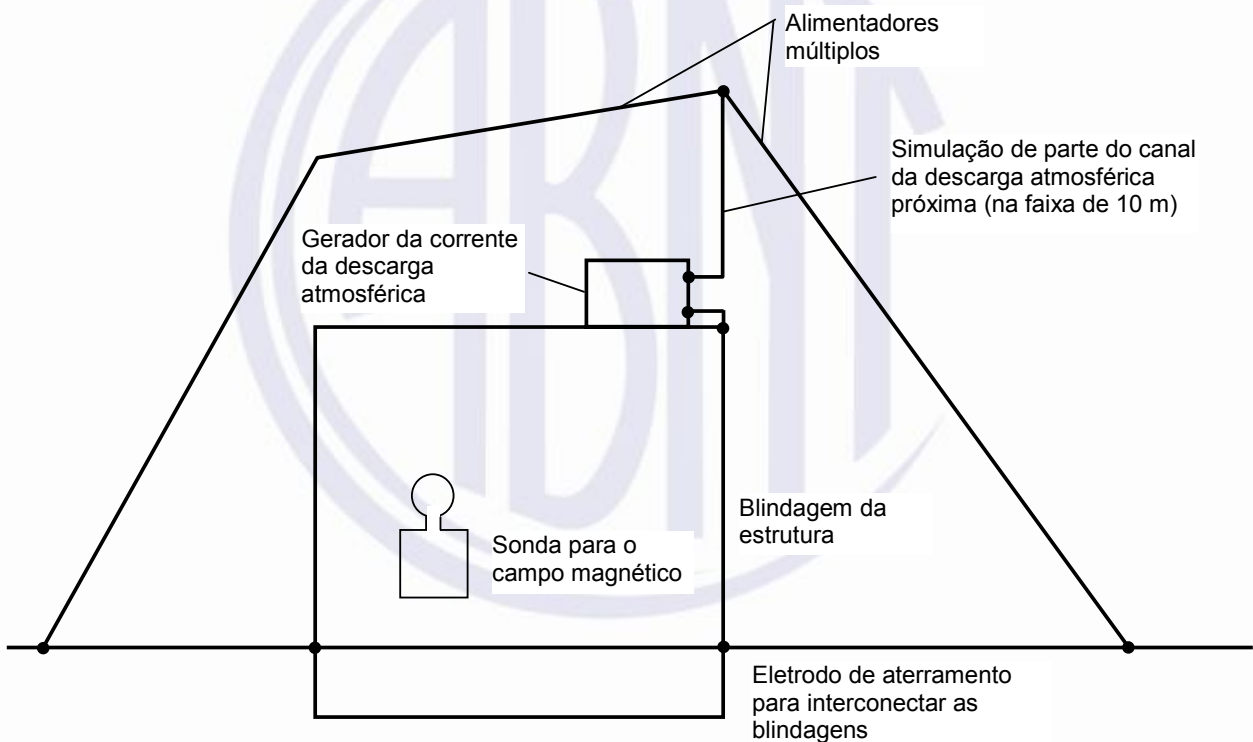
Na Figura A.12, $H_{1/MAX}$ é calculado para dois pontos dentro da blindagem (ponto A: $x = y = 5 \text{ m}, z = 5 \text{ m}$; ponto B: $x = y = 3 \text{ m}, z = 7 \text{ m}$). O resultado é plotado como uma função da largura da malha w_m .

Ambas as figuras mostram os efeitos dos principais parâmetros indicando a distribuição do campo magnético dentro de uma blindagem em forma de grade: a distância da parede ou telhado, e a largura da malha.

Na Figura A.11, deve ser observado que ao longo de outras linhas por meio do volume da blindagem podem existir eixos zero cruzando e assinalando mudanças dos componentes da intensidade do campo magnético $H_{1/MÁX}$. As equações apresentadas em A.4.1.1 são, portanto, em primeira análise, aproximações reais, e mais complicadas, da distribuição do campo magnético dentro de uma blindagem em forma de grade.

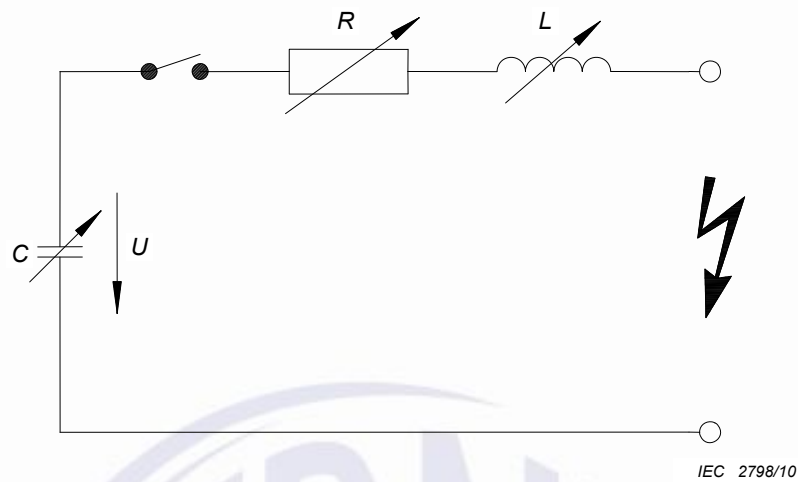
A.4.3 Avaliação experimental do campo magnético devido a uma descarga atmosférica direta

O campo magnético dentro de estruturas blindadas pode ser determinado também pela realização de medições experimentais. A Figura A.13 apresenta uma proposta para a simulação do impacto direto de uma descarga atmosférica em um ponto arbitrário de uma estrutura blindada usando um gerador de corrente simulando uma descarga atmosférica. Tais ensaios podem ser realizados utilizando fonte simulando uma corrente da descarga atmosférica direta de baixa intensidade, mas com uma curva característica representando a corrente da descarga atmosférica.



IEC 2797/10

a) Configuração para ensaio



Legenda

- U tipicamente cerca de 10 kV
 C tipicamente cerca de 10 nF

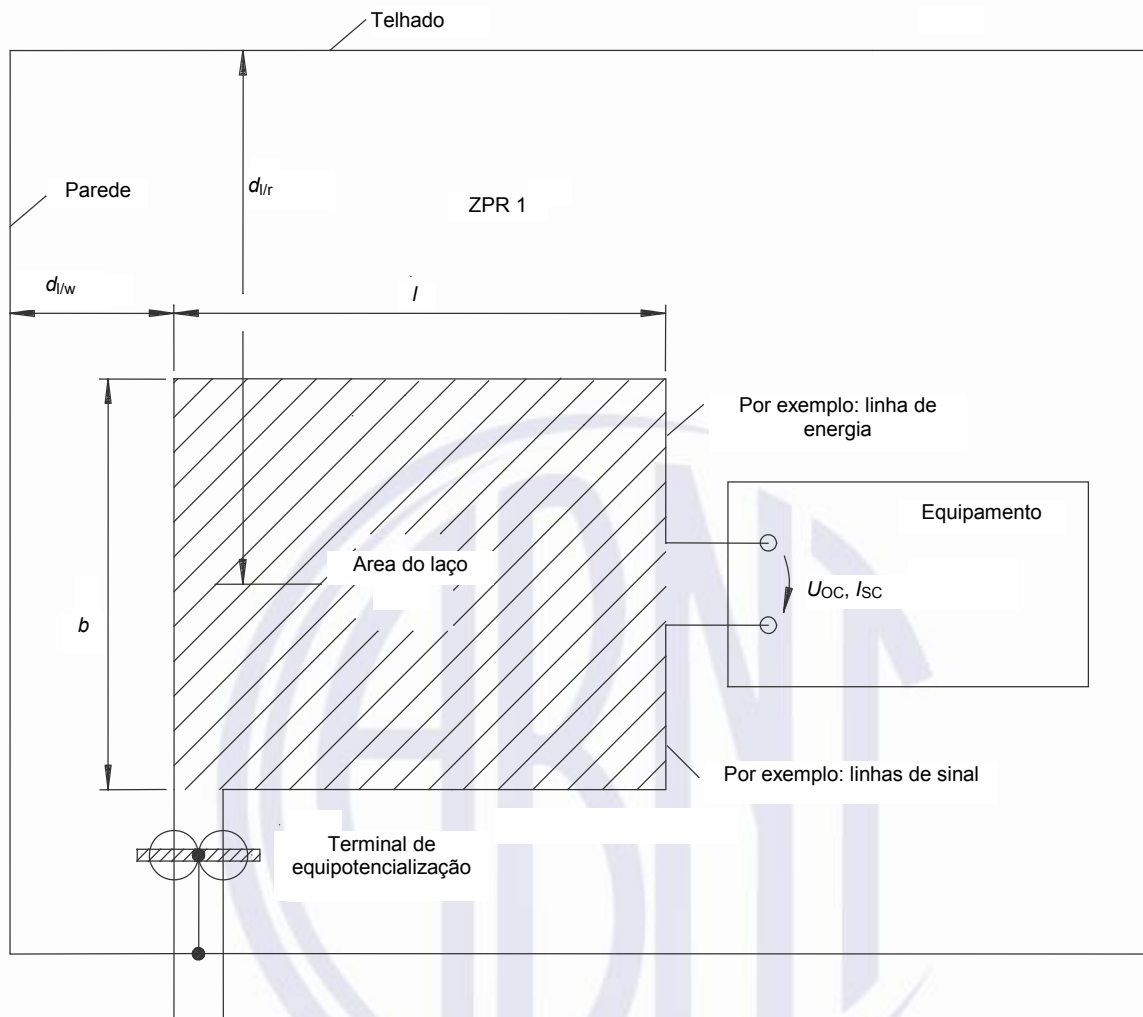
b) Gerador de corrente da descarga atmosférica

Figura A.13 – Ensaio com baixo nível de corrente para avaliar o campo magnético dentro da estrutura

A.5 Cálculo das tensões e correntes induzidas

A.5.1 Princípios gerais

Apenas laços retangulares de acordo com a Figura A.14 são considerados. Laços com outras formas devem ser transformados em configurações retangulares com a mesma área de laço.



IEC 2799/10

Figura A.14 – Tensões e correntes induzidas dentro do laço formado pelas linhas elétricas

A.5.2 Situação dentro ZPR 1 no caso do impacto direto de uma descarga atmosférica

Para o campo magnético H_1 dentro do volume V_S de uma ZPR 1, as equações a seguir se aplicam (ver A.4.1.1):

$$H_1 = k_h \times I_0 \times w_m / (d_w \times \sqrt{d_r}) \text{ (A/m)} \quad (\text{A.21})$$

A tensão de circuito aberto U_{OC} é dada por:

$$U_{OC} = \mu_0 \times b \times \ln(1 + l/d_{l/w}) \times k_h \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times dI_0 / dt \text{ (V)} \quad (\text{A.22})$$

O valor de pico $U_{OC/MÁX}$ ocorre durante o tempo de frente T_1

$$U_{OC/MÁX} = \mu_0 \times b \ln(1 + l/d_{l/w}) \times k_h \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_{0/MÁX} / T_1 \text{ (V)} \quad (\text{A.23})$$

onde

μ_0 é igual a $4 \times \pi \times 10^{-7} \text{ (Vs)/(Am)}$;

$b \text{ (m)}$ é a largura do laço;

$d_{l/w}$ (m) é a distância do laço da parede da blindagem, para $d_{l/w} \geq d_{s/1}$;

$d_{l/r}$ (m) é a distância média entre o laço e o telhado da blindagem;

I_0 (A) é a corrente da descarga atmosférica na ZPR 0_A;

$I_{0/MÁX}$ (A) é o valor máximo da corrente da descarga atmosférica com impacto em ZPR 0_A;

$k_h(1/\sqrt{m})$ é o fator de configuração $k_h = 0,01$;

l (m) é o comprimento do laço;

T_1 (s) é tempo de frente descarga atmosférica em ZPR 0_A;

w_m (m) é a largura da malha na blindagem em forma de grade.

A corrente de curto-circuito I_{SC} é dada por:

$$I_{SC} = \mu_0 \times b \ln(1 + l/d_{l/w}) \times k_h \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_0 / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.24})$$

onde a resistência ôhmica dos cabos é desprezada (pior caso).

O valor máximo $I_{SC/MÁX}$ é dado por:

$$I_{SC/MÁX} = \mu_0 \times b \ln(1 + l/d_{l/w}) \times k_h \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_{0/MÁX} / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.25})$$

onde L_S (H) é a indutância própria do laço.

Para laços retangulares, a indutância própria L_S pode ser calculada de:

$$L_s = \left\{ 0,8 \times \sqrt{l^2 + b^2} - 0,8 \times (l + b) + 0,4 \times l \times \ln \left[(2b / r_c) / \left(1 + \sqrt{1 + (b/l)^2} \right) \right] \right. \\ \left. + 0,4 \times b \times \ln \left[(2l / r_c) / \left(1 + \sqrt{1 + (l/b)^2} \right) \right] \right\} \times 10^{-6} \text{ (H)} \quad (\text{A.26})$$

onde r_c (m) é o raio do laço condutor.

