



Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais

APRESENTAÇÃO

1) Este Projeto foi elaborado pela Comissão de Estudo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (CE-03:064.10) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03), nas reuniões de:

23.06.2005	28.07.2005	01.09.2005
27.10.2005	03.11.2005	01.12.2005
02.02.2006	02.03.2006	13.04.2006
04.05.2006	13.06.2006	03.08.2006
05.10.2006	16.11.2006	07.12.2006
09.02.2007	14.03.2007	09.04.2007
10.05.2007	15.06.2007	12.07.2007
17.08.2007	11.10.2007	08.11.2007
14.02.2008	10.04.2008	08.05.2008
12.06.2008	17.07.2008	14.08.2008
11.09.2008	09.10.2008	12.02.2009
19.03.2009	09.04.2009	27.04.2009
04.06.2009	16.07.2009	13.08.2009
03.09.2009	08.10.2009	05.11.2009
10.12.2009	07.08.2010	09.09.2010
25.11.2010	10.03.2011	13.06.2011
03.11.2011	01.12.2011	11.06.2012
02.08.2012	28.02.2013	23.05.2013

- a) Este Projeto, juntamente com os projetos, 03:064.10-100/2 03:064.10-100/3 e 03:064.10-100/4 são previstos para cancelar e substituir a ABNT NBR 5419:2005, quando aprovado, sendo que nesse ínterim a referida norma continua em vigor;
- b) Este Projeto é previsto para receber a seguinte numeração após sua aprovação como Norma Brasileira: ABNT NBR 5419-1

© ABNT 2014

Todos os direitos reservados. Salvo disposição em contrário, nenhuma parte desta publicação pode ser modificada ou utilizada de outra forma que altere seu conteúdo. Esta publicação não é um documento normativo e tem apenas a incumbência de permitir uma consulta prévia ao assunto tratado. Não é autorizado postar na internet ou intranet sem prévia permissão por escrito. A permissão pode ser solicitada aos meios de comunicação da ABNT.



c) Não tem valor normativo.

2) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória;

3) Tomaram parte na sua elaboração:

Participante	Representante
SESI E SENAI	Alexandre C. Martinez
LPM	Alvaro Marziliak Jr
PETROBRÁS	Anderson Luiz A. Ribeiro
BUDGET ENG.	Antonio Carlos Mori
PROELCO	Antonio R. Panicali
VBM. PROJ. ASSEC. INSTALAÇÕES	Ariovaldo da S. Martins
REIS MIRANDA ENG. ^a .	Armando P. Reis Miranda
POLI – USP	Carlos A. F. Sartori
SOTA CONSULTORIA	Carlos Alberto Sotille
SINDUSCON / SECOVI	Cláudio J. Goldstein
ERICO	Claudio Ruman
TARGET ENG	Cristiano Ferraz de Paiva
GLOLANI COMERCIAL LTDA	Danilo G Santos
BANDEIRANTE ENERGIA	Domenico Sávio Santos
ENCONTRE ENGENHARIA	Duilio Moreira Leite
LAMBDA CONSULTORIA	Edson Martinho
SINDICEL	Eduardo Daniel
ASSEAG/STDE	Eduardo Vazentini
AFEAL	Fabíola Rago
CIA CATAGUAZES	Filipe Rios Penha
GALENO GOMES ENG.	Galeno Lemos Gomes
ELETRIZAR ENGENHARIA	Gilberto M. Falcoski
CELESC	Guilherme M.T. Cobayashi
IEE/USP	Hélio Sueta
GILCO PROTEÇÃO ELÉTRICA	Igídio G.L. Castro
ENG. AUTÔNOMO	João Albino Robles



COPPERSTEEL BIMETÉLICOS LTDA	João Henrique Zancanela
GIULIETTO MODENA ENG. ^a - GUISMO	Jobson Modena
TERMOTÉCNICA	José Barbosa de Oliveira
EMERSON NETWORK POWER	José Cláudio de O. e Silva
EMBRASTEC	José Marcio Rosa
MEMBRO DA CE 64.01	José Rubens A Souza
MANHATTAN ELETRONIC	Juan Alexandre Suarez
PLP	Juliano A Pallaro
HINDELET	Levi C. F. da Silva
EMILIA TAKAGI RIBEIRO	Luiz A Ribeiro
PROTEQSEN	Luiz A. Licurci
MEGABRÁS	Luiz A. Pettoruti
MASUKI ENGENHARIA	Luiz M. Masuki
PROCION ENG ^a / ABRASIP	Luiz O. Costi
SCHNEIDER ELECTRIC	Luiz Rosendo Tost Gomes
MEGABRÁS	Manuel J. Leibovich
ERICO	Marcelo Lugli
IEE/USP	Mário César E.S. Ramos
IFSP - INST FEDERAL DE SP	Mario Sergio Cambraia
THEKA DO BRASIL	Marius B. Rebuzzi
EMILIA TAKAGI ENG.	Mauricio Vagner M Torres
RAYCON	Milton Julio Zanluqui
TERMOTÉCNICA	Normando V.B.Alves
LPM MONTAGENS INDUSTRIAIS	Pablo E. Pacheco M.
ELETRO-ESTUDOS ENGENHARIA	Paulo Edmundo da F. Freire
BANDEIRANTE ENERGIA	Paulo S.R. Patrício
MUNDO ELÉTRICO	Paulo Takeyama
VALE S.A.	Pedro Resende Coelho
CONSULTOR AUTÔNOMO	Pedro S. Sumodjo
PETROBRÁS	Renato Gouvea Valk
INSTRUMENTEC	Renato J Julio
FIRTENGE / SINDUSCON	Renato M Oliveira
CONSULTOR AUTÔNOMO	Ricardo Corrêa Verício



FASTWELD	Rinaldo J. Botelho
OBO BETTERMAMM	Roberto Halway
CONEXEL	Robinson Zanon Gomes
KASCHER ENGENHARIA	Ronaldo Kascher Moreira
SECOVI-SP	Ronaldo Sá
O SETOR ELÉTRICO	Sergio Bogomoltz
OBO BETTERMANN	Sérgio Roberto
ST&SC SERVIÇOS TÉCNICOS LTDA	Sérgio T Sobral
OBO BETTERMAMM	Solenio Augusto Araujo
HELLERMANN TITON	Valdir RB Pinto
FISCHMANN ENGENHARIA S/C LTDA	Victor Fischmann
METRÔ-SP	Victor M.A.S. Vasconcelos
INSTRUMENTEC	Willian Donizete Carvalho
MAZ ENGENHARIA	Willy Wilker B Gomes



Proteção contra descargas atmosféricas — Parte 1: Princípios gerais

Lightning protection — Part 1: General principles

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 5419-1 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 XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX, com o número de Projeto 03:064.10-100/1.

As ABNT NBR 5419-1 (Projeto 03:064.10-100/1), ABNT NBR 5419-2 (Projeto 03:064.10-100/2), ABNT NBR 5419-3 (Projeto 03:064.10-100/3) e ABNT NBR 5419-4 (Projeto 03:064.10-100/4) cancelam e substituem a ABNT NBR 5419:2005.

A aplicação da ABNT NBR 5419 não dispensa o respeito aos regulamentos de órgãos públicos aos quais a instalação deve satisfazer.

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 establishes the requirements for lightning protection determination.

This part of ABNT NBR 5419 provides grants for use in projects of lightning protection.

The applicability of this part of ABNT NBR 5419 may have restrictions specially in human life protection when it is based on indirect effects of lightning

This part of ABNT NBR 5419 does not apply on Railway systems; Vehicles, aircraft, ships and offshore platforms; High pressure underground pipes; Pipes and supply lines and telecommunications placed outside of the structure.

NOTE *Usually these systems comply with the special regulations established by specific authorities.*

Introdução

Não há dispositivos ou métodos capazes de modificar os fenômenos climáticos naturais a ponto de se prevenir a ocorrência de descargas atmosféricas. As descargas atmosféricas que atingem estruturas (ou linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram nas estruturas) ou que atingem a terra em suas proximidades são perigosas às pessoas, às próprias estruturas, seus conteúdos e instalações. Portanto, medidas de proteção contra descargas atmosféricas devem ser consideradas.

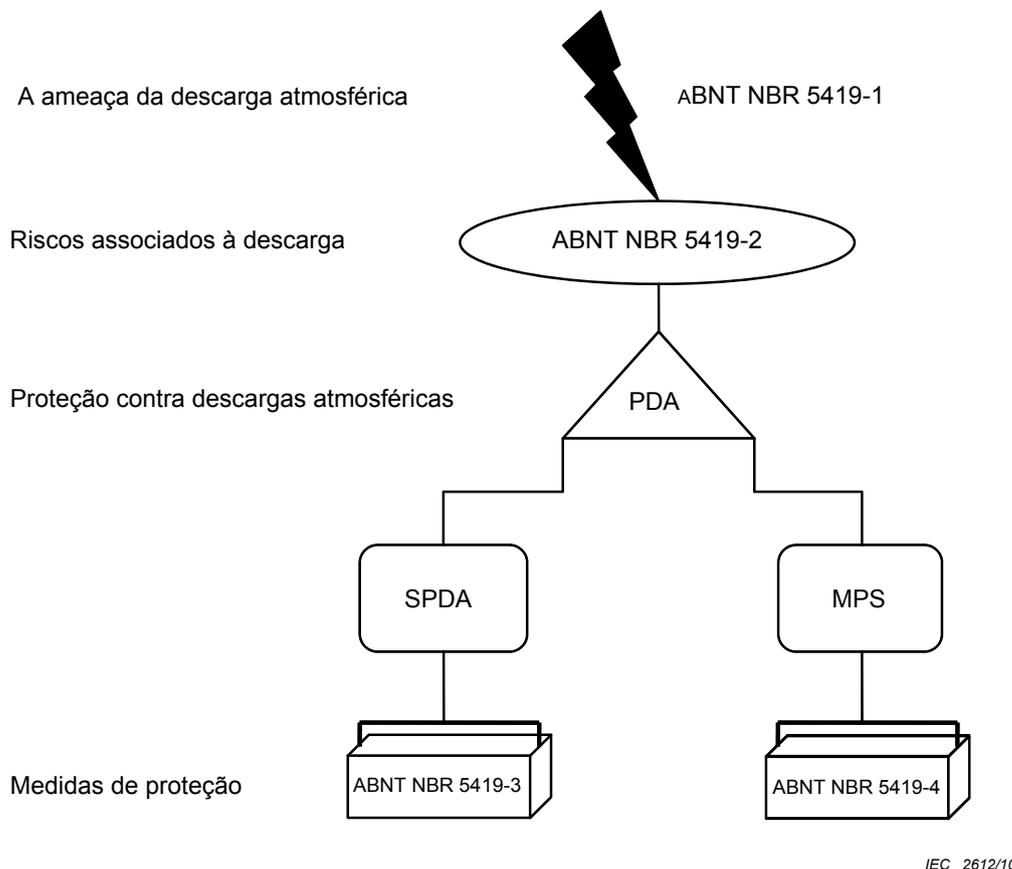
A necessidade de proteção, os benefícios econômicos da instalação de medidas de proteção e a escolha das medidas adequadas de proteção devem ser determinados em termos do gerenciamento de risco. O método de gerenciamento de risco está contido no PN 03:064.10-100/2.

As medidas de proteções consideradas na ABNT NBR 5419 são comprovadamente eficazes na redução dos riscos associados às descargas atmosféricas.

Todas as medidas de proteção contra descargas atmosféricas formam a proteção completa contra descargas atmosféricas. Por razões práticas, os critérios para projeto, instalação e manutenção das medidas de proteção são considerados em dois grupos separados:

- o primeiro grupo se refere às medidas de proteção para reduzir danos físicos e riscos à vida dentro de uma estrutura e está contido no PN 03:064.10-100/3;
- o segundo grupo se refere às medidas de proteção para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos em uma estrutura e está contido no PN 03:064.10-100/4.

As conexões entre as partes da ABNT NBR 5419 são ilustradas na Figura 1.



IEC 2612/10

Figura 1 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419

Projeto em Consulta Nacional



Proteção contra descargas atmosféricas

Parte 1: Princípios gerais

1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 5419 estabelece os requisitos para a determinação de proteção contra descargas atmosféricas.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 fornece subsídios para o uso em projetos de proteção contra descargas atmosféricas.

A aplicabilidade desta Parte da ABNT NBR 5419 pode ter restrições especialmente na proteção da vida humana quando for baseada em efeitos indiretos de descargas atmosféricas.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 não se aplica a sistemas ferroviários; veículos, aviões, navios e plataformas *offshore*, tubulações subterrâneas de alta pressão, tubulações e linhas de abastecimento e telecomunicações colocados fora da estrutura.

NOTA Usualmente, estes sistemas obedecem a regulamentos especiais elaborados por autoridades específicas.

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, *Instalações elétricas de baixa tensão*

ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*

ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios*

PN 03:064.10-100/2, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 2: Gerenciamento de risco*

PN 03:064.10-100/3, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida*

PN 03:064.10-100/4, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura*

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*



3 Termos e definições

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

3.1

descarga atmosférica para terra (*lightning flash to earth*)

descarga elétrica de origem atmosférica entre nuvem e terra, consistindo de uma ou mais componentes da descarga atmosférica

3.2

descarga descendente (*downward flash*)

descarga atmosférica iniciada por um líder descendente de uma nuvem para terra

3.3

descarga ascendente (*upward flash*)

descarga atmosférica iniciada por um líder ascendente de uma estrutura aterrada para uma nuvem

3.4

componente da descarga atmosférica (*lightning stroke*)

descarga elétrica singela de uma descarga atmosférica para a terra

3.5

componente curta da descarga atmosférica

parte de uma descarga atmosférica para a terra que corresponde a um impulso de corrente

NOTA A corrente em questão tem um tempo para o meio valor T_2 tipicamente inferior a 2 ms (ver Figura A.1).

3.6

componente longa da descarga atmosférica (*long stroke*)

parte de uma descarga atmosférica para a terra que corresponde a componente da corrente de continuidade

NOTA A duração T_{longo} (intervalo entre o valor 10 % na frente até o valor 10 % na cauda) desta corrente de continuidade é tipicamente superior a 2 ms e menor que 1 s (ver Figura A.2).

3.7

múltiplos componentes da descarga atmosférica (*multiple strokes*)

descarga atmosférica para a terra que consiste em média de três a quatro componentes, com um intervalo de tempo típico entre eles de cerca de 50 ms

NOTA Há relatos de eventos que têm algumas dezenas de golpes com intervalos entre eles entre 10 ms e 250 ms.

3.8

ponto de impacto (*point of strike*)

ponto onde uma descarga atmosférica atinge a terra, ou um objeto elevado (por exemplo, estrutura, SPDA, serviços, árvore, etc.)

NOTA Uma descarga atmosférica para a terra pode ter diversos pontos de impacto.

3.9

corrente da descarga atmosférica (*lightning current*)

i

corrente que flui no ponto de impacto



3.10

valor de pico da corrente

I

máximo valor da corrente de descarga atmosférica

3.11

taxa média de variação da frente de onda do impulso de corrente

taxa média de variação da corrente em sua frente de onda no intervalo entre os instantes em que são atingidos 10 % e 90 % do valor de pico (ver Figura A.1)

NOTA Este parâmetro é expresso pela diferença dos valores da corrente $\Delta i = i(t_2) - i(t_1)$, no início e no final do intervalo $\Delta t = t_2 - t_1$, dividido pelo valor do intervalo Δt .

3.12

tempo de frente da onda de corrente de impulso

T_1

parâmetro virtual definido como 1,25 vez o intervalo de tempo entre os instantes em que os valores de 10 % e 90 % do valor de pico são atingidos (ver Figura A.1)

3.13

origem virtual da corrente de impulso

O_1

ponto de intersecção com o eixo dos tempos de uma linha reta traçada por meio dos pontos de referência de 10 % e 90 % do valor de pico (ver Figura A.1); ele precede em $0,1 T_1$ do instante no qual a corrente atinge 10 % do seu valor de pico

3.14

tempo até o meio valor da cauda da onda de corrente de impulso

T_2

parâmetro virtual definido como um intervalo de tempo entre a origem virtual O_1 e o instante no qual a corrente decresceu à metade do valor de pico (ver Figura A.1)

3.15

duração da descarga atmosférica (*flash duration*)

T

intervalo de tempo durante o qual a corrente da descarga atmosférica flui no ponto de impacto

3.16

duração da componente longa da descarga atmosférica (*duration of long stroke current*)

T_{longa}

intervalo de tempo durante o qual a corrente em uma descarga atmosférica longa permanece entre 10 % do valor de pico no início do crescimento da corrente de continuidade e 10 % do valor de pico ao final do decréscimo desta corrente (ver Figura A.2)

3.17

carga de uma descarga atmosférica (*flash charge*)

Q_{flash}

valor resultante da integral da corrente no tempo de uma descarga atmosférica

3.18

carga do impulso

Q_{curta}

valor resultante da integral no tempo da corrente do impulso relacionado à descarga atmosférica



3.19

carga da componente longa da descarga atmosférica (*long stroke charge*)

Q_{longa}

valor resultante da integral da corrente no tempo da componente longa da descarga atmosférica

3.20

energia específica

W/R

valor resultante da integral da corrente ao quadrado da descarga atmosférica no tempo

NOTA Este parâmetro representa a energia dissipada pela corrente da descarga atmosférica em uma resistência de valor unitário.

3.21

energia específica de um impulso de corrente

valor resultante da integral da corrente ao quadrado para a duração de uma descarga atmosférica curta

NOTA A energia específica da componente longa da corrente de uma descarga atmosférica é desprezível.

3.22

estrutura a ser protegida

estrutura para qual a proteção contra os efeitos das descargas atmosféricas é necessária de acordo com esta Parte da ABNT NBR 5419

NOTA 1 A estrutura a ser protegida pode ser parte de uma estrutura maior.

NOTA 2 Estrutura: termo genérico que define um elemento a ser protegido pelo SPDA, por exemplo, edificações, prédios, árvores, massas metálicas (antenas, guarda corpos, etc.).

3.23

linha

linha de energia ou linha de telecomunicação conectada à estrutura a ser protegida

3.24

linhas de telecomunicações (*telecommunication lines*)

linhas utilizadas para comunicação entre equipamentos que podem ser instalados em estruturas separadas, como as linhas telefônicas e as linhas de dados

3.25

linhas de energia (*power lines*)

linhas que fornecem energia elétrica para dentro de uma estrutura aos equipamentos eletrônicos e elétricos de potência localizados nesta, como as linhas de alimentação em baixa tensão (BT) ou alta tensão (AT)

3.26

descarga atmosférica na estrutura (*lightning flash to a structure*)

descarga atmosférica em uma estrutura a ser protegida

3.27

descarga atmosférica perto de uma estrutura (*lightning flash near a structure*)

descarga atmosférica que ocorre perto o suficiente de uma estrutura a ser protegida e que pode causar sobretensões perigosas



3.28

sistema elétrico

sistema que incorpora componentes de alimentação em baixa tensão

3.29

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

3.30

sistemas internos

sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma estrutura

3.31

danos físicos

danos a uma estrutura (ou a seu conteúdo) ou a uma linha devido aos efeitos mecânicos, térmicos, químicos ou explosivos da descarga atmosférica

3.32

ferimentos a seres vivos

ferimentos, incluindo perda da vida, em pessoas ou animais devido a tensões de toque e de passo causadas pelas descargas atmosféricas

NOTA Apesar dos seres vivos poderem se machucar de outras formas, nesta Parte da ABNT NBR 5419, o termo “ferimentos a seres vivos” se limita à ameaça devido a choque elétrico (dano tipo D1).

3.33

falha de sistemas eletroeletrônicos

danos permanentes de sistemas eletro-eletrônicos devido aos LEMP

3.34

pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas (*lightning electromagnetic impulse*) 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 radiados

3.35

surto

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

3.36

zona de proteção contra descarga atmosférica “raio” (*lightning protection zone – LPZ*) ZPR

zona onde o ambiente eletromagnético causado pelo raio é definido

NOTA O contorno de uma ZPR não é necessariamente dado por elementos físicos (por exemplo, paredes, piso e teto).

3.37

risco

R

valor da perda média anual provável (pessoas e bens) devido à descarga atmosférica em relação ao valor total (pessoas e bens) da estrutura a ser protegida



3.38

risco tolerável

R_T

valor máximo do risco que pode ser tolerável para a estrutura a ser protegida

3.39

nível de proteção contra descargas atmosféricas (*lightning protection level – LPL*)

NP

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

3.40

medidas de proteção

medidas a serem adotadas na estrutura a ser protegida, com o objetivo de reduzir os riscos

3.41

proteção contra descargas atmosféricas (*lightning protection – LP*)

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 SPDA e MPS

3.42

sistema de proteção contra descargas atmosféricas (*lightning protection system – LPS*)

SPDA

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

NOTA Um SPDA consiste em sistemas externo e interno de proteção contra descargas atmosféricas.

3.43

SPDA externo (*external lightning protection system*)

parte do SPDA composto pelos subsistemas de captação, descida e aterramento

3.44

SPDA interno (*internal lightning protection system*)

parte do SPDA consistindo em ligações equipotenciais e/ou isolação elétrica do SPDA externo

3.45

subsistema de captação (*air-termination system*)

parte de um SPDA externo usando elementos metálicos como hastes, condutores em malha ou cabos em catenária, projetados e posicionados para interceptarem descargas atmosféricas

3.46

subsistema de descida (*down-conductor system*)

parte de um SPDA externo que tem como objetivo conduzir a descarga atmosférica do subsistema de captação ao subsistema de aterramento

3.47

subsistema de aterramento (*earth-termination system*)

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

3.48

partes condutoras externas

elementos metálicos que penetram ou saem da estrutura a ser protegida que podem se tornar um caminho para parte da corrente da descarga atmosférica, como tubulações, linhas metálicas, dutos metálicos etc.



3.49

ligação equipotencial para descargas atmosféricas (*lightning equipotential bonding*)

EB

ligação ao SPDA de partes metálicas separadas, por conexões condutoras diretas ou por meio de dispositivos de proteção contra surtos, para reduzir diferenças de potenciais causadas pelas correntes das descargas atmosféricas

3.50

impedância convencional de aterramento (*conventional earthing impedance*)

relação entre os valores de pico da tensão e da corrente do eletrodo de aterramento, os quais, em geral, não acontecem simultaneamente

3.51

medidas de proteção contra surtos causados por LEMP (*LEMP protection measures*)

MPS

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

3.52

blindagem magnética

tela metálica, em forma de malha ou contínua, que envolve a estrutura a ser protegida, ou parte dela, utilizada para reduzir falhas dos sistemas eletroeletrônicos

3.53

dispositivo de proteção contra surtos (*surge protective device – SPD*)

DPS

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

3.54

coordenação de DPS

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

3.55

nível de tensão nominal suportável de impulso (*rated impulse withstand voltage level*)

U_w

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

NOTA Para as finalidades desta Parte da ABNT NBR 5419, considera-se somente a tensão suportável entre condutores vivos e a terra, conforme IEC 606641:2007, 392.

3.56

interfaces isolantes

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

3.57

plano de referência

superfície, geralmente plana, sobre a qual se faz a projeção do volume de proteção de elementos do sistema de captação ou sobre a qual se movimenta a esfera rolante na aplicação dos cálculos dos métodos de proteção. Vários planos de referência em diferentes níveis podem ser considerados na região dos componentes do sistema de captação sob análise



3.58

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 é mais lenta, sobretensão esta que pode estar associada a elevados níveis de energia por conta da longa duração.

4 Parâmetros da corrente da descarga atmosférica

Os parâmetros da corrente da descarga atmosférica usados na série IEC 62305 são relacionados no Anexo A.

Os parâmetros de duração da corrente da descarga atmosférica usados para análise são relacionados no Anexo B.

As informações para simulação da corrente da descarga atmosférica para fins de ensaios são dadas no Anexo C.

Os parâmetros básicos para uso em laboratório para simular os efeitos das descargas atmosféricas nos componentes do SPDA estão relatados no Anexo D.

Informações sobre surtos devido às descargas atmosféricas em diferentes pontos da instalação são apresentadas no Anexo E.

5 Danos devido às descargas atmosféricas

5.1 Danos à estrutura

A descarga atmosférica que atinge uma estrutura pode causar danos à própria estrutura e a seus ocupantes e conteúdos, incluindo falhas dos sistemas internos. Os danos e falhas podem se estender também às estruturas vizinhas e podem ainda envolver o ambiente local. A extensão dos danos e falhas na vizinhança depende das características das estruturas e das características da descarga atmosférica.

5.1.1 Efeitos das descargas atmosféricas sobre uma estrutura

As principais características das estruturas relevantes para os efeitos das descargas atmosféricas incluem:

- a) construção (por exemplo, madeira, alvenaria, concreto, concreto armado, estrutura em aço);

- b) função (residência, escritório, comércio, rural, teatro, hotel, escola, hospital, museu, igreja, prisão, *shopping center*, banco, fábrica, área industrial, área de práticas esportivas);
- c) ocupantes e conteúdos (pessoas e animais, presença ou não de materiais combustíveis ou explosivos, sistemas elétricos e eletrônicos de baixa tensão ou alta tensão suportável);
- d) linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram a estrutura (linhas de energia, linhas de telecomunicações, tubulações);
- e) medidas de proteção existentes ou providas (por exemplo, medidas de proteção para reduzir danos físicos e risco à vida, medidas de proteção para reduzir falhas em sistemas internos);
- f) dimensão do risco (estrutura com dificuldade de evacuação ou estrutura na qual pode haver pânico, estrutura perigosa às redondezas, estrutura perigosa ao ambiente).

A Tabela 1 apresenta os efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas.

Tabela 1 – Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa de moradia	Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica. Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados (exemplos: aparelhos de TV, computadores, <i>modems</i> , telefones etc.).
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.
Teatro ou cinema Hotel Escola <i>Shopping centers</i> Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo, iluminação elétrica) Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial etc.	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.

Tabela 1 (continuação)

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos Creche Prisão	Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Estação de telecomunicações Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviços ao público.
Fábrica de fogos de artifícios Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores.
Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Indústria química Refinaria Usina nuclear Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global.

5.1.2 Fontes e tipos de danos a uma estrutura

A corrente da descarga atmosférica é a fonte de danos. As seguintes situações devem ser levadas em consideração em função da posição do ponto de impacto relativo à estrutura considerada:

- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S2: descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- c) S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;



- d) S4: descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

5.1.2.1 Descargas atmosféricas na estrutura

Podem causar:

- a) danos mecânicos imediatos, fogo e/ou explosão devido ao próprio plasma quente do canal da descarga atmosférica, ou devido à corrente resultando em aquecimento resistivo de condutores (condutores sobreaquecidos), ou devido à carga elétrica resultando em erosão pelo arco (metal fundido);
- b) fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido a sobretensões resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos e à passagem de parte da corrente da descarga atmosférica;
- c) danos às pessoas por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos;
- d) falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP.

5.1.2.2 Descargas atmosféricas próximas à estrutura

Podem causar falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP.

5.1.2.3 Descargas atmosféricas sobre linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram a estrutura

Podem causar:

- a) fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido a sobretensões e correntes das descargas atmosféricas transmitidas por meio das linhas elétricas e tubulações metálicas;
- b) danos a pessoas por choque elétrico devido a tensões de toque dentro da estrutura causadas por correntes das descargas atmosféricas transmitidas pelas linhas elétricas e tubulações metálicas;
- c) falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido à sobretensões que aparecem nas linhas que entram na estrutura.

5.1.2.4 Descargas atmosféricas próximas a linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura

Podem causar falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido à sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura.

Em consequência, as descargas atmosféricas podem causar três tipos básicos de danos:

- a) D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;
- b) D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- c) D3: falhas de sistemas internos devido a LEMP.

5.2 Tipos de perdas

Cada tipo de dano relevante para a estrutura a ser protegida, sozinho ou em combinações com outros, pode, em consequência, produzir diferentes perdas. O tipo de perda que pode ocorrer depende das características do próprio objeto.

Para efeitos da ABNT NBR 5419, são considerados os seguintes tipos de perdas, os quais podem aparecer como consequência de danos relevantes à estrutura:

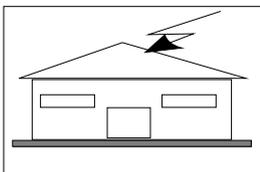
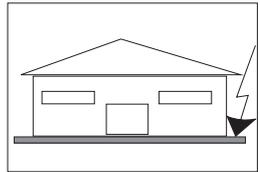
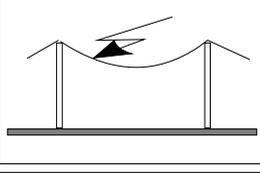
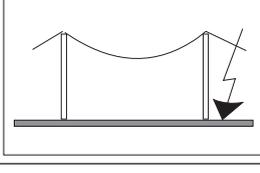
- L1: perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valor econômico (estrutura e seu conteúdo, assim como interrupções de atividades).

NOTA Para efeitos da ABNT NBR 5419, somente são considerados serviços ao público os suprimentos de água, gás, energia e sinais de TV e telecomunicações.

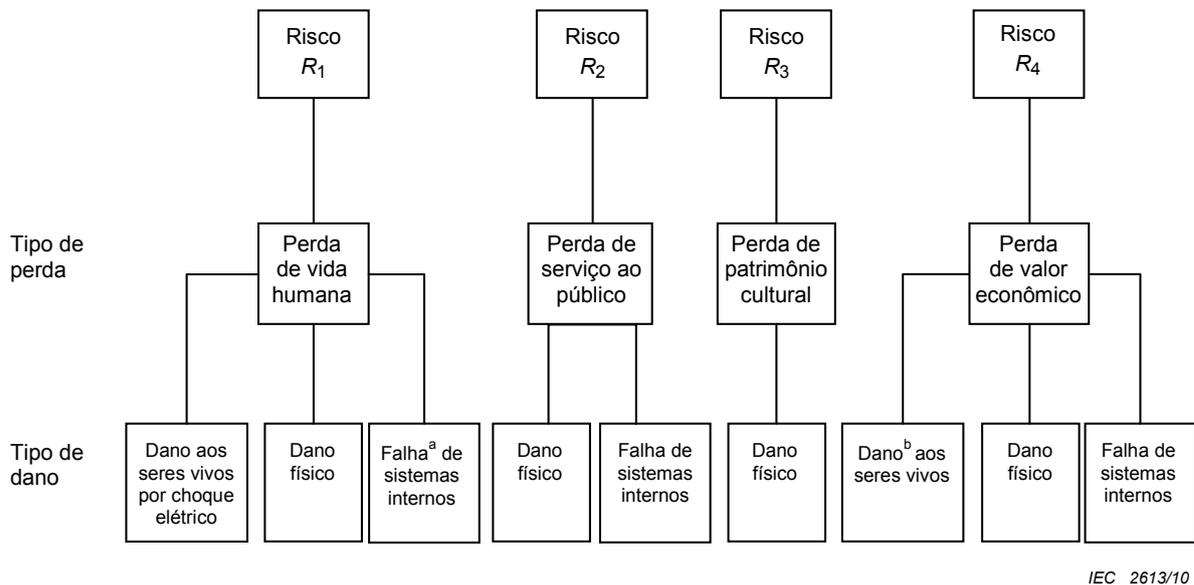
Perdas dos tipos L1, L2 e L3 podem ser consideradas como perdas de valor social, enquanto perdas do tipo L4 podem ser consideradas como perdas puramente econômicas.

A correspondência entre fonte de danos, tipo de danos e perdas é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica

Ponto de impacto		Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica		S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais. ^b Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.				

Tipos de perdas resultantes dos tipos de danos e os riscos correspondentes estão relacionados na Figura 2.



IEC 2613/10

- a Somente para hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.
 b Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais.

Figura 2 – Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos

6 Necessidade e vantagem econômica da proteção contra descargas atmosféricas

6.1 Necessidade da proteção contra descargas atmosféricas

A necessidade de um objeto ser protegido contra descargas atmosféricas deve ser avaliada de modo a reduzir as perdas de valor social L1, L2 e L3.

Para se avaliar quando uma proteção contra descargas atmosféricas é necessária ou não, deve ser feita uma avaliação do risco de acordo com os procedimentos contidos no PN 03:064.10-100/2. Os seguintes riscos devem ser levados em conta, em correspondência aos tipos de perdas relacionadas em 5.2:

- a) R_1 : risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
 b) R_2 : risco de perdas de serviços ao público;
 c) R_3 : risco de perdas do patrimônio cultural.

NOTA Recomenda-se que o risco de perdas de valor econômico (risco R_4) seja avaliado sempre que a vantagem econômica da proteção contra descargas atmosféricas for considerada (ver 6.2).

A proteção contra descargas atmosféricas é necessária se o risco R (R_1 a R_3) for maior que o risco tolerado R_T :

$$R > R_T$$



Neste caso, devem ser adotadas medidas de proteção de modo a reduzir o risco R (R_1 a R_3) ao nível tolerável R_T :

$$R \leq R_T$$

Se puder aparecer mais de um tipo de perda, a condição $R \leq R_T$ deve ser satisfeita para cada tipo de perda (L1, L2 e L3).

NOTA Informações detalhadas sobre avaliação de risco e do procedimento para escolha das medidas de proteção são relatadas no PN 03:064.10-100/2.

6.2 Vantagem econômica da proteção contra descargas atmosféricas

Além da necessidade de proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura a ser protegida, pode ser vantajoso avaliar os benefícios econômicos de se adotar medidas de proteção de modo a reduzir a perda econômica L4.

Neste caso, deve ser avaliado o risco R_4 de perda de valor econômico. A avaliação do risco R_4 permite avaliar o custo da perda econômica com e sem adoção das medidas de proteção.

A proteção contra descargas atmosféricas é conveniente se a soma do custo C_{RL} das perdas residuais na presença das medidas de proteção e o custo C_{PM} das medidas de proteção for menor que o custo C_L da perda total sem as medidas de proteção:

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

NOTA Informações detalhadas da avaliação da vantagem econômica da proteção contra descargas atmosféricas são relatadas no PN 03:064.10-100/2.

7 Medidas de proteção

7.1 Geral

Podem ser adotadas medidas de proteção de modo a reduzir o risco de acordo com o tipo de dano.

7.2 Medidas de proteção para reduzir danos a pessoas devido a choque elétrico

São possíveis as seguintes medidas de proteção:

- isolação adequada das partes condutoras expostas;
- equipotencialização por meio de um sistema de aterramento em malha;
- restrições físicas e avisos;
- ligação equipotencial para descargas atmosféricas (LE).

NOTA 1 A equipotencialização e o aumento da resistência de contato da superfície do solo, interna ou externamente à estrutura, podem reduzir o risco de vida (PN 03:064.10-100/3, Seção 8).

NOTA 2 Medidas de proteção são eficientes somente em estruturas protegidas por um SPDA.

NOTA 3 O uso de detectores de tempestades e medidas complementares podem reduzir o risco de vida.



7.3 Medidas de proteção para redução de danos físicos

A proteção é alcançada por meio de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) o qual inclui as seguintes características:

- a) subsistema de captação;
- b) subsistema de descida;
- c) subsistema de aterramento;
- d) ligação equipotencial para descargas atmosféricas (LE);
- e) isolamento elétrica (e daí a distância de segurança) para o SPDA externo.

NOTA 1 Quando for instalado um SPDA, a equipotencialização é uma medida essencial para reduzir os perigos de incêndio e de explosão e o risco de vida. Para mais detalhes, ver PN 03:064.10-100/3.

NOTA 2 A redução de danos físicos pode ser obtida por medidas que limitem o desenvolvimento e propagação de fogo, como compartimentos à prova de fogo, extintores, hidrantes, instalações de alarme de incêndio e extinção de fogo.

NOTA 3 A instalação de rotas de fuga minimizam os riscos de danos físicos.

7.4 Medidas de proteção para redução de falhas dos sistemas elétricos e eletrônicos

Medidas de proteção contra surtos (MPS) possíveis:

- a) medidas de aterramento e equipotencialização;
- b) blindagem magnética;
- c) roteamento da fiação;
- d) interfaces isolantes;
- e) sistema de DPS coordenado.

Estas medidas podem ser usadas sozinhas ou combinadas.

NOTA 1 Ao se considerar uma fonte de danos tipo S1, as medidas de proteção são eficientes somente em estruturas protegidas por um SPDA.

NOTA 2 O uso de detectores de tempestades e medidas complementares podem reduzir as falhas de sistemas elétricos e eletrônicos.

7.5 Escolha das medidas de proteção

As medidas de proteção relacionadas em 7.2, 7.3 e 7.4, juntas, compõem o sistema completo de proteção contra descargas atmosféricas.