A tensão e a corrente induzida pelo campo magnético do primeiro componente positivo ($T_1 = 10 \mu\text{s}$) é dada por:

$$U_{OC/F/MÁX} = 1,26 \times b \times \ln(1 + l/d_{l/w}) \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_{F/MÁX} \text{ (V)} \quad (\text{A.27})$$

$$I_{SC/F/MÁX} = 12,6 \times 10^{-6} \times b \times \ln(1 + l/d_{l/w}) \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_{F/MÁX} / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.28})$$

A tensão e a corrente induzida pelo campo magnético da primeira componente negativa ($T_1 = 1 \mu\text{s}$) são dadas por:

$$U_{OC/FN/MÁX} = 12,6 \times b \times \ln(1 + l/d_{l/w}) \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_{FN/MÁX} \text{ (V)} \quad (\text{A.29})$$

$$I_{SC/FN/MÁX} = 12,6 \times 10^{-6} \times b \times \ln(1 + l/d_{l/w}) \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_{FN/MÁX} / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.30})$$

A tensão e corrente induzidas pelo campo magnético das componentes subsequentes ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$) são dadas por:

$$U_{OC/S/MÁX} = 50,4 \times b \times \ln(1 + l/d_{l/w}) \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_{S/MÁX} \text{ (V)} \quad (\text{A.31})$$

$$I_{SC/S/MÁX} = 12,6 \times 10^{-6} \times b \times \ln(1 + I/d_{l/w}) \times (w_m / \sqrt{d_{l/r}}) \times I_{S/MÁX}/L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.32})$$

onde

$I_{F/MÁX}$ (kA) é o valor máximo da corrente do primeiro componente positivo;

$I_{FN/MÁX}$ (kA) é o valor máximo da corrente do primeiro componente negativo;

$I_{S/MÁX}$ (kA) é o valor máximo da corrente dos componentes subsequentes.

A.5.3 Situação dentro de ZPR 1 no caso de um ponto de impacto de uma descarga atmosférica próxima

O campo magnético dentro do volume de ZPR 1 é assumido com sendo homogêneo (ver A.4.1.2).

A tensão de circuito aberto U_{OC} é dada por:

$$U_{OC} = \mu_0 \times b \times I \times dH_1/dt \text{ (V)} \quad (\text{A.33})$$

O valor de pico $U_{OC/MÁX}$ ocorre durante o tempo de frente T_1 :

$$U_{OC/MÁX} = \mu_0 \times b \times I \times H_{1/MÁX} / T_1 \text{ (V)} \quad (\text{A.34})$$

onde

μ_0 é igual a $4\pi \times 10^{-7}$ (Vs)/(Am);

b (m) é a largura do laço;

H_1 (A/m) é a variação no tempo do campo magnético dentro da ZPR 1;

$H_{1/MÁX}$ (A/m) é o valor máximo do campo magnético dentro da ZPR 1;

l (m) é o comprimento do laço;

T_1 (s) é o tempo de frente do campo magnético, idêntico ao tempo de frente do impacto da descarga atmosférica.

A corrente de curto-circuito I_{SC} é dada por:

$$I_{SC} = \mu_0 \times b \times I \times H_1 / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.35})$$

onde a resistência ôhmica dos cabos pode ser desconsiderada (pior caso).

O valor máximo $I_{SC/MÁX}$ é dado por:

$$I_{SC/MÁX} = \mu_0 \times b \times I \times H_{1/MÁX} / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.36})$$

Onde L_S (H) é a indutância própria do laço (para o cálculo de L_S ver A.5.2).

A tensão e a corrente induzida pelo campo magnético $H_{1/F}$ do primeiro componente positivo ($T_1 = 10 \mu\text{s}$) são dadas por:

$$U_{OC/F/MÁX} = 0,126 \times b \times I \times H_{1/F/MÁX} \text{ (V)} \quad (\text{A.37})$$

$$I_{SC/F/MÁX} = 1,26 \times 10^{-6} \times b \times I \times H_{1/F/MÁX} / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.38})$$

A tensão e a corrente induzida pelo campo magnético $H_{1/FN}$ do primeiro componente negativo ($T_1 = 1 \mu\text{s}$) são dadas por:

$$U_{OC/FN/MÁX} = 1,26 \times b \times l \times H_{1/FN/MÁX} \text{ (V)} \quad (\text{A.39})$$

$$I_{SC/FN/MÁX} = 1,26 \times 10^{-6} \times b \times l \times H_{1/FN/MÁX} / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.40})$$

A tensão e a corrente induzida pelo campo magnético $H_{1/S}$ dos componentes subsequentes ($T_1 = 0,25 \mu\text{s}$) são dadas por:

$$U_{OC/S/MÁX} = 5,04 \times b \times l \times H_{1/S/MÁX} \text{ (V)} \quad (\text{A.41})$$

$$I_{SC/S/MÁX} = 1,26 \times 10^{-6} \times b \times l \times H_{1/S/MÁX} / L_S \text{ (A)} \quad (\text{A.42})$$

onde

$H_{1/F/MÁX}$ (A/m) é o valor máximo do campo magnético dentro da ZPR 1 devido ao primeiro componente positivo;

$H_{1/FN/MÁX}$ (A/m) é o valor máximo do campo magnético dentro da ZPR 1 devido ao primeiro componente negativo;

$H_{1/S/MÁX}$ (A/m) é o valor máximo do campo magnético dentro da ZPR 1 devido aos componentes subsequentes.

A.5.4 Situação dentro de ZPR 2 e mais altas

O campo magnético H_n dentro de ZPR n , para $n \geq 2$, é assumido ser homogêneo (ver A.4.1.3).

Pode ser aplicada a mesma equação para o cálculo das tensões e correntes (A.4.1.2), onde H_1 é substituído por H_n .

Anexo B (informativo)

Implementação de MPS para uma estrutura existente

B.1 Princípios gerais

Para equipamentos dentro de estruturas existentes, nem sempre é possível seguir as MPS apontadas nesta Norma. Este Anexo tenta descrever os principais pontos a considerar, e fornece informações sobre medidas de proteção que não são obrigatórias, mas ajudam a aumentar o resultado da proteção como um todo.

B.2 Verificações

Em estruturas existentes, medidas de proteção adequadas necessitam levar em consideração a construção, as condições da estrutura e os sistemas eletroeletrônicos existentes.

Um conjunto de itens para verificação facilita a análise de risco e a seleção das medidas de proteção mais adequadas.

Particularmente em estruturas existentes, um projeto deve ser desenvolvido para determinar as zonas de proteção, o aterramento, o roteamento de linhas e a blindagem.

Os itens para verificação indicados nas Tabelas B.1 a B.4 são usados para obter os dados necessários da estrutura existente e suas instalações. Com base nestes dados, é feita uma análise de risco de acordo com a ABNT NBR 5419-2 para determinar a necessidade de proteção, e se esta for necessária, identificar as medidas com melhor relação custo-benefício a serem utilizadas.

NOTA 1 Para mais informações sobre proteção contra interferências eletromagnéticas, ver IEC 60364-4-44.

Os dados obtidos por meio dos itens verificados também são úteis para o projeto das MPS.

Tabela B.1 – Características estruturais e complementares

Item	Questões ^a
1	Alvenaria, tijolos, madeira, concreto armado, estruturas em aço, fachada de metal?
2	Uma estrutura única ou blocos interligados com juntas de dilatação?
3	Estruturas baixas e planas ou altas? (dimensões da estrutura)
4	Armaduras de aço interligadas e com continuidade elétrica em toda a estrutura?
5	Tipo e características do material do telhado metálico?
6	Fachadas metálicas equipotencializadas?
7	Armações metálicas das janelas equipotencializadas?
8	Dimensões das janelas?
9	Estrutura protegida com um SPDA externo?
10	Tipo e características deste SPDA?
11	Material do solo (rocha, solo)?
12	Altura, distância e aterramento das estruturas adjacentes?
^a	Para informações detalhadas, ver a ABNT NBR 5419-2

Tabela B.2 – Características da instalação

Item	Questões ^a
1	Características da entrada dos serviços (subterrânea ou aérea)?
2	Características das antenas (antenas ou outros dispositivos externos)?
3	Tipo de fornecimento de energia (alta, media, baixa tensão, aérea ou subterrânea)?
4	Roteamento das linhas (número e localização dos dutos dos cabos)?
5	Uso de dutos metálicos para os cabos?
6	Estão os equipamentos totalmente dentro da estrutura?
7	Existem condutores metálicos interligados à outra estrutura?
^a Para informações detalhadas ver a ABNT NBR 5419-2.	

Tabela B.3 – Características dos equipamentos

Item	Questões ^{a, b}
1	Características das interligações dos sistemas internos (cabos multivias blindados ou não blindados, cabos coaxiais, sistemas analógicos ou digitais, balanceados ou não balanceados, condutores de fibra óptica) ^a .
2	Suportabilidade dos sistemas eletrônicos especificados ^{a, b} .
^a Para informações detalhadas, ver ABNT NBR 5419-2.	
^b Para informações detalhadas, ver ITU-T K.21, IEC 61000-4-5, IEC 61000-4-9 e IEC 61000-4-10	

Tabela B.4 – Outras questões a serem consideradas para a concepção do projeto

Item	Questões ^a
1	Configuração do aterramento da entrada de energia – TN (TN-S, TN-C ou TN-C-S), TT ou IT.
2	Localização dos equipamentos ^a .
3	Interligação dos sistemas de aterramento funcional com a interligação para equipotencialização.
^a Para informações detalhadas, ver o Anexo A.	

B.3 Projeto de MPS para uma estrutura existente

A primeira medida no desenvolvimento do projeto é verificar os itens apontados em B.2 e realizar a análise de risco.

Se esta análise determinar que MPS são necessárias, então elas devem ser implementadas.

Assinalar ZPR adequadas em todos os locais onde equipamentos que devem ser protegidos estão localizados (ver 4.3).

Recomenda-se que a base das MPS seja uma blindagem interna e uma interligação para equipotencialização. Convém que esta rede tenha largura máxima da malha de 5 m em qualquer direção. Se as características da estrutura não permitirem a blindagem e a equipotencialização necessárias, recomenda-se que no mínimo um anel condutor na parede externa em cada andar seja instalado. Este anel condutor deve ser interligado em cada condutor de descida do SPDA.

NOTA Medidas para reformar a blindagem em uma edificação existente são frequentemente inviáveis na prática. Quando for o caso, o uso de DPS fornece uma alternativa eficaz.

B.4 Projeto das medidas básicas de proteção para ZPR

B.4.1 Projeto das medidas básicas de proteção para a ZPR 1

Recomenda-se que as medidas de proteção sejam baseadas na blindagem interna e interligação para equipotencialização, ou em um condutor em anel no interior da parede externa que normalmente é a fronteira de ZPR 1. Se a parede externa não é a fronteira e uma blindagem interna e a interligação para equipotencialização não são possíveis, convém que um condutor em anel seja instalado na fronteira de ZPR 1. Recomenda-se que o condutor em anel seja conectado ao condutor em anel da parede exterior ao menos em dois pontos, afastados entre si o máximo possível.

B.4.2 Projeto das medidas básicas de proteção para a ZPR 2

As medidas de proteção são baseadas na blindagem interna e interligação para equipotencialização, ou em um condutor em anel no interior da parede externa. Se uma blindagem interna e a interligação para equipotencialização não são possíveis, convém que um condutor em anel seja instalado na fronteira de todas as ZPR 2. Se uma ZPR 2 for maior que 5 m × 5 m, recomenda-se que uma subdivisão seja feita criando malhas não excedendo esses limites. Recomenda-se que o condutor em anel seja conectado ao condutor em anel envolvendo ZPR 1 em no mínimo dois pontos, afastados entre si o máximo possível.

B.4.3 Projeto das medidas básicas de proteção para a ZPR 3

As medidas de proteção são baseadas na blindagem interna e interligação para equipotencialização, ou em um condutor em anel no interior da ZPR 2. Se uma blindagem interna e a interligação para equipotencialização não são possíveis, convém que um condutor em anel seja instalado na fronteira de toda ZPR 3. Se uma ZPR 3 é maior que 5 m × 5 m, recomenda-se que uma subdivisão seja feita criando malhas não excedendo esses limites. O condutor em anel deve ser conectado ao condutor em anel envolvendo ZPR 2 em no mínimo dois pontos, afastados entre si o máximo possível.

B.5 Instalação de um sistema de DPS coordenado

Recomenda-se que um sistema coordenado seja projetado para proteger os cabos que cruzam as fronteiras de diferentes ZPR.

Convém que o projeto das eletrocaldas, leitos e outros elementos de encaminhamento seja desenvolvido para fazer com que estes elementos exerçam também a função de blindagem.

Quando possível, medidas adicionais, como blindagem de paredes, piso, teto etc., são recomendadas para fornecer proteção adicional àquelas que já foram aplicadas (ver Seção 6).

Medidas de projeto para melhorar interconexões entre as estruturas sob consideração e outras estruturas (ver B.11).

Quando novos sistemas internos são instalados em estruturas que já possuam medidas de proteção, recomenda-se que o projeto seja refeito para considerar os novos sistemas internos.

O processo completo do projeto esta ilustrado no fluxograma (ver Figura B.1).

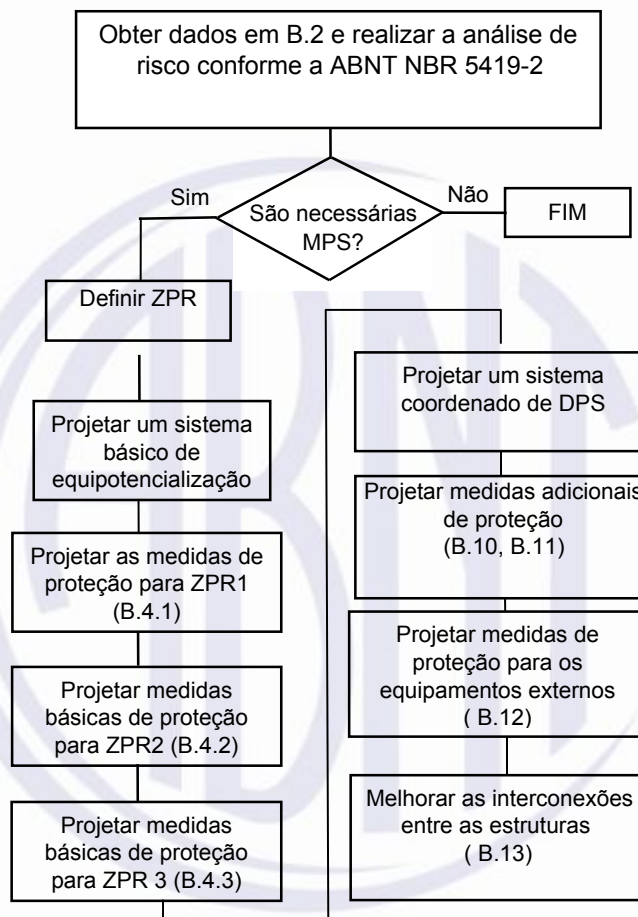


Figura B.1 – Etapas do projeto de MPS para uma estrutura existente

B.6 Melhoria de um SPDA existente utilizando blindagens em forma de grade em ZPR 1

Um SPDA existente (de acordo com a ABNT NBR 5419-3) envolvendo ZPR 1 pode ser melhorado por:

- integrar as fachadas metálicas existentes e telhados metálicos no SPDA externo;
- utilizar armaduras de aço com continuidade elétrica da parte superior no telhado até o subsistema de aterramento;
- reduzir a distância entre os condutores de descida e reduzir a largura da malha do subsistema da captação para valores de referência abaixo de 5 m,
- instalação de condutores de equipotencialização flexíveis através das juntas de dilatação entre, blocos adjacentes reforçados, mas estruturalmente separados.