A escolha das medidas mais adequadas de proteção deve ser feita pelo responsável técnico e pelo proprietário da estrutura a ser protegida, de acordo com o tipo e valor de cada tipo de dano, com os aspectos técnicos e econômicos das diferentes medidas de proteção e dos resultados da avaliação de riscos.



Os critérios para a avaliação do risco e para escolha das medidas de proteção mais adequadas estão relatados no PN 03:064.10-100/3.

As medidas de proteção são efetivas desde que elas satisfaçam os requisitos das normas correspondentes e sejam capazes de suportar os esforços esperados nos respectivos locais de suas instalações.

8 Critérios básicos para proteção de estruturas

8.1 Geral

Uma proteção ideal para estruturas é envolver completamente a estrutura a ser protegida por uma blindagem contínua perfeitamente condutora, aterrada e de espessura adequada, e, além disso, providenciar ligações equipotenciais adequadas para as linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram na estrutura nos pontos de passagem pela blindagem.

Isto impede a penetração da corrente da descarga atmosférica e campo eletromagnético associado na estrutura a ser protegida e evita efeitos térmicos e eletrodinâmicos perigosos da corrente assim como centelhamentos e sobretensões perigosas para os sistemas internos.

Na prática, porém, a aplicação de tais medidas para se obter total proteção é frequentemente inviável.

A falta de continuidade da blindagem e/ou sua espessura inadequada permite a penetração da corrente da descarga atmosférica e seus efeitos pela blindagem, podendo causar:

- a) danos físicos e risco de vida;
- b) falha dos sistemas internos.

As medidas de proteção, adotadas para reduzir tais danos e perdas relevantes, devem ser projetadas para um conjunto definido de parâmetros das correntes das descargas atmosféricas, frente às quais é requerida a proteção, conforme o nível de proteção contra descargas atmosféricas.

8.2 Níveis de proteção contra descargas atmosféricas (NP)

Para efeitos da ABNT NBR 5419, são considerados quatro níveis de proteção contra descargas atmosféricas (I a IV). Para cada NP, é fixado um conjunto de parâmetros máximos e mínimos das correntes das descargas atmosféricas.

NOTA 1 A proteção contra descargas atmosféricas cujos parâmetros máximos e mínimos de corrente excedam aqueles correspondentes ao NP I requer medidas de proteção mais eficientes, as quais recomenda-se que sejam escolhidas e implementadas para cada caso específico.

NOTA 2 A probabilidade de ocorrência de descargas atmosféricas cujos parâmetros de correntes estejam fora do intervalo máximo e mínimo do NP I é menor que 2 %.

Os valores máximos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas correspondentes ao NP I não podem ser excedidos, com uma probabilidade de 99 %. De acordo com a relação de polaridade assumida (ver A.2), os valores assumidos para as descargas atmosféricas positivas têm probabilidades inferiores a 10 %, enquanto que aqueles para as descargas atmosféricas negativas permanecem abaixo de 1 % (ver A.3).

Os valores máximos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas correspondentes ao NP I são reduzidos a 75 % para o nível II e a 50 % para o nível III e IV (reduções lineares para I , Q e di/dt , mas quadrática para W/R). Os parâmetros de tempo não mudam.

NOTA 3 Os níveis de proteção contra descargas atmosféricas cujos parâmetros máximos de corrente sejam menores que aqueles correspondentes ao NP IV permitem considerar valores de probabilidade de danos maiores que aqueles apresentados no PN 03:064.10-100/2, Anexo B, embora não quantificados, mas que podem ser úteis para um ajuste mais adequado das medidas de proteção a fim de se evitar custos injustificavelmente altos.

Os valores máximos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas para os diferentes níveis de proteção são dados na Tabela 3 e são usados para projetar componentes de proteção contra descargas atmosféricas (por exemplo, seção transversal dos condutores, espessuras das chapas metálicas, capacidade de condução de corrente dos DPS, distância de segurança contra centelhamentos perigosos) e para definir parâmetros de ensaios que simulam os efeitos das descargas atmosféricas sob tais componentes (ver Anexo D).

Os valores mínimos de amplitudes das correntes das descargas atmosféricas para os diferentes NP são usados para se determinar o raio da esfera rolante (ver A.4) de modo a definir a zona de proteção contra descargas atmosféricas ZPR 0_B , a qual não pode ser alcançada por descargas atmosféricas diretas (ver 8.3 e Figuras 3 e 4). Os valores mínimos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas junto com os raios das esferas rolantes correspondentes são dados na Tabela 4. Eles são usados para posicionar os componentes do subsistema de captação e para definir as zonas de proteção contra descargas atmosféricas ZPR 0_B (ver 8.3).

Tabela 3 – Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção (NP)

Primeiro impulso positivo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico	I	kA	200	150	100	
Carga do impulso	Q_{curta}	C	100	75	50	
Energia específica	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Parâmetros de tempo	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	10/350			
Primeiro impulso negativo ^a			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	I	kA	100	75	50	
Taxa média de variação	di/dt	kA/ μs	100	75	50	
Parâmetros de tempo	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	1/200			
Impulso subsequente			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	I	kA	50	37,5	25	
Taxa média de variação	di/dt	kA/ μs	200	150	0,25/100	
Parâmetros de tempo	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	0,25/100			

Tabela 3 (continuação)

Componente longa da descarga			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da componente longa	Q_{longa}	C	200	150	100	
Parâmetros de tempo	T_{longa}	s	0,5			
Descarga atmosférica			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da descarga	Q_{flash}	C	300	225	150	

^a O uso desta forma de onda de corrente é de interesse para cálculos somente, não para ensaios.

Tabela 4 – Valores mínimos dos parâmetros das descargas atmosféricas e respectivos raios da esfera rolante, correspondentes aos níveis de proteção (NP)

Critérios de interceptação			NP			
	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico mínima	I	kA	3	5	10	16
Raio da esfera rolante	r	m	20	30	45	60

Das distribuições estatísticas dadas na Figura A.5, pode ser determinada uma probabilidade ponderada, tal que os parâmetros das correntes das descargas atmosféricas são menores que os valores máximos e respectivamente maiores que os valores mínimos definidos para cada nível de proteção (ver Tabela 5).

Tabela 5 – Probabilidades para os limites dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas

Probabilidade de que os parâmetros da corrente sejam:	NP			
	I	II	III	IV
menores que os máximos valores definidos na Tabela 3	0,99	0,98	0,95	0,95
maiores que os mínimos valores definidos na Tabela 4	0,99	0,97	0,91	0,84

As medidas de proteção especificadas no PN 03:064.10-100/3 e no PN 03:064.10-100/4 são efetivas contra descargas atmosféricas cujos parâmetros de corrente estiverem na faixa definida pelo NP adotado para o projeto. Desta maneira, assume-se que a eficiência de uma medida de proteção é igual à probabilidade com a qual os parâmetros das correntes das descargas atmosféricas estão dentro de tal faixa. Para parâmetros que excedam esta faixa, permanece um risco residual de danos.

8.3 Zonas de proteção contra descarga atmosférica “raio” (ZPR)

As medidas de proteção como SPDA, condutores de blindagem, blindagens magnéticas e DPS determinam as zonas de proteção contra descargas atmosféricas “raio” (ZPR).



As ZPR a jusante de uma medida de proteção são caracterizadas por uma redução significativa dos LEMP, em comparação com a ZPR a montante.

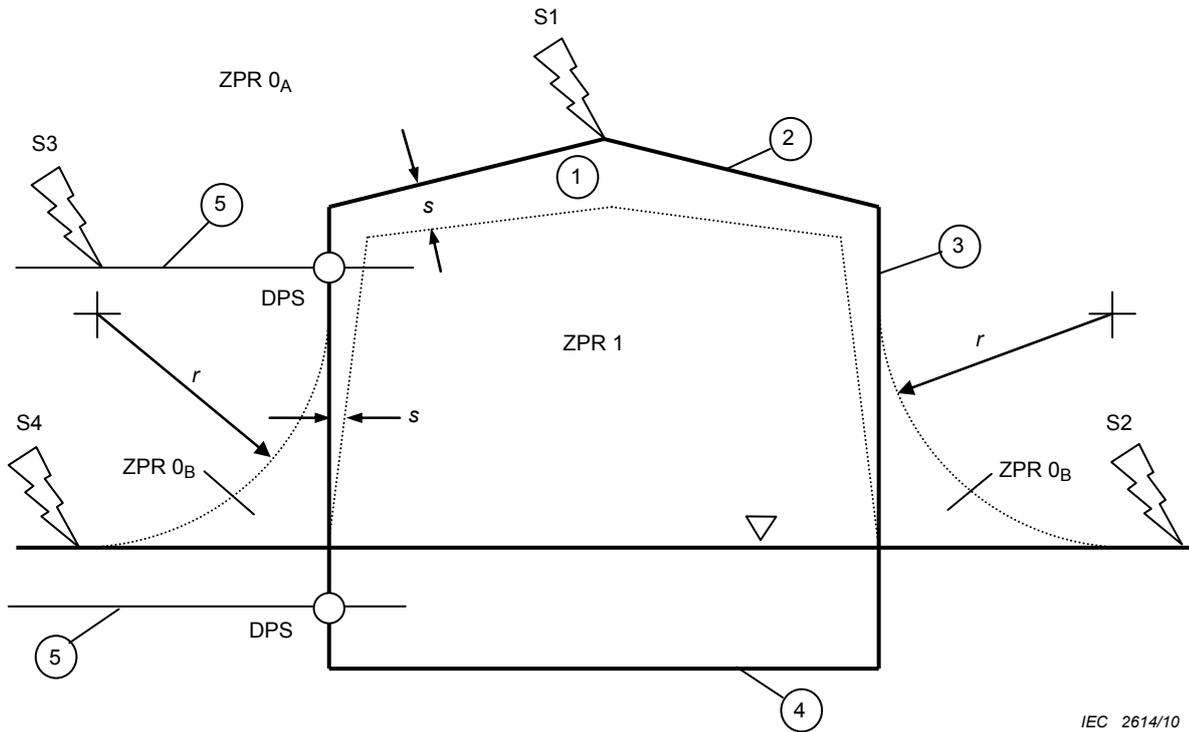
A respeito da ameaça de descarga atmosférica, as seguintes ZPR são definidas (ver Figuras 3 e 4):

- a) ZPR 0A: zona onde a ameaça é devido à queda direta e ao campo eletromagnético total da descarga atmosférica. Os sistemas internos podem estar sujeitos à corrente total ou parcial da descarga;
- b) ZPR 0B: zona protegida contra queda direta, mas onde a ameaça é o campo eletromagnético total da descarga. Os sistemas internos podem estar sujeitos à corrente parcial da descarga;
- c) ZPR 1: zona onde a corrente de surto é limitada por uma divisão da corrente de descarga e pela aplicação de interfaces isolantes e/ou DPS na fronteira. Uma blindagem espacial pode atenuar o campo eletromagnético da descarga;
- d) ZPR 2, ..., n: zona onde a corrente de surto pode ser ainda mais limitada por uma divisão da corrente de descarga e pela aplicação de interfaces isolantes e/ou de DPS adicionais na fronteira. Uma blindagem espacial adicional pode ser usada para atenuar ainda mais o campo eletromagnético da descarga.

NOTA 1 Em geral, quanto maior o número de uma ZPR em particular, tanto menor serão os parâmetros do meio eletromagnético.

Como regra geral de proteção, a estrutura a ser protegida deve estar em uma ZPR cujas características eletromagnéticas sejam compatíveis com sua capacidade de suportar solicitações que, de outra forma, causariam danos (dano físico ou falha de sistemas elétricos e eletrônicos devido a sobretensões).

NOTA 2 Para grande parte dos sistemas e aparelhos elétricos e eletrônicos a informação sobre níveis de suportabilidade pode ser fornecida pelo fabricante.

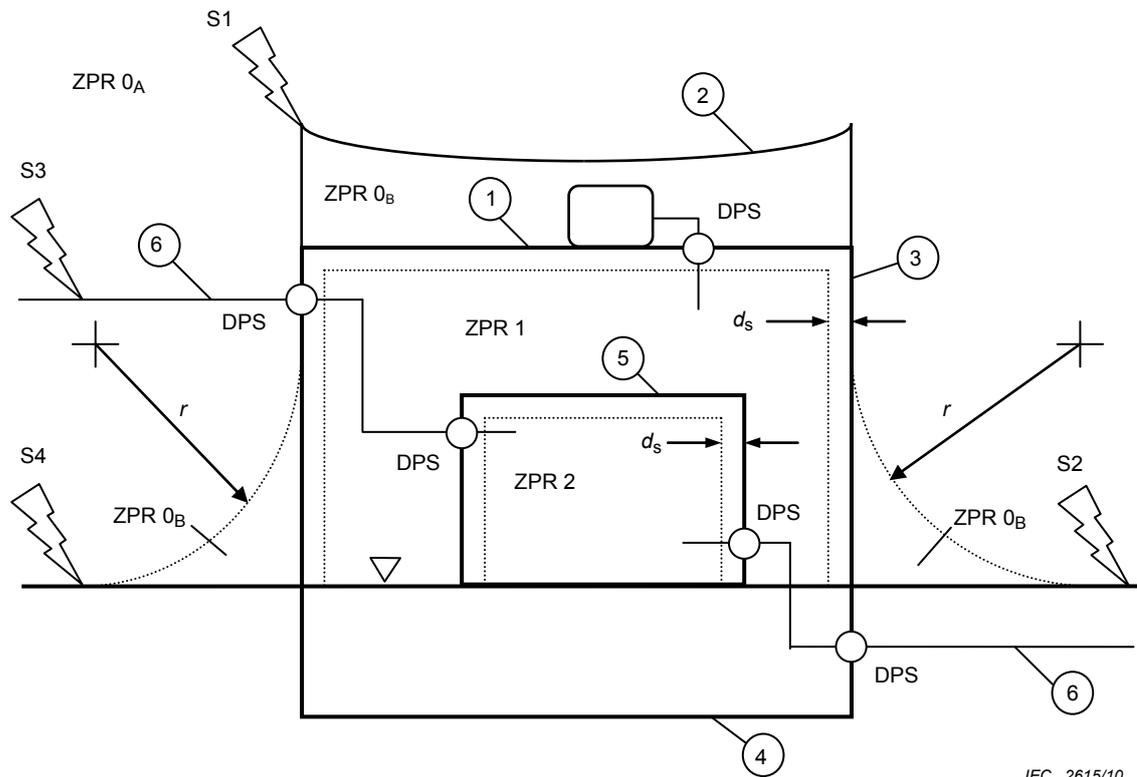


- | | | | |
|---|---|----|--|
| 1 | estrutura | S1 | descarga na estrutura |
| 2 | subsistema de captação | S2 | descarga perto da estrutura |
| 3 | subsistema de descida | S3 | descarga em linhas ou tubulações que adentram na estrutura |
| 4 | subsistema de aterramento | S4 | descarga perto de linhas ou tubulações que adentram na estrutura |
| 5 | linhas e tubulações que adentram na estrutura | r | raio da esfera rolante |
| | | s | distância de segurança contra centelhamento perigoso |
| ▽ | nível do piso | | |
| ○ | ligação equipotencial por meio de DPS | | |

- ZPR 0_A descarga direta, corrente total da descarga
- ZPR 0_B é pouco provável a ocorrência de descarga direta, corrente parcial da descarga ou corrente induzida
- ZPR 1 não há descarga direta, corrente limitada da descarga ou corrente induzida

É importante observar que o volume protegido na ZPR 1 sempre respeita a distância de segurança *s*

Figura 3 – ZPR definidas por um SPDA (PN 03:064.10-100/4)



IEC 2615/10

- | | | | |
|---|---|-------|--|
| 1 | estrutura (blindagem da ZPR 1) | S1 | descarga na estrutura |
| 2 | subsistema de captação | S2 | descarga perto da estrutura |
| 3 | subsistema de descida | S3 | descarga em linhas ou tubulações que adentram na estrutura |
| 4 | subsistema de aterramento | S4 | descarga perto de linhas ou tubulações que adentram na estrutura |
| 5 | recinto (blindagem da ZPR 2) | r | raio da esfera rolante |
| 6 | linhas e tubulações que adentram na estrutura | d_s | distância de segurança contra campo magnético muito elevado |

▽ nível do piso

○ ligação equipotencial para descargas atmosféricas, por meio de DPS

ZPR 0_A descarga direta, corrente total da descarga, campo magnético total

ZPR 0_B é pouco provável a ocorrência de descarga direta, corrente parcial da descarga ou corrente induzida, campo magnético total

ZPR 1 não há descarga direta, corrente limitada da descarga ou corrente induzida, campo magnético atenuado

ZPR 2 não há descarga direta, correntes induzidas, campo magnético ainda mais atenuado

É importante observar que os volumes protegidos na ZPR 1 e na ZPR 2 devem respeitar as distâncias de segurança d_s

Figura 4 – ZPR definidas por MPS (PN 03:064.10-100/4)

8.4 Proteção de estruturas

8.4.1 Proteção para reduzir danos físicos e risco de vida

A estrutura a ser protegida deve estar em uma ZPR 0B ou superior. Isto é conseguido por meio de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).



8.4.1.1 Um SPDA consiste em:

- a) um sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas e
- b) um sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas.

8.4.1.2 As funções do SPDA externo são:

- a) interceptar uma descarga atmosférica para a estrutura (com um sistema de captadores);
- b) conduzir a corrente da descarga seguramente para a terra (com um sistema de condutores de descida);
- c) dispersar esta corrente na terra (com um sistema de aterramento).

A função do SPDA interno é evitar centelhamento perigoso dentro da estrutura, utilizando a ligação equipotencial ou a distância de segurança s (e, conseqüentemente, isolamento elétrica), entre os componentes do SPDA e outros elementos condutores internos à estrutura.

Quatro classes de SPDA (I, II, III e IV) são definidas como um conjunto de regras de construção, baseadas nos correspondentes níveis de proteção (NP). Cada conjunto inclui regras dependentes do nível de proteção (por exemplo, raio da esfera rolante, largura da malha etc) e regras independentes do nível de proteção (por exemplo, seções transversais de cabos, materiais etc).

8.4.1.3 Onde as resistividades superficiais do solo externo e a do piso interno à estrutura forem baixas, o risco de vida devido a tensões de passo e toque pode ser reduzido:

- a) externamente à estrutura, por isolamento das partes condutivas expostas, por equipotencialização no nível do solo por meio de aterramento com malhas, por avisos de advertência e por restrições físicas;
- b) internamente à estrutura, por ligação equipotencial de tubulações e linhas elétricas que adentram na estrutura, no ponto de entrada.

8.4.1.4 O SPDA deve estar conforme os requisitos do PN 03:064.10-100/3.

8.4.2 Proteção para reduzir as falhas de sistemas internos

A proteção contra LEMP para reduzir o risco de falha de sistemas internos deve limitar:

- a) sobretensões devido a descargas atmosféricas na estrutura, resultando de acoplamento resistivo e indutivo;
- b) sobretensões devido a descargas atmosféricas perto da estrutura, resultando de acoplamento indutivo;
- c) sobretensões transmitidas por linhas que adentram a estrutura, devido a descargas atmosféricas diretas nas linhas ou próximas a estas;
- d) campo magnético acoplado diretamente aos aparelhos.

NOTA Falhas de aparelhagem devidas a campos eletromagnéticos radiados diretamente nos equipamentos são desprezíveis contanto que a aparelhagem esteja conforme com os requisitos de emissão e imunidade a campos eletromagnéticos radiados, definidos pelas normas pertinentes de compatibilidade eletromagnética (EMC) (ver também PN 03:064.10-100/2 e PN 03:064.10-100/4).



O sistema a ser protegido deve estar localizado dentro de uma ZPR 1 ou superior. Isto é conseguido por meio de medidas de proteção contra surtos (MPS) aplicadas aos sistemas elétricos e eletrônicos, as quais consistem em blindagens magnéticas que atenuam o campo magnético indutor e/ou por meio de encaminhamento adequado da fiação, que reduz os laços sujeitos à indução. Uma ligação equipotencial deve ser provida nas fronteiras de uma ZPR, para partes metálicas e sistemas que cruzam estas fronteiras. Esta ligação equipotencial pode ser executada por meio de condutores de equipotencialização ou, quando necessário, por dispositivos de proteção contra surtos (DPS).

As medidas de proteção para qualquer ZPR devem estar em conformidade com o PN 03:064.10-100/4.

Uma eficiente proteção contra sobretensões que causam falhas de sistemas internos pode ser também obtida por meio de interfaces isolantes e/ou por um arranjo de DPS coordenados, que limitam estas sobretensões a valores abaixo da tensão nominal suportável de impulso do sistema a ser protegido.

As interfaces isolantes e os DPS devem ser selecionados e instalados de acordo com os requisitos do PN 03:064.10-100/4.

Anexo A (informativo)

Parâmetros da corrente das descargas atmosféricas

A.1 Descarga atmosférica para a terra

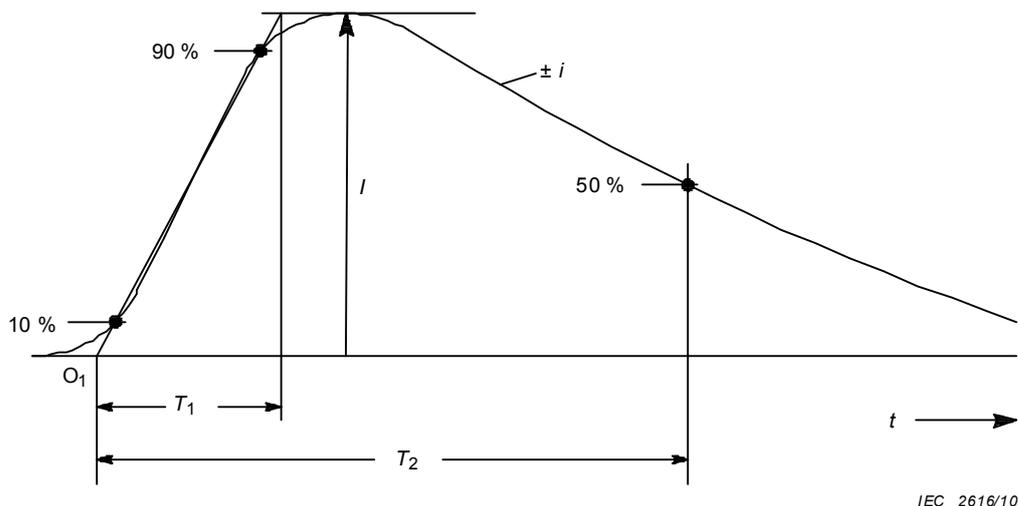
A.1.1 Existem dois tipos básicos de descargas atmosféricas:

- descargas descendentes iniciadas por um líder descendente, da nuvem para a terra;
- descargas ascendentes iniciadas por um líder ascendente, de uma estrutura aterrada para a nuvem.

Na maioria das vezes, as descargas descendentes ocorrem em locais planos e em estruturas mais baixas, enquanto que, para estruturas mais altas, as descargas ascendentes tornam-se predominantes. Com a altura real, a probabilidade de uma descarga direta na estrutura aumenta (ver PN 03:064.10-100/2:2013, Anexo A) e as condições físicas mudam.

A.1.2 A corrente de descarga atmosférica consiste em um ou mais componentes diferentes:

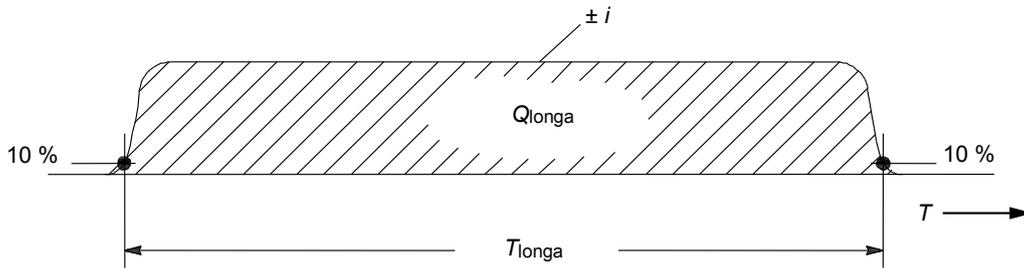
- impulsos com duração inferior a 2 ms (Figura A.1);
- componentes longos com duração superior a 2 ms (Figura A.2).



Legenda

- O_1 origem virtual
 I corrente de pico
 T_1 tempo de frente
 T_2 tempo até o meio valor

Figura A.1 – Definições dos parâmetros de um impulso de corrente (tipicamente $T_2 < 2$ ms)



IEC 2617/10

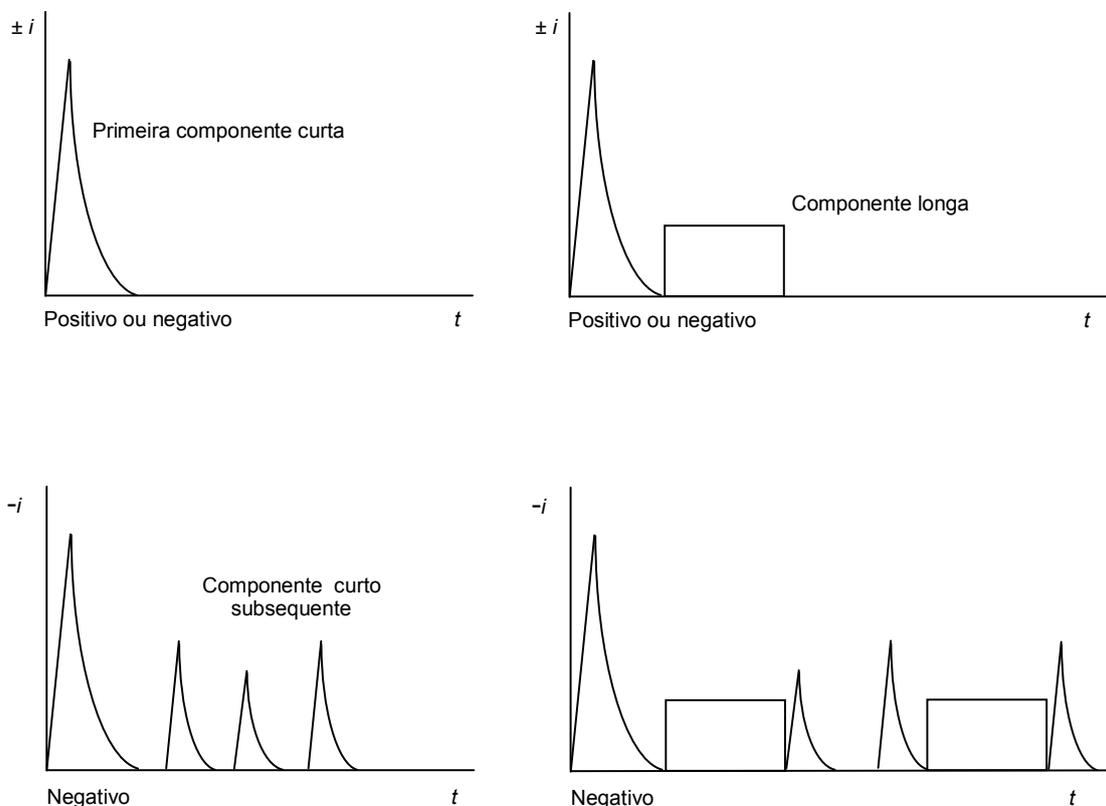
Legenda

T_{longa} tempo de duração

Q_{longa} carga da componente longa da descarga atmosférica

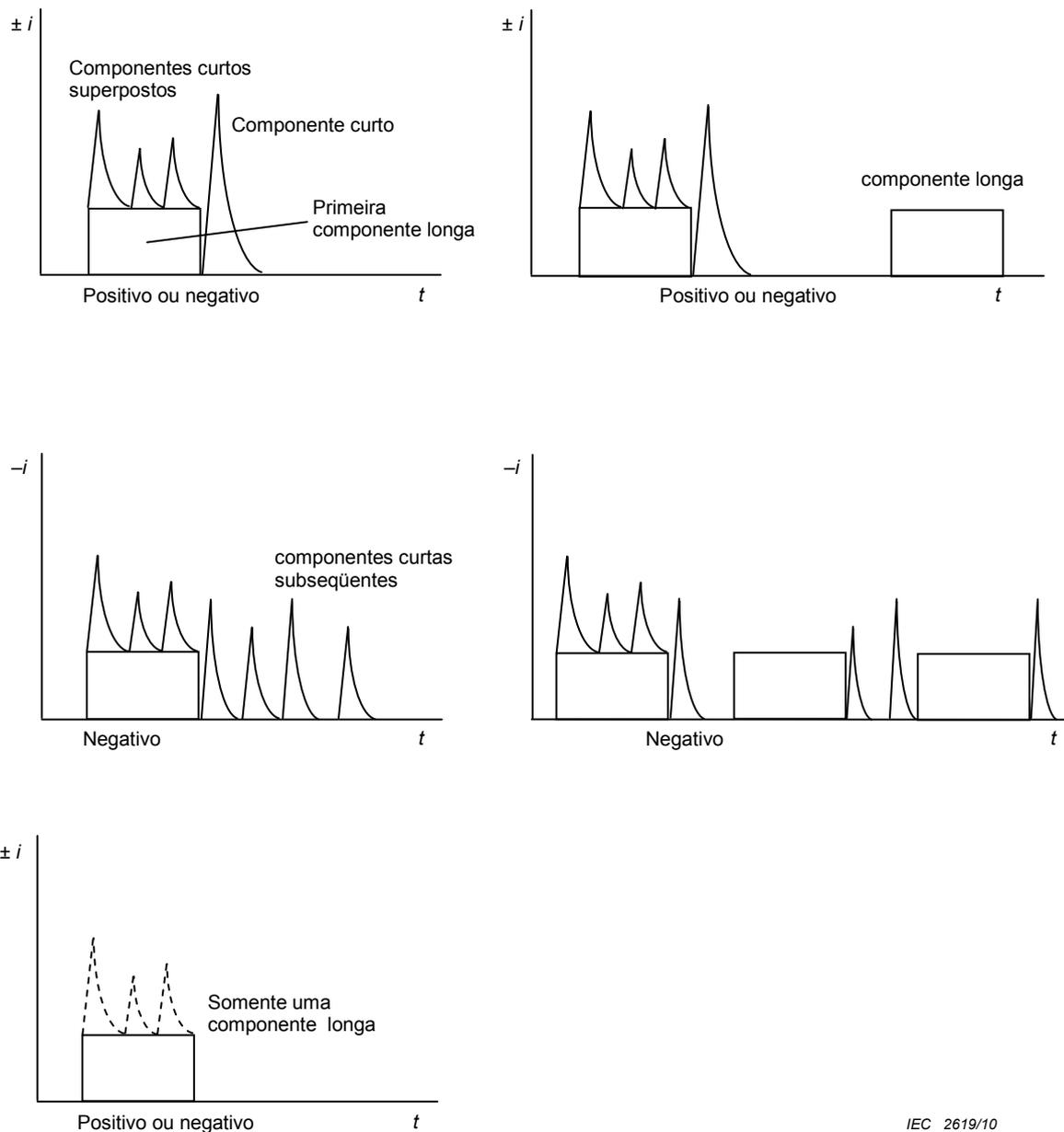
**Figura A.2 – Definições dos parâmetros da componente longa
 (tipicamente $2\text{ ms} < T_{longa} < 1\text{ s}$)**

Uma diferenciação complementar das componentes das descargas atmosféricas provém de suas polaridades (positiva ou negativa) e de suas posições durante a descarga atmosférica (primeira componente, componente subsequente e superposta). As componentes possíveis são indicadas na Figura A.3 para descargas descendentes e na Figura A.4 para as ascendentes.



IEC 2618/10

**Figura A.3 – Possíveis componentes de descargas descendentes
 (típicas em locais planos e em estruturas baixas)**



IEC 2619/10

Figura A.4 – Possíveis componentes de descargas ascendentes (típicas de estruturas mais altas ou expostas)

A componente adicional nas descargas ascendentes é a primeira componente longa, com ou sem impulsos superpostos (até algo em torno de dez impulsos). Mas todos os parâmetros de um impulso de corrente de uma descarga ascendente são inferiores àqueles das descargas descendentes. Uma carga superior de uma componente longa de descargas ascendentes não foi confirmada até a revisão desta Norma. Desta forma, os parâmetros da corrente de descargas ascendentes são considerados cobertos pelos valores máximos das descargas descendentes. Uma avaliação mais precisa dos parâmetros da corrente de descarga e da dependência destes parâmetros com relação à altura estão em estudo, tanto para descargas descendentes como para ascendentes.



A.2 Parâmetros da corrente de descarga

Os parâmetros da corrente de descarga na ABNT NBR 5419 são baseados nos resultados do “*International Council on Large Electrical Systems (CIGRE)*” fornecidos na Tabela A.1. A distribuição estatística destes parâmetros pode ser assumida como sendo a distribuição logarítmica normal. O valor médio μ e a dispersão σ log correspondentes constam na Tabela A.2, e a função de distribuição é apresentada na Figura A.5. Com base nisto, a probabilidade de ocorrência de qualquer valor de cada parâmetro pode ser determinada.

Uma relação de polaridade de 10 % de descargas positivas e 90 % negativas é assumida. A relação de polaridade é função do local. Se nenhuma informação é disponível, é recomendada a relação fornecida.

Os valores da probabilidade de ocorrência de valores de pico da corrente de descarga que excedem os valores previamente considerados estão descritos na Tabela A.3.

Tabela A.1 – Valores tabulados dos parâmetros da corrente das descargas obtidos do CIGRE (Electra No. 41 ou No. 69*)[9], [10]

Parâmetro	Valor fixado para NP I	Valores			Tipo de componente da descarga	Linha na Figura A.5
		95 %	50 %	5 %		
I (kA)		4 ^a	20 ^a	90	Primeira curta negativa ^b	1A+1B
	50	4,9	11,8	28,6	Subsequente negativa curta ^b	2
	200	4,6	35	250	Primeira curta positiva (singela)	3
Qflash (C)		1,3	7,5	40	Descarga negativa	4
	300	20	80	350	Descarga positiva	5
Qcurta (C)		1,1	4,5	20	Primeira curta negativa	6
		0,22	0,95	4	Subsequente negativa curta	7
	100	2	16	150	Primeira curta positiva (singela)	8
W/R (kJ/Ω)		6	55	550	Primeira curta negativa	9
		0,55	6	52	Subsequente curta negativa	10
	10 000	25	650	15 000	Primeira curta positiva	11
di/dt _{máx} (kA/μs)		9,1	24,3	65	Primeira curta negativa ^b	12
		9,9	39,9	161,5	Subsequente curta negativa ^b	13
	20	0,2	2,4	32	Primeira curta positiva	14
di/dt _{30/90 %} (kA/μs)	200	4,1	20,1	98,5	Subsequente curta negativa ^b	15
Qlonga (C)	200				Longa	
Tlonga (s)	0,5				Longa	
Duração da frente de onda (μs)		1,8	5,5	18	Primeira curta negativa	
		0,22	1,1	4,5	Subsequente curta negativa	
		3,5	22	200	Primeira curta positiva (singela)	
Duração da componente (μs)		30	75	200	Primeira curta negativa	
		6,5	32	140	Subsequente curta negativa	
		25	230	2 000	Primeira curta positiva (singela)	

Tabela A.1 (continuação)

Parâmetro	Valor fixado para NP I	Valores			Tipo de componente da descarga	Linha na Figura A.5
		95 %	50 %	5 %		
Intervalo de tempo (ms)		7	33	150	Múltiplos negativos	
Duração total da descarga (ms)		0,15	13	1100	Descarga negativa (completa)	
		31	180	900	Descarga negativa (sem o impulso singelo)	
		14	85	500	Descarga positiva	

^a Os valores $I = 4 \text{ kA}$ e $I = 20 \text{ kA}$ correspondem às probabilidades de 98 % e 80 %, respectivamente.
^b Parâmetros e valores relevantes descritos na Electra N° 69 [10].

Tabela A.2 – Distribuição logarítmica normal dos parâmetros da corrente das descargas atmosféricas – Média μ e dispersão σ_{\log} calculados para 95 % e 5 % dos valores a partir do CIGRE (Electra No. 41 ou No. 69) [9], [10]

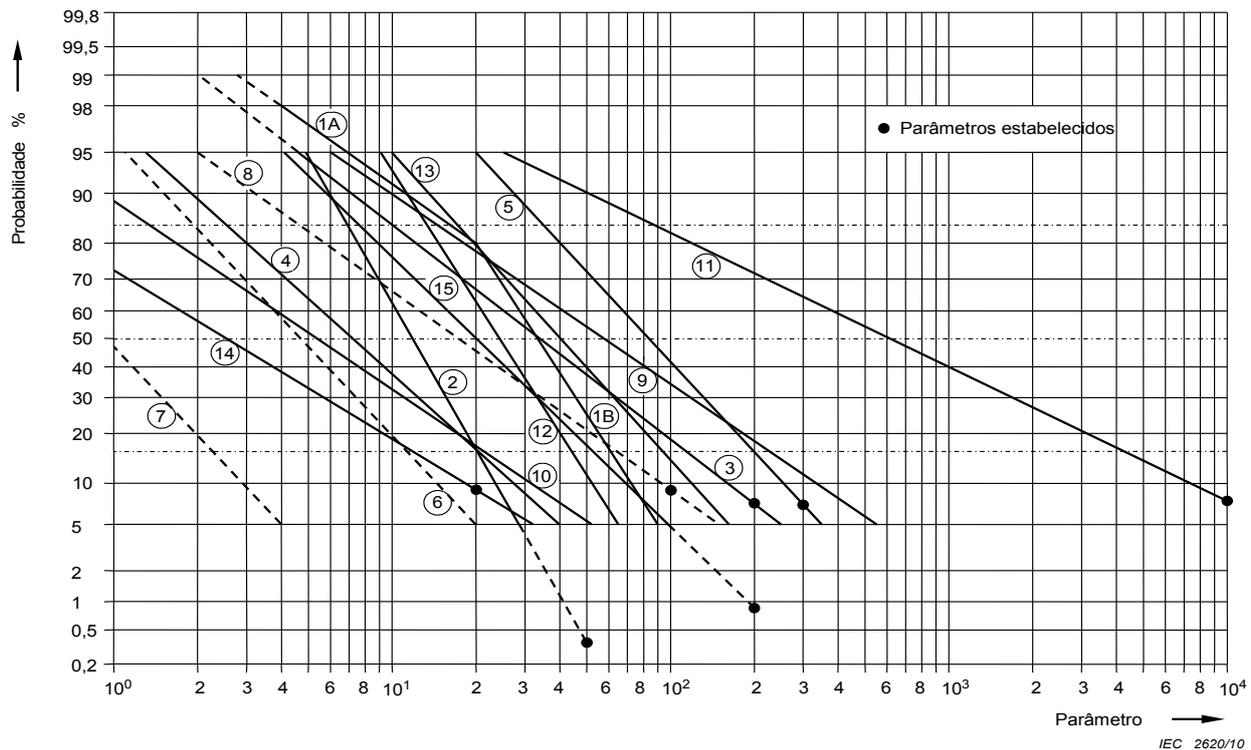
Parâmetro	Média μ	Dispersão σ_{\log}	Tipo de componente da descarga	Linha na Figura A.5
I (kA)	(61,1)	0,576	Primeira curta negativa (80 %) ^b	1A
	33,3	0,263	Primeira curta negativa (80 %) ^b	1B
	11,8	0,233	Subsequente curta negativa ^b	2
	33,9	0,527	Primeira curta positiva (singela)	3
Q_{flash} (C)	7,21	0,452	Descarga negativa	4
	83,7	0,378	Descarga positiva	5
Q_{curta} (C)	4,69	0,383	Primeira curta negativa	6
	0,938	0,383	Subsequente curta negativa	7
	17,3	0,570	Primeira curta positiva (singela)	8
W/R (kJ/ Ω)	57,4	0,596	Primeira curta negativa	9
	5,35	0,600	Subsequente curta negativa	10
	612	0,844	Primeira curta positiva	11
$di/dt_{\text{máx}}$ (kA/ μs)	24,3	0,260	Primeira curta negativa ^b	12
	40,0	0,369	Subsequente curta negativa ^b	13
	2,53	0,670	Primeira curta positiva	14
$di/dt_{30/90}$ % (kA/ μs)	20,1	0,420	Subsequente curta negativa ^b	15
Q_{longa} (C)	200		Longa	
T_{longa} (s)	0,5		Longa	
Duração da frente de onda (μs)	5,69	0,304	Primeira curta negativa	
	0,995	0,398	Subsequente curta negativa	
	26,5	0,534	Primeira curta positiva (singela)	
Duração da componente da descarga (μs)	77,5	0,250	Primeira curta negativa	
	30,2	0,405	Subsequente curta negativa	

Tabela A.2 (continuação)

Parâmetro	Média μ	Dispersão σ_{\log}	Tipo de componente da descarga	Linha na Figura A.5
	224	0,578	Primeira curta positiva (singela)	
Intervalo de tempo (ms)	32,4	0,405	Múltiplas negativas	
Duração total da descarga (ms)	12,8	1,175	Descarga negativa (todos os tipos)	
	167	0,445	Descarga negativa (sem o impulso singelo)	
	83,7	0,472	Descarga positiva	
<p>^a $\sigma_{\log} = \log(X_{16} \%) - \log(X_{50} \%)$, onde X é o valor do parâmetro.</p> <p>^b Parâmetros e valores relevantes descritos na Electra N° 69 [10].</p>				

Tabela A.3 – Valores da probabilidade P em função da corrente da descarga I

I (kA)	P
0	1
3	0,99
5	0,95
10	0,9
20	0,8
30	0,6
35	0,5
40	0,4
50	0,3
60	0,2
80	0,1
100	0,05
150	0,02
200	0,01
300	0,005
400	0,002
600	0,001



NOTA Para a numeração das curvas, ver Tabelas A.1 e A.2.

Figura A.5 – Distribuição cumulativa de frequência dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas (linhas com valores de 95 % a 5 %)

Todos os valores estabelecidos para os níveis de proteção NP fornecidos nesta Norma referem-se tanto a descargas ascendentes como descendentes.

NOTA Os valores dos parâmetros das descargas são geralmente obtidos por medições efetuadas em estruturas de grande altura. A distribuição estatística dos valores de pico da corrente de descarga, sem considerar o efeito das estruturas de grande altura, pode ser obtida de estimativas dos sistemas de localização de descargas.

A.3 Estabelecendo os parâmetros máximos da corrente de descarga para o nível de proteção NP I

A.3.1 Impulso positivo

Os efeitos mecânicos das descargas estão relacionados com a corrente de pico (I) e com a energia específica (W/R). Os efeitos térmicos estão relacionados com a energia específica (W/R) quando ocorre um acoplamento resistivo e com a carga (Q) quando ocorrem centelhamentos na instalação. Sobretensões e centelhamentos perigosos causados por acoplamento indutivo estão relacionados com a taxa média de inclinação (di/dt) da frente de onda da corrente da descarga.

Os parâmetros individuais I , Q , W/R , di/dt tendem a ser dominantes em cada mecanismo de defeito. Recomenda-se que isto seja levado em consideração por ocasião do estabelecimento dos procedimentos de ensaios.



A.3.2 Impulso positivo e componente longa

Os valores I , Q e W/R relacionados com os efeitos mecânicos e térmicos são determinados a partir de descargas positivas, pois mesmo sendo menos frequentes, seus valores a 10 % são bem mais elevados que aqueles correspondentes aos valores para 1 % das descargas negativas. Da Figura A.5 (linhas 3, 5, 8, 11 e 14), os seguintes valores com probabilidades inferiores a 10 % podem ser obtidos:

- a) $I = 200 \text{ kA}$;
- b) $Q_{\text{flash}} = 300 \text{ C}$;
- c) $Q_{\text{curta}} = 100 \text{ C}$;
- d) $W/R = 10 \text{ MJ}/\Omega$;
- e) $di/dt = 20 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

Para um primeiro impulso positivo conforme a Figura A.1, estes valores fornecem uma primeira aproximação do tempo de frente:

$$T_1 = I / (di/dt) = 10 \mu\text{s} \quad (T_1 \text{ é um parâmetro de interesse secundário}).$$

Para uma componente com decaimento exponencial, as fórmulas seguintes são aplicáveis para o cálculo aproximado da carga e da energia ($T_1 \ll T_2$):

$$Q_{\text{curta}} = (1/0,7) \times I \times T_2$$

$$W/R = (1/2) \times (1/0,7) \times I^2 \times T_2$$

Estas fórmulas, associadas aos valores anteriormente citados, conduzem a uma primeira aproximação do tempo necessário até meio valor:

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

Para a componente longa, sua carga pode ser aproximadamente calculada por:

$$Q_{\text{longa}} = Q_{\text{flash}} - Q_{\text{curta}} = 200 \text{ C}$$

Sua duração, segundo a Figura A.2, pode ser estimada a partir dos dados da Tabela A.1, como:

$$T_{\text{longa}} = 0,5 \text{ s}$$

A.3.3 Primeiro impulso negativo

Para alguns efeitos de acoplamento indutivo, o primeiro impulso negativo leva a tensões induzidas mais altas, por exemplo, nos cabos no interior de dutos para cabeamento feitos de concreto armado. Da Figura A.5 (linhas 1 e 12), os seguintes valores com probabilidades inferiores a 1 % podem ser utilizados:

- a) $I = 100 \text{ kA}$;
- b) $di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$.



Para o primeiro impulso negativo de acordo com a Figura A.1, estes valores dão uma primeira aproximação para os seus tempos de frente de onda de:

$$T_1 = I / (di/dt) = 1,0 \mu\text{s}$$

Seu tempo até o meio valor pode ser estimado da duração da primeira componente de impulsos negativos:

$$T_2 = 200 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ é um parâmetro de interesse secundário})$$

A.3.4 Impulso subsequente

O valor máximo da taxa média de variação da corrente di/dt , relacionado com centelhamentos perigosos devido à acoplamento indutivo, é determinado a partir de componentes curtas subsequentes de descargas negativas (pois seus valores com 1 % de ocorrência são um pouco mais elevados que os valores com 1 % de ocorrência das primeiras componentes negativas ou que os valores correspondentes com 10 % de ocorrência das descargas positivas). A partir da Figura A.5 (linhas 2 e 15), os valores seguintes podem ser obtidos com probabilidades inferiores a 1 %:

- a) $I = 50 \text{ kA}$;
- b) $di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

Para um impulso subsequente conforme a Figura A.1, estes valores fornecem uma primeira aproximação do tempo de frente de onda:

$$T_1 = I / (di/dt) = 0,25 \mu\text{s}$$

Seu tempo até meio valor pode ser estimado da duração das componentes dos impulsos subsequentes negativos:

$$T_2 = 100 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ é um parâmetro de interesse secundário})$$

A.4 Estabelecendo os parâmetros mínimos da corrente das descargas

A eficácia de intercepção de um subsistema de captação depende dos valores mínimos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas e dos raios correspondentes da esfera rolante. As fronteiras geométricas de áreas protegidas contra quedas diretas de descargas atmosféricas podem ser determinadas pelo método da esfera rolante.

Segundo o modelo eletrogeométrico, o raio da esfera rolante r (distância final de salto) está relacionado com o valor de pico do primeiro impulso de corrente. Em um relatório de um grupo de trabalho do IEEE, a relação é fornecida como

$$r = 10 \times I^{0,65} \tag{A.1}$$

onde

- r é o raio da esfera rolante, expresso em metros (m);
- I é a corrente de pico, expresso em quiloampères (kA).



Para um dado raio da esfera rolante r , pode ser assumido que todas as descargas com valores de pico maiores que o valor de pico mínimo/correspondente são interceptadas pelos captosres naturais ou dedicados. Desta forma, a probabilidade para os valores de pico das primeiras componentes positivas e negativas, obtida da Figura A.5 (linhas 1A e 3), é assumida como sendo a probabilidade de interceptação. Levando em consideração a razão de polaridade de 10 % de descargas positivas e 90 % de descargas negativas, a probabilidade total de interceptação pode ser calculada (ver Tabela 5).



Anexo B (informativo)

Equação da corrente da descarga atmosférica em função do tempo para efeito de análise

As formas de onda da corrente:

- do primeiro impulso positivo 10/350 μ s;
- do primeiro impulso negativo 1/200 μ s;
- dos impulsos negativos subsequentes 0,25/100 μ s

podem ser definidas como:

$$i = \frac{I}{k} \times \frac{(t/T_1)^{10}}{1+(t/T_1)^{10}} \times \exp(-t/T_2) \quad (\text{B.1})$$

onde

I é o valor de pico da corrente;

k é o fator de correção para o valor de pico de corrente;

t é o tempo;

T_1 é a constante de tempo de frente;

T_2 é a constante de tempo de cauda.

Para as formas de onda da corrente do primeiro impulso positivo, primeiro impulso negativo e para os impulsos negativos subsequentes para diferentes NP, são aplicados os parâmetros dados na Tabela B.1. As curvas analíticas em função do tempo são mostradas nas Figuras B.1 a B.6.

Tabela B.1 – Parâmetros para a equação B.1

Parâmetros	Primeiro impulso positivo			Primeiro Impulso negativo			Impulso negativo subsequente		
	NP			NP			NP		
	I	II	I	I	II	III-IV	I	II	III-IV
I (kA)	200	150	50	100	75	50	50	37,5	25
k	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986	0,993	0,993	0,993
T_1 (μ s)	19,0	19	0,454	1,82	1,82	1,82	0,454	0,454	0,454
T_2 (μ s)	485	485	485	285	285	285	143	143	143

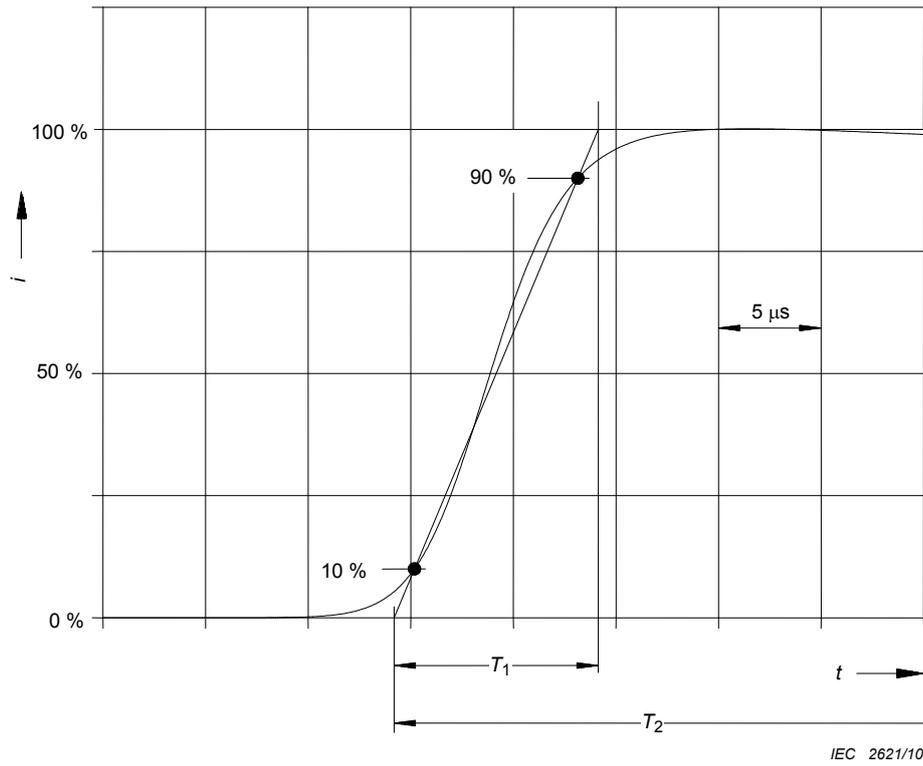


Figura B.1 – Forma de onda da elevação da corrente do primeiro impulso positivo

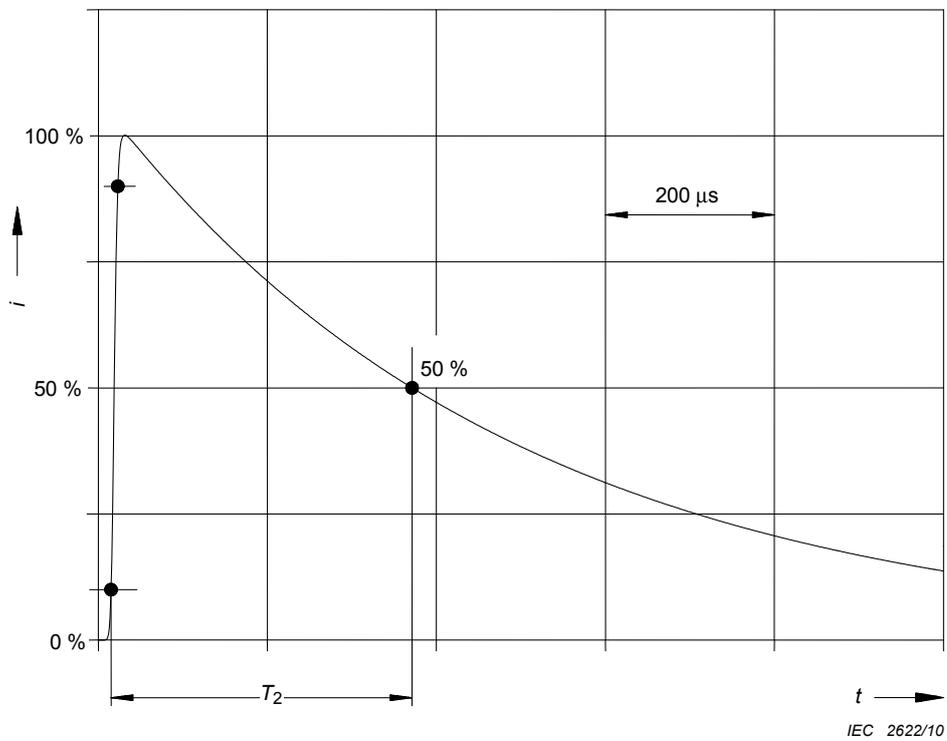


Figura B.2 – Forma de onda da cauda da corrente do primeiro impulso positivo

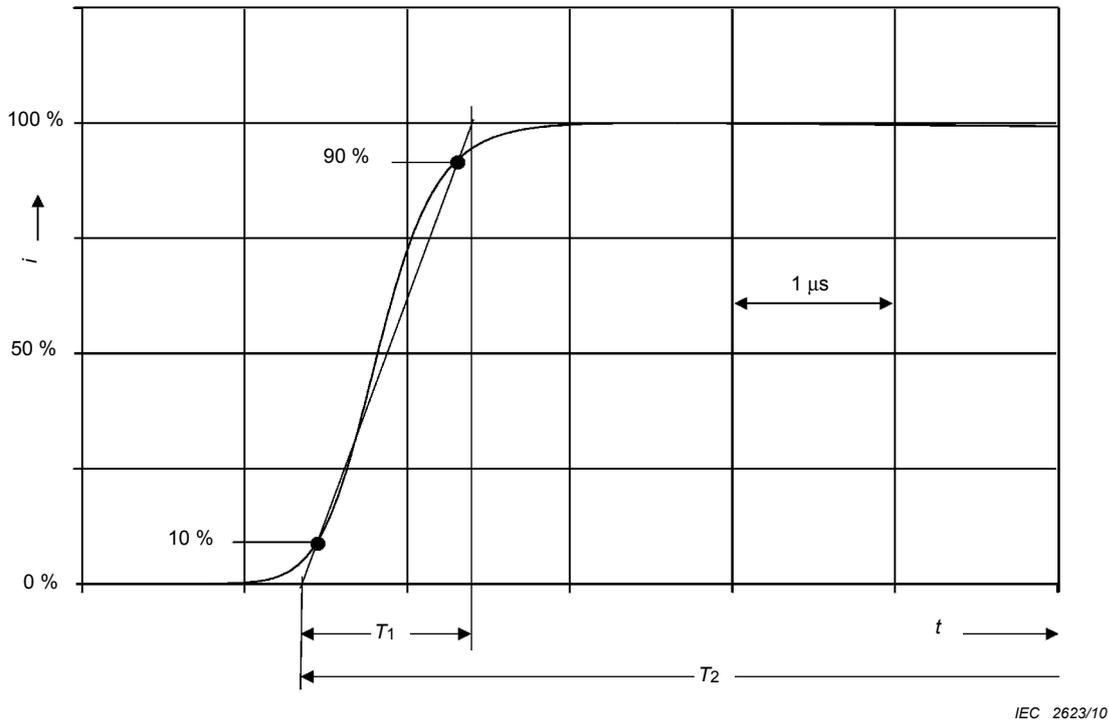


Figura B.3 – Forma de onda da elevação da corrente do primeiro impulso negativo

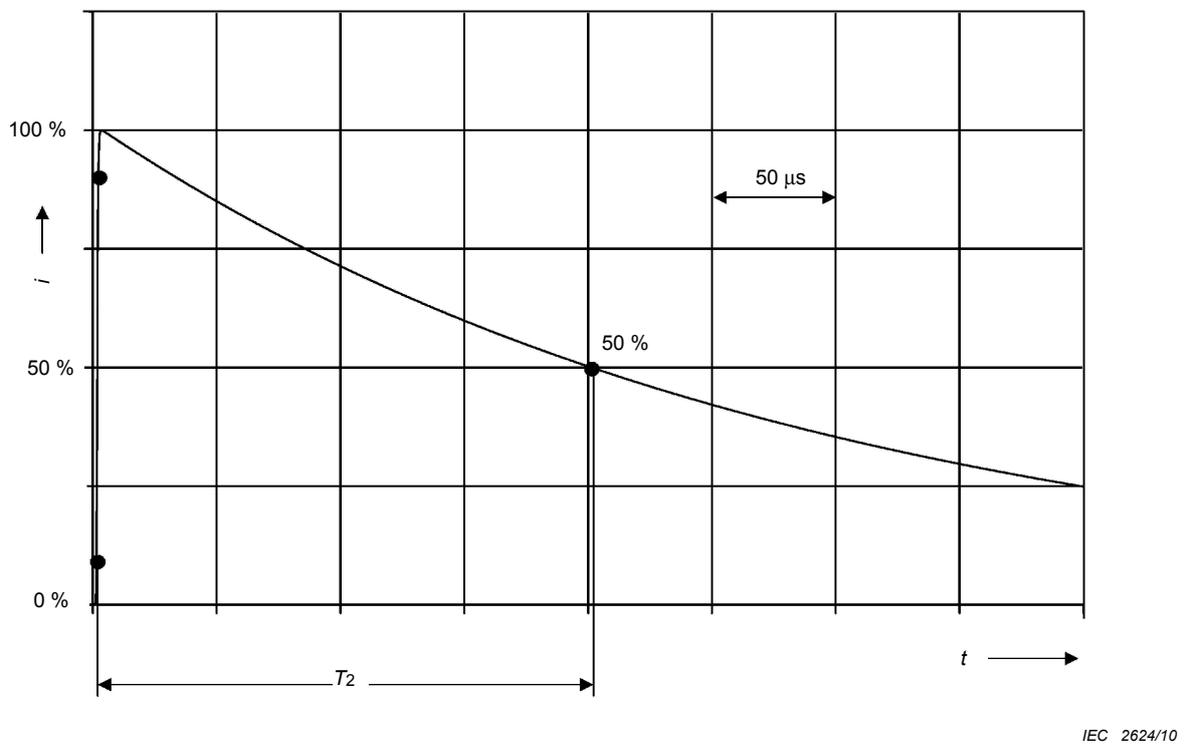


Figura B.4 – Forma de onda da cauda da corrente do primeiro impulso negativo

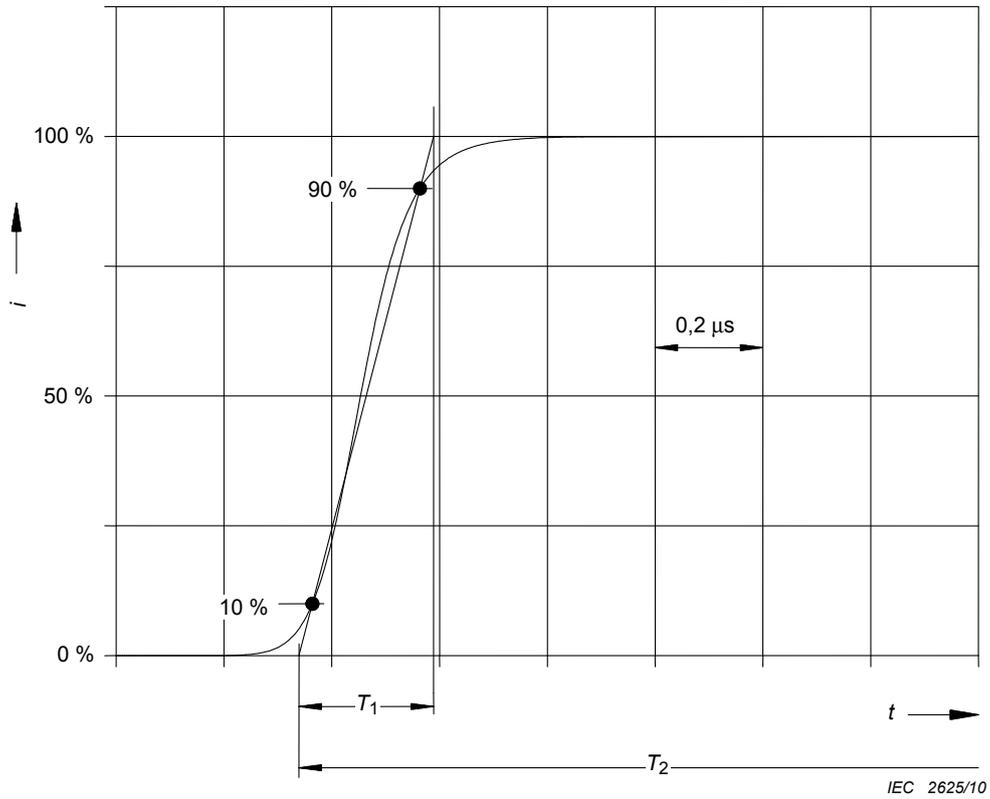


Figura B.5 – Forma de onda da elevação da corrente do impulso negativo subsequente

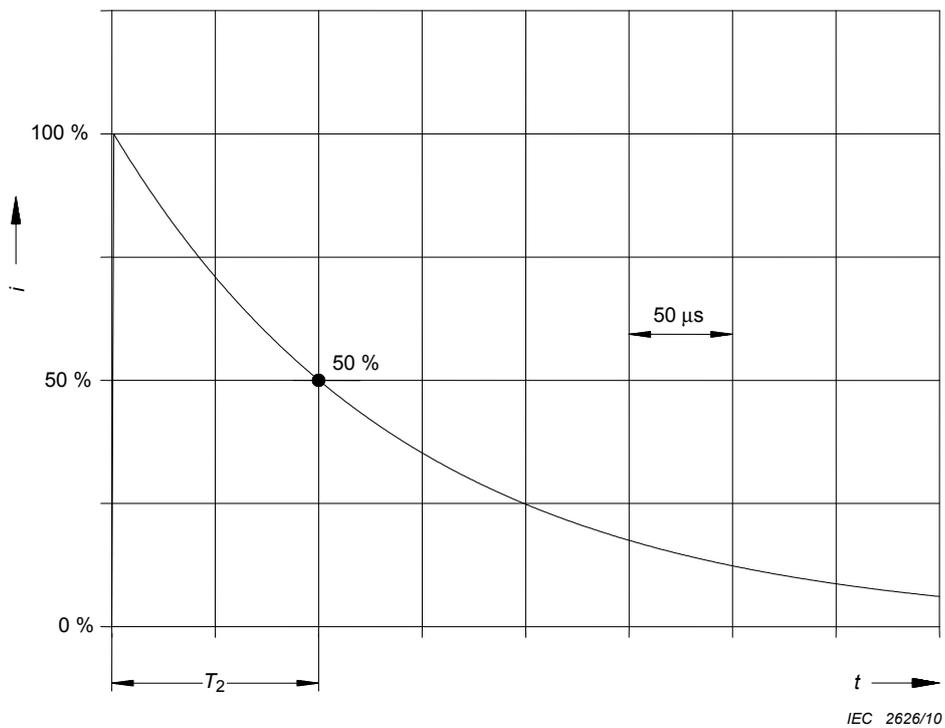


Figura B.6 – Forma de onda da cauda da corrente do impulso negativo subsequente

A componente longa pode ser descrita como uma forma de onda retangular com uma corrente média I e a duração T_{longa} de acordo com a Tabela 3.

A densidade da amplitude da corrente da descarga atmosférica (Figura B.7) pode ser derivada das curvas analíticas em função do tempo.

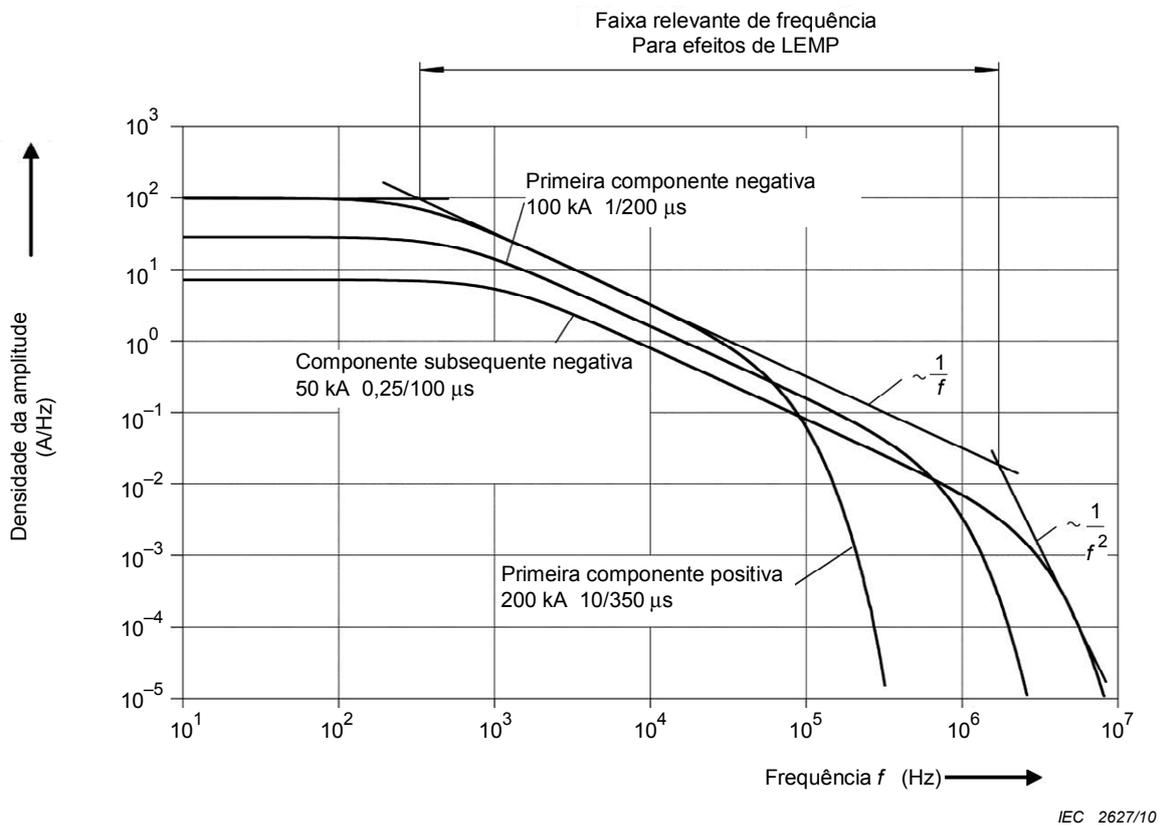


Figura B.7 – Densidade da amplitude da corrente da descarga atmosférica de acordo com o NP I



Anexo C (informativo)

Simulação da corrente da descarga atmosférica com a finalidade de ensaios

C.1 Geral

Se uma estrutura é atingida por uma descarga atmosférica, a corrente da descarga é distribuída pela estrutura. Ao ensaiar componentes individuais de proteção, recomenda-se que isto seja levado em consideração por meio da escolha apropriada dos parâmetros de ensaio para cada componente. Para esta finalidade, convém que seja feita uma análise do sistema.

C.2 Simulação da energia específica do primeiro impulso positivo e da carga da componente longa

Os parâmetros de ensaios são definidos nas Tabelas C.1 e C.2, e um exemplo de gerador de ensaio é mostrado na Figura C.1, o qual pode ser utilizado para simular a energia específica do primeiro impulso positivo combinada com a carga da componente longa.

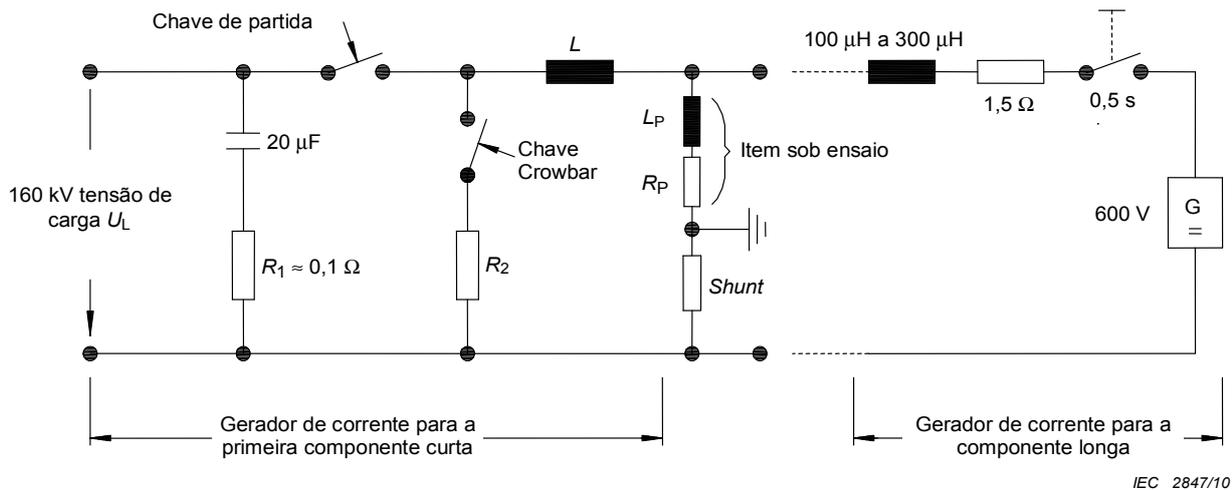
Os ensaios podem ser usados para avaliar a integridade mecânica, livre dos efeitos adversos de aquecimento e fusão.

Os parâmetros de ensaios relevantes para a simulação do primeiro impulso positivo (valor de pico de corrente I , a energia específica W/R , e a carga Q_{curta}) são dados na Tabela C.1. Recomenda-se que estes parâmetros sejam obtidos em um único impulso. Isto pode ser atingido por uma corrente com decaimento aproximadamente exponencial com T_2 na faixa de 350 μs .

Os parâmetros relevantes para a simulação da componente longa (carga Q_{longa} e duração T_{longa}) são dados na Tabela C.2.

Dependendo do item sob ensaio e dos mecanismos de danos esperados, os ensaios para o primeiro impulso positivo ou para a componente longa podem ser aplicados individualmente ou como um ensaio combinado, onde a componente longa segue o primeiro impulso imediatamente. Recomenda-se que ensaios para fusão com arco sejam feitos com ambas as polaridades.

NOTA O primeiro impulso negativo não é utilizado para os propósitos de ensaios.



NOTA Valores aplicáveis para NP I.

Figura C.1 – Exemplo de gerador de ensaio para simulação da energia específica do primeiro impulso positivo e da carga da componente longa

Tabela C.1 – Parâmetros de ensaios para o primeiro impulso positivo

Parâmetros de ensaio	NP			Tolerância %
	I	II	III-IV	
Valor de pico da corrente I (kA)	200	150	100	± 10
Carga Q_{curta} (C)	100	75	50	± 20
Energia específica W/R (MJ/ Ω)	10	5,6	2,5	± 35

Tabela C.2 – Parâmetros de ensaios para a componente longa

Parâmetros de ensaio	Nível de proteção			Tolerância %
	I	II	III-IV	
Carga Q_{longa} (C)	200	150	100	± 20
Duração T_{longa} (s)	0,5	0,5	0,5	± 10

C.3 Simulação da taxa de variação da frente de onda de corrente dos impulsos

A taxa de variação da corrente determina a tensão induzida magneticamente em laços instalados perto de condutores que conduzem as correntes das descargas atmosféricas.

A taxa de variação da corrente de um impulso é definida como a elevação da corrente Δi durante o tempo de elevação Δt (Figura C.2). Os parâmetros de ensaio pertinentes para a simulação desta taxa de variação de corrente são dados na Tabela C.3. Exemplos de geradores de ensaios são mostrados nas Figuras C.3 e C.4, os quais podem ser utilizados para simular a taxa de variação da frente de onda das correntes associadas às descargas atmosféricas diretas. A simulação pode ser feita para o primeiro impulso positivo e para o impulso subsequente negativo.