B.7 Estabelecimento de ZPR para sistemas elétricos e eletrônicos

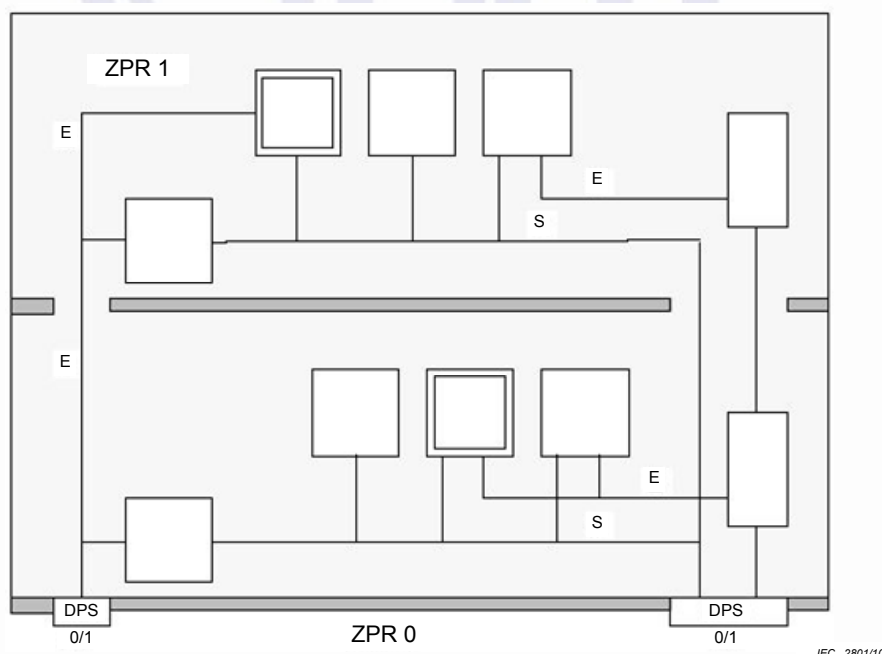
Dependendo do número, tipo e sensibilidade dos sistemas elétricos e eletrônicos existentes, ZPR internas adequadas são definidas de pequenas zonas locais até a totalidade de grandes zonas (o volume total da edificação).

A Figura B.2 mostra desenhos típicos de ZPR para a proteção de sistemas internos fornecendo diferentes soluções possíveis para estruturas existentes, em particular.

A Figura B.2-a) mostra a instalação de uma única ZPR1, criando um volume protegido dentro da estrutura inteira por exemplo, para melhorar os níveis de suportabilidade dos sistemas internos:

- esta ZPR 1 pode ser criada utilizando um SPDA, de acordo com a ABNT NBR 5419-3, que consiste em um SPDA externo (subsistema de captação, de descida e de aterramento) e um SPDA interno (ligação equipotencial e observância das distâncias de segurança).
- o SPDA externo protege a ZPR 1 contra descargas atmosféricas na estrutura, mas o campo magnético dentro da ZPR 1 permanece praticamente sem atenuação. Isto se deve aos captosres e condutores de descida com largura da malha e distâncias tipicamente maiores que 5 m, portanto o efeito da blindagem em forma de grade é desprezível, como explicado anteriormente.
- o SPDA interno requer a equipotencialização de todos os serviços entrando na estrutura da fronteira de ZPR 1, incluindo a instalação de DPS para todas as linhas elétricas de energia e de sinal. Isto assegura que os surtos conduzidos nos serviços entrando na edificação são limitados pelos DPS.

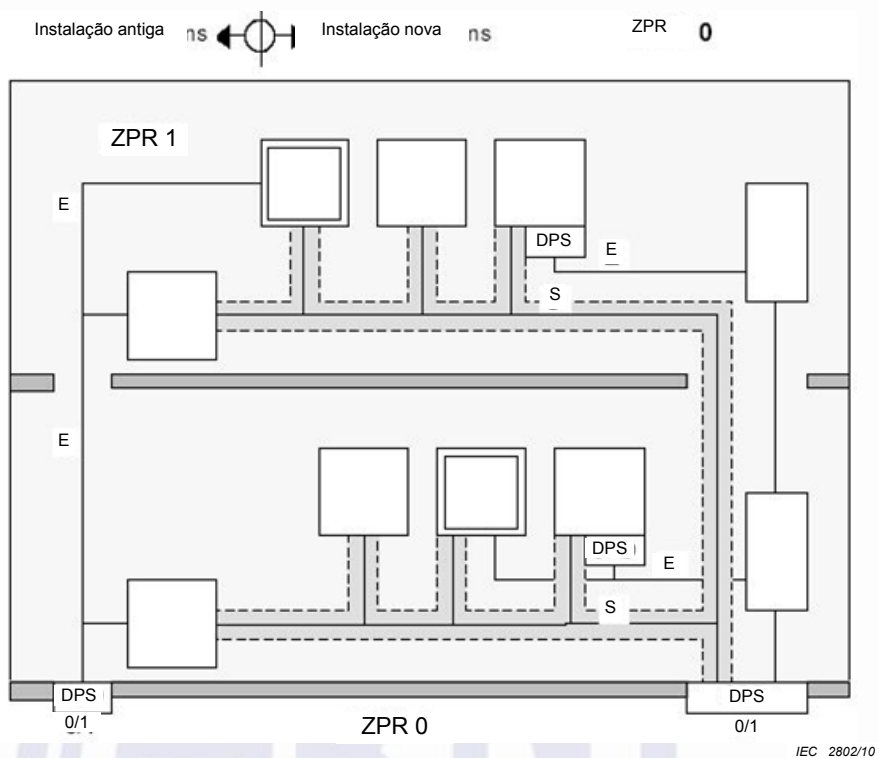
NOTA Interfaces isolantes podem ser úteis no interior de ZPR 1 com o objetivo de evitar interferências em baixa frequência.



Legenda

- E Linhas de energia
- S Linhas de sinal

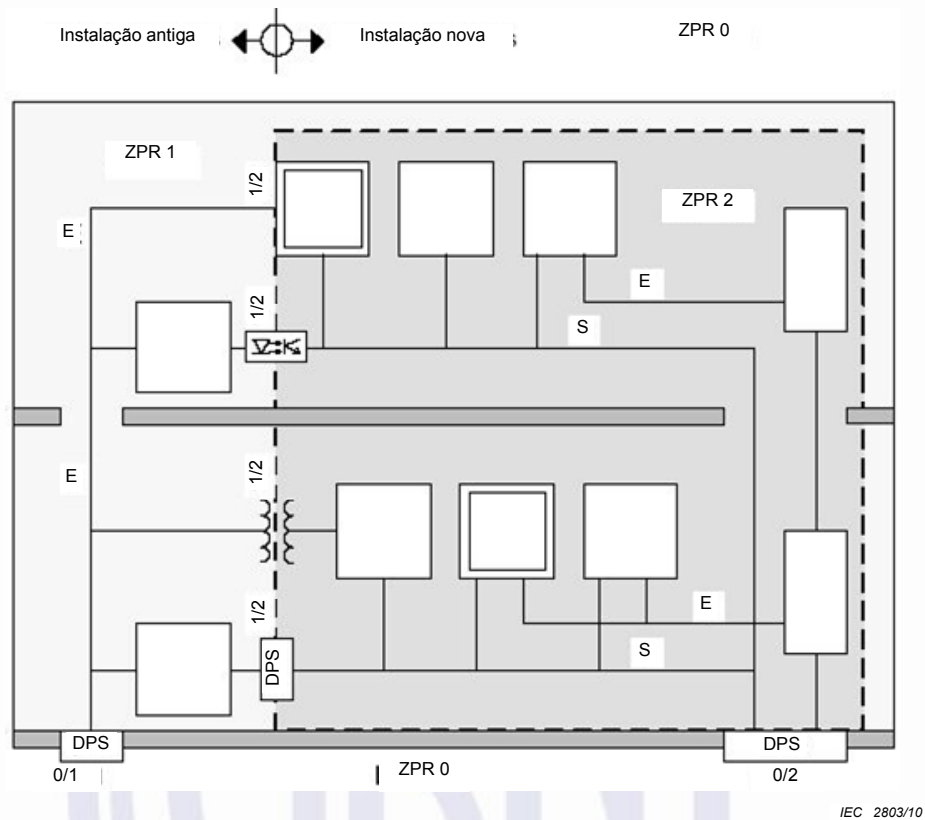
a) ZPR 1 não blindada usando SPDA e DPS na entrada das linhas na estrutura (por exemplo, para melhorar a suportabilidade dos sistemas ou para pequenos laços formados dentro da estrutura)



Legenda

- E linhas de energia
- S linhas de sinal

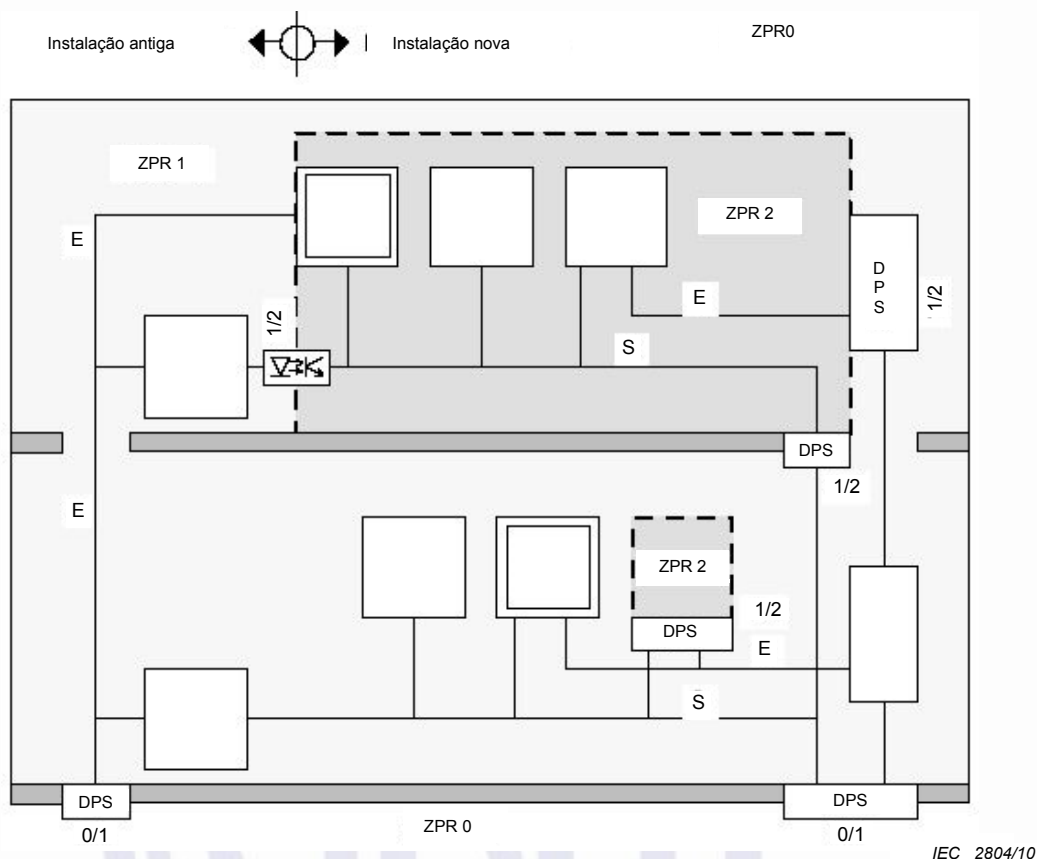
b) ZPR 1 não blindada com proteção para novos sistemas internos usando linhas de sinal blindadas e sistema de DPS coordenados nas linhas de energia



Legenda

- E linhas de energia
- S linha de sinal

c) ZPR 1 não blindada e uma ZPR 2 com extensa blindagem em ZPR 2 para novos sistemas internos



Legenda

- E linhas de energia
- S linhas de sinal

d) ZPR 1 não blindada e ZPR 2 locais para novos sistemas internos

Figura B.2 – Possibilidades para estabelecer ZPR em estruturas existentes

A Figura B.2 b) mostra que, em uma ZPR 1 não blindada, novos equipamentos também necessitam ser protegidos contra surtos conduzidos. Como exemplo, as linhas de sinal podem ser protegidas utilizando cabos blindados e as linhas de energia utilizando conjuntos de DPS coordenados. Isto pode requerer DPS adicionais ensaiados com I_N e DPS ensaiados com uma onda combinada, instalados próximo ao equipamento e coordenados com os DPS na entrada de serviço. Pode também ser necessário que o equipamento possua isolamento classe 2 (dupla isolamento).