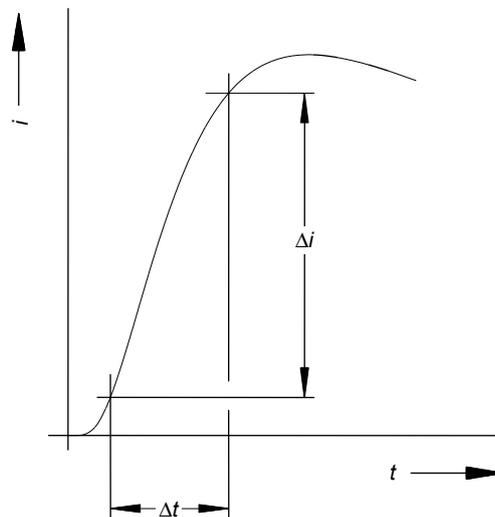
NOTA Esta simulação cobre a taxa de variação da frente de onda de corrente dos impulsos. A cauda da corrente não tem influência neste tipo de simulação.

A simulação de acordo com C.3 pode ser aplicada independentemente ou em combinação com a simulação de acordo com C.2.

Para informações adicionais sobre parâmetros de ensaios simulando os efeitos das descargas atmosféricas em componentes de SPDA, ver Anexo D.

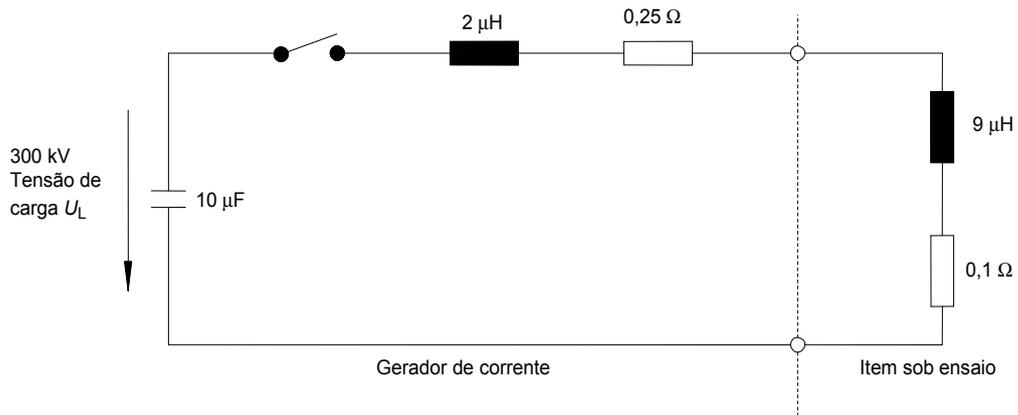
Tabela C.3 – Parâmetros de ensaios dos impulsos

Parâmetros de ensaio	NP			Tolerância %
	I	II	III-IV	
Primeiro impulso positivo				
Δi (kA)	200	150	100	± 10
Δt (μs)	10	10	10	± 20
Impulsos subsequentes negativos				
Δi (kA)	50	37,5	25	± 10
Δt (μs)	0,25	0,25	0,25	± 20



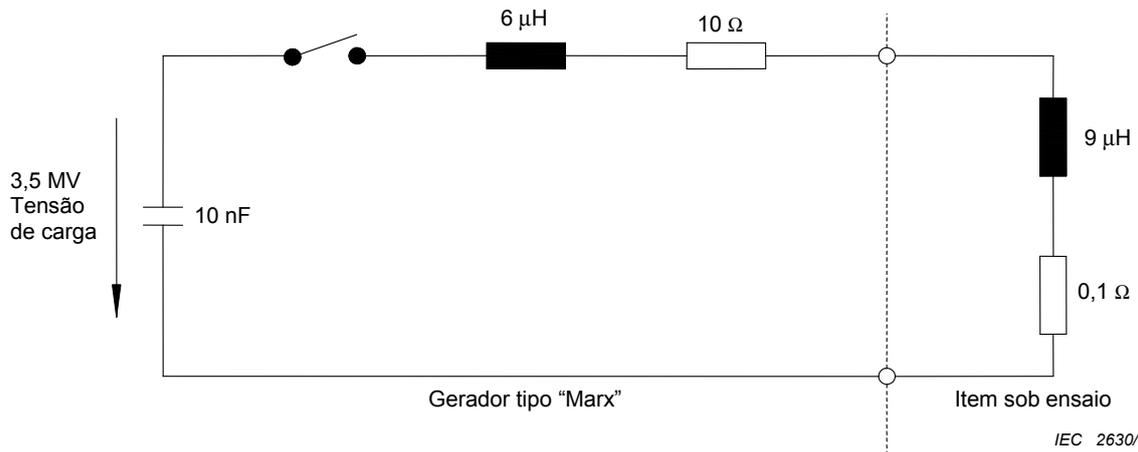
IEC 2628/10

Figura C.2 – Definição para a taxa de variação da corrente de acordo com a Tabela C.3



NOTA Valores aplicáveis para NP I.

Figura C.3 – Exemplo de gerador de ensaio para a simulação da taxa de variação da frente de onda do primeiro impulso positivo para itens sob ensaio de grande porte



NOTA Valores aplicáveis para NP I.

Figura C.4 – Exemplo de gerador de ensaio para a simulação da taxa de variação da frente de onda dos impulsos subsequentes negativos para itens sob ensaio de grande porte



Anexo D (informativo)

Parâmetros de ensaio para simular os efeitos da descarga atmosférica sobre os componentes do SPDA

D.1 Geral

Este Anexo fornece os parâmetros básicos que podem ser utilizados em laboratórios para simulação dos efeitos das descargas atmosféricas. Este Anexo cobre todos os componentes de um SPDA sujeitos a toda ou a maior parte da corrente das descargas, e recomenda-se que seja utilizado em conjunto com as normas que especificam os requisitos e os ensaios para cada componente específico.

NOTA Parâmetros relevantes a certos aspectos do sistema (por exemplo, a coordenação dos dispositivos de proteção contra surtos) não são considerados neste Anexo.

D.2 Parâmetros de corrente relevantes ao ponto de impacto

Os parâmetros das correntes das descargas atmosféricas que exercem maior influência na integridade física de um SPDA são, em geral, o valor de pico da corrente I , a carga Q , a energia específica W/R , a duração T e a taxa de variação média da corrente di/dt . Cada parâmetro tende a dominar diferentes mecanismos de falha, como analisado em detalhe nas seções seguintes. Os parâmetros de corrente a serem considerados para ensaios são combinações destes valores, selecionados para representar, em laboratório, o mecanismo de falha real da parte do SPDA sob ensaio. O critério para a seleção das grandezas importantes são dadas é dado em D.5.

A Tabela D.1 apresenta os valores máximos de I , Q , W/R , T e di/dt a serem considerados para ensaios em função do nível de proteção requerido.



Tabela D.1 – Resumo dos parâmetros da descarga atmosférica a serem considerados nos cálculos dos valores de ensaio para diferentes componentes do SPDA e para diferentes níveis de proteção

Componente	Problema principal	Parâmetros das descargas atmosféricas				Notas
		NP	Q_{longa} [C]	T		
Captação	Erosão no ponto de impacto (por exemplo, chapas metálicas finas)	I	200	< 1 s (aplicar Q_{longa} em um pulso único)		Um dimensionamento conforme o PN 03:064.10-100/3 torna estes ensaios supérfluos
		II	150			
		III - IV	100			
Captação e descidas	Aquecimento ôhmico	NP	W/R [kJ/Ω]	T		
		I	10 000	Aplicar W/R em uma configuração adiabática		
		II	5 600			
	Efeitos mecânicos	NP	/ [kA]	W/R [kJ/Ω]		
		I	200	10 000		
		II	150	5 600		
Componentes de conexão	Efeitos combinados (térmicos, mecânicos e de arco)	III - IV	100	2 500		
		NP	/ [kA]	W/R [kJ/Ω]	T	
		I	200	10 000	< 2 ms	
		II	150	5 600	(aplicar / e W/R em um pulso único)	
		III - IV	100	2 500		
		NP	Q_{longa} [C]	T		
Aterramento	Erosão no eletrodo de aterramento	I	200	< 1 s (aplicar Q_{longa} em pulso único)		Dimensionamento geralmente determinado por aspectos mecânicos e químicos (corrosão etc.)
		II	150			
		III - IV	100			

Tabela D.1 (continuação)

Componente	Problema principal	Parâmetros das descargas atmosféricas					Notas
		NP	I [kA]	Q _{curta} [C]	W/R [kJ/Ω]	di/dt [kA/μs]	
DPS contendo centelhador	Efeitos combinados (térmicos, mecânicos e de arco)	I	200	100	10 000	200	Aplicar I, Q _{curta} e W/R em um pulso único (duração T < 2 ms); aplicar di/dt em um pulso separado
		II	150	75	5 600	150	
		III - IV	100	50	2 500	100	
DPS contendo blocos de resistores de óxido metálico	Efeitos de energia (sobrecarga)	NP	Q _{curta} [C]				Ambos os aspectos necessitam ser verificados
		I	100				
		II	75				
	Efeitos dielétricos (descargas disruptivas/trincas)	NP	I [kA]	T			Ensaio separados podem ser considerados
		I	200	< 2 ms			
		II	150	(aplicar I e W/R em um único pulso)			
III - IV	100						

D.3 Distribuição da corrente

Os parâmetros dados na Tabela D.1 são pertinentes à corrente do raio no ponto de impacto. Na realidade, a corrente flui para a terra por mais de um caminho, uma vez que, normalmente, há vários condutores de descidas e condutores naturais em um SPDA externo. Além disso, diferentes linhas e tubulações metálicas adentram uma estrutura protegida (tubulações de água e gás, linhas de energia e telecomunicações etc.). Para a determinação dos parâmetros da corrente real fluindo em componentes específicos em um SPDA, a distribuição da corrente tem que ser levada em conta. Preferencialmente, a amplitude da corrente e a forma de onda por meio de um componente em um local específico do SPDA devem ser avaliadas. Quando uma avaliação individual não for possível, os parâmetros de corrente podem ser avaliados por meio dos seguintes procedimentos.

Para a avaliação da distribuição da corrente em um SPDA externo, deve-se adotar o fator de configuração k_c (ver PN 03:064.10-100/3, Anexo C). Este fator fornece uma estimativa da distribuição da corrente da descarga atmosférica fluindo pelos condutores de descidas de um SPDA externo sob as piores condições.

Para a avaliação da distribuição da corrente na presença de partes condutoras externas e linhas de energia e telecomunicações conectadas à estrutura protegida, devem ser adotados os valores aproximados de k_e e k'_e considerados no Anexo E.

A abordagem descrita acima é aplicável para a avaliação do valor de pico da corrente que flui por um caminho particular para a terra. O cálculo dos outros parâmetros da corrente é fornecido a seguir:

$$I_p = k \times I \quad (D.1)$$

$$Q_p = k \times Q \quad (D.2)$$

$$(W/R)_p = k^2 \times (W/R) \quad (D.3)$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_p = k \times \left(\frac{di}{dt}\right) \quad (D.4)$$

onde

x_p é o valor da quantidade considerada (corrente de pico I_p , carga Q_p , energia específica $(W/R)_p$, taxa de variação da corrente $(di/dt)_p$), pertinente a um caminho particular para a terra "p";

x é o valor de uma quantidade considerada (corrente de pico I , carga Q , energia específica (W/R) , taxa de variação da corrente (di/dt)), pertinente à corrente total da descarga atmosférica;

k é o fator de distribuição da corrente;

k_c para SPDA externo (ver PN 03:064.10-100/3, Anexo C)

k_e, k'_e na presença de partes condutoras externas e linhas de energia e de telecomunicações que adentram a estrutura protegida (ver Anexo E).



D.4 Efeitos da corrente da descarga atmosférica e possíveis danos

D.4.1 Efeitos térmicos

Os efeitos térmicos associados às correntes da descarga são relativos ao aquecimento resistivo causado pela circulação de corrente elétrica por meio de condutores e pelo aquecimento gerado por arcos no ponto de impacto e em todas as partes isoladas de um SPDA envolvidas no desenvolvimento de arcos (por exemplo, em centelhadores).

D.4.1.1 Aquecimento resistivo

O aquecimento resistivo aparece em qualquer componente de um SPDA conduzindo uma parte significativa da corrente da descarga atmosférica. A área mínima da seção dos condutores deve ser suficiente para prevenir sobreaquecimento dos condutores a um nível que possa representar perigo de incêndio nas imediações. Apesar dos aspectos térmicos descritos em D.4.1, a suportabilidade mecânica e os critérios de durabilidade também devem ser considerados para as partes expostas às condições atmosféricas e/ou corrosão. A avaliação do aquecimento do condutor devido à corrente da descarga atmosférica é algumas vezes necessária quando problemas possam surgir devido ao risco de ferimentos às pessoas e danos de fogo ou explosão.

A seguir, são dadas orientações para se avaliar a elevação de temperatura dos condutores submetidos às correntes da descarga atmosférica.

Uma aproximação analítica é apresentada a seguir:

A potência instantânea dissipada como aquecimento em um condutor devido à corrente elétrica é:

$$P(t) = i^2(t) \times R \quad (D.5)$$

A energia térmica gerada por um pulso completo da descarga atmosférica é, portanto, a resistência ôhmica de um caminho da descarga por meio de um componente considerado do SPDA multiplicado pela energia específica do pulso, sendo expressa em joule ou watt \times segundo.

$$W = R \times \int i^2(t) \times dt \quad (D.6)$$

Em uma descarga atmosférica, as fases de alta energia específica da descarga têm durações tão curtas que a geração de qualquer aquecimento na estrutura não pode ser significativamente dispersa durante o evento, sendo o fenômeno, portanto, considerado adiabático.

A temperatura dos condutores de um SPDA pode ser avaliada como a seguir:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\exp\left(\frac{W/R \times \alpha \times \rho_0}{q^2 \times \gamma \times C_w}\right) - 1 \right] \quad (D.7)$$

Os valores característicos dos parâmetros físicos descritos na Equação (D.7), para diferentes materiais utilizados em SPDA, são dados na Tabela D.2, onde:

$\theta - \theta_0$ é a elevação de temperatura dos condutores, expressa em Kelvins (K)

α é o coeficiente de temperatura da resistência (1/K)

W/R é a energia específica do impulso de corrente, expressa em Joule por Ohms (J/ Ω)

ρ_0 é a resistência ôhmica específica de um condutor na temperatura ambiente, expressa em Ohm . metro (Ω m)

- q é a área da seção de um condutor, expressa em metros quadrados (m^2)
- γ é a densidade do material, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3)
- C_w é a capacidade térmica, expressa em Joule por quilograma . Kelvin (J/kgK)
- C_s é o calor latente da fusão, expresso em Joule por quilograma (J/kg)
- θ_s é a temperatura de fusão, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$)

Tabela D.2 – Características físicas de materiais típicos utilizados em componentes de SPDA

Grandeza	Material			
	Alumínio	Aço doce	Cobre	Aço inoxidável ^a
ρ_0 [Ωm]	29×10^{-9}	120×10^{-9}	$17,8 \times 10^{-9}$	700×10^{-9}
α [1/K]	$4,0 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-3}$	$3,92 \times 10^{-3}$	$0,8 \times 10^{-3}$
γ [kg/m^3]	2 700	7 700	8 920	8 000
θ_s [$^{\circ}C$]	658	1 530	1 080	1 500
C_s [J/kg]	397×10^3	272×10^3	209×10^3	–
C_w [J/kgK]	908	469	385	500

^a Material austenítico (aço de alta liga para suportar fortes desgastes por impacto produzido nos equipamentos de mineração, de construção, movimentação de terra, etc. Em geral, o austenítico é usado só para peças fundidas de forma simples), não magnético.

A Tabela D.3 apresenta, como um exemplo de aplicação desta equação, a elevação da temperatura de condutores feitos de diferentes materiais, em função de W/R e da área da seção do condutor.

Tabela D.3 – Elevação de temperatura para condutores de diferentes seções em função de W/R

Seção (mm^2)	Material											
	Alumínio			Aço doce			Cobre			Aço inoxidável ^a		
	W/R (MJ/ Ω)			W/R (MJ/ Ω)			W/R (MJ/ Ω)			W/R (MJ/ Ω)		
	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10
4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	564	–	–	–	–	–	169	542	–	–	–	–
16	146	454	–	1120	–	–	56	143	309	–	–	–
25	52	132	283	211	913	–	22	51	98	940	–	–
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190

^a Material austenítico (aço de alta liga para suportar fortes desgastes por impacto produzido nos equipamentos de mineração, de construção, movimentação de terra, etc. Em geral, o austenítico é usado só para peças fundidas de forma simples), não magnético.

A descarga atmosférica típica é caracterizada por uma descarga curta (tempo até o meio valor de algumas centenas de microssegundos) e um alto valor de pico de corrente. Sob tais circunstâncias, convém que o efeito pelicular também seja levado em consideração. Entretanto, na maioria dos casos práticos referentes aos componentes do SPDA, as características dos materiais (permeabilidade magnética dinâmica do condutor do SPDA) e as configurações geométricas (área da seção do condutor do SPDA) reduzem a contribuição do efeito pelicular na elevação de temperatura do condutor a níveis desprezíveis.

O componente mais importante da descarga atmosférica para este mecanismo de aquecimento é a primeira descarga de retorno.

D.4.1.2 Danos térmicos no ponto de impacto

Danos térmicos no ponto de impacto podem ser observados em todos os componentes de um SPDA nos quais o desenvolvimento de um arco acontece, isto é, nos sistemas de captação, em centelhadores etc.

A fusão e a erosão de materiais podem ocorrer no ponto de impacto. Na realidade, na região de contato entre arco e metal, há um grande aumento térmico oriundo desta região do arco, assim como uma concentração de aquecimento ôhmico em função da alta densidade de corrente no metal. A maioria da energia térmica é gerada na superfície do metal ou muito próxima a esta. O calor gerado nas proximidades da região de contato do arco excede o calor que pode ser absorvido pelo metal por condução, e o excesso é perdido na fusão ou vaporização do metal ou irradiado. A severidade do processo está relacionada à amplitude da corrente e à sua duração.

D.4.1.2.1 Geral

Vários modelos teóricos têm sido desenvolvidos para o cálculo dos efeitos térmicos no ponto de impacto do canal da descarga atmosférica em superfícies metálicas. Este documento, por motivo de simplicidade, apresenta somente o modelo de queda de tensão “anodo-catodo”. A aplicação deste modelo é particularmente efetiva para chapas de metal finas. Em todos os casos, ele fornece resultados conservativos uma vez que é postulado que toda a energia injetada no ponto de impacto do raio é utilizada para fundir ou vaporizar o material condutor, desprezando a difusão do calor no metal. Outros modelos introduzem a dependência dos danos no ponto de impacto da descarga com a duração do impulso de corrente.

D.4.1.2.2 Modelo da queda de tensão “anodo-catodo”

Assume-se que a entrada de energia W na região de contato do arco é dada pela queda de tensão “anodo-catodo” $u_{a,c}$ multiplicada pela carga Q da corrente da descarga atmosférica:

$$W = \int_0^{\infty} u_{a,c}(t) \times i(t) \times dt = u_{a,c} \times \int_0^{\infty} |i(t)| \times dt \quad (D.8)$$

Como $u_{a,c}$ é razoavelmente constante na faixa de corrente aqui considerada, a carga da corrente da descarga (Q) é a principal responsável pela conversão de energia na região de contato do arco.

A queda de tensão “anodo-catodo” $u_{a,c}$ tem um valor de algumas dezenas de volts.

Em uma abordagem simplificada, assume-se que toda a energia desenvolvida na região de contato do arco é utilizada somente para a fusão. A seguinte Equação (D.9) utiliza esta suposição, mas leva a um superestimado volume de metal fundido.



$$V = \frac{u_{a,c} Q}{\gamma} \frac{1}{c_w (\theta_s - \theta_u) + c_s} \quad (D.9)$$

onde

V é o volume de metal fundido, expresso em metros cúbicos (m^3)

$u_{a,c}$ é a queda de tensão “anodo-catodo” (assumido como constante), expressa em volts [V]

Q é a carga da corrente da descarga, expressa em coulombs [C]

γ é a densidade do material, expressa em quilograma por metros cúbicos [kg/m^3]

C_w é a capacidade térmica, expressa em joule por quilograma . kelvin [J/kgK]

θ_s é a temperatura de fusão, expressa em graus celcius [$^{\circ}C$]

θ_u é a temperatura ambiente, expressa em graus celcius [$^{\circ}C$]

C_s é o calor latente de fusão, expressa em joules por quilogramas [J/kg]

Os valores característicos dos parâmetros físicos descritos na Equação (D.9), para diferentes materiais utilizados em SPDA, estão registrados na Tabela D.2.

Basicamente, a carga a ser considerada é a soma da carga da corrente de retorno e da corrente de continuidade. Experiências de laboratório têm mostrado que os efeitos da corrente de retorno têm menor importância se comparados com os efeitos da corrente de continuidade.

D.4.2 Efeitos mecânicos

Os efeitos mecânicos causados pela corrente da descarga atmosférica dependem da amplitude e da duração da corrente, assim como pelas características elásticas da estrutura mecânica afetada. Dependem também das forças de atrito que atuam entre as partes do SPDA em contato uma com as outras, se pertinente.

D.4.2.1 Interação magnética

Forças magnéticas ocorrem entre dois condutores conduzindo correntes ou onde um condutor conduzindo corrente forma um ângulo ou um laço.

Quando uma corrente flui por meio de um circuito, a amplitude das forças eletrodinâmicas desenvolvidas nas várias posições do circuito depende da amplitude da corrente da descarga atmosférica e da configuração geométrica do circuito. O efeito mecânico destas forças, entretanto, depende não somente das suas amplitudes, mas também da forma geral da corrente, sua duração, assim como da configuração geométrica da instalação.

D.4.2.1.1 Forças eletrodinâmicas

Forças eletrodinâmicas desenvolvidas pela corrente “ i ” fluindo por condutores paralelos por um longo trecho de comprimento l e distância d (laço longo e estreito), como mostrado na Figura D.1, podem ser calculadas aproximadamente pela equação a seguir:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \times i^2(t) \times \frac{l}{d} = 2 \times 10^{-7} \times i^2(t) \times \frac{l}{d} \quad (D.10)$$

onde

$F(t)$ é a força eletrodinâmica, expressa em newtons (N);

i é a corrente, expressa em ampères (A);

μ_0 é a permeabilidade magnética do ar ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m);

l é o comprimento dos condutores, expresso em metros (m);

d é a distância entre os trechos retos paralelos dos condutores, expresso em metros (m).

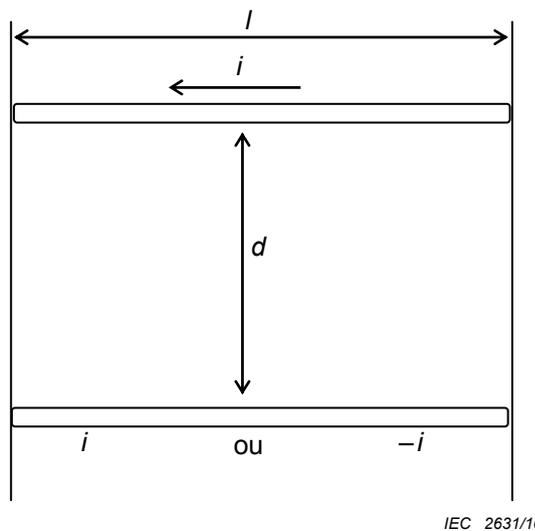
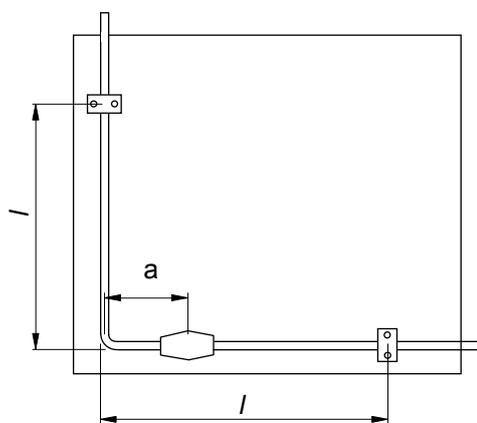


Figura D.1 – Arranjo geral de dois condutores para o cálculo da força eletrodinâmica

Um exemplo típico em um SPDA é o arranjo de condutores nos cantos simétricos, formando um ângulo de 90° um com o outro, com uma abraçadeira posicionada nas vizinhanças do canto, como mostrado na Figura D.2. O diagrama dos esforços para esta configuração é mostrado na Figura D.3. A força axial no condutor horizontal tende a puxar o condutor para fora da abraçadeira. O valor numérico da força ao longo do condutor horizontal, considerando o valor de pico da corrente de 100 kA e o comprimento do condutor vertical de 0,5 m, é mostrado na Figura D.4.



NOTA No exemplo em questão, a cota “a” mostra o local de uma eventual emenda capaz de suportar os esforços calculados neste ponto.

Figura D.2 – Arranjo de condutor típico em um SPDA

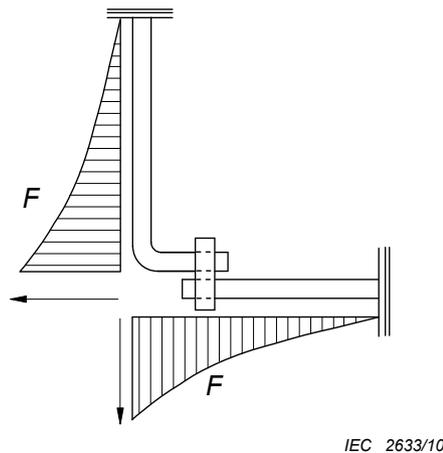
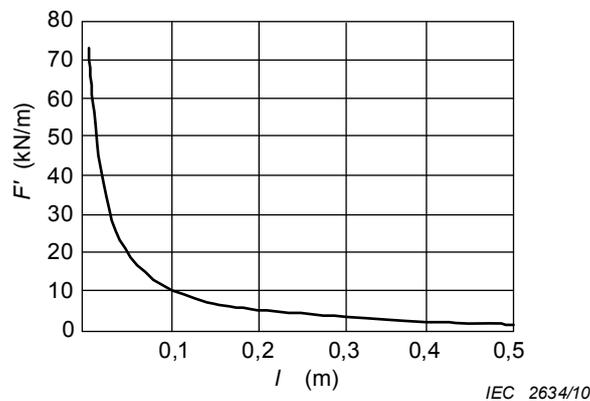


Figura D.3 – Diagrama de esforços F para a configuração da Figura D.2



NOTA Considerado o valor de pico de corrente de 100 kA e o comprimento do condutor vertical de 0,5 m.

Figura D.4 – Força por unidade de comprimento F' ao longo do condutor horizontal da Figura D.2

D.4.2.1.2 Efeitos das forças eletrodinâmicas

Em termos da amplitude da força aplicada, o valor instantâneo da força eletrodinâmica, $F(t)$, é proporcional ao quadrado da corrente instantânea $I(t)^2$. Em termos de desenvolvimento dos esforços na estrutura mecânica do SPDA, expresso pelo produto da deformação elástica $\delta(t)$ e a constante elástica k da estrutura do SPDA, os dois seguintes efeitos devem ser considerados. A frequência natural mecânica (associada ao comportamento elástico da estrutura do SPDA), e a deformação permanente da estrutura do SPDA (associada ao seu comportamento plástico) são os parâmetros mais importantes. Além disso, em muitos casos, o efeito das forças de atrito da estrutura é importante.

A amplitude das vibrações da estrutura elástica do SPDA causada pela força eletrodinâmica desenvolvida por uma corrente de descarga atmosférica pode ser avaliada por meios de equações diferenciais de segunda ordem, sendo que o fator-chave é a relação entre a duração do impulso de corrente e o período da oscilação mecânica natural da estrutura do SPDA. A condição típica encontrada em instalações de SPDA consiste em períodos de oscilação natural da estrutura muito maiores do que aqueles da força aplicada (duração do impulso de corrente da descarga). Neste caso, os esforços mecânicos máximos ocorrem depois do término do impulso de corrente e têm um valor de pico que permanece mais baixo do que aquele da força aplicada, e podem, na maioria dos casos, ser desprezados.



Uma deformação plástica ocorre quando os esforços de tensionamento excedem o limite elástico do material. Se o material que compõe a estrutura do SPDA é dúctil, como alumínio ou cobre recozido, as forças eletrodinâmicas podem deformar os condutores nos cantos e laços. Os componentes do SPDA devem, portanto, ser projetados para suportar estas forças e mostrar essencialmente um comportamento elástico.

O esforço mecânico total aplicado à estrutura do SPDA depende da integral no tempo da força aplicada e, portanto, da energia específica associada com o impulso de corrente, mas depende também da forma de onda do impulso de corrente e da sua duração (comparada com o período de oscilação natural da estrutura). Todos estes parâmetros devem, portanto, ser levados em conta durante os ensaios.

D.4.2.2 Danos devido às ondas de choque acústicas

Quando a corrente de uma descarga atmosférica flui por meio de um arco, uma onda de choque é produzida. A severidade do choque é dependente do valor de pico e da taxa de subida da corrente.

Em geral, os danos devido à onda de choque acústica são insignificantes nas partes metálicas do SPDA, mas podem causar danos nas proximidades.

D.4.3 Efeitos combinados

Na prática, ambos os efeitos, térmicos e mecânicos, ocorrem simultaneamente. Se o aquecimento do material dos componentes (hastes, grampos etc.) é suficiente para amolecer os materiais, danos muito maiores podem ocorrer. Em casos extremos, o condutor pode se fundir explosivamente e causar danos consideráveis nas proximidades da estrutura. Se a seção reta do metal é suficiente para suportar toda a ação seguramente, somente a integridade mecânica deve ser verificada.

D.4.4 Centelhamento

Em geral, o centelhamento é importante em ambientes inflamáveis ou na presença de materiais combustíveis. Para os componentes do SPDA, na maioria dos casos práticos, o centelhamento não é crítico.

Dois tipos diferentes de centelhamento podem ocorrer: centelhamento térmico e centelhamento por tensão. O centelhamento térmico ocorre quando uma corrente muito alta é forçada a passar por uma junção entre dois materiais condutores. A maioria dos centelhamentos térmicos ocorre perto das extremidades dentro de uma junção se a pressão da interface é bastante baixa; a causa primária é a alta densidade de corrente e a pressão inadequada da interface. A intensidade do centelhamento térmico é associada à energia específica e, portanto, a fase mais crítica da descarga atmosférica é a primeira descarga de retorno. O centelhamento por tensão ocorre quando a corrente é forçada a tomar caminhos curvos, por exemplo, dentro de uma junção, se a tensão induzida nestes laços exceder a tensão disruptiva entre as partes metálicas. A tensão induzida é proporcional à indutância própria multiplicada pela taxa de subida da corrente da descarga. A componente mais crítica da descarga para o centelhamento por tensão é, portanto, a descarga subsequente negativa.

D.5 Componentes do SPDA, problemas relevantes e parâmetros de ensaios

D.5.1 Geral

Os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas são construídos por vários componentes diferentes, cada qual com uma função específica dentro do sistema. A natureza dos componentes e os esforços específicos aos quais eles estão sujeitos requerem considerações especiais no preparo de ensaios de laboratórios para verificar seus desempenhos.

D.5.2 Captação

Os efeitos no subsistema de captação surgem de ambos os efeitos: mecânicos e térmicos (como discutido a seguir, em D.5.3, mas deve ser notado que uma alta parcela da corrente de descarga flui no condutor de captação atingido) e também, em alguns casos, efeitos de erosão de arcos, particularmente em componentes naturais de SPDA, como coberturas metálicas finas ou acabamentos metálicos de paredes (onde perfuração ou elevação de temperatura na superfície interna pode ocorrer) e condutores suspensos.

Para efeitos de erosão de arcos, dois parâmetros de ensaios principais devem ser considerados: a carga da componente longa da descarga e sua duração.

A carga impõe a entrada de energia na região de contato do arco. Em particular, as descargas de longa duração mostram-se as mais severas para este efeito, enquanto que as descargas de curta duração podem ser desprezadas.

A duração da corrente tem um importante papel no fenômeno de transferência de calor para o material. A duração da corrente aplicada durante os ensaios deve ser comparável às das descargas de longa duração (0,5 s a 1 s).

D.5.3 Descidas

Os efeitos em condutores de descida causados pelas descargas atmosféricas podem ser divididos em duas categorias principais:

- a) efeitos térmicos devido ao aquecimento resistivo;
- b) efeitos mecânicos relacionados às interações magnéticas, onde a corrente da descarga atmosférica é dividida entre condutores posicionados próximos um do outro, ou quando há mudanças de direção da corrente (dobras ou conexões entre condutores posicionados em um dado ângulo, um em relação ao outro).

Na maioria dos casos, estes dois efeitos atuam independentemente um do outro, e ensaios de laboratório separados podem ser feitos para se verificar cada efeito. Esta aproximação pode ser adotada em todos os casos em que o aquecimento desenvolvido pela passagem da corrente das descargas não modifique substancialmente as características mecânicas.

D.5.3.1 Aquecimento resistivo

Cálculos e medições do aquecimento de condutores de diferentes seções retas e materiais causado pelo fluxo da corrente da descarga atmosférica têm sido publicados por vários autores. Os principais resultados em termos de curvas e formulas estão resumidos em D.4.1.1. Nenhum ensaio de laboratório é, portanto, necessário, em geral, para verificar o comportamento de um condutor sob o ponto de vista de elevação de temperatura.

Em todos os casos para os quais um ensaio de laboratório é requisitado, as seguintes considerações devem ser levadas em conta:

- a) os parâmetros principais de ensaio a serem considerados são a energia específica e a duração da corrente de impulso;
- b) a energia específica determina a elevação de temperatura devido ao aquecimento por efeito Joule causada pela passagem da corrente da descarga atmosférica. Valores numéricos a serem



considerados são aqueles relevantes à primeira descarga. Dados conservativos são obtidos considerando-se descargas positivas;

- c) a duração da corrente de impulso tem uma influência decisiva no processo de troca de calor com respeito ao ambiente ao redor do condutor considerado. Na maioria dos casos, a duração do impulso de corrente é tão curta que o processo de aquecimento pode ser considerado adiabático.

D.5.3.2 Efeitos mecânicos

Como discutido em D.4.2.1, as interações mecânicas são desenvolvidas entre condutores conduzindo a corrente da descarga atmosférica. A força é proporcional ao produto das correntes que fluem pelos condutores (ou ao quadrado da corrente se um condutor com dobra simples for considerado) e é inversamente proporcional à distância entre os condutores.

Uma situação usual, onde um efeito visível pode ocorrer, é quando um condutor forma um laço ou é dobrado. Quando este condutor conduz a corrente da descarga atmosférica, ele é submetido a uma força mecânica que tentará estender o laço e endireitar o canto e então dobrá-lo para fora. A magnitude desta força é proporcional ao quadrado da amplitude de corrente. Uma distinção clara deve ser feita, entretanto, entre a força eletrodinâmica, a qual é proporcional ao quadrado da amplitude da corrente, e o esforço correspondente que depende das características elásticas da estrutura mecânica do SPDA. Para estruturas do SPDA de frequências naturais relativamente baixas, o esforço desenvolvido dentro da estrutura do SPDA deve ser consideravelmente mais baixo que a força eletrodinâmica. Neste caso, nenhum ensaio de laboratório é necessário para verificar o comportamento de um condutor dobrado em um ângulo reto sob o ponto de vista mecânico, desde que as áreas das seções transversais prescritas nesta Norma sejam cumpridas.

Em todos os casos para os quais um ensaio de laboratório é requerido (especialmente para materiais dúcteis), as seguintes considerações devem ser levadas em consideração. Três parâmetros da primeira descarga de retorno devem ser considerados: a duração, a energia específica da corrente de impulso e, no caso de sistemas rígidos, a amplitude da corrente.

A duração do impulso de corrente, comparado com o período da oscilação mecânica natural da estrutura do SPDA, determina o tipo de resposta mecânica do sistema em termos de deslocamento:

- a) se a duração do impulso é muito menor que o período de oscilação mecânica natural da estrutura do SPDA (caso normal para estruturas de SPDA submetidas aos impulsos de descargas atmosféricas), a massa e a elasticidade do sistema impedem que a estrutura seja deslocada apreciavelmente, e o esforço mecânico relevante é essencialmente relacionado à energia específica do impulso de corrente. O valor de pico do impulso de corrente tem um efeito limitado;
- b) se a duração do impulso é comparável ou maior que o período da oscilação mecânica natural da estrutura, o deslocamento do sistema é mais sensível à forma de onda do esforço aplicado: neste caso, o valor de pico do impulso de corrente e sua energia específica necessitam ser reproduzidos durante o ensaio.

A energia específica de um impulso de corrente determina o esforço que causa as deformações elástica e plástica da estrutura do SPDA. Os valores numéricos a serem considerados são aqueles relevantes à primeira componente da descarga.

Os valores máximos do impulso de corrente determinam a extensão do deslocamento máximo da estrutura do SPDA, no caso de sistemas rígidos com alta frequência de oscilação natural. Os valores numéricos a serem considerados são aqueles pertinentes à primeira componente da descarga.



D.5.3.3 Componentes de conexão

Os componentes de conexão entre condutores adjacentes de um SPDA são possíveis pontos fracos, térmicos e mecânicos, sujeitos a altíssimos esforços.

No caso de um conector instalado de maneira a fazer com que o condutor forme um ângulo reto, os efeitos principais dos esforços estão associados às forças mecânicas as quais tendem a endireitar o conjunto de condutores e vencer as forças de atrito entre os componentes de conexão e os condutores, tracionando as conexões, podendo, portanto, abri-las. É possível que ocorram arcos nos pontos de contato de diferentes partes. Além disto, o efeito de aquecimento causado pela concentração da corrente sobre pequenas superfícies de contato tem um efeito não desprezível.

Ensaio de laboratório têm mostrado que é difícil separar os efeitos um do outro, uma vez que uma complexa interação de efeitos se estabelece: a resistência mecânica é afetada pela fusão localizada da área de contato; deslocamentos relativos entre partes dos componentes de conexão promovem a ocorrência de arcos e a conseqüente geração de calor intenso.

Na ausência de um modelo válido, os ensaios de laboratório devem ser conduzidos de forma a representar o mais próximo possível os parâmetros adequados da corrente da descarga atmosférica nas situações mais críticas, isto é, os parâmetros da corrente da descarga devem ser aplicados por meio de um único ensaio elétrico.

Três parâmetros devem ser considerados neste caso: o valor de pico, a energia específica e a duração do impulso de corrente.

Os valores máximos do impulso de corrente determinam a força máxima, ou a extensão do deslocamento máximo da estrutura do SPDA, se a força de tração eletrodinâmica exceder as forças de atrito. Os valores numéricos a serem considerados são aqueles pertinentes à primeira componente da descarga. Dados conservativos são obtidos considerando-se as descargas positivas.

A energia específica de um impulso de corrente determina o aquecimento nas superfícies de contato, onde a corrente se concentra em áreas pequenas. Os valores numéricos a serem considerados são aqueles pertinentes a primeira componente da descarga. Dados conservativos são obtidos considerando-se as descargas positivas.

A duração do impulso de corrente determina o deslocamento máximo da estrutura, depois que as forças de atrito são excedidas, e tem um importante papel no fenômeno de transferência de calor dentro do material.

D.5.3.4 Aterramento

Os problemas reais com eletrodos de aterramento são relacionados com corrosão química e danos mecânicos causados por outras forças que não as eletrodinâmicas. Em casos práticos, a erosão do eletrodo de aterramento na região de contato de arcos é de menor importância. Deve-se, portanto, considerar que, contrariamente à captação, um SPDA típico tem vários componentes em contato com a terra, e a corrente de descarga é dividida entre vários eletrodos, causando assim efeitos menos importantes associados a arcos. Dois parâmetros de ensaios principais devem ser considerados neste caso:

- a) a carga determina a entrada de energia na região de contato do arco. Em particular, a contribuição da primeira descarga pode ser desprezada, uma vez que descargas de longa duração apresentam-se como mais severas para este subsistema;
- b) a duração do impulso de corrente tem um papel importante no fenômeno de transferência de calor para o material. A duração dos impulsos de corrente aplicados durante os ensaios deve ser comparável às durações das descargas de longa duração (0,5 s a 1 s).

D.6 Dispositivo de proteção contra surtos (DPS)

D.6.1 Geral

Os efeitos dos esforços em um DPS causados pelas descargas atmosféricas dependem do tipo de DPS considerado, com atenção especial à presença ou ausência de um centelhador.

D.6.2 DPS contendo centelhadores

Os efeitos em centelhadores causados pelas descargas atmosféricas podem ser divididos em duas categorias importantes:

- a) a erosão dos eletrodos dos centelhadores por aquecimento, fusão e vaporização do material;
- b) os esforços mecânicos causados pela onda de choque da descarga.

É extremamente difícil investigar estes efeitos separadamente, uma vez que ambos são relacionados com os principais parâmetros da corrente da descarga atmosférica por meio de relações complexas.

Para centelhadores, os ensaios de laboratório devem ser conduzidos de maneira que representem o mais próximo possível, os parâmetros da corrente das descargas na situação mais crítica, isto é, todos os parâmetros adequados da corrente da descarga devem ser aplicados por meio de um estresse elétrico único.

Cinco parâmetros devem ser considerados neste caso: o valor de pico, a carga, a duração, a energia específica e a taxa de subida do impulso de corrente.

O valor de pico de corrente determina a severidade da onda de choque. Os valores numéricos a serem considerados são aqueles pertinentes à primeira componente da descarga. Dados conservativos são obtidos considerando-se as descargas positivas.

A carga determina a entrada de energia no arco. A energia do arco vai aquecer, fundir e possivelmente vaporizar parte do material do eletrodo no ponto de contato do arco. Os valores numéricos a serem considerados são aqueles pertinentes à descarga atmosférica completa. Entretanto, a carga da componente de longa duração da corrente pode ser desprezada em muitos casos, dependendo da configuração do sistema de fornecimento de energia (TN, TT ou IT).

A duração do impulso de corrente controla o fenômeno de transferência de calor para a massa do eletrodo e a conseqüente propagação da frente de onda de fusão.

A energia específica do impulso de corrente determina a autocompressão magnética do arco e a física dos jatos de plasma no eletrodo, desenvolvidos na interface entre a superfície do eletrodo e o arco (os quais podem expelir uma significativa quantidade de material fundido). Os valores numéricos a serem considerados são aqueles pertinentes à primeira componente da descarga. Dados conservativos são obtidos considerando-se as descargas positivas.

NOTA Para centelhadores utilizados em sistemas de fornecimento de energia, a possível amplitude da corrente subsequente à frequência industrial constitui um importante fator de estresse, e recomenda-se, por sua vez, que seja levado em consideração.

D.6.3 DPS contendo varistores de óxido metálico

O esforço nos varistores de óxido metálico causados pelas descargas atmosféricas pode ser dividido em duas categorias principais: sobrecarga e descarga disruptiva. Cada categoria é caracterizada pelos modos de falha gerados por diferentes fenômenos e dominados por diferentes parâmetros. A



falha de um DPS de óxido metálico é relacionada com as suas características mais fracas, sendo, portanto, improvável que ocorra uma sinergia entre diferentes esforços danosos. É, portanto, aceitável realizar ensaios separados para verificar o comportamento em cada condição de falha.

Sobrecargas são causadas por uma quantidade de energia absorvida que excede a capacidade do dispositivo. O excesso de energia considerado aqui é relacionado aos próprios esforços impostos pela descarga atmosférica. Entretanto, para DPS conectado aos sistemas de fornecimento de energia, a corrente subsequente injetada no dispositivo pelo sistema de potência imediatamente após a passagem da corrente da descarga pode também apresentar um importante papel nos danos fatais do DPS. Finalmente, um DPS pode ser fatalmente danificado pela instabilidade térmica sob a tensão aplicada relativa ao coeficiente de temperatura negativo das características volt-ampère dos resistores. Para a simulação de sobrecarga de varistores de óxido metálico, o parâmetro principal a ser considerado é a carga.

A carga determina a entrada de energia no bloco do resistor de óxido-metálico, considerando a tensão residual do bloco do resistor de óxido-metálico uma constante. Os valores numéricos a serem considerados são aqueles relevantes à descarga atmosférica.

Descargas disruptivas e trincas são causadas pela amplitude dos impulsos de corrente que excedem as capacidades dos resistores. O modo de falha é geralmente evidenciado por uma descarga disruptiva externa sobre a isolação do bloco, algumas vezes penetrando no interior do bloco resistor e causando uma trinca ou uma cavidade perpendicular à superfície da isolação do bloco. A falha é principalmente relacionada com o colapso das propriedades dielétricas da isolação do bloco resistor.

Para a simulação do fenômeno da descarga atmosférica, dois parâmetros principais devem ser considerados: o valor máximo e a duração do impulso de corrente.

O valor máximo do impulso de corrente determina, por meio do nível de tensão residual correspondente, se o esforço dielétrico máximo na isolação do resistor é excedido. Os valores numéricos a serem considerados são aqueles pertinentes à primeira componente da descarga. Dados conservativos são obtidos considerando-se as descargas positivas.

A duração dos impulsos de corrente determina a duração da aplicação dos esforços dielétricos na isolação do resistor.

D.7 Resumo dos parâmetros de ensaios a serem adotados nos ensaios de componentes de SPDA

A Tabela D.1 resume os aspectos mais críticos de cada componente do SPDA durante o desempenho da sua função e fornece os parâmetros da corrente da descarga atmosférica a serem reproduzidos em ensaios de laboratório.

Os valores numéricos dados na Tabela D.1 são pertinentes aos parâmetros das descargas atmosféricas de importância no ponto de impacto.

Os valores de ensaios devem ser calculados considerando a distribuição da corrente a qual pode ser expressa por meio de um fator de distribuição de corrente, como apresentado em D.3.

Os valores numéricos dos parâmetros a serem utilizados durante os ensaios podem, portanto, ser calculados com base nos dados fornecidos na Tabela D.1, aplicando-se os fatores de redução relacionados com a distribuição de corrente, como expresso pelas fórmulas descritas em D.3.

Anexo E (informativo)

Surtos devido às descargas atmosféricas em diferentes pontos da instalação

E.1 Visão geral

Recomenda-se que, para o dimensionamento de condutores, DPS e aparelhos, a intensidade dos surtos em um ponto particular da instalação seja determinada. Os surtos podem surgir das correntes das descargas atmosféricas (parcialmente) e dos efeitos de indução dos laços da instalação. Recomenda-se que o nível de surto seja menor do que o nível de suportabilidade dos componentes utilizados (definidos por ensaios adequados conforme necessário).

E.2 Surtos devido às descargas atmosféricas na estrutura (fonte de danos S1)

E.2.1 Surtos fluindo por meio de partes condutoras externas e linhas conectadas à estrutura

A corrente da descarga atmosférica, quando conduzida para terra, é dividida entre o sistema de aterramento, as partes condutoras externas e as linhas externas, diretamente ou por meio de DPS conectados a elas.

$$\text{Se } I_F = k_e \times I \quad (\text{E.1})$$

é a parte da corrente da descarga atmosférica pertinente a cada parte condutora ou linha externa, então o fator de divisão da corrente k_e depende de:

- o número de caminhos paralelos;
- suas impedâncias convencionais de aterramento para as partes enterradas ou suas resistências de aterramento para as partes aéreas, onde estas partes se conectem com outras partes enterradas;
- a impedância convencional de aterramento do subsistema de aterramento.

Para instalação enterrada:

$$k_e = \frac{Z}{Z_1 + Z \times \left(n_1 + n_2 \times \frac{Z_1}{Z_2} \right)} \quad (\text{E.2})$$

Para instalação aérea:

$$k_e = \frac{Z}{Z_2 + Z \times \left(n_1 + n_2 \times \frac{Z_2}{Z_1} \right)} \quad (\text{E.3})$$

onde

Z é a impedância convencional de aterramento do subsistema de aterramento;



- Z_1 é a impedância convencional de aterramento das partes externas ou linhas externas (Tabela E.1) instaladas enterradas;
- Z_2 é a resistência de terra do arranjo de aterramento que conecta a linha aérea à terra. Se a resistência de terra do ponto de aterramento não for conhecida, o valor de Z_1 pode ser utilizado (observando, na Tabela E.1, a resistividade do solo no ponto de aterramento).

NOTA 1 Assume-se que o valor de k_e é o mesmo em cada ponto de aterramento. Se este não for o caso, recomenda-se que sejam utilizadas equações mais complexas.

n_1 é o número total de partes externas ou linhas enterradas;

n_2 é o número total de partes externas ou linhas aéreas;

I é a corrente da descarga atmosférica pertinente ao nível de proteção (NP) considerado.

Assumindo, como uma primeira aproximação, que metade da corrente da descarga atmosférica flui no subsistema de aterramento e que $Z_2 = Z_1$, o valor de k_e pode ser estimado para uma parte condutora externa ou linha externa por:

$$k_e = 0,5 / (n_1 + n_2) \quad (\text{E.4})$$

Se as linhas que adentram a estrutura (por exemplo, linhas elétricas e de telecomunicação) não são blindadas ou não estão instaladas em condutos metálicos, cada condutor da linha conduz uma parte igual da corrente da descarga atmosférica.

$$k'_e = k_e / n' \quad (\text{E.5})$$

sendo n' o número total de condutores.

Para linhas blindadas e interligadas na entrada, os valores do fator de divisão de corrente k'_e para cada condutor de uma linha blindada são dados por:

$$k'_e = k_e \times R_S / (n' \times R_S + R_C) \quad (\text{E.6})$$

onde

R_S é a resistência ôhmica por unidade de comprimento da blindagem;

R_C é a resistência ôhmica por unidade de comprimento do condutor interno.

NOTA 2 Esta fórmula pode subestimar o papel da blindagem no desvio da corrente da descarga atmosférica devido à indutância mútua entre o condutor interno e a blindagem.

Tabela E.1 – Valores de impedância convencionais de aterramento Z e Z_1 de acordo com a resistividade do solo

ρ Ωm	Z_1^a Ω	Impedância convencional de aterramento relativa ao tipo de SPDA ^b		
		Z Ω		
		I	II	III – IV
≤ 100	8	4	4	4
200	11	6	6	6
500	16	10	10	10
1 000	22	10	15	20
2 000	28	10	15	40
3 000	35	10	15	60

NOTA Os valores apresentados nesta tabela se referem à impedância convencional de aterramento de um condutor enterrado sob condição de impulso (10/350 μs).

^a Valores referidos a partes externas com comprimento acima de 100 m. Para comprimentos de partes externas inferiores a 100 m em solos de alta resistividade ($> 500 \Omega\text{m}$), os valores de Z_1 podem ser o dobro.

^b Subsistema de aterramento conforme PN 03:064.10-100/3, 5.4.

E.2.2 Fatores que influenciam a divisão da corrente da descarga atmosférica em linhas de energia

Para cálculos detalhados, vários fatores podem influenciar a amplitude e a forma dos surtos:

- a) o comprimento do cabo pode influenciar a divisão da corrente e as características da forma de onda devido à relação L/R ;
- b) diferentes impedâncias de condutores de neutro e fase podem influenciar a divisão da corrente ao longo dos condutores da linha;

NOTA 1 Por exemplo, se o condutor neutro (N) tem múltiplos aterramentos, a menor impedância do N comparada com os condutores de fases L1, L2, e L3 pode resultar em 50 % da corrente fluindo por meio do condutor N com os 50 % restantes sendo dividido pelos outros três condutores de fase (17 % cada). Se N, L1, L2, e L3 possuem a mesma impedância, cada condutor irá conduzir aproximadamente 25 % da corrente.

- c) diferentes impedâncias de transformador podem influenciar a divisão de corrente (este efeito pode ser desprezado se o transformador for protegido por DPS que curto-circuita a sua impedância);
- d) a relação entre as resistências convencionais de aterramento do transformador e dos itens do lado da carga pode influenciar a divisão de corrente (quanto menor a impedância do transformador, maior será o surto de corrente fluindo para o sistema de alimentação de baixa tensão);
- e) consumidores em paralelo causam uma redução da impedância efetiva do sistema de alimentação de baixa tensão; isto pode aumentar a parcela da corrente da descarga atmosférica que flui para este sistema.

NOTA 2 Ver PN 03:064.10-100/4, Anexo D, para maiores informações.

E.3 Surtos pertinentes às linhas conectadas à estrutura

E.3.1 Surtos devido às descargas nas linhas (fonte de danos S3)

Para descargas atmosféricas diretas nas linhas conectadas, a divisão da corrente da descarga em ambas as direções da linha e a ruptura da isolação devem ser levadas em conta.

A seleção do valor de I_{imp} pode ser baseada nos valores dados nas Tabelas E.2 e E.3, para sistemas de baixa tensão, e Tabela E.3, para sistemas de telecomunicações, onde os valores preferenciais de I_{imp} são associados com o nível de proteção (NP).

Tabela E.2 – Surtos de correntes devido às descargas atmosféricas previstos em sistemas de baixa tensão

NP (classe)	Sistemas de baixa tensão			
	Descargas diretas e indiretas na linha		Descargas perto da estrutura ^a	Descargas na estrutura ^a
	Fonte de danos S3 (descarga direta) ^b Forma de onda da corrente: 10/350 μ s kA	Fonte de danos S4 (descarga indireta) ^c Forma de onda da corrente: 8/20 μ s kA	Fonte de danos S2 (corrente induzida) Forma de onda da corrente: 8/20 μ s kA	Fonte de danos S1 (corrente induzida) Forma de onda da corrente: ^d 8/20 μ s kA
III - IV	5	2,5	0,1	5
II	7,5	3,75	0,15	7,5
I	10	5	0,2	10

NOTA Todos os valores referidos a cada condutor da linha.

^a O roteamento do laço dos condutores e a distância da corrente indutora afetam os valores dos surtos de corrente previstos. Os valores da Tabela E.2 referem-se a laço fechado de condutores não blindados e com diferentes roteamentos em grandes edifícios (áreas de laços da ordem de 50 m², largura = 5 m), a 1 m da parede, dentro de uma estrutura não blindada ou edifício com SPDA ($k_c = 0,5$). Para outras características de laço e de estrutura, os valores podem ser multiplicados pelos fatores K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} (ver PN 03:064.10-100/2, B.4).

^b Valores pertinentes ao caso onde a descarga atmosférica atinge o último poste da linha perto do consumidor e linha de vários condutores (três fases + neutro).

^c Valores referidos a linhas aéreas. Para linhas enterradas, os valores podem ser a metade.

^d A resistência e a indutância do laço afetam a forma de onda da corrente induzida. Onde a resistência do laço for desprezível, a forma de onda 10/350 μ s pode ser assumida. Este é o caso onde um DPS do tipo de chaveamento é instalado no circuito induzido.

Tabela E.3 – Surtos de correntes devido às descargas atmosféricas previstos em sistemas de telecomunicações

NP (classe)	Sistema de telecomunicações ^a			
	Descargas diretas e indiretas na linha		Descargas perto da estrutura ^b	Descargas na estrutura ^b
	Fonte de danos S3 (descarga direta) ^c Forma de onda da corrente: 10/350 μs kA	Fonte de danos S4 (descarga indireta) ^d Forma de onda da corrente: 8/20 μs kA	Fonte de danos S2 (corrente induzida) Forma de onda da corrente: 8/20 μs kA	Fonte de danos S1 (corrente induzida) Forma de onda da corrente: 8/20 μs kA
III - IV	1	0,035	0,1	5
II	1,5	0,085	0,15	7,5
I	2	0,16	0,2	10

NOTA Todos os valores referidos a cada condutor da linha.

^a Ver recomendação K.67 do ITU-T^[6] para maiores informações.

^b O roteamento do laço dos condutores e a distância da corrente indutora afetam os valores dos surtos de corrente previstos. Os valores da Tabela E.3 referem-se a laço fechado de condutores não blindados e com diferentes roteamentos em grandes edifícios (áreas de laços da ordem de 50 m², largura = 5 m), a 1 m da parede da estrutura, dentro de uma estrutura não blindada ou edifício com SPDA ($k_c = 0,5$). Para outras características de laço e de estrutura, os valores podem ser multiplicados pelos fatores K_{S1} , K_{S2} , K_{S3} (ver PN 03:064.10-100/2, B.4).

^c Valores referidos a linhas não blindadas com muitos pares. Para fios externos não blindados (fio “drop”), os valores podem ser cinco vezes maiores.

^d Valores referidos a linhas aéreas não blindadas. Para linhas enterradas, os valores podem ser a metade.

Para linhas blindadas, os valores das sobrecorrentes dados na Tabela E.2 podem ser reduzidos por um fator de 0,5.

NOTA Assume-se que a resistência da blindagem é aproximadamente igual à resistência de todos os condutores da linha em paralelo.

E.3.2 Surtos devido às descargas próximas às linhas (fonte de danos S4)

Os surtos das descargas próximas às linhas possuem energias muito menores do que aquelas associadas às descargas diretas na linha (fonte de danos S3).

As sobrecorrentes previstas, associadas a um nível de proteção (NP) específico, são dadas nas Tabelas E.2 e E.3.

Para linhas blindadas, os valores de sobrecorrentes dados nas Tabelas E.2 e E.3 podem ser reduzidos por um fator 0,5.



E.4 Surtos devido aos efeitos de indução (fontes de danos S1 ou S2)

E.4.1 Geral

Surtos devido aos efeitos de indução de campos magnéticos gerados pelas descargas atmosféricas nas imediações (fonte S2), ou da corrente da descarga fluindo no SPDA externo ou em uma blindagem espacial da ZPR 1 (fonte S1), têm uma forma de onda de corrente tipicamente de 8/20 μ s. Estes surtos devem ser considerados próximos de ou no terminal do dispositivo dentro da ZPR 1 e na interface das ZPR 1/2.

E.4.2 Surtos dentro de uma ZPR 1 não blindada

Dentro de uma ZPR 1 não blindada (por exemplo, protegida somente por um SPDA externo de acordo com o PN 03:064.10-100/3 com uma largura de malha maior que 5 m), surtos de intensidades relativamente altas são previstos devido aos efeitos de indução dos campos magnéticos não amortecidos.

As sobrecorrentes previstas, associadas aos níveis de proteção (NP), são fornecidas nas Tabelas E.2 e E.3.

E.4.3 Surtos dentro de ZPR blindadas

Dentro de ZPR com blindagem espacial efetiva (o que requer largura de malha abaixo de 5 m de acordo com o PN 03:064.10-100/4, Anexo A, a geração de surtos devido aos efeitos de indução dos campos magnéticos é fortemente reduzida. Nestes casos, os surtos são muito menores do que aqueles dados em E.4.2.

Dentro da ZPR 1 os efeitos de indução são menores devido ao efeito de amortecimento da sua blindagem espacial.

Dentro da ZPR 2 os surtos são ainda mais reduzidos devido ao efeito cascata de ambas as blindagens espaciais de ZPR 1 e ZPR 2.

E.5 Informações gerais relativas aos DPS

O uso de DPS depende da sua capacidade de suportabilidade, classificada na ABNT NBR IEC 61643-1, para sistemas de energia, e na IEC 61643-21, para sistemas de telecomunicações.

Os DPS a serem utilizados de acordo com as suas posições na instalação são como a seguir:

- a) no ponto de entrada da linha na estrutura (na periferia da ZPR 1, por exemplo, no quadro de distribuição principal):
 - DPS ensaiado com I_{imp} (forma de onda de corrente típica 10/350), por exemplo, DPS ensaiado de acordo com a classe I;
 - DPS ensaiado com I_n (forma de onda de corrente típica 8/20), por exemplo, DPS ensaiado de acordo com a classe II.
- b) perto do dispositivo a ser protegido (na periferia da ZPR 2 e superior, por exemplo, no quadro de distribuição secundário ou em uma tomada):



- DPS ensaiado com I_{imp} (forma de onda de corrente típica 10/350), por exemplo, DPS ensaiado de acordo com a classe I para DPS de potência;
- DPS ensaiado com I_n (forma de onda de corrente típica 8/20), por exemplo, DPS ensaiado de acordo com a classe II;
- DPS ensaiado com a onda combinada (corrente típica forma de onda de corrente 8/20), por exemplo, DPS ensaiado de acordo com a classe III.



Bibliografia

ABNT NBR 5410, *Instalações elétricas de baixa tensão*

ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios*

ABNT NBR 15749, *Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento*

ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*

IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*

IEC 62561(all parts), *Lightning protection system components (LPSC)*

IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*

IEC/TS 60479 (all parts), *Effects of current on human beings and livestock*

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

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

IEC 61400-24, *Wind turbines – Part 24: Lightning protection*

IEC 61557-4, *Electrical safety in low-voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 4: Resistance of earth connection and equipotential bonding*

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 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*

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*

IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines-Analytical models.*



IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993

ITU-T Recommendation K.67, Expected surges on telecommunications and signalling networks due to lightning

BERGER K., ANDERSON R.B., KRÖNINGER H., Parameters of lightning flashes. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37

ANDERSON R.B., ERIKSSON A.J., Lightning parameters for engineering application. CIGRE Electra No 69 (1980), p. 65 – 102



Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco

APRESENTAÇÃO

1) Este Projeto foi elaborado pela Comissão de Estudo de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (CE-03:064.10) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03), nas reuniões de:

23.06.2005	28.07.2005	01.09.2005
27.10.2005	03.11.2005	01.12.2005
02.02.2006	02.03.2006	13.04.2006
04.05.2006	13.06.2006	03.08.2006
05.10.2006	16.11.2006	07.12.2006
09.02.2007	14.03.2007	09.04.2007
10.05.2007	15.06.2007	12.07.2007
17.08.2007	11.10.2007	08.11.2007
14.02.2008	10.04.2008	08.05.2008
12.06.2008	17.07.2008	14.08.2008
11.09.2008	09.10.2008	12.02.2009
19.03.2009	09.04.2009	27.04.2009
04.06.2009	16.07.2009	13.08.2009
03.09.2009	08.10.2009	05.11.2009
10.12.2009	07.08.2010	09.09.2010
25.11.2010	10.03.2011	13.06.2011
03.11.2011	01.12.2011	11.06.2012
02.08.2012	28.02.2013	23.05.2013

- a) Este 1º Projeto, juntamente com os projetos, 03:064.10-100/1 03:064.10-100/3 e 03:064.10-100/4 são previstos para cancelar e substituir a ABNT NBR 5419:2005, quando aprovado, sendo que nesse ínterim a referida norma continua em vigor;



b) Este 1º Projeto é previsto para receber a seguinte numeração após sua aprovação como Norma Brasileira: ABNT NBR 5419-2

c) Não tem valor normativo.

2) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória;

3) Tomaram parte na sua elaboração:

Participante	Representante
AFEAL	Fabíola Rago
ASSEAG/STDE	Eduardo Vazentini
BANDEIRANTE ENERGIA	Domenico Sávio Santos
ENCONTRE ENGENHARIA	Duilio Moreira Leite
BANDEIRANTE ENERGIA	Paulo S.R. Patrício
BUDGET ENG.	Antonio Carlos Mori
CELESC	Guilherme M.T. Cobayashi
CIA CATAGUAZES	Filipe Rios Penha
CONEXEL	Robinson Zanon Gomes
CONSULTOR AUTÔNOMO	Pedro S. Sumodjo
CONSULTOR AUTÔNOMO	Ricardo Corrêa Verício
COPPERSTEEL BIMETÉLICOS LTDA	João Henrique Zancanela
ELETRIZAR ENGENHARIA	Gilberto M. Falcoski
ELETRO-ESTUDOS ENGENHARIA	Paulo Edmundo da F. Freire
EMBRASTEC	José Marcio Rosa
EMERSON NETWORK POWER	José Cláudio de O. e Silva
EMILIA TAKAGI ENG.	Mauricio Vagner M Torres
EMILIA TAKAGI RIBEIRO	Luiz A Ribeiro
ENG. AUTÔNOMO	João Albino Robles
ERICO	Claudio Ruman
ERICO	Marcelo Lugli
FASTWELD	Rinaldo J. Botelho
FIRTEGE / SINDUSCON	Renato M Oliveira
FISCHMANN ENGENHARIA S/C LTDA	Victor Fischmann



GALENO GOMES ENG.	Galeno Lemos Gomes
GILCO PROTEÇÃO ELÉTRICA	Igídio G.L. Castro
GIULIETTO MODENA ENG. ^a - GUISMO	Jobson Modena
GLOLANI COMERCIAL LTDA	Danilo G Santos
HELLERMANN TITON	Valdir RB Pinto
HINDELET	Levi C. F. da Silva
IEE/USP	Hélio Eiji Sueta
IEE/USP	Mário César E.S. Ramos
IFSP - INST FEDERAL DE SP	Mario Sergio Cambraia
INSTRUMENTEC	Renato J Julio
INSTRUMENTEC	Willian Donizete Carvalho
KASCHER ENGENHARIA	Ronaldo Kascher Moreira
LAMBDA CONSULTORIA	Edson Martinho
LPM	Alvaro Marziliak Jr
LPM MONTAGENS INDUSTRIAIS	Pablo E. Pacheco M.
MANHATTAN ELETRONIC	Juan Alexandre Suarez
MASUKI ENGENHARIA	Luiz M. Masuki
MAZ ENGENHARIA	Willy Wilker B Gomes
MEGABRÁS	Luiz A. Pettoruti
MEGABRÁS	Manuel J. Leibovich
MEMBRO DA CE 64.01	José Rubens A Souza
METRÔ-SP	Victor M.A.S. Vasconcelos
MUNDO ELÉTRICO	Paulo Takeyama
O SETOR ELÉTRICO	Sergio Bogomoltz
OBO BETTERMAMM	Roberto Halway
OBO BETTERMAMM	Solenio Augusto Araujo
OBO BETTERMANN	Sérgio Roberto
PETROBRÁS	Anderson Luiz A. Ribeiro
PETROBRÁS	Renato Gouvea Valk
PLP	Juliano A Pallaro
POLI – USP	Carlos A. F. Sartori
PROCION ENG ^a / ABRASIP	Luiz O. Costi
PROELCO	Antonio R. Panicali



PROTEQSEN	Luiz A. Licurci
RAYCON	Milton Julio Zanluqui
REIS MIRANDA ENG. ^a	Armando P. Reis Miranda
SCHNEIDER ELECTRIC	Luiz Rosendo Tost Gomes
SECOVI-SP	Ronaldo Sá
SESI E SENAI	Alexandre C. Martinez
SINDICEL	Eduardo Daniel
SINDUSCON / SECOVI	Cláudio J. Goldstein
SOTA CONSULTORIA	Carlos Alberto Sotille
ST&SC SERVIÇOS TÉCNICOS LTDA	Sérgio T Sobral
TARGET ENG	Cristiano Ferraz de Paiva
TERMOTÉCNICA	José Barbosa de Oliveira
TERMOTÉCNICA	Normando V.B.Alves
THEKA DO BRASIL	Marius B. Rebuzzi
VALE S.A.	Pedro Resende Coelho
VBM. PROJ. ASSEC. INSTALAÇÕES	Ariovaldo da S. Martins



Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco

*Lightning protection
Part 2: Risk management*

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 5419-2 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 XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX, com o número de Projeto 03:064.10-100/2.

As ABNT NBR 5419-1 (Projeto 03:064.10-100/1), ABNT NBR 5419-2 (Projeto 03:064.10-100/2), ABNT NBR 5419-3 (Projeto 03:064.10-100/3) e ABNT NBR 5419-4 (Projeto 03:064.10-100/4) cancelam e substituem a ABNT NBR 5419:2005.

A aplicação da ABNT NBR 5419 não dispensa o respeito aos regulamentos de órgãos públicos aos quais a instalação deve satisfazer.

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 is applicable to risk assessment for a structure due to lightning flashes to earth.

Its purpose is to provide a procedure for the evaluation of such a risk. Once an upper tolerable limit for the risk has been selected, this procedure allows the selection of appropriate protection measures to be adopted to reduce the risk to or below the tolerable limit.

ABNT NBR 5419 applies to all projects and new facilities, as well as those in case of inspection or building refit, do not conform "as built" original documentation. The applicability of this part of ABNT NBR 5419 may have restrictions especially in the protection of human life when it is based on indirect effects of lightning.

This part of ABNT NBR 5419 does not apply to rail systems, vehicles, aircraft, ships and offshore platforms, high pressure underground pipelines, pipes and supply lines and telecommunications placed outside the structure.

NOTE *Usually these systems obey special regulations made by specific authorities.*



Introdução

Descargas atmosféricas para a terra podem ser perigosas para as estruturas e para as linhas de energia e de sinal.

Os perigos para uma estrutura podem resultar em:

- danos à estrutura e ao seu conteúdo;
- falhas aos sistemas eletroeletrônicos associados,
- ferimentos a seres vivos dentro ou perto das estruturas.

Os efeitos consequentes dos danos e falhas podem ser estendidos às vizinhanças da estrutura ou podem envolver o meio ambiente.

Para reduzir as perdas devido às descargas atmosféricas, podem ser necessárias medidas de proteção. Quando estas são necessárias, e em qual medida, deve ser determinado pela análise de risco.

O risco, definido por esta Norma como a provável perda média anual em uma estrutura devido às descargas atmosféricas, depende de:

- o número anual de descargas atmosféricas que influenciam a estrutura;
- a probabilidade de dano por uma das descargas atmosféricas que influenciam;
- a quantidade média das perdas causadas.

As descargas atmosféricas que influenciam a estrutura podem ser divididas em:

- descargas diretas à estrutura,
- descargas próximas à estrutura, diretas às linhas conectadas (linhas de energia, linhas de telecomunicações) ou perto das linhas.

Descargas atmosféricas diretas à estrutura ou a uma linha conectada podem causar danos físicos e perigo à vida.

Descargas atmosféricas próximas à estrutura ou à linha, assim como as descargas atmosféricas diretas à estrutura ou à linha, podem causar falhas dos sistemas eletroeletrônicos devido às sobretensões resultantes do acoplamento resistivo e indutivo destes sistemas com a corrente da descarga atmosférica.

Entretanto, as falhas causadas pelas sobretensões atmosféricas nas instalações do usuário e nas linhas de suprimento de energia podem também gerar sobretensões do tipo chaveamento nas instalações.

NOTA O mau funcionamento dos sistemas eletroeletrônicos não é coberto pela ABNT NBR 5419. Para tanto, recomenda-se consultar a IEC 61000-4-5 [3].

O número das descargas atmosféricas que influenciam a estrutura depende das dimensões e das características das estruturas e das linhas conectadas, das características do ambiente da estrutura e das linhas, assim como da densidade de descargas atmosféricas para a terra na região onde estão localizadas a estrutura e as linhas.



A probabilidade de danos devido à descarga atmosférica depende da estrutura, das linhas conectadas, e das características da corrente da descarga atmosférica, assim como do tipo e da eficiência das medidas de proteção efetuadas.

A quantidade média da perda consequente depende da extensão dos danos e dos efeitos consequentes, os quais podem ocorrer como resultado de uma descarga atmosférica.

O efeito das medidas de proteção resulta das características de cada medida de proteção e pode reduzir as probabilidades de danos ou a quantidade média da perda consequente.

A decisão de prover uma proteção contra descargas atmosféricas pode ser tomada independentemente do resultado da análise de risco, onde exista o desejo de que não haja este.



Proteção contra descargas atmosféricas

Parte 2: Gerenciamento de risco

1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 5419 estabelece os requisitos para análise de risco em uma estrutura devido às descargas atmosféricas para a terra.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 tem o propósito de fornecer um procedimento para a avaliação de tais riscos. Uma vez que um limite superior tolerável para o risco foi escolhido, este procedimento permite a escolha das medidas de proteção apropriadas a serem adotadas para reduzir o risco ao limite ou abaixo do limite tolerável.

A aplicabilidade desta Parte da ABNT NBR 5419 pode ter restrições especialmente na proteção da vida humana quando for baseada em efeitos indiretos de descargas atmosféricas.

Esta Parte da ABNT NBR 5419 não se aplica a sistemas ferroviários, veículos, aviões, navios e plataformas *offshore*, tubulações subterrâneas de alta pressão, tubulações e linhas de abastecimento e telecomunicações colocados fora da estrutura.

NOTA Usualmente, estes sistemas obedecem a regulamentos especiais elaborados por autoridades específicas.

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, *Instalações elétricas de baixa tensão*

ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*

ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios*

PN 03:064.10-100/1, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais*

PN 03:064.10-100/3, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida*

PN 03:064.10-100/4, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura* 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*



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 61000-4-9, *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 – Basic EMC Publication*

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, definições, símbolos e abreviaturas.

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

3.1 Termos e definições

3.1.1

descarga atmosférica para a terra (*lightning flash to earth*)

descarga elétrica de origem atmosférica entre nuvem e terra, consistindo em um ou mais componentes da descarga atmosférica

3.1.2

descarga descendente (*downward flash*)

descarga atmosférica iniciada por um líder descendente de uma nuvem para terra

3.1.3

descarga ascendente (*upward flash*)

descarga atmosférica iniciada por um líder ascendente de uma estrutura aterrada para uma nuvem

3.1.4

componente da descarga atmosférica (*lightning stroke*)

descarga elétrica singela de uma descarga atmosférica para a terra

3.1.5

componente curta da descarga atmosférica (*short stroke*)

parte de uma descarga atmosférica para a terra que corresponde a um impulso de corrente

NOTA A corrente em questão tem um tempo para o meio valor T_2 tipicamente inferior a 2 ms (ver Figura A.1).