A Figura B.2 c) mostra a instalação de uma ZPR 2 integral no interior de ZPR 1, para acomodar os novos sistemas internos. A blindagem em forma de grade fornece uma significativa atenuação do campo eletromagnético gerado pela descarga atmosférica. No lado esquerdo, o DPS instalado na fronteira de ZPR 1 (transição de ZPR 0/1) e subsequentemente na fronteira de ZPR 2 (transição de ZPR 1/2), coordenado de acordo com IEC 61643-12. No lado direito, o DPS instalado na fronteira de ZPR 1 deve ser selecionado para a transição direta de ZPR 0/2 (ver C.3.5).

A Figura B.2 d) mostra a criação de duas ZPR menores (ZPR 2) no interior de ZPR 1. Convém que DPS adicionais para energia tanto quanto para linhas de sinal na fronteira de cada ZPR 2 sejam instalados. Recomenda-se que estes DPS sejam coordenados com os DPS na fronteira de ZPR 1 de acordo com a IEC 61643-12.

B.8 Proteção usando uma interligação para equipotencialização

Sistemas de aterramento existentes para frequência industrial podem não fornecer a base para uma equipotencialização satisfatória quando se trata de correntes da descarga atmosférica, com frequências acima de vários MHz, pois sua impedância pode ser muita alta nestas frequências.

Mesmo um SPDA projetado de acordo com a ABNT NBR 5419-3, que permite larguras de malha maiores que 5 m, e que inclua interligações equipotenciais para descargas atmosféricas como uma parte obrigatória do SPDA interno, pode não ser suficiente para sistemas internos sensíveis. Isto se deve a impedância do sistema de equipotencialização poder ser ainda muito alta para esta aplicação.

Uma malha de equipotencialização com largura de malha típica de 5 m ou menor é altamente recomendada.

Em geral, a malha de equipotencialização não pode ser utilizada como um caminho de retorno para correntes de energia e sinal. Portanto, convém que o condutor PE seja integrado na malha de equipotencialização, mas o condutor PEN, não.

A equipotencialização direta de um condutor de aterramento funcional (por exemplo um “terra limpo” específico para sistemas eletrônicos) para interligação de equipotencialização de baixa impedância é permitida, porque neste caso a interferência causada pelas linhas de energia ou sinal será muito baixa. Para evitar interferências em sistemas eletrônicos, não é permitida a equipotencialização utilizando-se o condutor PEN, ou para outras partes metálicas conectadas a ele.

B.9 Proteção por dispositivos de proteção contra surtos

Para limitar surtos conduzidos devido descargas atmosféricas nas linhas elétricas, DPS devem ser instalados na entrada de qualquer ZPR interna (Figura B.2 e nº 3 da Figura B.8).

Em edificações com DPS não coordenados, pode haver danos nos sistemas internos. Um DPS a jusante, ou um DPS no equipamento, impede a correta atuação do DPS na entrada de serviço.

Para manter a eficácia das medidas de proteção adotadas, é necessário documentar a localização de todos os DPS instalados.

B.10 Proteção por interfaces isolantes

Interferências na frequência industrial por meio do equipamento e suas linhas de sinal conectadas podem ser causadas por grandes laços ou a ausência de uma interligação para equipotencialização de baixa impedância.

Para evitar tais interferências (principalmente em instalações TN-C), uma separação adequada entre instalações existentes e novas instalações pode ser alcançada utilizando interfaces isolantes, como:

- a) equipamentos isolados classe 2 (por exemplo, com dupla isolação, sem um condutor PE);
- b) transformadores de isolação;
- c) cabos de fibra óptica sem componentes metálicos;

d) optoacopladores.

NOTA Recomenda-se cuidado para que os invólucros metálicos dos equipamentos não tenham uma conexão não intencional com a interligação para equipotencialização ou para outras partes metálicas, mas que eles sejam isolados. Esta é a situação na maioria dos casos, já que equipamentos instalados em ambientes domésticos ou escritórios são interligados a referência de aterramento apenas por meio da conexão por cabos.

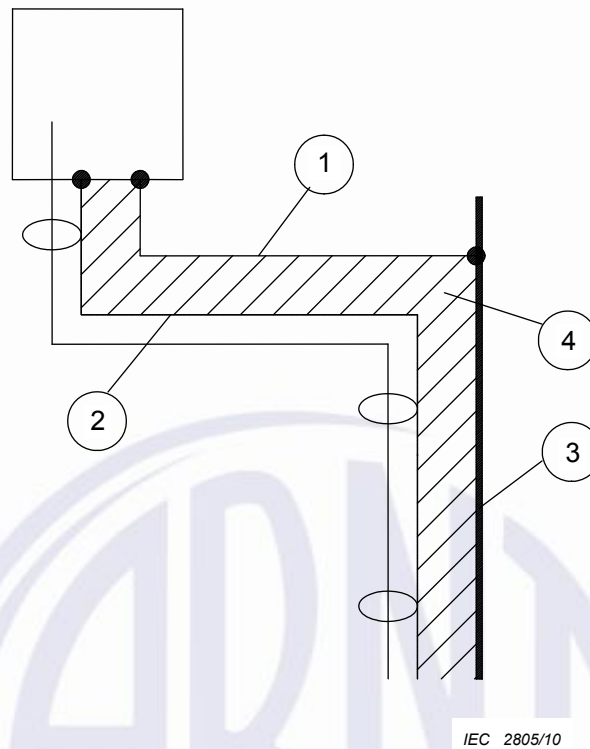
B.11 Medidas de proteção por roteamento de linhas e blindagem

Um roteamento das linhas e blindagem adequados são medidas eficazes para reduzir sobretensões induzidas. Estas medidas são especialmente importantes, se a eficácia da blindagem em forma de grade for desprezível. Neste caso, os princípios a seguir fornecem uma melhoria da proteção:

- a) minimizar a área do laço de indução;
- b) alimentar novos equipamentos a partir de circuitos existentes deve ser evitado, porque isto pode criar uma grande área fechada no laço de indução, que irá aumentar significativamente o risco de falhas. Além disso, o correto roteamento das linhas de energia e de sinal adjacentes pode evitar grandes laços (ver nº 8 da Figura B.8);
- c) utilizar cabos blindados – recomenda-se que a blindagem destas linhas de sinal sejam aterradas ao menos em uma extremidade;
- d) utilizar dutos metálicos ou placas metálicas equipotencializadas convém que as seções metálicas separadas sejam eletricamente conectadas em seu comprimento total e aterradas em uma das extremidades. Recomenda-se que a conexão seja feita pelos próprios meios de contato (rosca, pressão etc.), ou por meio de condutores e peças de fixação. Para manter baixa a impedância dos dutos dos cabos, vários parafusos ou tiras devem ser distribuídos ao longo do perímetro do duto (ver IEC/TR 61000-5-2).

Exemplos de bom roteamento de linhas e técnicas de blindagem são dados nas Figuras B.3 e B.4.

NOTA Onde a distância entre linhas de sinal e equipamentos eletrônicos dentro de grandes áreas (que não são especificamente projetados para sistemas eletrônicos) for maior do que 10 m, recomenda-se o uso de linhas de sinal balanceadas com entradas adequadamente isoladas galvanicamente, por exemplo, acopladores óticos, transformadores isoladores para sinal ou amplificadores para isolação. Adicionalmente, o uso de cabos triaxiais pode ser vantajoso.

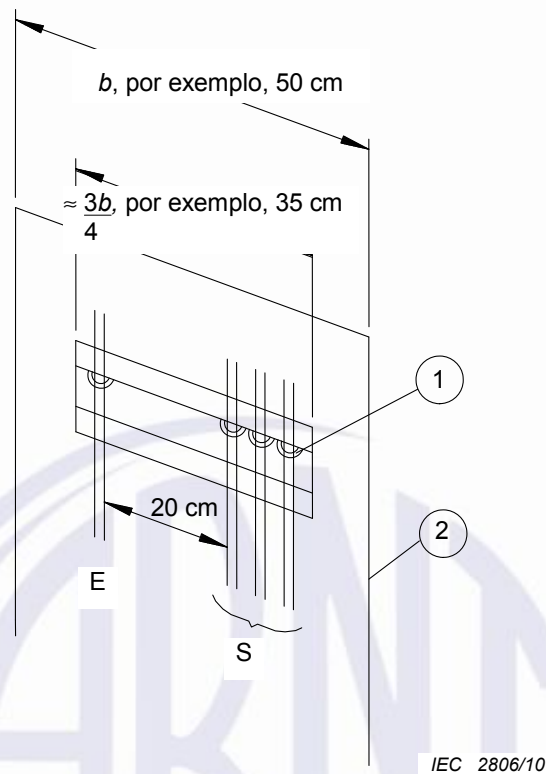


Legenda

- 1 PE, quando podem ser utilizados equipamentos classe 1
- 2 blindagem opcional dos cabos necessita ser aterrada em ambas as extremidades
- 3 placas metálicas como blindagem adicional (ver Figura B.4)
- 4 pequena área do laço

NOTA Devido à pequena área do laço, as tensões induzidas entre da blindagem dos cabos e as placas metálicas é pequena.

Figura B.3 – Redução da área do laço utilizando cabos blindados próximos a placas metálicas



Legenda

- 1 fixação dos cabos com ou sem equipotencialização dos cabos da blindagem com as placas
- 2 o campo magnético é maior na periferia do que no centro da placa
- E linhas de energia
- S linhas de sinal

Figura B.4 – Exemplo de uma placa metálica para blindagem adicional

B.12 Medidas de proteção para equipamentos instalados externamente

B.12.1 Princípios gerais

Exemplos de equipamentos instalados externamente incluem: sensores de qualquer espécie, incluindo antenas; sensores meteorológicos; câmeras de segurança, sensores expostos em plantas de processos (pressão, temperatura, vazão, posição de válvulas etc.) e qualquer outro equipamento elétrico, eletrônico ou de telecomunicação posicionados externamente em estruturas, mastros e outras tubulações metálicas.

B.12.2 Proteção de equipamentos externos

Onde for possível, o equipamento deve ser trazido para a proteção da zona ZPR 0_B utilizando, por exemplo, um sistema de captação para protegê-lo contra descargas atmosféricas diretas (ver Figura B.5).

Em edifícios altos, recomenda-se que o método da esfera rolante (ver ABNT NBR 5419-3) seja aplicado para determinar se os equipamentos instalados no alto ou nos lados do edifício estão sujeitos ao impacto direto das descargas atmosféricas. Se for este o caso, convém que captadores

adicionais sejam utilizados. Em muitos casos corrimãos, escadas, tubos etc. podem atuar perfeitamente como captores. Todos os equipamentos, exceto alguns tipos de antenas, podem ser protegidos desta maneira. Algumas vezes, antenas devem ficar expostas para evitar que sua atuação seja prejudicada. Alguns modelos de antenas garantem naturalmente que estas sejam consideradas auto protegidas porque somente elementos condutores e bem aterrados ficam expostos às descargas atmosféricas. Outras podem necessitar de DPS instalados em seus alimentadores para minimizar as correntes de surto que podem trafegar pelos cabos até os receptores ou transmissores. Quando um SDPA está disponível, convém que os suportes (bases) da antena sejam interligados a eles.