3.1.6

componente longa da descarga atmosférica (*long stroke*)

parte de uma descarga atmosférica para terra que corresponde a componente da corrente de continuidade

NOTA A duração T_{longo} (intervalo entre o valor 10 % na frente ao valor 10 % na cauda) desta corrente de continuidade é tipicamente superior a 2 ms e menor que 1 s (ver Figura A.2).

3.1.7

múltiplos componentes da descarga atmosférica (*multiple strokes*)

descarga atmosférica para a terra que consiste em média de 3 a 4 componentes, com um intervalo de tempo típico entre eles de cerca de 50 ms.

NOTA Existem relatos de eventos que têm algumas dezenas de golpes com intervalos entre eles entre 10 ms e 250 ms.

3.1.8

ponto de impacto (*point of strike*)

ponto onde uma descarga atmosférica atinge a terra, ou um objeto elevado (por exemplo: estrutura, SPDA, serviços, árvore, etc.)

NOTA Uma descarga atmosférica para a terra pode ter diversos pontos de impacto.

3.1.9

corrente da descarga atmosférica

i

corrente que flui no ponto de impacto

3.1.10

valor de pico da corrente

I

máximo valor da corrente de descarga atmosférica

3.1.11

estrutura a ser protegida

estrutura para qual a proteção é necessária contra os efeitos das descargas atmosféricas de acordo com esta Norma

NOTA A estrutura a ser protegida pode ser uma parte de uma estrutura maior.

3.1.12

estruturas com risco de explosões

estruturas contendo materiais sólidos explosivos ou zonas perigosas determinadas de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-10-1 e ABNT NBR IEC 60079-10-2

3.1.13

estruturas perigosas ao meio ambiente

estruturas que podem causar emissões biológicas, químicas ou radioativas como consequência de uma descarga atmosférica (como plantas químicas, petroquímicas, nucleares etc.)



3.1.14

ambiente urbano

área com alta densidade de edificações ou comunidades densamente populosas com edifícios altos

NOTA O centro de uma cidade é um exemplo de um ambiente urbano.

3.1.15

ambiente suburbano

área com uma densidade média de edificações

NOTA A periferia de uma cidade é um exemplo de um ambiente suburbano.

3.1.16

ambiente rural

área com baixa densidade de edificações.

NOTA A zona rural (sítios e fazendas) é um exemplo de um ambiente rural.

3.1.17

nível de tensão nominal suportável 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 isolamento contra sobretensões (transitórias)

[IEC 60664-1:2007, definição 3.9.2, modificada]

NOTA Para os efeitos desta Norma, somente a tensão suportável entre condutores vivos e a terra é considerada.

3.1.18

sistema elétrico

sistema que incorpora componentes de fornecimento de energia em baixa tensão

3.1.19

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

3.1.20

sistemas internos

sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma estrutura

3.1.21

linha

linha de energia ou linha de telecomunicação conectada à estrutura a ser protegida

3.1.22

linhas de telecomunicações

linhas utilizadas para comunicação entre equipamentos que podem ser instalados em estruturas separadas, como as linhas telefônicas e as linhas de dados



3.1.23

linhas de energia

linhas de transmissão que fornecem energia elétrica, dentro de uma estrutura, aos equipamentos eletrônicos e elétricos de potência localizados nesta, por exemplo, os quadros elétricos de baixa tensão (BT) ou alta tensão (AT)

3.1.24

evento perigoso

descarga atmosférica direta ou perto da estrutura a ser protegida ou direta ou perto de uma linha conectada à estrutura a ser protegida que pode causar danos

3.1.25

descarga atmosférica na estrutura (*lightning flash to a structure*)

descarga atmosférica que atinge uma estrutura a ser protegida

3.1.26

descarga atmosférica perto de uma estrutura (*lightning flash near a structure*)

descarga atmosférica que atinge perto o suficiente de uma estrutura a ser protegida que pode causar sobretensões perigosas

3.1.27

descarga atmosférica direta a uma linha (*lightning flash to a line*)

descarga atmosférica que atinge uma linha conectada à estrutura a ser protegida

3.1.28

descarga atmosférica perto de uma linha (*lightning flash near a line*)

descarga atmosférica que atinge perto o suficiente de uma linha conectada à estrutura a ser protegida que pode causar sobretensões perigosas

3.1.29

número de eventos perigosos devido à descarga direta a uma estrutura

N_D

número médio anual esperado de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura

3.1.30

número de eventos perigosos devido à descarga direta a uma linha

N_L

número médio anual esperado de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma linha

3.1.31

número de eventos perigosos devido à descarga perto de uma estrutura

N_M

número médio anual esperado de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto de uma estrutura

3.1.32

número de eventos perigosos devido à descarga perto de uma linha

N_I

número médio anual esperado de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto de uma linha



3.1.33

pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas (*lightning electromagnetic impulse*) LEMP

todos os efeitos eletromagnéticos provocados pelas correntes das descargas atmosféricas via acoplamento resistivo, indutivo e capacitivo, que criem surtos e campos eletromagnéticos

3.1.34

surto

efeito transitório causado por LEMP que aparece na forma de sobretensão e/ou sobrecorrente

3.1.35

nó

ponto de uma linha a partir do qual a propagação do surto pode ser assumido como irrisória

EXEMPLO o ponto em um ramal de distribuição de uma linha de energia no transformador AT/BT ou em uma subestação de potência, a estação de telecomunicação ou um equipamento (por exemplo, o multiplexador ou um equipamento xDSL) em uma linha de telecomunicação.

3.1.36

danos físicos

danos a uma estrutura (ou a seu conteúdo) devido aos efeitos mecânicos, térmicos, químicos ou explosivos da descarga atmosférica

3.1.37

ferimentos a seres vivos

ferimentos, incluindo perda da vida, em pessoas ou animais, devido a tensões de toque e de passo causadas pelas descargas atmosféricas

NOTA Embora os seres vivos possam se ferir de outras maneiras, nesta Parte da ABNT NBR 5419, o termo "ferimentos a seres vivos" está limitado às ameaças devido ao choque elétrico (tipo de dano D1).

3.1.38

falhas de sistemas eletroeletrônicos

danos permanentes de sistemas eletroeletrônicos devido aos LEMP

3.1.39

probabilidade de dano

P_x

probabilidade de um evento perigoso causar danos na, ou dentro, da estrutura a ser protegida

3.1.40

perda

L_x

quantidade média de perda (pessoas e bens) consequente a um tipo específico de dano devido a um evento perigoso, relativo a um valor (pessoas e bens) de uma estrutura a ser protegida

3.1.41

risco

R

valor da perda média anual provável (pessoas e bens) devido à descarga atmosférica, em relação ao valor total (pessoas e bens) da estrutura a ser protegida

3.1.42

componente de risco

R_x

risco parcial que depende da fonte e do tipo de dano



3.1.43

risco tolerável

R_T

valor máximo do risco que pode ser tolerável para a estrutura a ser protegida

3.1.44

zona de uma estrutura

Z_S

parte de uma estrutura com características homogêneas onde somente um conjunto de parâmetros está envolvido na taxa de um componente de risco

3.1.45

seção de um linha

S_L

parte de uma linha com características homogêneas onde somente um conjunto de parâmetros está envolvido na taxa de um componente de risco

3.1.46

zona de proteção contra descarga atmosférica “raio” (*lightning protection zone - LPZ*)

ZPR

zona onde o ambiente eletromagnético causado pelo raio é definido

NOTA O limite de um ZPR não é necessariamente um limite físico (por exemplo, paredes, piso e teto).

3.1.47

nível de proteção contra descargas atmosféricas (*lightning protection level*)

NP

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

NOTA O nível de proteção contra descargas atmosféricas é utilizado para projetar as medidas de proteção de acordo com o conjunto relevante de parâmetros da corrente da descarga atmosférica.

3.1.48

medidas de proteção

medidas a serem adotadas na estrutura a ser protegida, com o objetivo de reduzir os riscos

3.1.49

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

3.1.50

sistema de proteção contra descargas atmosféricas

SPDA

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

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

3.1.51

medidas de proteção contra surtos (*LEMP protection measures*)

MPS

medidas a serem tomadas para proteger os sistemas internos contra os efeitos dos LEMP

NOTA É uma parte da proteção contra descargas atmosféricas.



3.1.52

blindagem magnética

tela metálica, em forma de malha ou contínua, que envolve a estrutura a ser protegida, ou parte dela, utilizada para reduzir falhas dos sistemas eletroeletrônicos

3.1.53

cabo protegido contra descargas atmosféricas

cabo especial com aumento de isolamento dielétrico, cujo revestimento metálico está em contínuo contato com o solo diretamente ou por meio de cobertura plástica condutora

3.1.54

duto (para cabos) protegido contra descargas atmosféricas

duto (para cabos) de baixa resistividade em contato com o solo (por exemplo, de concreto com armadura de aço interconectada ou duto metálico)

3.1.55

dispositivo de proteção contra surto

DPS

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

3.1.56

sistema coordenado de DPS

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

3.1.57

interfaces isolantes

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

NOTA 1 Estas incluem transformadores de isolação com grade aterrada entre enrolamentos, cabos ópticos de fibras não metálicas e optoisoladores.

NOTA 2 As características de suportabilidade isolante destes dispositivos são adequadas para esta aplicação intrinsecamente ou por meio de DPS.

3.1.58

ligação equipotencial para descargas atmosféricas (*lightning equipotential bonding*)

EB

ligação ao SPDA de partes metálicas separadas, por conexões condutoras diretas ou por meio de dispositivos de proteção contra surtos, para reduzir diferenças de potenciais causadas pelas correntes das descargas atmosféricas

3.1.59

zona 0

local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa está presente continuamente ou por longos períodos ou frequentemente (ver ABNT NBR IEC 60050-426)

3.1.60

zona 1

local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa pode ocorrer em operação normal ocasionalmente (ver ABNT NBR IEC 60050-426)



3.1.61

zona 2

local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura de ar e substâncias inflamáveis em forma de gás, vapor ou névoa não é provável de ocorrer em operação normal mas, se isto acontecer, irá persistir somente por períodos curtos

NOTA 1 Nesta definição, a palavra “persistir” significa o tempo total durante o qual a atmosfera inflamável irá existir. Isto irá compreender a duração total da ocorrência mais o tempo levado para que a atmosfera inflamável se disperse depois da ocorrência ter cessado.

NOTA 2 Indicações da frequência de ocorrência e duração podem ser obtidas das normas relativas a indústrias ou aplicações específicas.

3.1.62

zona 20

local no qual uma atmosfera explosiva, na forma de nuvem de poeira combustível no ar, está presente continuamente ou por longos períodos ou frequentemente (ver ABNT NBR IEC 60079-10-2)

3.1.63

zona 21

local no qual uma atmosfera explosiva, na forma de nuvem de poeira combustível no ar, pode ocorrer em operação normal ocasionalmente (ver ABNT NBR IEC 60079-10-2)

3.1.64

zona 22

local no qual uma atmosfera explosiva, na forma de nuvem de poeira combustível no ar, não é provável de ocorrer em operação normal, mas se isto ocorrer, irá persistir somente por um período curto (ver ABNT NBR IEC 60079-10-2)

3.2 Símbolos e abreviaturas

a	Taxa de amortização
A_D	Área de exposição equivalente para descargas a uma estrutura isolada
A_{DJ}	Área de exposição equivalente para descargas a uma estrutura adjacente
$A_{D'}$	Área de exposição equivalente atribuída a uma saliência elevada na cobertura
A_l	Área de exposição equivalente para descargas perto de uma linha
A_L	Área de exposição equivalente para descargas em uma linha
A_M	Área de exposição equivalente para descargas perto de uma estrutura
B	Edificação
C_D	Fator de localização
C_{DJ}	Fator de localização de uma estrutura adjacente
C_E	Fator ambiental
C_l	Fator de instalação de uma linha



C_L	Custo anual das perdas totais na ausência de medidas de proteção
C_{LD}	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha
C_{LI}	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha
C_{LZ}	Custo das perdas em uma zona
C_P	Custo das medidas de proteção
C_{PM}	Custo anual das medidas de proteção selecionadas
C_{RL}	Custo anual de perdas residuais
C_{RLZ}	Custo de perdas residuais em uma zona
C_T	Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha
c_a	Valor dos animais em uma zona, em espécie
c_b	Valor do edifício relevante a zona, em espécie
c_c	Valor do conteúdo em uma zona, em espécie
c_e	Valor total dos bens em locais perigosos fora da estrutura, em espécie
c_s	Valor dos sistemas internos (incluindo suas atividades) em uma zona, em espécie
c_t	Valor total da estrutura, em espécie
c_z	Valor do patrimônio cultural em uma zona, em espécie
D1	Ferimentos a seres vivos por choque elétrico
D2	Danos físicos
D3	Falhas de sistemas eletroeletrônicos
h_z	Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente
H	Altura da estrutura
H_J	Altura de uma estrutura adjacente
i	Taxa de juros
K_{MS}	Fator relevante ao desempenho das medidas de proteção contra LEMP
K_{S1}	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura
K_{S2}	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura



K_{S3}	Fator relevante às características do cabeamento interno
K_{S4}	Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema
L	Comprimento da estrutura
L_a	Comprimento da estrutura adjacente
L_A	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas à estrutura)
L_B	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas à estrutura)
L_L	Comprimento de uma seção da linha
L_C	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas à estrutura)
L_E	Perda adicional quando os danos envolvem estruturas ao redor
L_F	Perda em uma estrutura devido a danos físicos
L_{FE}	Perda devido a danos físicos fora da estrutura
L_{FT}	Perda total devido a danos físicos dentro e fora da estrutura
L_M	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas perto da estrutura)
L_o	Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos
L_T	Perda devido a ferimentos por choque elétrico
L_U	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas na linha)
L_V	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas na linha)
L_W	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas na linha)
L_X	Perda consequente a danos relevantes à estrutura
L_Z	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas perto da linha)
L_1	Perda de vida humana
L_2	Perda de serviço ao público
L_3	Perda de patrimônio cultural
L_4	Perda de valor econômico
m	Taxa de manutenção
N_X	Número de eventos perigosos por ano
N_D	Número de eventos perigosos devido às descargas em uma estrutura



N_{DJ}	Número de eventos perigosos devido às descargas em uma estrutura adjacente
N_G	Densidade de descargas atmosféricas para a terra
N_I	Número de eventos perigosos devido às descargas perto de uma linha
N_L	Número de eventos perigosos devido às descargas a uma linha
N_M	Número de eventos perigosos devido às descargas perto de uma estrutura
n_z	Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)
n_t	Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado
P	Probabilidade de danos
P_A	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas à estrutura)
P_B	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas à estrutura)
P_C	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas à estrutura)
P_{EB}	Probabilidade de reduzir P_U e P_V dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando EB (ligação equipotencial) é instalada
P_{LD}	Probabilidade de reduzir P_U , P_V e P_W dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas na linha conectada)
P_{LI}	Probabilidade de reduzir P_Z dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas perto da linha conectada)
P_M	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas perto da linha conectada)
P_{MSI}	Probabilidade de reduzir P_M dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento
P_{SPD}	Probabilidade de reduzir P_C , P_M , P_W e P_Z quando um sistema coordenado de DPS está instalado
P_{TA}	Probabilidade de reduzir P_A dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo
P_U	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas perto da linha conectada)
P_V	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas perto da linha conectada)
P_W	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas na linha conectada)
P_X	Probabilidade de danos relevantes à estrutura (descargas à estrutura)
P_Z	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas perto da linha conectada)
r_t	Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo



r_f	Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio
r_p	Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio
R	Risco
R_A	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga na estrutura)
R_B	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga na estrutura)
R_C	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga na estrutura)
R_M	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga perto da estrutura)
R_s	Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo
R_T	Risco tolerável
R_U	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga na linha conectada)
R_V	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga na linha conectada)
R_W	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga na linha conectada)
R_X	Componente de risco para uma estrutura
R_Z	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga perto da linha)
R_1	Risco de perda de vida humana em uma estrutura
R_2	Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura
R_3	Risco de perda de patrimônio cultural em uma estrutura
R_4	Risco de perda de valor econômico em uma estrutura
R'_4	Risco R_4 quando medidas de proteção forem adotadas
S	Estrutura
S	Economia anual de dinheiro
S_L	Seção de uma linha
S_1	Fonte de dano – descargas na estrutura
S_2	Fonte de dano – descargas perto da estrutura
S_3	Fonte de dano – descargas na linha
S_4	Fonte de dano – descargas perto da linha
t_e	Tempo, em horas por ano, da presença de pessoas em locais perigosos fora da estrutura



t_z	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso
T_D	Dias de tempestades por ano
U_W	Tensão suportável nominal de impulso de um sistema
w	Largura da malha
W	Largura da estrutura
W_J	Largura da estrutura adjacente
X	Identificador subscrito do componente de risco relevante
Z_S	Zonas de uma estrutura

4 Interpretação dos termos

4.1 Danos e perdas

4.1.1 Fontes dos danos

A corrente da descarga atmosférica é a principal fonte de dano. As seguintes fontes são distintas pelo ponto de impacto (ver Tabela 1):

- S1: descargas na estrutura;
- S2: descargas perto da estrutura;
- S3: descargas na linha;
- S4: descargas perto da linha.

4.1.2 Tipos de danos

A descarga atmosférica pode causar danos dependendo das características da estrutura a ser protegida. Algumas das características mais importantes são: tipo de construção, conteúdos e aplicações, tipo de serviço e medidas de proteção existentes.

Para aplicações práticas desta análise de risco, é usual distinguir entre três tipos básicos de danos os quais aparecem como consequência das descargas atmosféricas. Eles são os seguintes (ver Tabela 1):

- D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D2: danos físicos;
- D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

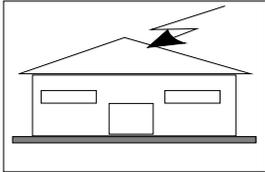
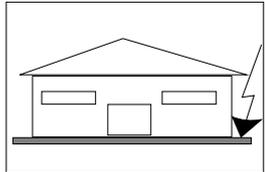
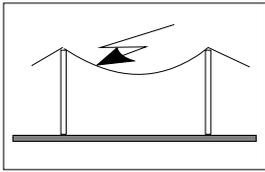
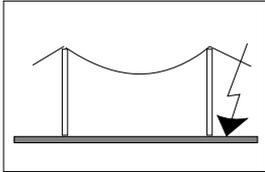
Os danos a uma estrutura devido às descargas atmosféricas podem ser limitados a uma parte da estrutura ou pode se estender a estrutura inteira. Podem envolver também as estruturas ao redor ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas).

4.1.3 Tipos de perdas

Cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com outros, pode produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida. O tipo de perda pode acontecer dependendo das características da própria estrutura e do seu conteúdo. Os seguintes tipos de perdas devem ser levados em consideração (ver Tabela 1):

- a) L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
<p>^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.</p> <p>^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.</p>			



4.2 Riscos e componentes de risco

4.2.1 Risco

O risco, R , é um valor relativo a uma provável perda anual média. Para cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, o risco resultante deve ser avaliado.

Os riscos a serem avaliados em uma estrutura devem ser como a seguir:

- a) R_1 : risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) R_2 : risco de perda de serviço ao público;
- c) R_3 : risco de perda de patrimônio cultural;
- d) R_4 : risco de perda de valores econômicos.

Para avaliar os riscos, R , os relevantes componentes de risco (riscos parciais dependem da fonte e do tipo de dano) devem ser definidos e calculados.

Cada risco, R , é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos.

4.2.2 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas na estrutura

- a) R_A : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também aumentar;

NOTA Em estruturas especiais, pessoas podem estar em perigo por descargas diretas (por exemplo, no nível superior de estacionamentos ou estádios). Recomenda-se que estes casos também sejam considerados utilizando os princípios desta Parte da ABNT NBR 5419.

- b) R_B : componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;
- c) R_C : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

4.2.3 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas perto da estrutura

- R_M : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

4.2.4 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas a uma linha conectada à estrutura

- a) R_U : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;



- b) R_V : componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem ocorrer;
- c) R_W : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

NOTA 1 As linhas consideradas nesta análise são somente aquelas que entram na estrutura.

NOTA 2 Descargas atmosféricas em, ou perto de, tubulações não são consideradas como uma fonte de danos, uma vez que existe a interligação ao barramento de equipotencialização. Se o barramento de equipotencialização não existir, recomenda-se que este tipo de ameaça também seja considerado.

4.2.5 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas perto de uma linha conectada à estrutura

- R_Z : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

NOTA 1 As linhas consideradas nesta análise são somente aquelas que entram na estrutura.

NOTA 2 Descargas atmosféricas em ou perto de tubulações não são consideradas como uma fonte de danos, uma vez que existe a interligação ao barramento de equipotencialização. Se o barramento de equipotencialização não existir, recomenda-se que este tipo de ameaça também seja considerado.

4.3 Composição dos componentes de risco

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda na estrutura são listados a seguir:

- a) R_1 : Risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1} \quad (1)$$

Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana.

- b) R_2 : Risco de perdas de serviço ao público:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

- c) R_3 : Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

- d) R_4 : Risco de perdas de valor econômico:

$$R_4 = R_{A4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Os componentes de risco que correspondem a cada tipo de perda são também agrupados na Tabela 2.

Tabela 2 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

Fonte de danos	Descarga na estrutura S1			Descarga perto da estrutura S2	Descarga em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga perto de uma linha conectada à estrutura S4
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Componente de risco	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* b	*	*	*	* b	*	*	*

^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.

^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Características da estrutura e de possíveis medidas de proteção que influenciam os componentes de risco para uma estrutura são dados na Tabela 3.

Tabela 3 – Fatores que influenciam os componentes de risco

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X ^c	X ^c	X	X	X	X

Tabela 3 (continuação)

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistema de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X
^a Somente para SPDA tipo malha externa. ^b Devido a ligações equipotenciais. ^c Somente se eles pertencem ao equipamento.								

5 Gerenciamento de risco

5.1 Procedimento básico

- a) identificação da estrutura a ser protegida e suas características;
- b) identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes R (R_1 a R_4);
- c) avaliação do risco R para cada tipo de perda R_1 a R_4 ;
- d) avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos R_1 , R_2 e R_3 com os riscos toleráveis R_T ;
- e) avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção. Neste caso, a avaliação dos componentes de risco R_4 deve ser feita no sentido de avaliar tais custos (ver Anexo D).

5.2 Estrutura a ser considerada para análise de risco

A estrutura a ser considerada inclui:

- a) a própria estrutura;
- b) as instalações na estrutura;
- c) o conteúdo da estrutura;
- d) as pessoas na estrutura ou nas zonas até 3 m para fora da estrutura;
- e) o meio ambiente afetado por danos na estrutura.

A proteção não inclui as linhas conectadas fora da estrutura.

NOTA A estrutura a ser considerada pode ser subdividida em várias zonas (ver 6.7).

5.3 Risco tolerável R_T

É de responsabilidade da autoridade que tenha jurisdição identificar o valor do risco tolerável.

Valores representativos de risco tolerável R_T , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais, são fornecidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores típicos de risco tolerável R_T

Tipo de perda		R_T (y^{-1})
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Em princípio, para perda de valor econômico (L4), a rotina a ser seguida é a comparação custo/benefício dada no Anexo D. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

5.4 Procedimento específico para avaliar a necessidade de proteção

De acordo com o PN 03:064.10-100/1, os riscos R_1 , R_2 e R_3 devem ser considerados na avaliação da necessidade da proteção contra as descargas atmosféricas.

Para cada tipo de risco a ser considerado, os seguintes passos devem ser tomados:

- a) identificação dos componentes R_X que compõe o risco;
- b) cálculo dos componentes de risco identificados R_X ;
- c) cálculo do risco total R (ver 4.3);
- d) identificação dos riscos toleráveis R_T ;
- e) comparação do risco R com o valor do risco tolerável R_T .

Se $R \leq R_T$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária.

Se $R > R_T$, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir $R \leq R_T$ para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.



O procedimento para avaliar a necessidade de proteção está descrito na Figura 1.

No caso em que o risco não possa ser reduzido a um nível tolerável, o proprietário deve ser informado e o mais alto nível de proteção deve ser providenciado para a instalação.

Onde a proteção contra descargas atmosféricas são exigidas pela autoridade que tenha jurisdição para estruturas com risco de explosão, pelo menos um SPDA classe II deve ser adotado. Exceções ao uso de proteção contra descargas atmosféricas nível II podem ser permitidas quando tecnicamente justificadas e autorizadas para autoridade que tenha jurisdição. Por exemplo, o uso de uma proteção contra descargas atmosféricas nível I é permitida em todos os casos, especialmente nos casos em que o meio ambiente ou o conteúdo dentro da estrutura são excepcionalmente sensíveis aos efeitos das descargas. Em complemento, as autoridades que tenham jurisdição podem permitir SPDA nível III onde houver uma baixa frequência de atividade atmosférica e/ou a baixa sensibilidade dos conteúdos da estrutura garanta isto.

NOTA Onde o dano à estrutura devido à descarga atmosférica possa também envolver as estruturas ao redor ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), medidas de proteção adicionais para a estrutura e medidas apropriadas para estas zonas podem ser exigidas pelas autoridades que tenham jurisdição.

5.5 Procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção

Além da necessidade da proteção contra descargas atmosféricas da estrutura, pode ser muito útil a verificação dos benefícios econômicos da instalação das medidas de proteção no sentido de reduzir as perdas econômicas L4.

A análise dos componentes de risco R_4 permite ao usuário avaliar o custo da perda econômica com ou sem as medidas de proteção adotadas (ver Anexo D).

O procedimento para verificar o custo da eficiência da proteção requer:

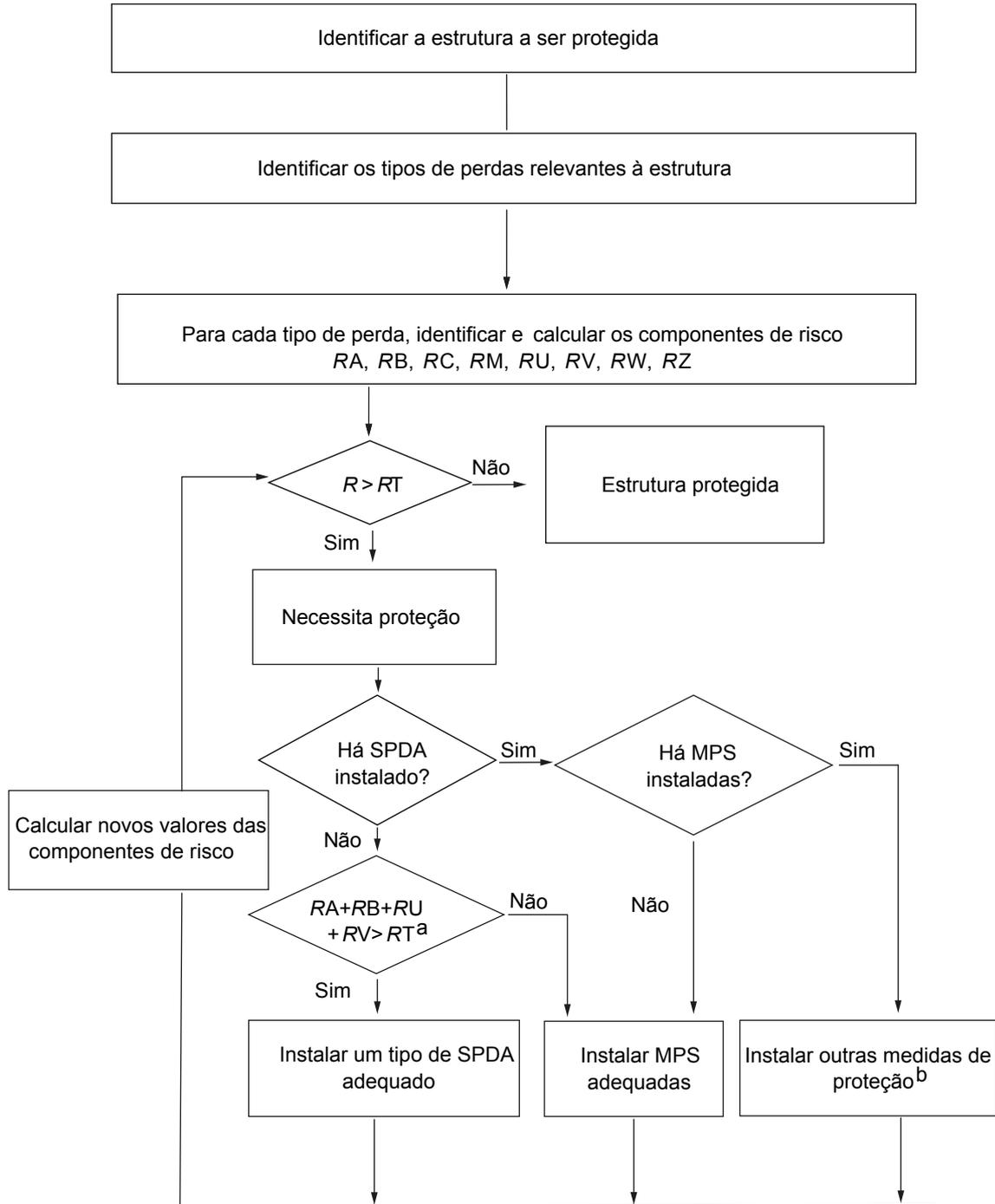
- identificação dos componentes R_X que compõem o risco R_4 ;
- cálculo dos componentes de risco identificados R_X na ausência de novas/adicionais medidas de proteção;
- cálculo do custo anual de perdas devido a cada componente de risco R_X ;
- cálculo do custo anual C_L da perda total na ausência das medidas de proteção;
- adoção das medidas de proteção selecionadas;
- cálculo dos componentes de risco R_X com a presença das medidas de proteção selecionadas;
- cálculo do custo anual das perdas residuais devido a cada componente de risco R_X na estrutura protegida;
- cálculo do custo anual total C_{RL} das perdas residuais com a presença das medidas de proteção selecionadas;
- cálculo do custo anual C_{PM} das medidas de proteção selecionadas;
- comparação dos custos.

Se $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, a proteção contra descargas atmosféricas pode ser julgada não tendo custo eficiente.

Se $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$, as medidas de proteção podem provar a economia monetária durante a vida da estrutura.

O procedimento para avaliar a eficiência do custo da proteção está mostrado na Figura 2.

Pode ser útil avaliar algumas variações da combinação das medidas de proteção para achar a solução ótima em relação à eficiência do custo.



^a Se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário; neste caso, DPS (s) de acordo com o PN 03:064.10-100/3 são suficientes.

^b Ver Tabela 3.

Figura 1 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção

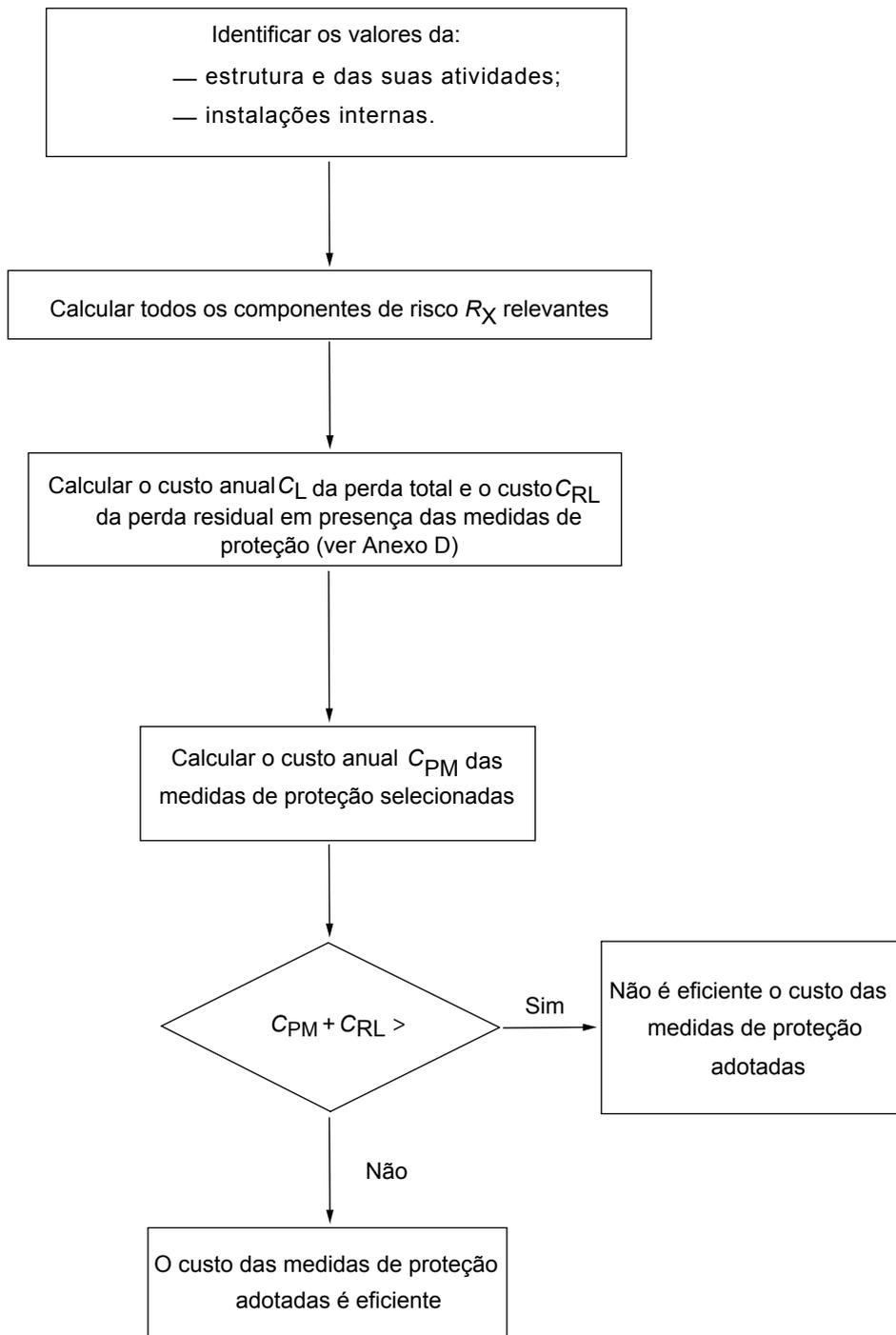


Figura 2 – Procedimento para avaliação da eficiência do custo das medidas de proteção



5.6 Medidas de proteção

Medidas de proteção são direcionadas para reduzir o risco de acordo com o tipo de dano.

Medidas de proteção devem ser consideradas efetivas somente se elas estiverem conforme os requisitos das seguintes normas:

- PN 03:064.10-100/3 para proteção contra ferimentos de seres vivos e danos físicos à estrutura;
- PN 03:064.10-100/4 para proteção contra falhas de sistemas eletroeletrônicos.

5.7 Seleção das medidas de proteção

A seleção da maioria das medidas de proteção adequadas deve ser feita pelo projetista de acordo com a participação de cada componente de risco no risco total R e de acordo com aspectos técnicos e econômicos das diferentes medidas de proteção.

Parâmetros críticos devem ser identificados com o objetivo de determinar as medidas mais eficientes para reduzir o risco R .

Para cada tipo de perda, há um número de medidas de proteção que, individualmente ou em combinação, faz com que a condição $R \leq R_T$ seja mantida. A solução a ser adotada deve ser selecionada em função dos aspectos técnicos e econômicos. Um procedimento simplificado para a seleção das medidas de proteção é dado no diagrama de fluxo da Figura 1. Em qualquer caso, o instalador ou o projetista deve identificar os componentes de risco mais críticos e reduzi-los, levando também em consideração os aspectos econômicos.

6 Análise dos componentes de risco

6.1 Equação básica

Cada componente de risco R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z , como descrito em 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5, pode ser expressa pela seguinte equação geral:

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \quad (5)$$

onde

N_X é o número de eventos perigosos por ano (ver também Anexo A);

P_X é a probabilidade de dano à estrutura (ver também Anexo B);

L_X é a perda consequente (ver também Anexo C).

O número N_X de eventos perigosos é afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) e pelas características físicas da estrutura a ser protegida, sua vizinhança, linhas conectadas e o solo.

A probabilidade de dano P_X é afetada pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes.

A perda consequente L_X é afetada pelo uso para o qual a estrutura foi projetada, a frequência das pessoas, o tipo de serviço fornecido ao público, o valor dos bens afetados pelos danos e as medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas.