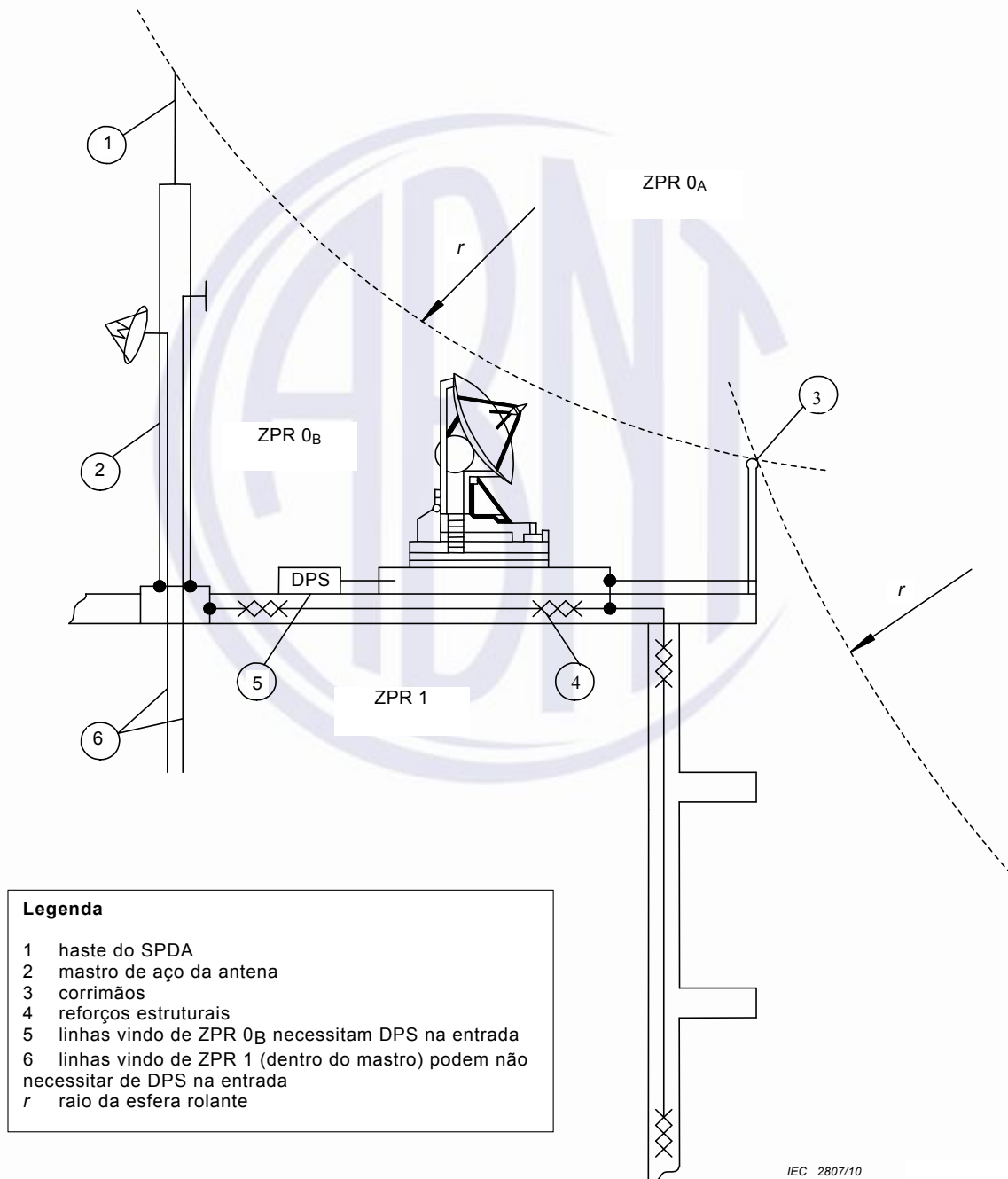
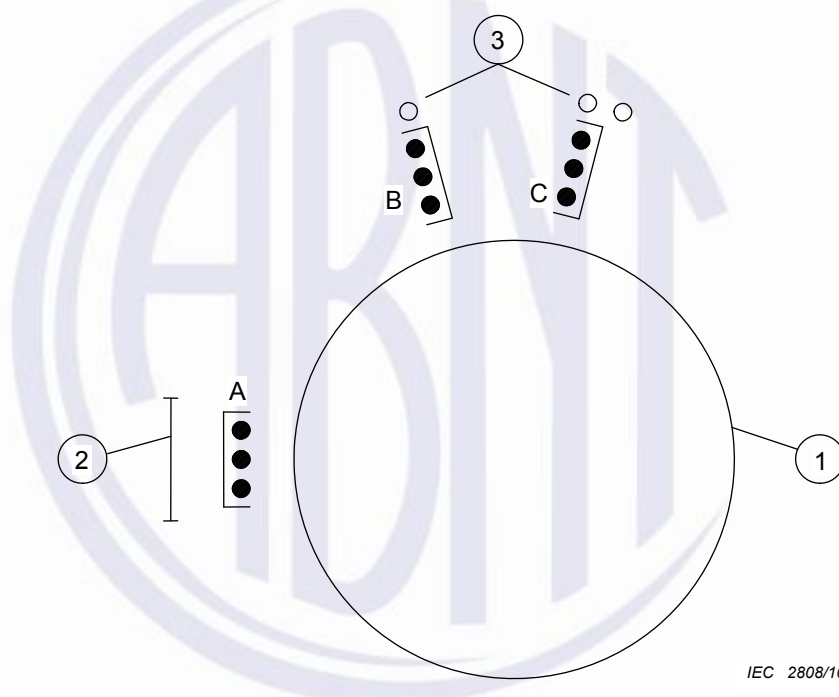


Figura B.5 – Proteção de antenas e outros equipamentos externos

B.12.3 Redução das sobretensões nos cabos

Tensões e correntes induzidas de grande intensidade podem ser prevenidas ou minimizadas quando se coloca os cabos em dutos, canaletas e tubos metálicos. Convém que todos os cabos dirigidos a um equipamento específico deixem o duto de cabos em um único ponto. Onde for possível, recomenda-se que as propriedades de blindagem inerentes da própria estrutura sejam utilizadas para maximizar as vantagens de colocar todos os cabos juntos dentro dos componentes tubulares da estrutura. Onde isso não for possível, como no caso de tubulações de processos industriais, convém que cabos sigam no lado de fora, mas próximos às estruturas e que se utilize o máximo possível a blindagem natural fornecida por tubulações metálicas, escadas metálicas e outros materiais condutores bem equipotencializados (ver Figura B.6). Nos mastros que utilizam cantoneiras em forma de L, recomenda-se que os cabos sejam colocados no canto interior do “L” para maximizar a proteção (ver Figura B.7).

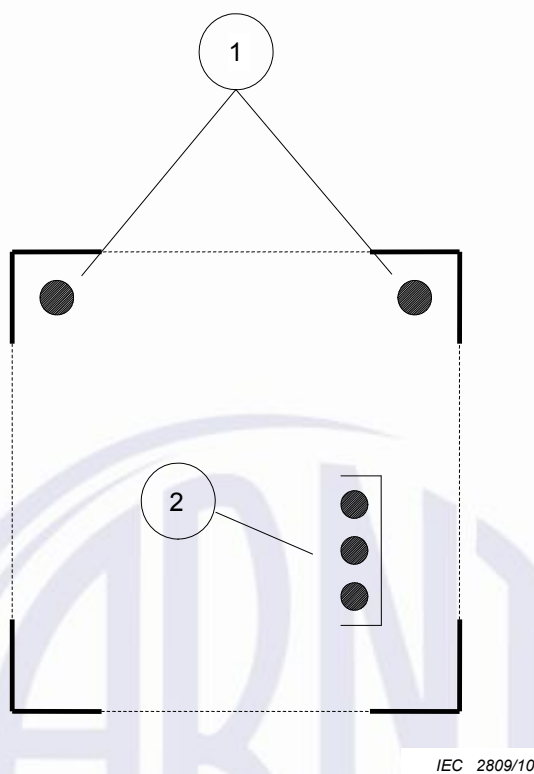


Legenda

- 1 tubulações de processos
- 2 escadas
- 3 tubos

NOTA A, B, C são boas alternativas para o posicionamento de elementos de encaminhamento.

Figura B.6 – Blindagem inerente fornecida por escadas e tubulações equipotencializadas



Legenda

- 1 Posições ideais para cabos nos cantos de vigas em L.
- 2 Posição alternativa para bandeja de cabos equipotencializados dentro do mastro.

**Figura B.7 – Posição ideal para linhas em um mastro
(seção transversal de um mastro de aço treliçado)**

B.13 Melhoria da interconexão entre as estruturas

B.13.1 Princípios gerais

Linhas interconectando estruturas separadas podem ser:

- a) isoladas (fibras ópticas sem componentes metálicos); ou
- b) metálicas (par de cabos, multivias, guia de ondas, cabos coaxiais ou cabos de fibra óptica com componentes metálicos contínuos).

Medidas de proteção a serem adotadas dependem do tipo, do número de linhas e se as estruturas estão interconectadas.

B.13.2 Linhas isoladas

Se cabos de fibra óptica, sem componentes metálicos (sem blindagem metálica, armações metálicas, fios de aço internos etc.), são utilizados para interconectar estruturas separadas, nenhuma medida adicional é necessária.

B.13.3 Linhas metálicas

Sem interconexões apropriadas entre sistemas de aterramento de estruturas separadas, as linhas interconectadas formam um circuito de baixa impedância para a corrente da descarga atmosférica. Isto pode resultar que uma parcela significativa da corrente da descarga atmosférica seja conduzida entre estas linhas. Neste caso:

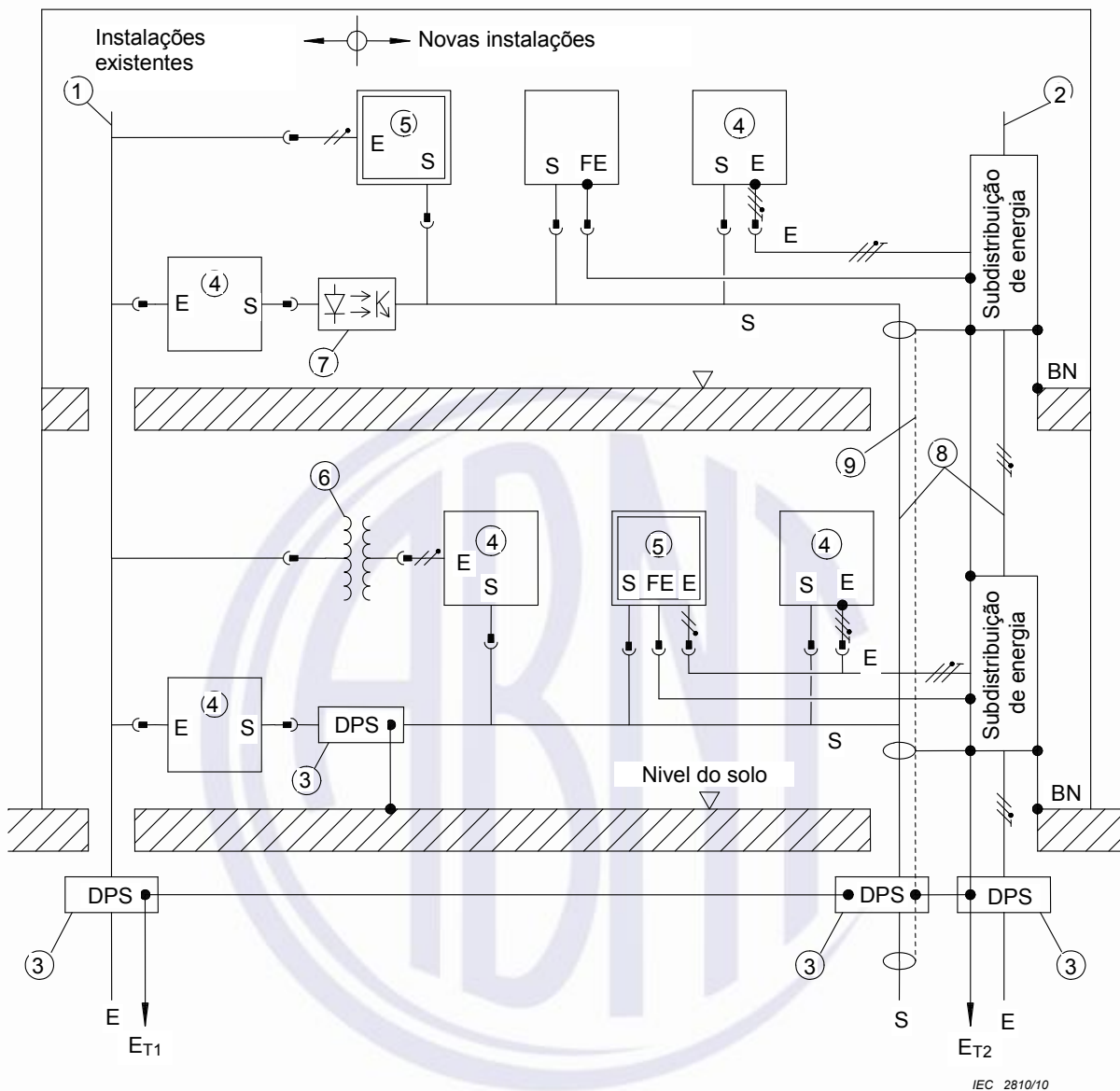
- a) a equipotencialização necessária, realizada de forma direta ou por meio de DPS, na entrada das ZPR 1 de ambas edificações, protege apenas os equipamentos internos, enquanto as linhas externas permanecem desprotegidas;
- b) as linhas podem ser protegidas pela instalação de um condutor de equipotencialização adicional em paralelo. A corrente da descarga atmosférica será então dividida entre as linhas e este condutor de equipotencialização;
- c) é recomendado que as linhas estejam em dutos metálicos fechados e interconectados. Neste caso, as linhas tanto quanto os equipamentos estarão protegidos.

A proteção das linhas elétricas de energia e de sinal feita por dutos metálicos é recomendada mesmo quando houver interconexões apropriadas entre os sistemas de aterramento das estruturas separadas. Onde muitos cabos forem instalados entre duas estruturas interconectadas, os invólucros metálicos, incluindo as blindagens dos próprios cabos, devem ser equipotencializados em ambas as extremidades. Este procedimento pode substituir a utilização de dutos metálicos.

B.14 Integração de novos sistemas internos em estruturas existentes

Quando novos sistemas internos são adicionados a uma estrutura existente, as instalações existentes podem limitar as medidas de proteção que podem ser adotadas.

A Figura B.8 mostra um exemplo onde uma instalação existente, mostrada na esquerda, é interligada a uma nova instalação, mostrada na direita. A instalação existente tem restrições nas medidas de proteção que podem ser empregadas. Entretanto, o planejamento e projeto das novas instalações pode permitir que todas as medidas de proteção sejam adotadas.



Legenda

- | | | | |
|---|---|-----|---|
| 1 | alimentação existente (TN-C,TT,IT) | E | linhas de energia |
| 2 | nova alimentação (TN-S,TN-CS,TT,IT) | S | linhas de sinal (blindadas ou não blindadas) |
| 3 | dispositivo de proteção contra surto (DPS) | ET | sistemas de aterramento |
| 4 | isolação classe 1 | BN | interligação para equipotencialização |
| 5 | Isolação dupla classe 2 sem PE | PE | conductor de aterramento de proteção |
| 6 | Transformador de isolação | FE | conductor de aterramento funcional (se existente) |
| 7 | optocoplador ou cabo de fibra óptica | /// | linha elétrica de 3 cabos: L, N, PE |
| 8 | roteamento adjacente de linhas de energia e sinal | // | linha elétrica de 2 cabos: L, N |
| 9 | Dutos blindados de cabos | • | pontos de equipotencialização (PE, FE, BN) |

Figura B.8 – Melhoria das MPS em estruturas existentes

B.15 Visão geral das medidas de proteção possíveis

B.15.1 Entrada de energia

Redes de alimentação existentes (ver nº 1 da Figura B.8) na estrutura são frequentemente do tipo TN-C, o que pode causar interferência na frequência industrial. Tais interferências podem ser evitadas por interfaces isolantes.

Se uma nova entrada de energia (ver nº 2 da Figura B.8) é instalada, o esquema TN-S é altamente recomendado. Dependendo da topologia da instalação, a ABNT NBR 5410 obriga a adoção desse esquema de aterramento.

B.15.2 Dispositivos de proteção contra surto

Para controlar surtos conduzidos nas linhas, DPS devem ser instalados na entrada de qualquer ZPR e possivelmente no equipamento que deve ser protegido (ver Figura B.2 e nº 3 da Figura B.8).

B.15.3 Interfaces isolantes

Para evitar interferências, interfaces isolantes entre equipamentos novos e existentes podem ser utilizadas: equipamentos com isolamento classe 2 (ver nº 5 da Figura B.8), transformadores isolantes (ver nº 6 da Figura B.8), cabos de fibra óptica ou optoacopladores (ver nº 7 da Figura B.8).

B.15.4 Roteamento de linhas e blindagem

Grandes laços no roteamento de linhas podem levar a tensões e correntes induzidas muito altas. Isto pode ser evitado roteando-se as linhas de energia e sinal adjacentes uma a outra (ver nº 8 da Figura B.8), minimizando assim a área do laço. É recomendado usar linhas de sinal blindadas. Para estruturas extensas, blindagens adicionais, por exemplo, por dutos metálicos blindados (ver nº 9 da Figura B.8), também são recomendadas. Todas estas blindagens devem ser equipotencializadas em ambas as extremidades.

Medidas para o roteamento de linhas e blindagem se tornam mais importantes quanto menor a eficácia da blindagem em forma de grade de ZPR 1 e maior a área do laço.

B.15.5 Blindagem espacial

Blindagem espacial da ZPR contra os campos magnéticos requerem largura de malha tipicamente menor que 5 m.

Uma ZPR 1 criada por um SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 (captação, condutores de descida e aterramento) tem largura de malha e distâncias típicas maiores que 5 m, resultando em efeitos de blindagem com certa limitação. Se uma maior efetividade da blindagem é requerida, as condições e exigências do SPDA externo devem ser melhorados (ver B.4).

ZPR 1 e maiores podem necessitar blindagem em forma de grade para proteger sistemas internos que não atendam às exigências para emissão em radio frequência e imunidade.

B.15.6 Equipotencialização

Interligação para equipotencialização de componentes submetidos às correntes das descargas atmosféricas, com frequências muito maiores que vários MHz, necessita uma malha de baixa

impedância com uma largura de malha típica de 5 m. Todos os serviços entrando em uma ZPR são equipotencializados diretamente, ou por meio de DPS adequado, tão próximo quanto possível da fronteira da ZPR.

Medidas adicionais de proteção devem ser adotadas para estruturas existentes onde estas condições não podem ser atendidas.

B.16 Melhoria do fornecimento de energia e da instalação de cabos no interior da estrutura

O esquema de aterramento utilizado em sistema de distribuição de energia em estruturas antigas (ver nº 1 da Figura B.8) é frequentemente TN-C. Interferências em 50/60 Hz decorrentes da conexão de linhas de sinal aterradas com o condutor PEN podem ser evitadas por meio de:

- a) interfaces isolantes usando equipamentos elétricos com isolamento classe 2 ou transformadores com dupla isolamento. Esta solução só é válida se, no local, existir apenas uma pequena quantidade de equipamentos eletrônicos (ver B.5);
- b) mudança do esquema de aterramento para TN-S (ver nº 2 da Figura B.8). Esta solução é recomendada especialmente para sistemas com grande utilização de equipamentos eletrônicos.

Recomenda-se que as prescrições para o aterramento, equipotencialização e roteamento de cabos sejam atendidas.

Anexo C (informativo)

Seleção e instalação de um sistema coordenado de DPS

C.1 Introdução

Descargas atmosféricas diretas na estrutura (fonte de danos S1), próximas às estruturas (fonte de danos S2), nos serviços conectados à estrutura (fonte de danos S3) e próximas aos serviços conectados à estrutura (fonte de danos S4) podem causar falhas ou mau funcionamento nos sistemas internos.

Este Anexo apresenta informações para a seleção e instalação de um sistema coordenado de DPS. Informações adicionais podem ser encontradas na IEC 61643-12 e ABNT NBR 5410, que tratam de proteção contra sobrecorrentes e das consequências em caso de falha de um DPS.

As falhas ocasionadas pelos surtos que superam os níveis de imunidade dos equipamentos eletrônicos não são cobertas pela série ABNT NBR 5419. Para este objetivo, consultar a IEC 61000-4-5.

Entretanto, os surtos causados pelas descargas atmosféricas frequentemente causam falhas nos sistemas elétricos e eletrônicos devido à perda de isolamento ou quando a sobretensão excede o nível de isolamento em modo comum do equipamento.

O equipamento está protegido se a tensão suportável de impulso U_W em seus terminais (tensão suportável em modo comum) for superior à sobretensão de surto entre seus condutores normalmente energizados e o aterramento. Se não, convém que DPS sejam instalados.

O DPS protege o equipamento caso sua tensão de proteção efetiva $U_{P/F}$ (o nível de proteção U_P obtido quando a intensidade nominal da descarga atmosférica I_n flui, somada à queda de tensão indutiva ΔU nos condutores de conexão) seja menor que U_W . Caso a corrente da descarga atmosférica que ocorre no ponto da instalação onde está o DPS exceder à I_n do DPS, a tensão de proteção U_P pode ser maior e $U_{P/F}$ pode exceder a suportabilidade do equipamento U_W . Neste caso o equipamento não estará mais protegido.

Desta forma, a corrente nominal do DPS I_n é selecionada de forma a ser igual ou maior que a corrente da descarga atmosférica esperada neste ponto da instalação.

A probabilidade de um DPS com $U_{P/F} \leq U_W$ não proteger adequadamente o equipamento para o qual ele foi instalado é igual à probabilidade da corrente da descarga atmosférica no ponto da instalação deste DPS exceder a corrente na qual U_P foi determinada.

A avaliação das correntes esperadas nos vários pontos da instalação é dada na ABNT NBR 5419-1:2015, Anexo E, e é baseada no NP determinado utilizando a ABNT NBR 5419-2. Uma análise completa da distribuição de corrente é necessária quando se considera o evento S1. O Anexo D fornece informações adicionais.

Observar que a seleção de um DPS com um valor de U_P menor (comparado com a tensão U_W do equipamento) resulta em uma menor solicitação ao equipamento que corresponde não só em uma menor probabilidade de dano mas também em uma vida útil de operação maior.

Valores de probabilidades P_{DPS} como função do NP são dados na ABNT NBR 5419-2:2015, Tabela B.3.

NOTA Valores de P_{DPS} para DPS assegurando características de melhor proteção podem ser determinados caso as características tensão x corrente do DPS estiverem disponíveis.

Finalmente, é essencial se instalar DPS nos circuitos de energia e sinal, caso se espere um sistema efetivo de proteção coordenada.

C.2 Seleção dos DPS

C.2.1 Seleção considerando o nível de tensão de proteção

C.2.1.1 A seleção da tensão de proteção adequada do DPS depende:

- a) tensão de impulso suportada pelo equipamento U_W ;
- b) comprimento dos condutores de conexão ao DPS, do comprimento e da rota do circuito entre o DPS e o equipamento a ser protegido.

C.2.1.2 O impulso de tensão suportado pelo equipamento a ser protegido U_W deve ser definido por:

- a) equipamentos conectados à linha de energia conforme IEC 60664-1 e IEC 61643-12;
- b) equipamentos conectados às linhas de telecomunicação conforme IEC 61643-22, ITU-T K.20, K.21 e K-45;
- c) outras linhas e equipamentos terminais conforme informações obtidas do fabricante.

NOTA 1 O nível de tensão de proteção U_P de um DPS é relacionado à tensão residual sob uma corrente nominal I_n . Para correntes maiores ou menores, passando por meio do DPS, os valores das tensões nos terminais do DPS devem variar conforme a corrente.

NOTA 2 O nível de tensão de proteção U_P pode ser comparado com a tensão suportável de impulso U_W do equipamento, ensaiado nas mesmas condições do DPS (formas de ondas de tensão de corrente e energia).

NOTA 3 O equipamento pode conter componentes DPS internos. As características destes DPS internos podem afetar a coordenação.

C.2.1.3 Quando um DPS é conectado ao equipamento a ser protegido, a queda de tensão indutiva ΔU dos condutores de conexão deve ser somada à tensão de proteção U_P do DPS. O nível de proteção resultante $U_{P/F}$, definido como a tensão na saída do DPS, resultado do nível de proteção e da queda de tensão nos terminais e conexões (ver Figura C.1), pode ser assumida como sendo:

— $U_{P/F} = U_P + \Delta U$, para DPS do tipo limitador de tensão;

— $U_{P/F} = \text{máx}(U_P, \Delta U)$ para DPS comutadores de tensão.

NOTA 4 Para alguns DPS tipo comutador de tensão, pode ser necessário somar a tensão de arco (centelhamentos) a ΔU . Esta tensão de arco pode ser da ordem de algumas centenas de volts. Para DPS tipo combinados, equações mais complexas são necessárias.

C.2.1.4 Quando o DPS é instalado no ponto de entrada da linha na estrutura, um $\Delta U = 1$ kV/m de comprimento pode ser assumido. Quando o comprimento da linha for menor ou igual a 5 m, $U_{P/F} = 1,2 \times U_P$. Quando o DPS está conduzindo apenas surtos induzidos, ΔU pode ser desprezado.

C.2.1.5 Durante o período de operação do DPS, a tensão entre os seus terminais é limitada a $U_{P/F}$ no local do DPS. Caso o comprimento do circuito entre o DPS e o equipamento seja muito longo, a propagação do surto pode ocasionar fenômeno de oscilação. No caso de circuito aberto nos terminais do equipamento, pode haver um aumento da sobretensão para até $2 \times U_{P/F}$, podendo haver falha no equipamento caso $U_{P/F} \leq U_W$.

C.2.1.6 Informações sobre os condutores de conexão, configurações de conexão e dimensionamento de fusíveis para os DPS podem ser encontradas na IEC 61643-12 e ABNT NBR 5410.

C.2.1.7 As descargas atmosféricas na estrutura ou próximas à estrutura podem induzir uma sobretensão U_I no laço formado pelo circuito entre o DPS e o equipamento. As tensões induzidas aumentam com as dimensões do laço (roteamento da linha, comprimento do circuito, distância entre PE e condutores ativos, área do laço entre linhas de energia e de sinais) e decrescem com a atenuação da intensidade do campo magnético (blindagem espacial e/ou blindagem das linhas).

NOTA 5 Para avaliação das sobretensões induzidas, U_I de A.4 se aplica.

C.2.1.8 Os sistemas internos estão protegidos se:

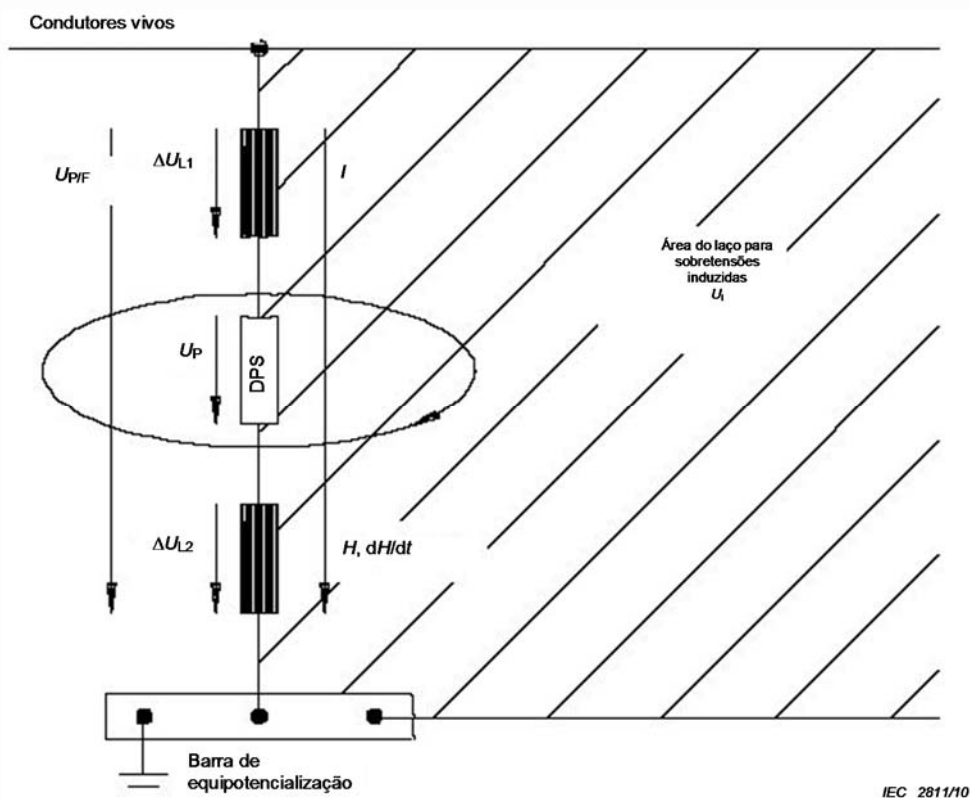
- a) possuem DPS a montante com coordenação de energia; e
- b) uma das três condições a seguir forem atendidas:
 - 1) $U_{P/F} \leq U_W$: quando o comprimento do circuito entre o DPS e o equipamento for negligenciável (caso típico do DPS instalado nos terminais do equipamento);
 - 2) $U_{P/F} \leq 0,8 U_W$: quando o comprimento do circuito não for maior que 10 m (caso típico de DPS instalado em quadro de distribuição secundário ou na tomada de energia).

NOTA 6 Onde danos nos sistemas internos podem causar risco de perda de vida humana ou a perda de serviço ao público, a duplicação da tensão devido a oscilação deve ser considerada e o critério $U_{P/F} \leq U_W / 2$ é necessária.

- 3) $U_{P/F} \leq (U_W - U_I) / 2$: quando o comprimento do circuito for maior que 10 m (caso típico de DPS instalado na entrada da linha na estrutura ou em alguns casos no quadro de distribuição secundário).