NOTA Quando o dano à estrutura devido à descarga atmosférica também envolver estruturas nas redondezas ou ao meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), recomenda-se que a perda consequente seja adicionada ao valor de L_X .

6.2 Análise dos componentes de risco devido às descargas na estrutura (S1)

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura, as seguintes equações são aplicáveis:

- a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

- b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

- c) componente relacionado à falha de sistemas internos (D3)

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (8)$$

Parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5.

6.3 Análise dos componentes de risco devido às descargas perto da estrutura (S2)

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura, a seguinte equação é aplicável:

- componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

Parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5.

6.4 Análise dos componentes de risco devido às descargas em uma linha conectada à estrutura (S3)

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura, as seguintes equações são aplicáveis:

- a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (10)$$

- b) componente relacionado a danos físicos (D2)

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (11)$$

- c) componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3)

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (12)$$

NOTA 1 Em muitos casos, N_{DJ} pode ser desprezado.



Parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5.

Se a linha tiver mais de uma seção (ver 6.8), os valores de R_U , R_V e R_W são a soma dos valores relevantes de R_U , R_V e R_W para cada seção da linha. As seções a serem consideradas são aquelas entre a estrutura e o primeiro nó.

No caso de uma estrutura com mais de uma linha conectada com diferente roteamento, os cálculos devem ser feitos para cada linha.

No caso de uma estrutura com mais de uma linha conectada com o mesmo roteamento, o cálculo deve ser feito somente para a linha com as piores características, ou seja, a linha com os valores mais altos de N_L e N_I conectado ao sistema interno com os menores valores de U_W (linha de telecomunicação *versus* linha de energia, linha não blindada *versus* linha blindada, linha de energia em baixa tensão *versus* linha de energia em alta tensão com transformador AT/BT etc.).

NOTA 2 No caso de linhas para as quais exista uma sobreposição da área de exposição equivalente, a área sobreposta deve ser considerada somente uma vez.

6.5 Análise dos componentes de risco devido às descargas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)

Para a avaliação dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura, a seguinte equação é aplicável:

— componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z \quad (13)$$

Parâmetros para avaliar estes componentes de risco são dados na Tabela 5.

Se a linha tiver mais de uma seção (ver 6.8), o valor de R_Z é a soma dos componentes relevantes de R_Z para cada seção da linha. As seções a serem consideradas são aquelas entre a estrutura e o primeiro nó.

Tabela 5 – Parâmetros relevantes para avaliação dos componentes de risco

Símbolo	Denominação	Valor de acordo com a Seção
Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas		
N_D	— à estrutura	A.2
N_M	— perto da estrutura	A.3
N_L	— em uma linha conectada à estrutura	A.4
N_I	— perto de uma linha conectada à estrutura	A.5
N_{DJ}	— a uma estrutura adjacente (ver Figura A.5)	A.2

Tabela 5 (continuação)

Símbolo	Denominação	Valor de acordo com a Seção
Probabilidade de uma descarga na estrutura de causar		
P_A	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	B.2
P_B	— danos físicos	B.3
P_C	— falha de sistemas internos	B.4
Probabilidade de uma descarga perto da estrutura de causar		
P_M	— falha de sistemas internos	B.5
Probabilidade de uma descarga em uma linha de causar		
P_U	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	B.6
P_V	— danos físicos	B.7
P_W	— falha de sistemas internos	B.8
Probabilidade de uma descarga perto de uma linha de causar		
P_Z	— falha de sistemas internos	B.9
Perda devido a		
$L_A = L_U$	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	C.3
$L_B = L_V$	— danos físicos	C.3, C.4, C.5, C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	— falha de sistemas internos	C.3, C.4, C.6

No caso de uma estrutura com mais de uma linha conectada com roteamento diferente, os cálculos devem ser feitos para cada linha.

No caso de uma estrutura com mais de uma linha conectada com o mesmo roteamento, o cálculo deve ser feito somente para a linha com as piores características, ou seja, a linha com os valores mais altos de N_L e N_I conectado ao sistema interno com os menores valores de U_W (linha de telecomunicação *versus* linha de energia, linha não blindada *versus* linha blindada, linha de energia em baixa tensão *versus* linha de energia em alta tensão com transformador AT/BT etc.).

6.6 Sumário dos componentes de risco

Os componentes de risco para estruturas estão descritos na Tabela 6 de acordo com os tipos diferentes de danos e diferentes fontes de danos.

Tabela 6 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos

Danos	Fonte de danos			
	S1 Descarga na estrutura	S2 Descarga perto da estrutura	S3 Descarga na linha conectada	S4 Descarga perto da linha conectada
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D2 Danos físicos	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Se a estrutura for dividida em zonas Z_S (ver 6.7), cada componente de risco deve ser avaliado para cada zona Z_S .

O risco total R da estrutura é a soma dos componentes de risco relevantes para as zonas Z_S que constituem a estrutura.

6.7 Dividindo a estrutura em zonas Z_S

Para avaliar cada componente de risco, a estrutura pode ser dividida em zonas Z_S cada uma com características homogêneas. Entretanto, a estrutura pode ser, ou pode assumir ser, uma zona única.

a) Zonas Z_S são principalmente definidas por:

- tipo de solo ou piso (componentes de risco R_A e R_U);
- compartimentos à prova de fogo (componentes de risco R_B e R_V);
- blindagem espacial (componentes de risco R_C e R_M).

b) Zonas adicionais podem ser definidas de acordo com:

- leiaute dos sistemas internos (componentes de risco R_C e R_M);
- medidas de proteção existentes ou a serem instaladas (todos componentes de risco);
- valores de perdas L_X (todos componentes de risco).

A divisão da estrutura em zonas Z_S deve levar em conta a exequibilidade da implementação da maioria das medidas de proteção adequadas.

NOTA As zonas Z_S de acordo com esta Parte da ABNT NBR 5419 podem ser ZPR alinhadas com o PN 03:064.10-100/4. Entretanto, elas podem ser diferentes também das ZPR.

6.8 Dividindo uma linha em seções S_L

Para avaliar cada componente de risco devido a uma descarga na, ou perto da, linha, a linha pode ser dividida em seções S_L . Entretanto, a linha pode ser, ou pode assumir ser, uma seção única.

Para todos os componentes de riscos, seções S_L são principalmente definidas por:

- tipo da linha (aérea ou enterrada);
- fatores que afetem a área de exposição equivalente (C_D , C_E , C_T);
- características da linha (blindada ou não blindada, resistência da blindagem).

Se mais de um valor de um parâmetro existir em uma seção, o valor que leve ao mais alto valor de risco deve ser assumido.

6.9 Análise dos componentes de risco em uma estrutura com zonas Z_S

6.9.1 Critério geral

Para a avaliação dos componentes de risco e a seleção dos parâmetros relevantes envolvidos, as seguintes regras são aplicadas:

- parâmetros relevantes ao número N de eventos perigosos devem ser avaliados de acordo com o Anexo A;
- parâmetros relevantes à probabilidade P de danos devem ser avaliados de acordo com o Anexo B.

Entretanto:

- para componentes R_A , R_B , R_U , R_V , R_W e R_Z , somente um valor deve ser fixado em cada zona para cada parâmetro envolvido. Quando mais de um valor é aplicável, o maior deles deve ser escolhido.
- para componentes R_C e R_M , se mais de um sistema interno é envolvido em uma zona, valores de P_C e P_M são dados por:

$$\bullet \quad P_C = 1 - (1 - P_{C1}) \times (1 - P_{C2}) \times (1 - P_{C3}) \quad (14)$$

$$\bullet \quad P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \times (1 - P_{M2}) \times (1 - P_{M3}) \quad (15)$$

onde P_{Ci} e P_{Mi} são parâmetros relevantes ao sistema interno $i = 1, 2, 3, \dots$

- parâmetros relevantes à quantidade L de perdas deve ser avaliado de acordo com o Anexo C.

Com exceção feita para P_C e P_M , se mais de um valor de qualquer outro parâmetro existir em uma zona, o valor do parâmetro que levar ao mais alto valor de risco deve ser assumido.

6.9.2 Estrutura com zona única

Neste caso, somente uma zona Z_S fictícia da estrutura completa é definida. O risco R é a soma dos componentes de risco R_X desta zona.

Definir a estrutura com uma zona única pode levar a medidas de proteção caras porque cada medida deve ser estendida à estrutura completa.



6.9.3 Estrutura multizona

Neste caso, a estrutura é dividida em zonas múltiplas Z_S . O risco para a estrutura é a soma dos riscos relevantes de todas as zonas da estrutura; em cada zona, o risco é a soma de todos os componentes de risco relevantes na zona.

Dividir a estrutura em zonas permite ao projetista levar em conta as características de cada parte da estrutura na avaliação dos componentes de risco e selecionar as medidas de proteção mais adequadas trabalhadas zona a zona, reduzindo o custo total da proteção contra as descargas atmosféricas.

6.10 Análise de custo-benefício para perda econômica (L4)

Queira ou não queira, existe a necessidade de determinar a proteção para reduzir os riscos R_1 , R_2 , e R_3 , sendo útil para avaliar uma justificativa econômica na adoção das medidas de proteção no sentido de reduzir o risco R_4 de perda econômica.

Os itens para os quais a avaliação de risco R_4 deve ser feita podem ser definidos para:

- a) a estrutura completa;
- b) uma parte da estrutura;
- c) uma instalação interna;
- d) uma parte de uma instalação interna;
- e) uma parte de um equipamento;
- f) o conteúdo da estrutura.

O custo de perdas, o custo das medidas de proteção e a possível economia devem ser avaliados de acordo com o Anexo D. Se os dados para esta análise não forem disponíveis, o valor representativo do risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

Anexo A (informativo)

Análise do número anual N de eventos perigosos

A.1 Geral

O número médio anual N de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas que influenciam a estrutura a ser protegida depende da atividade atmosférica da região onde a estrutura está localizada e das características físicas da estrutura. Para calcular o número N , deve-se multiplicar a densidade de descargas para a terra N_G pela área de exposição equivalente da estrutura, levando em conta os fatores de correção para as características físicas da estrutura.

A densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G é o número de descargas atmosféricas por km^2 por ano. Este valor é disponível nas redes de localização de descargas para a terra em diversas áreas no mundo.

No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), por meio do Grupo de Eletricidade Atmosférica, disponibilizou os dados de N_G de duas formas:

- Mapas impressos: Brasil e as cinco regiões brasileiras (ver Anexo F)
- *Link na internet:* http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng

NOTA Se um mapa de N_G não for disponível, em regiões temperadas pode ser estimado por:

$$N_G \approx 0,1 T_D \quad (\text{A.1})$$

onde T_D é o número de dias de tempestades por ano (o qual pode ser obtido dos mapas isocerânicos).

Eventos que podem ser considerados como perigosos para uma estrutura a ser protegida são:

- descargas na estrutura;
- descargas perto da estrutura;
- descargas em uma linha conectada à estrutura;
- descargas perto de uma linha conectada à estrutura;
- descargas em uma outra estrutura na qual a linha é conectada.

A.2 Análise do número médio anual de eventos perigosos N_D devido a descargas na estrutura e N_{DJ} em uma estrutura adjacente

A.2.1 Determinação da área de exposição equivalente A_D

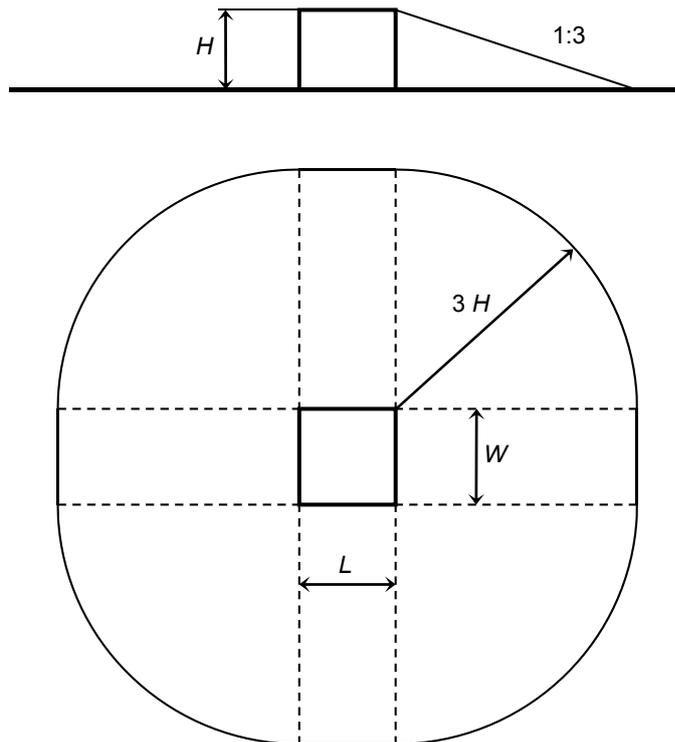
Para estruturas isoladas em solos planos, a área de exposição equivalente A_D é a área definida pela intersecção entre a superfície do solo com uma linha reta de inclinação 1 para 3 a qual passa pelas partes mais altas da estrutura (tocando-a nestes pontos) e rotacionando ao redor dela. A determinação do valor de A_D pode ser obtida graficamente ou matematicamente.

A.2.1.1 Estrutura retangular

Para uma estrutura retangular isolada com comprimento L , largura W , e altura H em um solo plano, a área de exposição equivalente é dada por:

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (\text{A.2})$$

onde L , W e H são expressos em metros (ver Figura A.1).



IEC 2637/10

Figura A.1 – Área de exposição equivalente A_D de uma estrutura isolada

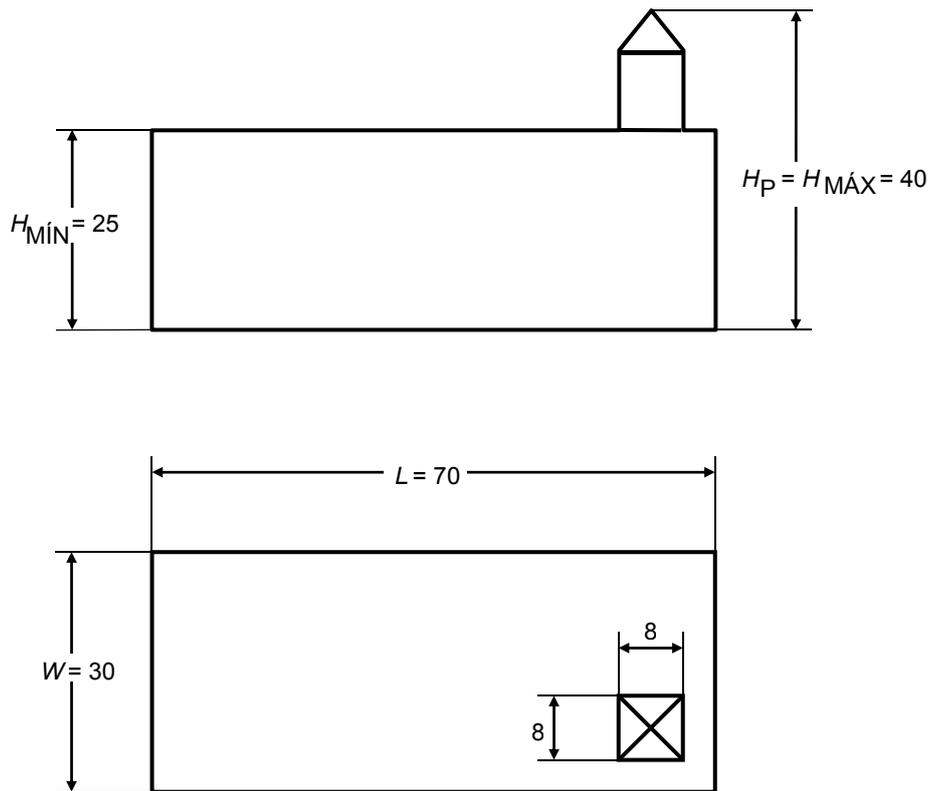
A.2.1.2 Estrutura com forma complexa

Se a estrutura tiver uma forma complexa, como saliências elevadas na cobertura (ver Figura A.2), um método gráfico deve ser utilizado para avaliar A_D (ver Figura A.3).

Um valor aproximado aceitável para a área de exposição equivalente é o maior valor entre a área de exposição equivalente $A_{D\text{MÍN}}$ avaliada pela Equação (A.2), tomando a altura mínima $H_{\text{MÍN}}$ da estrutura, e a área de exposição equivalente atribuída à saliência elevada na cobertura $A_{D'}$. $A_{D'}$ pode ser calculada por:

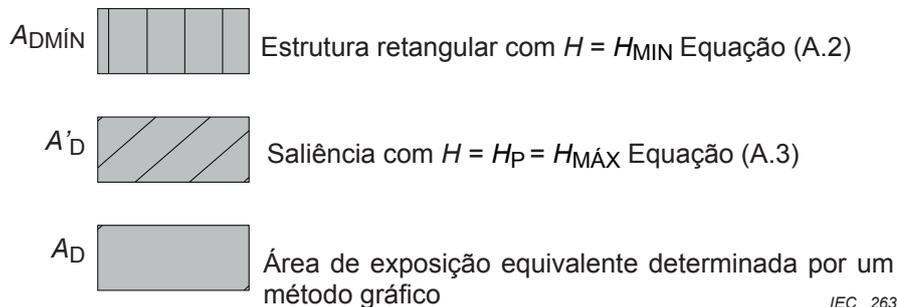
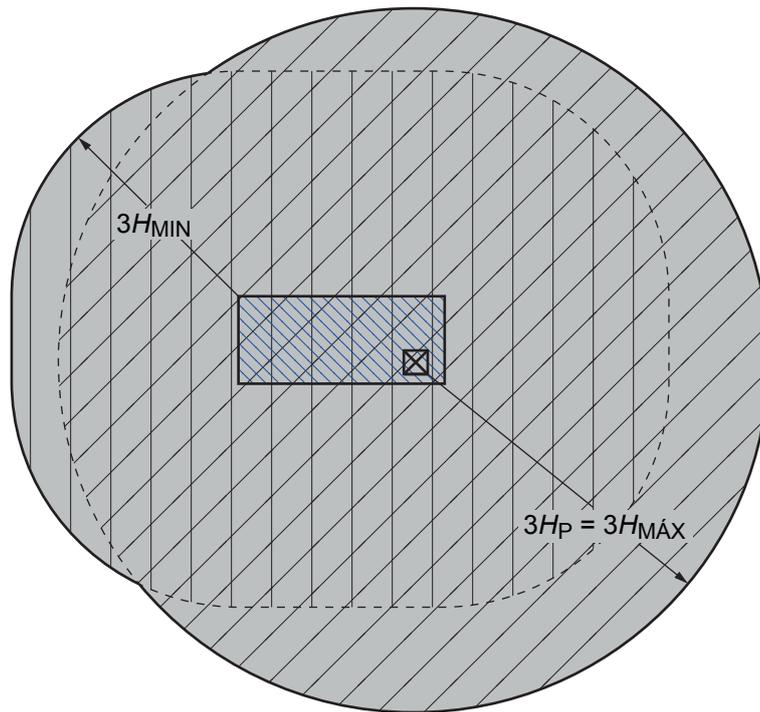
$$A_{D'} = \pi \times (3 \times H_P)^2 \quad (\text{A.3})$$

onde H_P é a altura da saliência.



IEC 2638/10

Figura A.2 – Estrutura com forma complexa



IEC 2639/10

Figura A.3 – Diferentes métodos para determinar a área de exposição equivalente para uma dada estrutura

A.2.2 Estrutura como uma parte de uma edificação

Quando a estrutura S a ser considerada consiste em apenas uma parte de um edifício B , as dimensões da estrutura S pode ser utilizada na avaliação de A_D , desde que as seguintes condições sejam respeitadas (ver Figura A.4):

- a estrutura S é uma parte vertical separada do edifício B ;
- o edifício B não tem risco de explosão;
- a propagação de fogo entre a estrutura S e outras partes da edificação B pode ser retida por meio de paredes com resistência ao fogo de 120 min (REI 120) ou por meio de outras medidas de proteção equivalentes;
- a propagação de sobretensões ao longo das linhas comuns, se existirem, é protegida por meio de DPS instalados no ponto de entrada destas linhas na estrutura ou por meio de outra medida de proteção equivalente.

NOTA Para definição e informação de REI, ver [6]¹.

Quando estas condições não puderem ser preenchidas, as dimensões da edificação inteira B devem ser utilizadas.

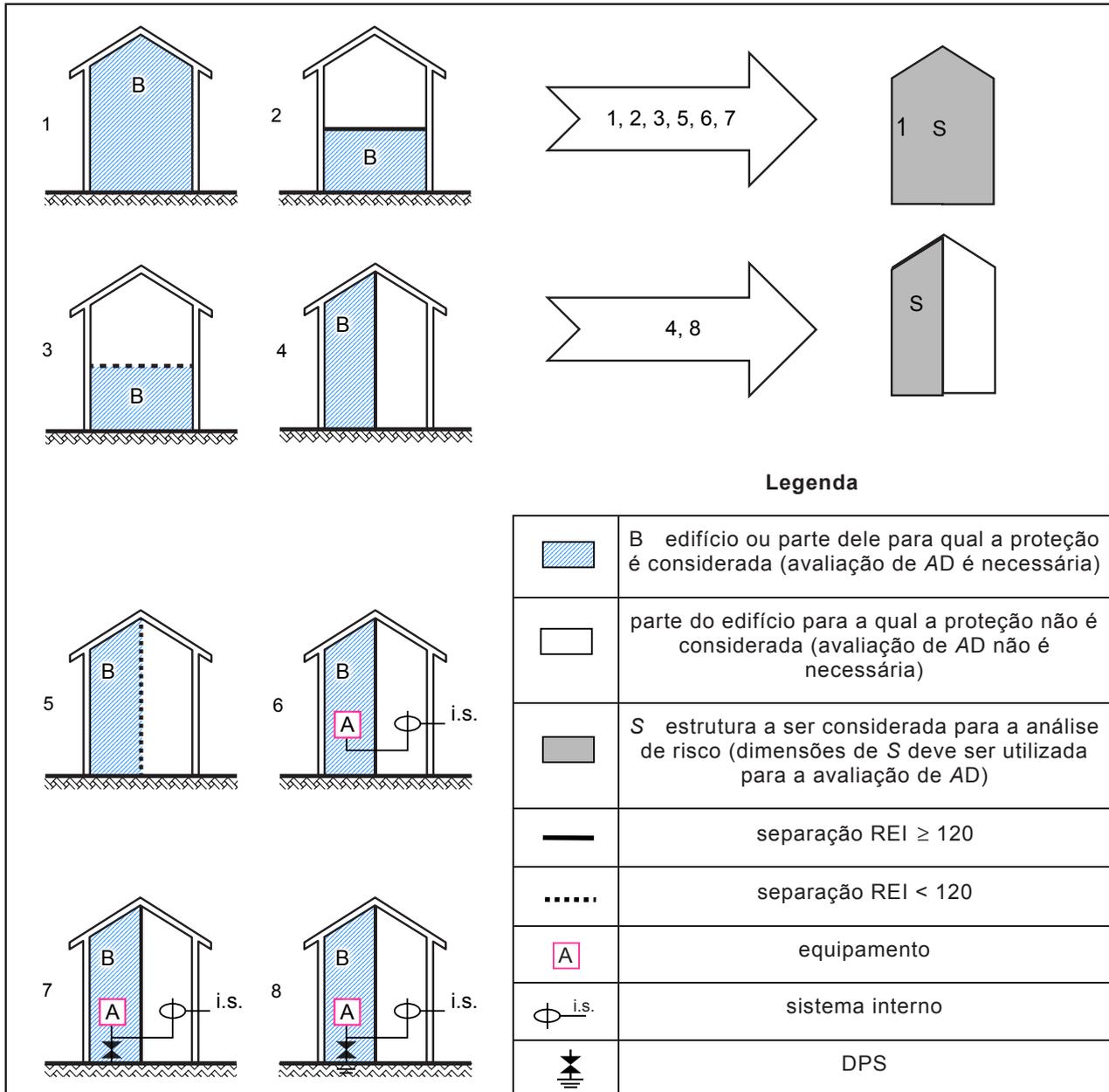


Figura A.4 – Estrutura a ser considerada para a avaliação para a área de exposição equivalente A_D

A.2.3 Localização relativa da estrutura

A localização relativa da estrutura, compensada pelas estruturas ao redor ou uma localização exposta, deve ser levada em consideração pelo fator de localização C_D (ver Tabela A.1).

¹ Números entre colchetes se referem à Bibliografia.



Uma avaliação mais precisa da influência dos objetos ao redor pode ser obtida considerando a altura relativa da estrutura em relação aos objetos nas cercanias ou o solo dentro de uma distância de $3 \times H$ da estrutura e assumindo $C_D = 1$.

Tabela A.1 – Fator de localização da estrutura C_D

Localização relativa	C_D
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

A.2.4 Número de eventos perigosos N_D para a estrutura

N_D pode ser avaliado como o produto:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (\text{A.4})$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_D é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_D é o fator de localização da estrutura (ver Tabela A.1).

A.2.5 Número de eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente

A.2.6 O número médio anual de eventos perigosos devido à descarga direta a uma estrutura conectada na extremidade de uma linha, N_{DJ} (ver 6.5 e Figura A.5), pode ser avaliada como o produto:

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.5})$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_{DJ} é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_{DJ} é o fator de localização da estrutura adjacente (ver Tabela A.1);

C_T é o fator tipo de linha (ver Tabela A.3).

A.3 Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas perto da estrutura

N_M pode ser avaliado como o produto:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (\text{A.6})$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_M é a área de exposição equivalente de descargas que atingem perto da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2).

A área de exposição equivalente A_M que se estende a uma linha localizada a uma distância de 500 m do perímetro da estrutura (ver Figura A.5):

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (\text{A.7})$$

A.4 Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_L devido a descargas na linha

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_L pode ser avaliado por:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.8})$$

onde

N_L é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_L é a área de exposição equivalente de descargas que atingem a linha, expressa em metro quadrado (m^2). (ver Figura A.5);

C_I é o fator de instalação da linha (ver Tabela A.2);

C_T é o fator tipo de linha (ver Tabela A.3);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4);

Com a área de exposição equivalente para a linha:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (\text{A.9})$$

onde

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

Onde o comprimento da seção da linha é desconhecido, pode ser assumido $L_L = 1\ 000$ m.

Tabela A.2 – Fator de instalação da linha C_I

Roteamento	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (PN 03:064.10-100/4:2014, 5.2).	0,01

Tabela A.3 – Fator tipo de linha C_T

Instalação	C_T
Linha de energia em BT, telecomunicação ou dados	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Tabela A.4 – Fator ambiental da linha C_E

Ambiente	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

NOTA 1 A resistividade do solo afeta a área de exposição equivalente A_L de seções enterradas. Em geral, quanto maior a resistividade do solo, maior a área de exposição equivalente (A_L proporcional a $\sqrt{\rho}$). O fator de instalação da Tabela A.2 é baseada em $\rho = 400 \Omega\text{m}$.

NOTA 2 Maiores informações sobre a área de exposição equivalente A_I para linhas de telecomunicações podem ser encontradas na ITU-T Recomendação K.47 [7].

A.5 Avaliação do número médio anual de eventos perigosos N_I devido a descargas perto da linha

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_I pode ser avaliado por

$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (\text{A.10})$$

onde

N_I é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_I é a área de exposição equivalente de descargas para a terra perto da linha, expressa em metro quadrado (m^2) (ver Figura A.5);

C_I é o fator de instalação (ver Tabela A.2);

C_T é o fator tipo da linha (ver Tabela A.3);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela A.4).

Com a área de exposição equivalente para descargas perto da linha

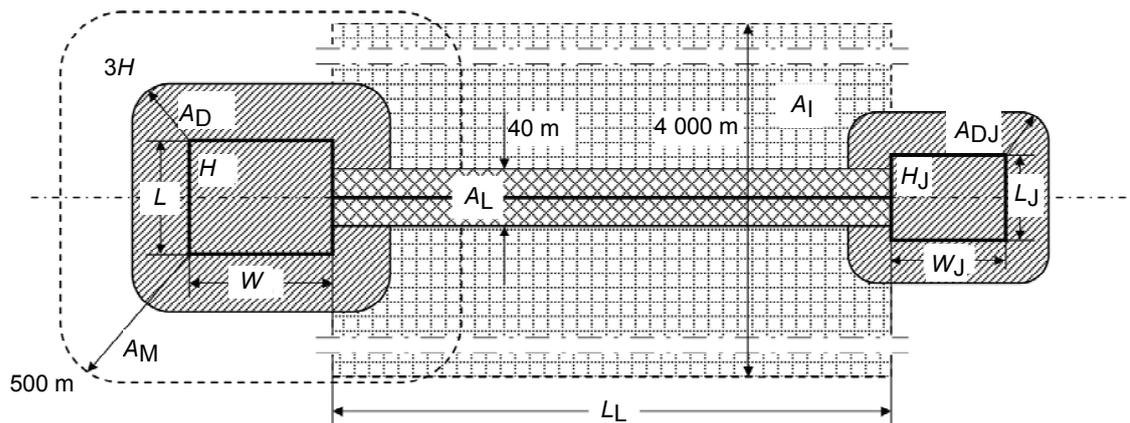
$$A_I = 4\,000 \times L_L \quad (\text{A.11})$$

onde

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

Quando o comprimento da seção da linha for desconhecido, pode ser assumido $L_L = 1\,000$ m.

NOTA Uma avaliação mais precisa de A_I pode ser encontrada na Electra n. 161 [8] e 162 [9], 1995, para linhas de energia, e na ITUT Recomendação K.46 [10], para linhas de telecomunicações.



IEC 2641/10

Figura A.5 – Áreas de exposição equivalentes (A_D , A_M , A_I , A_L)



Anexo B (informativo)

Avaliação da probabilidade P_X de danos

B.1 Geral

As probabilidades fornecidas neste Anexo são válidas se as medidas de proteção estiverem de acordo com:

- PN 03:064.10-100/3 para medidas de proteção para reduzir ferimentos a seres vivos e reduzir danos físicos;
- PN 03:064.10-100/4 para medidas de proteção para reduzir falhas de sistemas internos.

Outros valores podem ser escolhidos, se tecnicamente justificados.

Valores de probabilidades P_X menores que 1 podem ser escolhidos somente se a medida ou característica é válida para a estrutura completa ou zona da estrutura (Z_S) a ser protegida e para todos os equipamentos pertinentes.

B.2 Probabilidade P_A de uma descarga à estrutura irá causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico

Os valores de probabilidade P_A de choque a seres vivos devido à tensão de toque e passo devido a uma descarga a uma estrutura dependem do SPDA adotado e das medidas de proteção adicionais adotadas:

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (\text{B.1})$$

onde

P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela B.1. Valores de P_{TA} são obtidos na Tabela B.1.

P_B depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o PN 03:064.10-100/3 foi projetado. Valores de P_B são obtidos na Tabela B.2.

Tabela B.1 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga a uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	10^{-2}
Equipotencialização efetiva do solo	10^{-2}
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Se mais que uma medida for tomada, o valor de P_{TA} é o produto dos valores correspondentes.

NOTA 1 Medidas de proteção são efetivas na redução de P_A somente para estruturas protegidas por um SPDA ou estruturas metálicas contínuas ou com estrutura de concreto armado atuando como um SPDA natural, onde os requisitos de interligação e aterramento conforme o PN 03:064.10-100/3 estiverem satisfeitos.

NOTA 2 Para maiores informações, ver PN 03:064.10-100/3:2014, 8.1 e 8.2.

B.3 Probabilidade P_B de uma descarga a uma estrutura causar danos físicos

Um SPDA é adequado como medida de proteção para reduzir P_B .

Os valores de probabilidade P_B de danos físicos por uma descarga em uma estrutura, em função do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP), são obtidos na Tabela B.2.

Tabela B.2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
Estrutura não protegida por SPDA	–	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

NOTA 1 Valores de P_B diferentes daqueles fornecidos na Tabela B.2 são possíveis, se baseados em uma investigação detalhada considerando os requisitos de dimensionamento e critérios de interceptação definidos no PN 03:064.10-100/1.

NOTA 2 As características do SPDA, incluindo aquelas de DPS para ligação equipotencial para descarga atmosférica, são descritas no PN 03:064.10-100/3.

B.4 Probabilidade P_C de uma descarga a uma estrutura causar falha a sistemas internos

Um sistema coordenado de DPS é adequado como uma medida de proteção para reduzir P_C .

A probabilidade P_C de uma descarga à estrutura causar uma falha dos sistemas internos é dada por:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \quad (B.2)$$

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS conforme PN 03:064.10-100/4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são fornecidos na Tabela B.3.

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado. Valores de C_{LD} são fornecidos na Tabela B.4.

Tabela B.3 – Valores de probabilidade de P_{SPD} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

NOTA 1 Um sistema de DPS coordenado é efetivo na redução de P_C somente em estruturas protegidas por um SPDA ou estruturas com colunas metálicas contínuas ou com colunas de concreto armado atuando como um SPDA natural, onde os requisitos de interligação e aterramento descritos no PN 03:064.10-100/3 forem satisfeitos.

NOTA 2 Os valores de P_{SPD} podem ser reduzidos para os DPS que tenham características melhores de proteção (maior corrente nominal I_N , menor nível de proteção U_P etc.) comparados com os requisitos definidos para NP I nos locais relevantes da instalação (ver PN 03:064.10-100/1:2014, Tabela A.3 para informação das probabilidades de corrente da descarga atmosférica e PN 03:064.10-100/1:2014, Anexo E e PN 03:064.10-100/4:2014, Anexo D ou a divisão da corrente da descarga atmosférica). Os mesmos anexos podem ser utilizados para DPS que tenham maiores probabilidades P_{SPD} .

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou telecomunicações)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou telecomunicações)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou telecomunicações)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

Tabela B.4 (continuação)

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea blindada (energia ou telecomunicações)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
(Nenhuma linha externa)	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com o PN 03:064.10-100/4	0	0

NOTA 3 Na avaliação da probabilidade P_C , valores de C_{LD} da Tabela B.4 referem-se aos sistemas internos blindados; para sistemas internos não blindados, $C_{LD} = 1$ pode ser assumido.

NOTA 4 Para sistemas internos não blindados:

- não conectados a linhas externas (sistemas independentes); ou
- conectados a linhas externas por meio de interfaces isolantes; ou
- conectados a linhas externas consistindo em cabo protegido contra descargas atmosféricas ou sistemas com cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos, interligados no mesmo barramento de equipotencialização que os equipamentos, um sistema coordenado de DPS de acordo com PN 03:064.10-100/4 não é necessário para reduzir P_C , desde que a tensão induzida U_I não for maior que a tensão suportável U_W do sistema interno ($U_I \leq U_W$). Para avaliação da tensão induzida U_I ver PN 03:064.10-100/4:2014, Anexo A.

B.5 Probabilidade P_M de uma descarga perto da estrutura causar falha em sistemas internos

Um SPDA em malha, blindagens com malha, precauções de roteamento, tensão suportável aumentada, interfaces isolantes e sistemas coordenados de DPS são adequados como medidas de proteção para reduzir P_M .

A probabilidade P_M de uma descarga perto da estrutura causar falha em sistemas internos depende das medidas de proteção contra surtos (MPS) adotadas.

Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da PN 03:064.10-100/4 não for instalado, o valor de P_M deve ser igual ao valor de P_{MS} .

Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da PN 03:064.10-100/4 estiver instalado, o valor de P_M deve ser dado por:

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS} \tag{B.3}$$



Para sistemas internos com equipamentos não conformes com a suportabilidade de tensão dados nas normas específicas de produto, $P_M = 1$ deve ser assumido.

Os valores de P_{MS} são obtidos do produto:

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \quad (\text{B.4})$$

onde

K_{S1} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1;

K_{S2} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y (X_0, Y_1);

K_{S3} leva em consideração as características da fiação interna (ver Tabela B.5);

K_{S4} leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Quando equipamento provido com interfaces isolantes consistindo em transformadores de isolamento com grade aterrada entre enrolamentos, ou cabos de fibra óptica ou acoplamento óptico for utilizado, $P_{MS} = 0$ deve ser assumido.

Dentro de uma ZPR, em uma distância de segurança do limite da malha no mínimo igual à largura da malha w_m , fatores K_{S1} e K_{S2} para SPDA ou blindagem tipo malha espacial podem ser avaliados como

$$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1} \quad (\text{B.5})$$

$$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2} \quad (\text{B.6})$$

onde w_{m1} (m) e w_{m2} (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA tipo malha ou o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou o espaçamento entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural. Para blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1 mm, $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$.

NOTA 1 Onde uma rede de equipotencialização tipo malha for utilizada de acordo com a PN 03:064.10-100/4, valores de K_{S1} e K_{S2} podem ser repartidos ao meio.