NOTA 7 Para linhas de telecomunicações blindadas, medidas específicas podem ser necessárias devido a taxa de variação da frente de onda. Informações sobre esta questão são fornecidas na ITU-T *lightning handbook*, Seção 10.

C.2.1.9 Sobretensões induzidas U_I são normalmente desprezíveis na maioria dos casos em que existir a blindagem em forma de grade da estrutura (ou das salas) e/ou linhas blindadas (uso de cabos blindados ou dutos metálicos blindados).



IEC 2811/10

Legenda

- I corrente parcial da descarga atmosférica
- U_i sobretensão induzida
- $U_{P/F} = U_P + \Delta U$ surto de tensão entre os condutores vivos e a barra de equipotencialização
- U_P limite de tensão do DPS
- $\Delta U = \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2}$ queda de tensão indutiva nos condutores de equipotencialização
- $H, dH/dt$ campo magnético e sua variação no tempo

NOTA A tensão de surto $U_{P/F}$ entre os condutores vivos e a barra de conexão é maior que o nível de proteção U_P do DPS devido à queda de tensão indutiva ΔU nos condutores de interligação (mesmo que os valores máximos de U_P e ΔU não ocorram necessariamente ao mesmo tempo). Ou seja, a corrente parcial da descarga atmosférica fluindo no DPS induz tensão adicional no laço do lado protegido do circuito que se segue ao DPS. Desta forma, a tensão máxima que estressa o equipamento pode ser consideravelmente maior que o nível de proteção U_P do DPS.

Figura C.1 – Surto de tensão entre condutores vivos e a barra de equipotencialização

C.2.2 Seleção considerando a localização e a corrente da descarga atmosférica

Os DPS devem suportar a corrente da descarga atmosférica esperada nos pontos onde estão instalados, conforme a ABNT NBR 5419-1:2015, Anexo E. A utilização de DPS depende de suas capacidades classificadas na IEC 61643-1 para redes elétricas de energia e na IEC 61643-21 para sistemas de telecomunicações.

Os DPS podem ser selecionados conforme suas localizações de instalação, como se segue:

a) Na entrada da linha na estrutura (na fronteira da ZPR 1, ou seja, no quadro de distribuição principal QDP):

— DPS ensaiado com I_{imp} (ensaio classe 1)

O impulso de corrente requerido I_{imp} para DPS deve atender à corrente de descarga atmosférica (parcial) esperada neste ponto da instalação, com base no NP escolhido de acordo com E.2 (fonte de dano S1) e/ou E.3.1 (fonte de dano S3) da ABNT NBR 5419-1.

— DPS ensaiado com I_n (ensaio classe 2)

Este tipo de DPS pode ser utilizado quando as linhas que adentram a edificação estão inteiramente dentro ZPR 0_B ou quando a probabilidade de danos do DPS devido a fontes de danos S1 e S3 podem ser desprezadas. A corrente nominal de surto I_n do DPS deve atender ao nível de surto esperado no ponto da sua instalação baseado no NP escolhido e relacionado às sobrecorrentes, de acordo com a ABNT NBR 5419-1:2015, E.3.2.

NOTA 1 O risco de falhas dos DPS devido às fontes de danos S1 e S3 pode ser desprezível caso a quantidade de descargas atmosféricas diretas para a estrutura (N_D) e na linha (N_L) atender à condição $N_D + N_L \leq 0,01$.

b) próximo ao equipamento a ser protegido (no limite da ZPR 2 ou superior, ou seja, no quadro de distribuição secundário ou na tomada de energia.

— DPS ensaiado com I_n (ensaio classe 2)

O impulso de corrente requerido I_n para o DPS deve atender à corrente esperada neste ponto da instalação, com base no NP escolhido e com as sobrecorrentes relacionadas de acordo com a ABNT NBR 5419-1:2015, E.4.

NOTA 2 Um DPS que tenha as características de classe 1 e classe 2 pode ser usado neste local.

— DPS ensaiado com uma onda combinada U_{OC} (ensaio classe 3)

Este tipo de DPS pode ser usado quando as linhas que adentram a edificação estão totalmente localizadas na ZPR 0_B ou quando o risco de falhas do DPS devido às fontes de danos S1 e S3 puderem ser desprezadas. A tensão em circuito aberto U_{OC} do DPS (na qual a corrente de curto-circuito I_{SC} pode ser determinada, pois o ensaio classe 3 é realizado usando-se um gerador de onda combinada com impedância interna de 2Ω), deve atender ao nível do surto esperado no ponto da instalação, com base no NP escolhido e com as sobrecorrentes especificadas conforme a ABNT NBR 5419-1:2015, E.4.

C.3 Instalação de um sistema coordenado de DPS

C.3.1 Princípios gerais

A eficiência de um sistema coordenado de DPS depende não somente da apropriada seleção dos DPS, mas também de sua correta instalação. Os aspectos a serem considerados incluem:

- a) localização do DPS;
- b) execução das conexões.

C.3.2 Local de instalação dos DPS

As localizações dos DPS devem estar conforme C.2.2 e são afetadas inicialmente pela:

- a) fonte específica de danos, ou seja, descarga atmosférica na estrutura (S1), na linha (S3), próxima à estrutura (S2), ou próxima à linha (S4);
- b) a mais próxima oportunidade de desviar a corrente de surto para a terra (o mais próximo possível do ponto de entrada da linha na estrutura).

O primeiro critério a ser considerado é: quanto mais próximo estiver o DPS da entrada da linha entrante, maior será a quantidade de equipamentos protegidos por este DPS (vantagem econômica). O segundo critério a ser verificado é: quanto mais próximo estiver um DPS do equipamento a ser protegido, mais efetiva será a proteção (vantagem técnica).

C.3.3 Condutores de conexão

Os condutores de conexão dos DPS devem ter seções mínimas conforme a Tabela 1.

C.3.4 Coordenação de DPS

Em sistema DPS coordenados, convém que os mesmos em cascata tenham suas energias coordenadas conforme a IEC 61643-12 e/ou a IEC 61643-22. Para este fim, recomenda-se que o fabricante do DPS disponibilize informações suficientes para se conseguir esta coordenação.

C.3.5 Procedimento para a instalação de um sistema coordenado de DPS

Recomenda-se que um sistema coordenado de DPS seja instalado como a seguir:

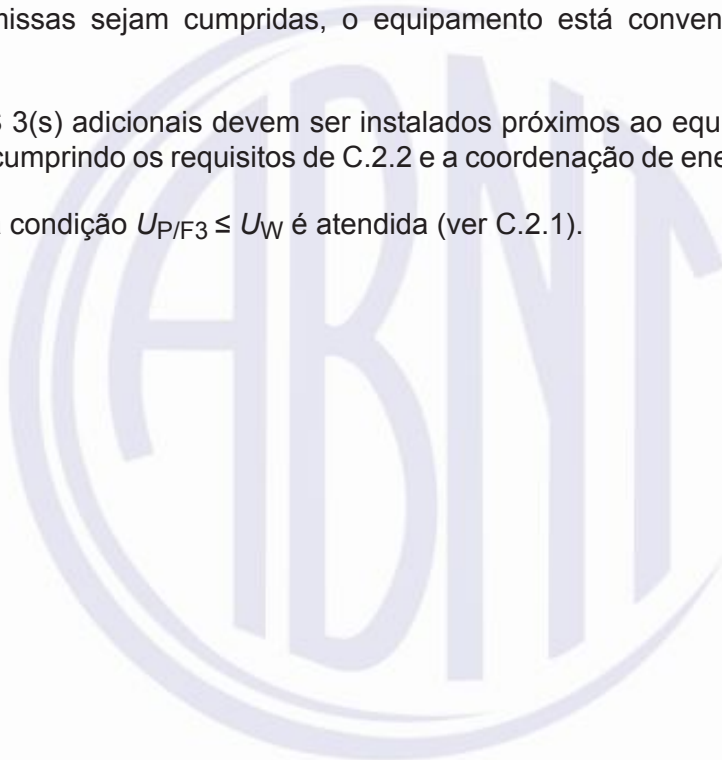
- a) na entrada dos condutores dentro da estrutura (Na fronteira de ZPR 1, por exemplo: no ponto MB da instalação). O DPS 1 instalado deve atender às determinações de C.2.2;
- b) determinar a suportabilidade a impulso U_W do sistema interno a ser protegido;
- c) selecionar a tensão de proteção U_{P1} do DPS;
- d) verificar se os requisitos de C.2.1 estão atendidos.

Caso estas premissas sejam atendidas, o equipamento está convenientemente protegido pelo DPS 1. Se não, DPS 2 adicionais devem ser necessários:

- se requerido, próximo ao equipamento (no limite entre ZPR 2, isto é no ponto de instalação do SB (quadro de distribuição secundário) SA ou (tomada de energia) instalar DPS 2 cumprindo os requisitos descritos em C.2.2 e os requisitos de coordenação com DPS 1 a montante (ver C.3.4);
- selecionar o nível de proteção U_{P2} do DPS 2;
- verificar se foi cumprido o requisito descrito em C.2.1.

Caso estas premissas sejam cumpridas, o equipamento está convenientemente protegido pelos DPS 1 e DPS 2:

- se não, DPS 3(s) adicionais devem ser instalados próximos ao equipamento (ou seja, no ponto da tomada) cumprindo os requisitos de C.2.2 e a coordenação de energia com os DPS 1 e DPS 2.
- verificar se a condição $U_{P/F3} \leq U_W$ é atendida (ver C.2.1).



Anexo D (informativo)

Fatores a considerar na seleção dos DPS

D.1 Introdução

Os parâmetros de ensaios usados são as correntes I_{imp} , $I_{máx}$ e I_n para os ensaios nas classes 1 e 2. Eles estão relacionados com os valores máximos de corrente da descarga atmosférica, esperada no local de instalação do DPS conforme probabilidade definida pelo NP. A corrente $I_{máx}$ está associada aos ensaios classe 2 e a corrente I_{imp} está associada com os ensaios classe 1.

Os valores preferenciais para I_{imp} , Q, W/R, de acordo com a IEC 61643-11, são apresentados na Tabela D.1.

Tabela D.1 – Valores preferenciais para I_{imp} ^a

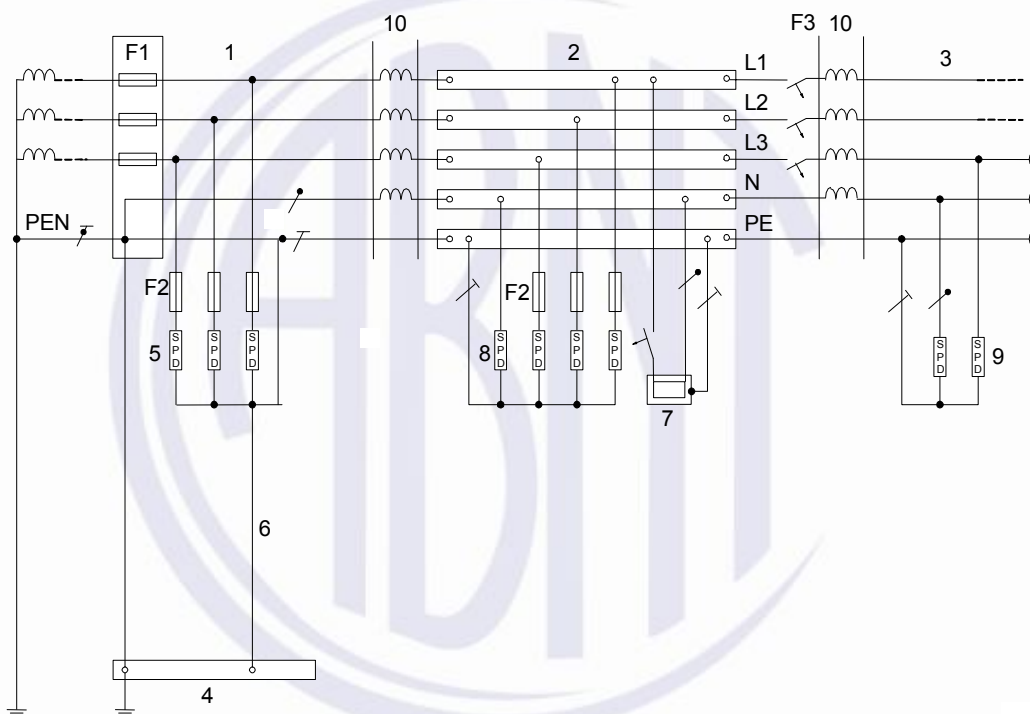
I_{imp} ^b kA	1	2	5	10	12,5 ^c	20	25
Q(C)	0,5	1	2,5	5	6,25 ^c	10	12,5
W/R(kJ/Ω)	0,25	1	6,25	25	39 ^c	100	156
<p>^a Tabela D.1 refere-se aos DPS conectados entre linha e neutro (conexão CT1).</p> <p>^b Em geral, I_{imp} está associada com formas de onda de maior duração (por exemplo, 10/350 μs) do que $I_{máx}$.</p> <p>^c Ver ABNT NBR 5410.</p>							

D.2 Fatores determinantes do estresse experimentado por um DPS

O estresse, que experimentará um DPS em condições de surto, é determinado a partir de vários parâmetros complexos e inter-relacionados, que incluem:

- a) a localização do DPS dentro da estrutura (ver Figura D.1);
- b) o método de acoplamento da descarga atmosférica às instalações (Figura D.2), por exemplo por meio de descargas atmosféricas diretas na estrutura SPDA (S1), ou por meio da indução nas redes do prédio por descargas atmosféricas próximas (S2) ou as que interferem nos serviços que atendem à estrutura (S3 e S4);
- c) a distribuição das correntes da descarga atmosférica dentro da estrutura, por exemplo, qual parcela da corrente da descarga atmosférica entra no sistema de aterramento e qual parcela seria conduzida para aterramentos remotos por meio dos serviços que entram na estrutura, como o sistema de distribuição de energia, tubulações metálicas, serviços de telecomunicações e os DPS utilizados para equipotencialização;
- d) a resistência e a indutância dos serviços que entram na estrutura, pois estes parâmetros afetam o valor de pico da corrente I , e as relações de distribuição de carga Q;

- e) os serviços adicionais condutores ligados às instalações. Eles conduzem uma parcela da corrente da descarga atmosférica direta e, portanto, reduzem a parcela que flui por meio do sistema de distribuição de energia por meio dos DPS de ligação equipotencial. Deve ser dada atenção à permanência de tais serviços, devido à possível substituição por peças não condutoras;
- f) a forma de onda de corrente a ser considerada. Não é possível considerar apenas a corrente de pico do surto que o DPS conduzirá, mas também a forma de onda desta corrente (por exemplo, 10/350 μ s cobrindo descargas atmosféricas diretas e parciais, 8/20 μ s cobrindo correntes induzidas pelas descargas atmosféricas) e a carga Q;
- g) quaisquer outras estruturas adicionais que se encontrem interligadas à estrutura principal por meio de rede de alimentação, pois afetarão também a distribuição de corrente.



IEC 2812/10

Legenda

- 1 origem da instalação
- 2 quadro de distribuição
- 3 tomada
- 4 terminal ou barra de equipotencialização principal
- 5 dispositivos de proteção contra surto, ensaiado como classe 1 ou 2
- 6 conexões de aterramento (condutor de aterramento) do dispositivo de proteção contra surto
- 7 equipamento fixo a ser protegido
- 8 dispositivo de proteção contra surtos, ensaiado como classe 2
- 9 dispositivo de proteção contra surtos, ensaiado como classe 2 ou classe 3
- 10 elemento de desacoplamento ou comprimento da linha
- F1, F2, F3 dispositivos de proteção contra sobrecorrentes

NOTA para maiores informações, ver IEC 61643-12

Figura D.1 – Exemplo de instalação de DPS classe 1, classe 2 e classe 3

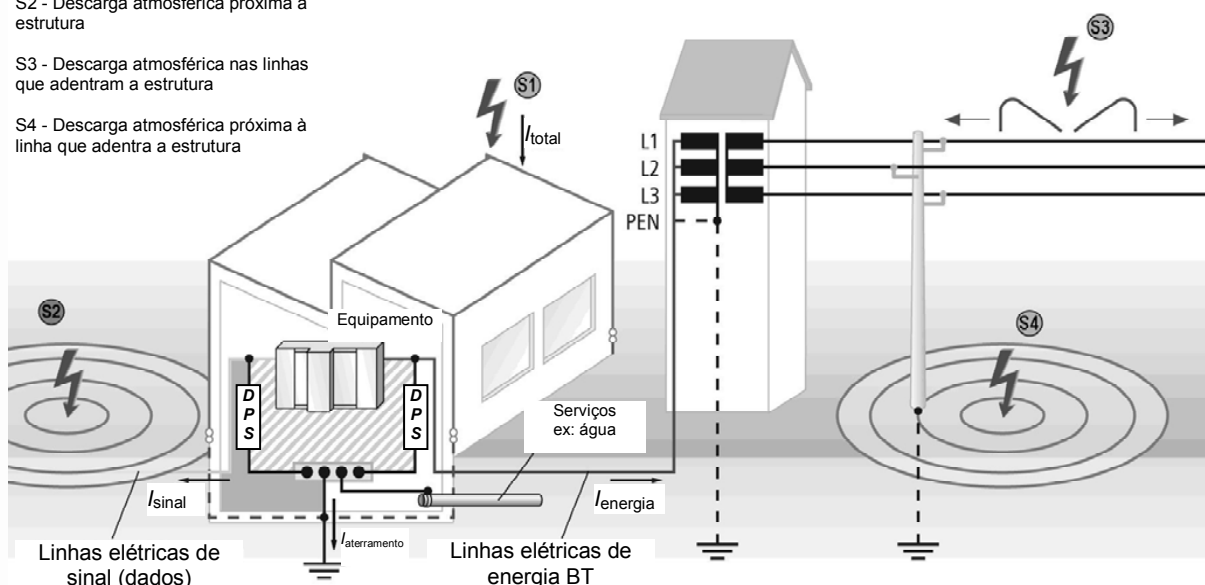
Fontes de danos:

S1 - Descarga atmosférica na estrutura

S2 - Descarga atmosférica próxima à estrutura

S3 - Descarga atmosférica nas linhas que adentram a estrutura

S4 - Descarga atmosférica próxima à linha que adentra a estrutura



IEC 2813/10

Figura D.2 – Exemplo básico de diferentes fontes de danos a uma estrutura e de distribuição da corrente da descarga atmosférica dentro de um sistema

D.3 Quantificando estatisticamente o nível de solicitação de um DPS

D.3.1 Princípios gerais

Muitas tentativas têm sido feitas para se quantificar o ambiente elétrico e as solicitações, às quais um DPS está exposto em diferentes pontos dentro de uma instalação. Por exemplo, para um DPS locado na entrada de serviço de uma instalação dotada de SPDA estrutural, o nível de solicitação depende do NP conforme a avaliação do risco da estrutura, de forma a limitá-lo ao valor tolerável (ABNT NBR 5419-1:2015, Seção 6).

Esta Norma indica que, para um NP I, a amplitude da descarga atmosférica direta (S1) de SPDA que atinge a estrutura pode chegar a um valor de pico de 200 kA, com uma forma de onda de 10/350 μ s (ver ABNT NBR 5419-1:2015, 8.1 e Anexo A). Contudo, enquanto o DPS deve ser selecionado para atender ao NP necessário identificado na avaliação de risco, existem outros fatores que podem afetar a amplitude da corrente da descarga atmosférica a qual é submetido o DPS.

D.3.2 Fatores da instalação que afetam na distribuição de corrente

Quando nenhum cálculo específico da divisão da corrente é realizado (ver ABNT NBR 5419-1:2015, E.2), uma suposição geral é de que 50 % desta corrente é conduzida ao subsistema de aterramento, e 50 % retorna por meio dos DPS de equipotencialização. Para o NP I, isto implica que parte da descarga atmosférica inicial de 200 kA conduzida por cada DPS, I_{imp} , é de 25 kA para um sistema elétrico trifásico com neutro (ver Figura D.3).

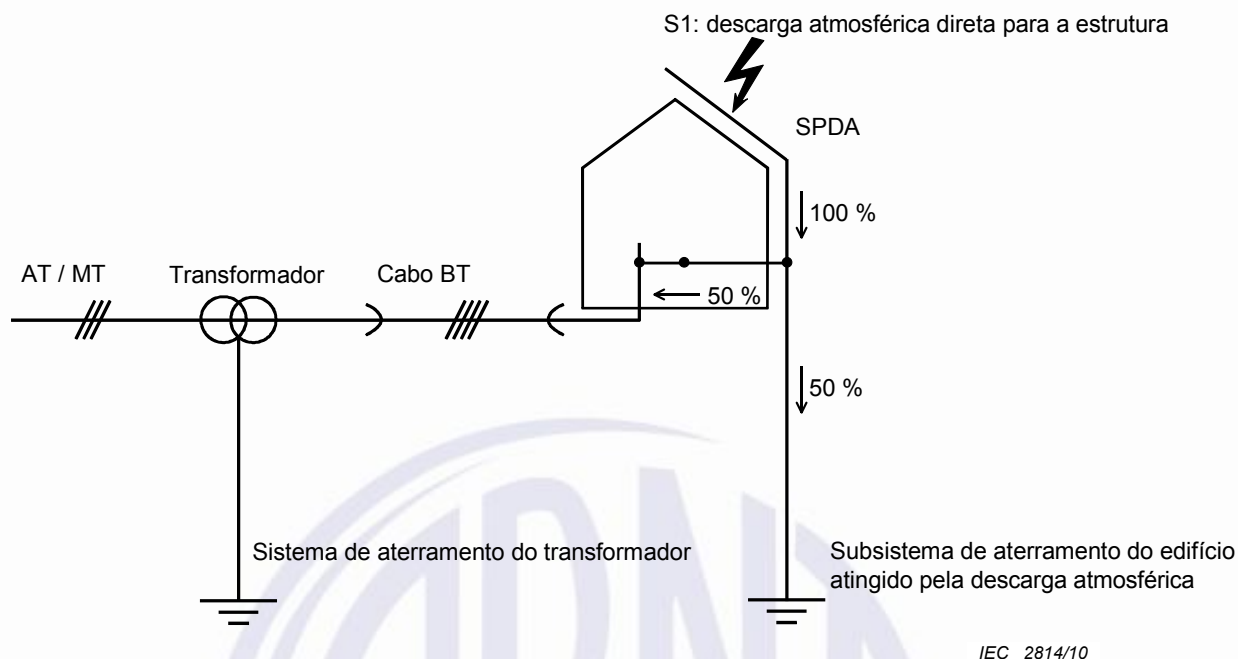


Figura D.3 – Exemplo básico de distribuição de corrente da descarga atmosférica

Se, entretanto, três serviços alimentam a estrutura por meio de condutores metálicos, e o modelo da ABNT NBR 5419-1:2015, E.2, for adotado, a corrente total, I_{imp} , para cada DPS da equipotencialização em um sistema trifásico, torna-se igual a 8,3 kA.

A distribuição da corrente da descarga atmosférica em um sistema de distribuição de energia é fortemente influenciada pelas práticas de aterramento dos serviços que entram na estrutura. Por exemplo, em um esquema TN-C com o seu múltiplo aterramento de neutro, um caminho mais direto e de mais baixa impedância à terra fica estabelecido para as correntes das descargas atmosféricas se comparado a um esquema TT.

Pressupostos simplificados da distribuição real de corrente são úteis para se avaliar o possível nível de sollicitação a que estará exposto o DPS, mas é importante registrar as hipóteses utilizadas para a simplificação. Em acréscimo, foi assumido que a forma de onda da corrente por meio dos DPS é a mesma da descarga atmosférica inicial, mas, na realidade, a forma de onda pode ter sido alterada pela impedância dos condutores do prédio ou outros fatores.

Simulações computacionais podem ser úteis na avaliação destes fatores para a correta seleção dos DPS. Para avaliar a dispersão da corrente da descarga atmosférica de um sistema complexo, é necessário converter o sistema real, como mostrado no exemplo da Figura D.2, em um modelo elétrico equivalente.

Muitas recomendações têm baseado suas considerações sobre o nível de sollicitação a que estará sujeito um DPS em experiências de campo coletados ao longo do tempo. ABNT NBR 5419-1:2015, Tabela E.2 é baseada principalmente na experiência de campo (ver a IEEE C62.41).

D.3.3 Considerações para a seleção das características do DPS I_{imp} , $I_{máx}$, I_n , U_{oc}

A seleção das características adequadas I_{imp} , $I_{máx}$, I_n e U_{oc} de um DPS, depende de vários e complexos parâmetros interligados.

É importante salientar, que o risco de danos aos sistemas internos de uma estrutura devido a surtos

são decorrentes de:

- a) acoplamento por indução na rede de energia, telefonia e de dados (S4);
- b) acoplamento de LEMP devido às descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura (S2), pode muitas vezes ser maior do que aquelas devido aos efeitos de surtos decorrentes de descargas atmosféricas diretas na própria estrutura (S1) ou nas linhas (S3).

Muitas edificações não necessitam de proteção contra descargas atmosféricas diretas na estrutura ou nas linhas de entrada e, assim, a exigência de ensaio classe 1 do DPS não é necessária. Neste caso, DPS ensaiado na classe 2 podem ser apropriados.

Em geral, a abordagem deve ser no sentido de se utilizar DPS classe 1, onde correntes diretas ou parciais das descargas atmosféricas estão envolvidas (S1/S3) e classe 2/3 do DPS para efeitos de indução (S2/S4).

Ao abordar tais complexidades, é preciso ter em mente que a característica mais importante para a escolha do DPS é seu desempenho na limitação da tensão na ocorrência do evento de surto esperado, e a sua máxima energia suportável (I_{imp} , $I_{máx}$, I_n , U_{oc}) (ABNT NBR 5419-1:2015, NOTA 4 da Tabela B.7).

Na corrente I_n esperada, um DPS com um limite de tensão inferior à tensão suportável pelo equipamento garantirá a sua proteção, considerando os fatores externos que criam tensões adicionais (queda de tensão nos cabos de ligação, fenômenos de oscilação e de indução).

Em contraste, um DPS com capacidade energética maior do que a requerida no ponto de sua instalação pode apenas ter a sua vida útil aumentada.

Entretanto, um DPS com menor tensão de limitação pode ser mais suscetível aos possíveis danos causados por sobretensões temporárias (TOV) se instalado em sistemas de energia mal regulados.

Bibliografia

- ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*
- ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios*
- ABNT NBR IEC 60079-10-1, *Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás*
- ABNT NBR IEC 60079-10-2, *Atmosferas explosivas – Parte 10-2: Classificação de áreas – Atmosferas de poeiras combustíveis*
- ABNT NBR IEC 60079-14, *Atmosferas explosivas – Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas*
- IEC 60364-4-44, *Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*
- IEC 60364-5-53, *Electrical installations of buildings – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Isolation, switching and control*
- IEC 61643-11, *Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods*
- IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*
- ITU-T Recommendation K.20:2008, *Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents*
- ITU-T Recommendation K.21:2003, *Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents*
- ITU-T Recommendation K.45:2003, *Resistibility of telecommunication equipment installed in the access and trunk networks to overvoltages and overcurrents*
- ITU-T Lightning handbook:1994, *The protection of telecommunication lines and equipment against lightning discharges – Chapter 10*
- IEEE C62.41:1991, *Recommended practice on surge voltages in low-voltage ac power circuits*