Onde o laço de indução estiver passando próximo aos condutores do limite da malha da ZPR a uma distância da blindagem menor que a distância de segurança, os valores de K_{S1} e K_{S2} devem ser maiores. Por exemplo, os valores de K_{S1} e K_{S2} devem ser dobrados onde a distância para a blindagem varia de $0,1 w_m$ a $0,2 w_m$. Para uma cascata de ZPR, o valor final de K_{S2} é o produto dos K_{S2} resultantes de cada ZPR.

NOTA 2 Os valores máximos de K_{S1} e K_{S2} são limitados a 1.

Tabela B.5 – Valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^a	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços ^b	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^c	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ^d	0,0001

^a Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m²).
^b Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m²).
^c Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m²).
^d Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

O fator K_{S4} é avaliado como:

$$K_{S4} = 1/U_W \quad (B.7)$$

onde

U_W é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).

NOTA 3 O valor máximo de K_{S4} é limitado a 1.

Se existirem equipamentos com níveis diferentes de tensão suportável a impulso em um sistema interno, o fator K_{S4} correspondente ao menor nível de tensão suportável de impulso deve ser escolhido.

B.6 Probabilidade P_U de uma descarga em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico

Os valores de probabilidade P_U de ferimentos a seres vivos dentro da estrutura devido à tensão de toque por uma descarga em uma linha que adentra à estrutura dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha, das medidas de proteção como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta e interfaces isolantes ou DPS utilizados para ligação equipotencial na entrada da linha de acordo com o PN 03:064.10-100/3.

NOTA 1 Um sistema coordenado de DPS de acordo com o PN 03:064.10-100/4 não é necessário para reduzir P_U ; neste caso, DPS de acordo com o PN 03:064.10-100/3 são suficientes.

O valor de P_U é dado por:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.8)$$

onde

P_{TU} depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Valores de P_{TU} são dados na Tabela B.6;



P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas (EB) conforme o PN 03:064.10-100/3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

NOTA 2 Quando DPS de acordo com o PN 03:064.10-100/3 são instalados para ligação equipotencial na entrada da linha, aterramento e interligação de acordo com o PN 03:064.10-100/4 podem aumentar a proteção.

Tabela B.6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0

NOTA 3 Se mais de uma medida for tomada, o valor de P_{TU} será o produto dos valores correspondentes.

Tabela B.7 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 3	0,005 – 0,001

NOTA 4 Os valores de P_{EB} podem ser reduzidos para DPS que tenham melhores características de proteção (correntes nominais maiores I_N , níveis de proteção menores U_P etc.) comparados com os requisitos definidos para NP I nos locais relevantes da instalação (ver PN 03:064.10-100/1:2014, Tabela A.3, para informações da probabilidade de correntes de descargas atmosféricas, e PN 03:064.10-100/1:2014, Anexo E, e PN 03:064.10-100/4:2014, Anexo D, para divisão da corrente da descarga). Os mesmos anexos podem ser utilizados para DPS que tenha probabilidades maiores que P_{EB} .

Tabela B.8 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável U_W em kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia ou telecomunicações	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento		1	1	1	1	1
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20 \Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

NOTA 5 Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de telecomunicação utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de $5 \Omega/\text{km}$, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm). Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de telecomunicações utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1 mm). Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de $1\Omega/\text{km}$ a $5 \Omega/\text{km}$.

B.7 Probabilidade P_V de uma descarga em uma linha causar danos físicos

Os valores da probabilidade P_V de danos físicos devido a uma descarga em uma linha que adentra a estrutura dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou dos DPS instalados para as ligações equipotenciais na entrada da linha de acordo com o PN 03:064.10-100/3.

NOTA Um sistema coordenado de DPS de acordo com o PN 03:064.10-100/4 não é necessário para reduzir P_V ; neste caso, DPS de acordo com o PN 03:064.10-100/3 são suficientes.

O valor de P_V é dado por:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (\text{B.9})$$

onde

P_{EB} depende da ligação equipotencial para descarga atmosférica (EB) conforme o PN 03:064.10-100/3 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{EB} são dados na Tabela B.7;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga a uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.



B.8 Probabilidade P_W de uma descarga a uma linha causar falha de sistemas internos

Os valores da probabilidade P_W de uma descarga a uma linha que adentra a estrutura causar uma falha dos sistemas internos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado.

O valor de P_W é dado por:

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (B.10)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com o PN 03:064.10-100/4 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga a uma linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{LD} são dados na Tabela B.8;

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolação da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela B.4.

B.9 Probabilidade P_Z de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos

Os valores de probabilidade P_Z de uma descarga perto de uma linha que entra na estrutura causar falha de sistemas internos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso do sistema conectado à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado.

O valor de P_Z é dado por:

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \quad (B.11)$$

onde

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS de acordo com o PN 03:064.10-100/4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Valores de P_{SPD} são dados na Tabela B.3;

P_{LI} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga perto da linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos. Valores de P_{LI} são dados na Tabela B.9;

C_{LI} é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolação da linha. Valores de C_{LI} são dados na Tabela B.4.



Tabela B.9 – Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso U_W dos equipamentos

Tipo da linha	Tensão suportável U_W em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de TLC	1	0,5	0,2	0,08	0,04

NOTA Avaliações mais precisas de P_{LI} pode ser encontradas na IEC/TR 62066:2002 [4], para linhas de energia [2], e na ITU-T *Recommendation* K.46 [7], para linhas de telecomunicações (TLC).



Anexo C (informativo)

Análise de quantidade de perda L_X

C.1 Geral

Recomenda-se que os valores de quantidade de perda L_X sejam avaliados e fixados pelo projetista de SPDA (ou o proprietário da estrutura). Os valores médios típicos da perda L_X de uma estrutura dados neste Anexo são valores meramente propostos pela IEC e adotados nesta Norma.

NOTA 1 Quando um dano a uma estrutura devido à descarga atmosférica possa também envolver estruturas nas redondezas ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), uma avaliação mais detalhada de L_X que leve em conta esta perda adicional pode ser utilizada.

NOTA 2 É recomendável que as equações dadas neste Anexo sejam utilizadas como fonte primária dos valores para L_X .

C.2 Quantidade relativa média da perda por evento perigoso

A perda L_X se refere à quantidade relativa média de um tipo particular de dano para um evento perigoso causado por uma descarga atmosférica, considerando a sua extensão e os efeitos.

O valor de perda L_X varia com o tipo de perda considerada:

- L1 (perda de vida humana, incluindo ferimento permanente): o número de pessoas em perigo (vítimas);
- L2 (perda de serviço público): o número de usuários não servidos;
- L3 (perda de patrimônio cultural): o valor econômico em perigo da estrutura e conteúdo;
- L4 (perda de valores econômicos): o valor econômico em perigo de animais, a estrutura (incluindo suas atividades), conteúdo e sistemas internos,

e, para cada tipo de perda, com o tipo de dano (D1, D2 e D3) causando a perda.

Recomenda-se que a perda L_X seja determinada para cada zona da estrutura na qual ela foi dividida.

C.3 Perda de vida humana (L1)

O valor de perda L_X para cada zona pode ser determinado de acordo com a Tabela C.1, considerando que:

- a perda de vida humana é afetada pelas características da zona. Estas são levadas em conta pelos fatores de aumento (h_z) e diminuição (r_t , r_p , r_f);
- o valor máximo da perda em uma zona pode ser reduzido pela relação entre o número de pessoas na zona (n_z) versus o número total de pessoas (n_t) na estrutura inteira;

- c) o tempo em horas por ano, durante o qual as pessoas estão presentes na zona (t_z), se este for menor que um total de 8 760 h de um ano, também irá reduzir a perda.

Tabela C.1 – Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.4)

onde

- L_T é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_F é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- L_O é número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.2);
- r_t é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela C.3);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (ver Tabela C.5);
- h_z é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (ver Tabela C.6);
- n_z é o número de pessoas na zona;
- n_t é o número total de pessoas na estrutura;
- t_z é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
	L_T		
D1 ferimentos	L_T	10^{-2}	Todos os tipos
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-1}	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		5×10^{-2}	Entretenimento público, igreja, museu
		2×10^{-2}	Industrial, comercial
		10^{-2}	Outros
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10^{-3}	Outras partes de hospital

NOTA 1 Os valores da Tabela C.2 se referem ao atendimento contínuo de pessoas na estrutura.

NOTA 2 No caso de uma estrutura com risco de explosão, os valores para L_F e L_O podem necessitar de uma avaliação mais detalhada, considerando o tipo de estrutura, risco de explosão, o conceito de zona de áreas perigosas e as medidas para encontrar o risco.

Quando o dano a estrutura devido às descargas envolver estruturas nas redondezas ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), perdas adicionais (L_E) podem ser consideradas para avaliar a perda total (L_{FT}):

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad (C.5)$$

onde

$$L_E = L_{FE} \times t_e / 8\,760 \quad (C.6)$$

L_{FE} sendo a perda devido a danos físicos fora da estrutura;

t_e sendo o tempo da presença de pessoas nos lugares perigosos fora da estrutura.

NOTA 3 Se valores de L_{FE} e t_e forem desconhecidos, recomenda-se que L_{FE} e $t_e/8\,760 = 1$ sejam assumidos.

Tabela C.3 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega^a$	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

^b Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Tabela C.4 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático ^a	0,2
^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.	

Se mais de uma providência tiver sido tomada, recomenda-se que o valor de r_p seja tomado com o menor dos valores relevantes.

Em estruturas com risco de explosão, $r_p = 1$ para todos os casos.

Tabela C.5 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

Risco	Quantidade de risco	r_f
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Incêndio	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Baixo	10^{-3}
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

NOTA 4 No caso de uma estrutura com risco de explosão, o valor para r_f pode necessitar de uma avaliação mais detalhada.

NOTA 5 Estruturas com alto risco de incêndio podem ser assumidas como sendo estruturas feitas de materiais combustíveis ou estruturas com coberturas feitas com materiais combustíveis ou estruturas com uma carga específica de incêndio maior que 800 MJ/m^2 .

NOTA 6 Estruturas com um risco normal de incêndio podem ser assumidas como estruturas com uma carga específica de incêndio entre 800 MJ/m^2 e 400 MJ/m^2 .

NOTA 7 Estruturas com um risco baixo de incêndio podem ser assumidas como estruturas com uma carga específica de incêndio menor que 400 MJ/m^2 , ou estruturas contendo somente uma pequena quantidade de material combustível.



NOTA 8 Carga específica de incêndio é a relação da energia da quantidade total do material combustível em uma estrutura e a superfície total da estrutura.

NOTA 9 Para os propósitos do PN 03:064.10-100/2 não é recomendado que estruturas contendo zonas perigosas ou contendo materiais explosivos sólidos sejam assumidas como estruturas com risco de explosão se qualquer uma das seguintes condições for preenchida:

- o tempo de presença da substância explosiva for menor que 0,1 h/ano;
- o volume da atmosfera explosiva for desprezível de acordo com a ABNT NBR IEC 60079-10-1 e ABNT NBR IEC 60079-10-2;
- a zona não possa ser atingida diretamente por uma descarga e os centelhamentos perigosos na zona forem evitados.

NOTA 10 Para zonas perigosas fechadas dentro de abrigos metálicos, a condição c) é respeitada quando o abrigo, como um subsistema de captação natural, atuar seguramente sem perfuração ou problemas de pontos quentes, e sistemas internos dentro do abrigo, se existirem, forem protegidos contra sobretensões para evitar centelhamentos perigosos.

Tabela C.6 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h_z
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

C.4 Perda inaceitável de serviço ao público (L2)

O valor de perda L_X para cada zona pode ser determinado de acordo com a Tabela C.7, considerando que:

- perda de serviço ao público é afetada pelas características da zona da estrutura. Estas levam em consideração os fatores de redução (r_f , r_p);
- o valor máximo de perda devido a dano na zona deve ser reduzido pela relação entre o número de usuários servidos pela zona (n_z) versus o número total de usuários (n_t) servidos pela estrutura inteira.

Tabela C.7 – Tipo de perda L2: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$	(C.8)

onde

- L_F é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante do dano físico (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.8);
- L_O é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.8);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio (ver Tabela C.5);
- n_z é o número de usuários servidos pela zona;
- n_t é o número total de usuários servidos pela estrutura.

Tabela C.8 – Tipo de perda L2: valores médios típicos de L_F e L_O

Tipo de dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-2}	TV, linhas de telecomunicações
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-2}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-3}	TV, linhas de telecomunicações

C.5 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)

Recomenda-se que o valor de perda L_X para cada zona seja determinado de acordo com a Tabela C.9, considerando que:

- a) a perda de patrimônio cultural é afetada pelas características da zona. Estas levam em consideração os fatores de redução (r_f , r_p);
- b) o valor máximo da perda devido a danos na zona deve ser reduzido pela relação entre o valor da zona (c_z) versus o valor total (c_t) da estrutura completa (edificação e conteúdo).

Tabela C.9 – Tipo de perda L3: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Valor típico da perda	Equação
D2 danos físicos	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_z / c_t$	(C.9)

onde

- L_F é o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.10);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio (ver Tabela C.5);
- c_z é o valor do patrimônio cultural na zona;
- c_t é o valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas).

Tabela C.10 – Tipo de perda L3: valor médio típico de L_F

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Museus, galerias

C.6 Perda econômica (L4)

O valor de perda L_X para cada zona pode ser determinado de acordo com a Tabela C.11, considerando que:

- perda de valores econômicos é afetada pelas características da zona. Estas levam em consideração os fatores de redução (r_t , r_p , r_f);
- o valor máximo da perda devido a danos na zona deve ser reduzido pela relação entre o valor relevante na zona *versus* o valor total (c_t) da estrutura completa (animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades). O valor relevante da zona depende do tipo de dano:
 - D1 (ferimentos de animais devido a choque): c_a (somente valor de animais);
 - D2 (danos físicos): $c_a + c_b + c_c + c_s$ (total de todos valores);
 - D3 (falha de sistemas internos): c_s (valor dos sistemas internos e suas atividades).

Tabela C.11 – Tipo de perda L4: valores de perda de cada zona

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t^a$	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t^a$	(C.13)
<p>^a As relações c_a / c_t e $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ e c_s / c_t devem somente ser consideradas na equação (C.10) – (C.13), se a análise de risco for conduzida de acordo com 6.10, usando o Anexo D. No caso de utilizar um valor representativo para o risco tolerável R4 de acordo com a Tabela 4, as relações não podem ser levadas em consideração. Nestes casos, as relações devem ser substituídas pelo valor 1.</p>		

onde

- L_T é o valor relativo médio típico de todos valores danificados por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.12);
- L_F é o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.12);
- L_O é o valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso (ver Tabela C.12);
- r_t é um fator de redução da perda de animais dependendo do tipo do solo ou piso (ver Tabela C.3);
- r_p é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio (ver Tabela C.4);
- r_f é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão na estrutura (ver Tabela C.5);
- c_a é o valor dos animais na zona;
- c_b é o valor da edificação relevante à zona;
- c_c é o valor do conteúdo da zona;
- c_s é o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona;
- c_t é o valor total da estrutura (soma de todas as zonas para animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades).

Tabela C.12 – Tipo de perda L4: valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipo de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
	L_T		
D1 ferimento devido a choque	L_T	10^{-2}	Todos os tipos onde somente animais estão presentes
D2 danos físicos	L_F	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu, agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
		10^{-1}	Outros
D3 falha de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial
		10^{-3}	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
		10^{-4}	Outros

NOTA 1 Nas estruturas onde existe um risco de explosão, os valores para L_F e L_O podem necessitar de uma avaliação mais detalhada, onde considerações do tipo de estrutura, o risco de explosão, o conceito de zona de áreas perigosas e as medidas para determinar o risco etc. são endereçadas.

Quando um dano a estrutura devido às descargas atmosféricas envolve as estruturas nas vizinhanças ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), perdas adicionais (L_E) devem ser levadas em consideração para avaliar a perda total (L_{FT}):

$$L_{FT} = L_F + L_E \quad (C.14)$$

onde

$$L_E = L_{FE} \times c_e / c_t \quad (C.15)$$

L_{FE} é a perda devido a danos físicos fora da estrutura;

c_e é o total dos valores em perigo localizados fora da estrutura.

NOTA 2 Se o valor de L_{FE} for desconhecido, $L_{FE} = 1$ pode ser assumido.

Anexo D (informativo)

Avaliação dos custos das perdas

O custo da perda C_{LZ} em uma zona pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C_{LZ} = R_{4Z} \times c_t \quad (D.1)$$

onde

R_{4Z} é o risco relacionado à perda de valor na zona, sem as medidas de proteção;

c_t é o valor total da estrutura (animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades em espécie).

O custo total de perdas C_L em uma estrutura pode ser calculado pela seguinte equação:

$$C_L = \sum C_{LZ} = R_4 \times c_t \quad (D.2)$$

onde

$R_4 = \sum R_{4Z}$ é o risco relacionado à perda de valor, sem as medidas de proteção.

O custo C_{RLZ} de perdas residuais em uma zona apesar das medidas de proteção pode ser calculado por meio da equação:

$$C_{RLZ} = R'_{4Z} \times c_t \quad (D.3)$$

onde

R'_{4Z} é o risco relacionado à perda de valor na zona, sem as medidas de proteção.

O custo total C_{RL} de perda residual em uma estrutura, apesar das medidas de proteção, pode ser calculado por meio da equação:

$$C_{RL} = \sum C_{RLZ} = R'_4 \times c_t \quad (D.4)$$

onde

$R'_4 = \sum R'_{4Z}$ é o risco relacionado à perda de valor em uma estrutura, sem medidas de proteção.

O custo anual C_{PM} das medidas de proteção pode ser calculado por meio da equação:

$$C_{PM} = C_P \times (i + a + m) \quad (D.5)$$

onde

C_P é o custo das medidas de proteção;

i é a taxa de juros;

a é a taxa de amortização;

m é a taxa de manutenção.



O valor econômico anual S_M , em espécie, é:

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad (D.6)$$

A proteção é justificada se o valor econômico anual for $S_M > 0$.

Anexo E (informativo)

Estudo de caso

E.1 Geral

Neste anexo, estudos de casos relevantes a uma casa de campo, um edifício de escritórios, um hospital e um bloco de apartamentos são desenvolvidos com o objetivo de mostrar:

- como calcular o risco e determinar a necessidade de proteção;
- a contribuição dos diferentes componentes de risco ao risco total;
- o efeito das diferentes medidas de proteção para diminuir os riscos;
- o método de seleção por meio de diferentes soluções de proteção considerando a eficiência de custo.

NOTA Este Anexo apresenta dados hipotéticos para todos os casos. A intenção é fornecer informações sobre a avaliação de risco no sentido de ilustrar os princípios contidos nesta Parte da ABNT NBR 5419. Não tem a intenção de endereçar os aspectos únicos das condições que existem em todos os meios ou sistemas.

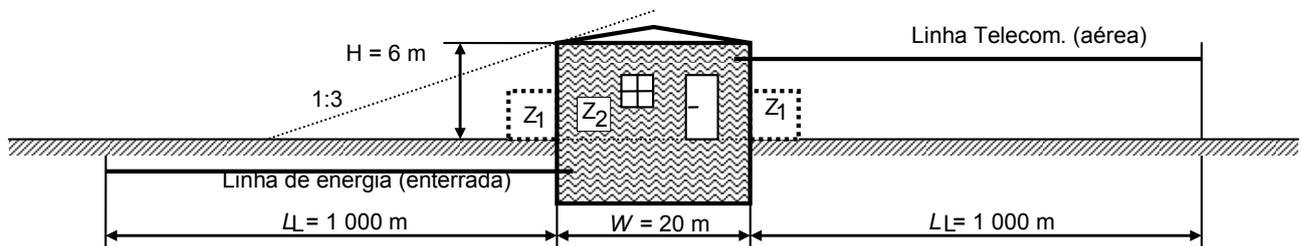
E.2 Casa de campo

É considerado como um primeiro estudo de caso uma casa de campo (Figura E.1).

Perda de vida humana (L1) e perda econômica (L4) são relevantes para este tipo de estrutura.

Isto é requisito para a avaliação da necessidade de proteção. Isto implica na necessidade de se determinar somente o risco R_1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco R_A , R_B , R_U e R_V (de acordo com a Tabela 2) e para comparar com o risco $R_T = 10^{-5}$ (de acordo com a Tabela 4). As medidas de proteção adequadas para mitigar estes riscos devem ser selecionadas.

Seguindo a decisão tomada pelo proprietário que uma avaliação econômica não é requerida, o risco R_4 para perda econômica (L4) não é considerada.



IEC 2642/10

Legenda

- Z_1 lado de fora
 Z_2 cômodos

Figura E.1 – Casa de campo

E.2.1 Dados relevantes e características

A casa de campo está localizada em um território plano e sem nenhuma estrutura nas vizinhanças. A densidade de descargas para a terra é $N_G = 4$ descargas por quilometro quadrado por ano. Cinco pessoas vivem na casa. Este é também o número total de pessoas a serem consideradas, porque se assume que não haverá nenhuma pessoa fora da casa durante a tempestade.

Dados para a casa e redondeza são dados na Tabela E.1.

Dados para as linhas que adentram e seus sistemas internos conectados são dados para linha de energia na Tabela E.2 e para linhas de telecomunicações na Tabela E.3.

Tabela E.1 – Casa de campo: características da estrutura e meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)		N_G	4,0	
Dimensões da estrutura (m)		L, W, H	15, 20, 6	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

Tabela E.2 – Casa de campo: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m) ^a		L_L	1 000	
Fator de Instalação	Enterrada	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha BT	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		U_W	2,5	

Tabela E.2 (continuação)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9

^a Como o comprimento L_L da seção da linha é desconhecido, $L_L = 1\ 000$ m é assumido (ver A.4 e A.5).

Tabela E.3 – Casa de campo: linha de telecomunicação (TLC)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m) ^a		L_L	1 000 m	
Fator de Instalação	Aérea	C_I	1	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de telecomunicações	C_T	1	Tabela A.3
Fator do ambiente	Rural	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolação	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

^a Como o comprimento L_L da seção da linha é desconhecido, $L_L = 1\ 000$ m é assumido (ver A.4 e A.5).

E.2.2 Definição das zonas em uma casa de campo

As seguintes zonas principais podem ser definidas:

- a) Z_1 (fora da casa);
- b) Z_2 (dentro da casa).

Para zona Z_1 , é assumida que nenhuma pessoa está fora da casa. Entretanto, o risco de choque em pessoas $R_A = 0$. Porque R_A é a componente de risco somente fora da casa, a zona Z_1 pode ser desconsiderada completamente.

Dentro da casa, somente uma zona Z_2 é definida levando em consideração que:

- ambos sistemas internos (energia e telecom) se estendem através da casa,
- nenhuma blindagem espacial existe,
- a estrutura é um compartimento único à prova de fogo,
- perdas são assumidas como constantes em toda a casa e correspondem aos valores médios típicos da Tabela C.1.

O fator resultante válido para zona Z_2 é reportado na Tabela E.4.

Tabela E.4 – Casa de campo: fator válido para a zona Z_2 (dentro da casa)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (laço dos condutores em um mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhuma	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Tele-com	Fiação interna	Não blindada (grandes laços > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhuma	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
		D3: devido a falhas de sistemas internos	L_O	-	

Tabela E.4 (continuação)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Fator para pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 5/5 \times 8\ 760/8\ 760$	–	1	
	Parâmetros resultantes	L_A	10^{-7}	Equação (C.1)
		L_U	10^{-7}	Equação (C.2)
		L_B	10^{-4}	Equação (C.3)
		L_V	10^{-4}	Equação (C.3)

E.2.3 Cálculo das quantidades relevantes

Cálculos são dados na Tabela E.5 para a área de exposição equivalente e na Tabela E.6 para o número esperado de eventos perigosos.

Tabela E.5 – Casa de campo: áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas

	Símbolo	Resultado m ²	Referência Equação	Equação
Estrutura	A_D	$2,58 \times 10^3$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	–	(A.7)	Não relevante
Linha de energia	$A_{L/P}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\ 000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha Telecom	$A_{L/T}$	$4,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/T} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$4,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/T} = 4\ 000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente

Tabela E.6 – Casa de campo: número esperado anual de eventos perigosos

	Símbolo	Resultado 1/ ano	Referência Equação	Equação
Estrutura	N_D	$1,03 \times 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N_M	–	(A.6)	Não relevante
Linha de energia	$N_{L/P}$	$8,00 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	8,00	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha Telecom	$N_{L/T}$	$1,60 \times 10^{-1}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	16	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente

E.2.4 Risco R_1 – Determinação da necessidade de proteção

O risco R_1 pode ser expresso de acordo com a Equação (1) por meio da seguinte soma de componentes:

$$R_1 = R_A + R_B + R_{U/P} + R_{V/P} + R_{U/T} + R_{V/T}$$

Componentes de risco devem ser avaliados de acordo com a Tabela 6.

Componentes envolvidos e avaliação do risco total são dados na Tabela E.7

Tabela E.7 – Casa de campo: risco R_1 para estrutura não protegida (valores $\times 10^{-5}$)

	Símbolo	Z_1	Z_2	Estrutura
D1 Ferimento	R_A	–	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		0,002	0,002
D2 Danos físicos	R_B		0,103	0,103
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		2,40	2,40
Total		–	2,51	$R_1 = 2,51$
Tolerável		$R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosféricas é requerida		$R_T = 1$

Porque $R_1 = 2,51 \times 10^{-5}$ é superior ao valor tolerável $R_T = 10^{-5}$, a proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura é requerida.

E.2.5 Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção

De acordo com a Tabela E.7, as contribuições principais ao valor de risco são dadas por:

- a) componente R_V (descargas na linha) de 96 %;
- b) componente R_B (descargas na estrutura) de 4 %.

Para reduzir o risco R_1 a um valor tolerável, as medidas de proteção que influenciam os componentes R_V e R_B devem ser consideradas. Medidas adequadas incluem:

- instalação de DPS de NP IV na entrada da linha (ligação equipotencial para descargas atmosféricas) para proteger ambas as linhas de energia e telefones na casa. De acordo com a Tabela B.7 isto reduz o valor de P_{EB} (devido aos DPS nas linhas conectadas) de 1 a 0,05 e os valores de P_U e P_V pelo mesmo fator;
- instalação de um SPDA de classe IV (incluindo as ligações equipotenciais de descargas atmosféricas obrigatórias). De acordo com as Tabelas B.2 e B.7 isto reduz o valor de P_B de 1 a 0,2 e o valor de P_{EB} (devido ao DPS nas linhas conectadas) de 1 a 0,05 e finalmente os valores de P_U e P_V pelo mesmo fator.

Utilizando estes valores nas equações, novos valores de componentes de risco são obtidos, como mostrados na Tabela E.8.

Tabela E.8 – Casa de campo: componentes de risco relevantes ao risco R_1 para a estrutura protegida

Tipo de danos	Símbolo	Resultado caso a) $\times (10^{-5})$	Resultado caso b) $\times (10^{-5})$
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B	0,103	0,021
	R_V	0,120	0,120
Total	R_1	0,223	0,141

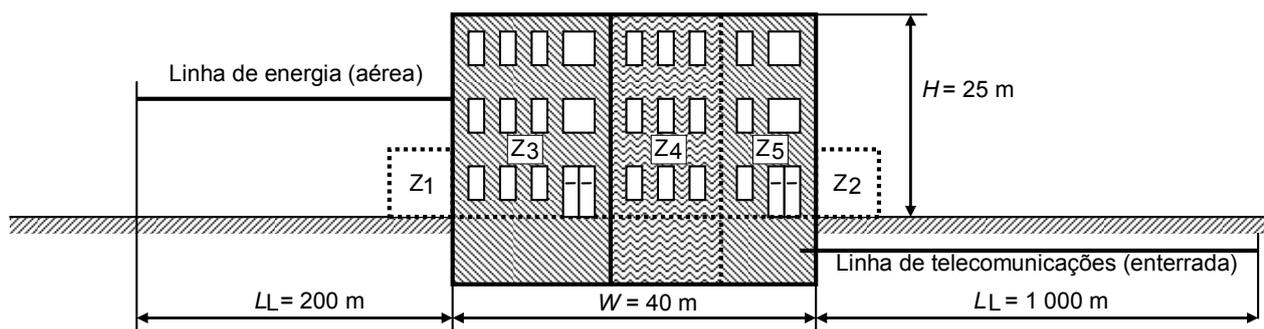
A escolha da solução é decidida por fatores técnicos e econômicos.

E.3 Edifício de escritórios

Como um segundo estudo de caso, um edifício de escritórios com um arquivo, escritórios e um centro de informática é considerado (Figura E.2).

Perda de vida humana (L1) e perda econômica (L4) são relevantes para este tipo de estrutura e são requisitos para avaliação da necessidade de proteção. Isto implica a determinação de somente o risco R_1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco R_A , R_B , R_U e R_V (de acordo com a Tabela 2) e para compará-los com o risco tolerável $R_T = 10^{-5}$ (de acordo com a Tabela 4). Medidas de proteção adequadas devem ser selecionadas para reduzir o risco ao, ou abaixo do, risco tolerável.

Seguindo a decisão tomada pelo proprietário onde a avaliação econômica não foi requisitada, o risco R_4 para perdas econômicas (L4) não é considerado.



IEC 2643/10

Legenda

- Z₁ entrada (fora da edificação)
- Z₂ jardim (interno)
- Z₃ arquivo
- Z₄ escritórios
- Z₅ centro de informática

Figura E.2 – Edifício de escritórios

E.3.1 Características e dados relevantes

O edifício de escritórios está localizado em um território plano sem estruturas nas redondezas. A densidade de descargas atmosféricas para a terra $N_G = 4$ descargas por quilômetro quadrado por ano.

Dados para a edificação e sua vizinhança são dados na Tabela E.9.

Dados para as linhas que adentram o edifício e suas conexões com os sistemas internos são dados para linhas de energia na Tabela E.10 e para linhas de telecomunicações na Tabela E.11.

Tabela E.9 – Edifício de escritórios: características da estrutura e do meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)		N_G	4,0	
Dimensões da estrutura (m)		L, W, H	20, 40, 25	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)



Tabela E.10 – Edifício de escritórios: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento m		L_L	200	
Fator de instalação	Aéreo	C_I	1	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha BT	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolação	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	2,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9

Table E.11 – Edifício de escritórios: linha de telecomunicações

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	1 000	
Fator de instalação	Enterrada	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de telecomunicações	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	C_E	1	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolação	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	

Tabela E.11 (continuação)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos kV		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

E.3.2 Definição das zonas em um edifício de escritórios

As seguintes zonas são definidas:

- Z_1 (entrada área fora da edificação);
- Z_2 (jardim externo);
- Z_3 (arquivo);
- Z_4 (escritórios);
- Z_5 (centro de informática).

Levando em conta que:

- o tipo de superfície é diferente na entrada da área externa, no jardim externo e dentro da estrutura;
- a estrutura é dividida em dois compartimentos separados à prova de fogo: o primeiro é o arquivo (Z_3) e o segundo são os escritórios juntos com o centro de informática (Z_4 e Z_5);
- em todas as zonas internas, Z_3 , Z_4 e Z_5 , há sistemas internos conectados à energia assim como às linhas de telecomunicações;
- não há nenhuma blindagem espacial.

Nas diferentes zonas interna e externa do edifício de escritórios, é considerado um número total de 200 pessoas.

O número de pessoas relacionadas a cada zona é diferente. A distribuição dentro de cada zona individual está mostrada na Tabela E.12. Estes valores serão utilizados mais tarde para subdividir os valores de perda total em frações para cada zona.

Tabela E.12 – Edifício de escritórios: distribuição das pessoas nas zonas

Zona	Número de pessoas	Tempo da presença
Z ₁ (entrada área fora da edificação)	4	8 760
Z ₂ (jardim externo)	2	8 760
Z ₃ (arquivo)	20	8 760
Z ₄ (escritórios)	160	8 760
Z ₅ (centro de informática)	14	8 760
Total	n_t = 200	–

Seguindo a avaliação pelo projetista de SPDA, os valores médios típicos da quantidade relativa de perdas por ano relevante ao risco R_1 (ver Tabela C.1) para a estrutura completa são:

- $L_T = 10^{-2}$ (fora da estrutura),
- $L_T = 10^{-2}$ (dentro da estrutura),
- $L_F = 0,02$ classificado como “edifício comercial”.

Os valores globais foram reduzidos para cada zona de acordo com o número de pessoas em perigo na zona individual relacionada ao número total de pessoas consideradas.

As características resultantes das zonas Z₁ a Z₅ são dadas nas Tabelas E.13 a E.17.

Tabela E.13 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₁ (entrada da área externa)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Supefície do piso	Mármore	r_t	10^{-3}	Tabela C.3
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	–	
	D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 4/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,02	

Tabela E.14 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₂ (jardim externo)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Superfície do piso	Grama	r_t	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque	cerca	P_{TA}	0	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	–	
	D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 2/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,01	

Tabela E.15 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₃ (arquivos)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio	Alto	r_f	10^{-1}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1
Telecom	Fiação interna Não blindada (grandes laços >10 m ²)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1

Tabela E.15 (continuação)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
L1: perda de vida humana	Perigo especial: baixo panico	h_z	2	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	0,02	
	D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas em perigo	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 20/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,10	

Tabela E.16 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z_4 (escritórios)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência	
Tipo de piso	Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3	
Proteção contra choque (descarga na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1	
Proteção contra choque (descarga na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6	
Risco de incêndio	Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5	
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4	
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)	
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana	Perigo especial: baixo panico	h_z	2	Tabela C.6	
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2	
	D2: devido a danos físicos	L_F	0,02		
	D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–		
Fator para pessoas na zona	$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 160/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,80		

Tabela E.17 – Edifício de escritórios: fatores válidos para zona Z₅ (centro de informática)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga na estrutura)		Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga na linha)		Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (grandes laços > 10 m ²)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: baixo panico	h_z	2	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	0,02	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	–	
Fator para pessoas na zona		$n_z/n_t \times t_z/8\ 760 = 14/200 \times 8\ 760/8\ 760$	–	0,07	

E.3.3 Cálculo das quantidades relevantes

Cálculos são dados na Tabela E.18 para as áreas de exposição equivalentes e na Tabela E.19 para número de eventos perigosos esperados.

Tabela E.18 – Edifício de escritórios: áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas

	Símbolo	Resultado m ²	Referência Equação	Equação
Estrutura	A _D	2,75 × 10 ⁴	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A _M	–	(A.7)	Não relevante
Linha de energia	A _{L/P}	8,00 × 10 ³	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	A _{I/P}	8,00 × 10 ⁵	(A.11)	Não relevante
	A _{DA/P}	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha de telecomunicações	A _{L/T}	4,00 × 10 ⁴	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	A _{I/T}	4,00 × 10 ⁶	(A.11)	Não relevante
	A _{DA/T}	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente

Tabela E.19 – Edifício de escritórios: Número anual de eventos perigosos esperados

	Símbolo	Resultado 1 / ano	Referência Equação	Equação
Estrutura	N _D	1,10 × 10 ⁻¹	(A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}$
	N _M	–	(A.6)	Não relevante
Linha de Energia	N _{L/P}	3,20 × 10 ⁻²	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	N _{I/P}	3,20	(A.10)	Não relevante
	N _{DA/P}	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha de telecomunicações	N _{L/T}	8,00 × 10 ⁻²	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	N _{I/T}	8,00	(A.10)	Não relevante
	N _{DA/T}	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente

E.3.4 Risco R₁ – Decisão da necessidade de proteção

Valores de componentes de risco para estruturas não protegidas são relatados na Tabela E.20.

Tabela E.20 – Edifício de escritórios: risco R_1 para estruturas não protegidas (valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	0,002	0	≈ 0	0,001	≈ 0	0,003
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$			≈ 0	0,001	≈ 0	0,001
D2 Danos físicos	R_B			4,395	0,352	0,031	4,778
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$			4,480	0,358	0,031	4,870
Total		0,002	0	8,876	0,712	0,062	$R_1 = 9,65$
Tolerável		$R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosférica é necessária					$R_T = 1$

Porque $R_1 = 9,65 \times 10^{-5}$ é maior que o valor tolerável $R_T = 10^{-5}$, a proteção contra descargas atmosférica é necessária.

E.3.5 Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção

O risco R_1 na estrutura é principalmente concentrado na zona Z_3 devido aos danos físicos causados pela descarga que atinge a estrutura ou as linhas conectadas (componentes $R_B \approx 49\%$ e $R_V \approx 50\%$ juntos cobrem 99% do risco total) (ver Tabela E.20).

Estes componentes de risco dominantes podem ser reduzidos:

- provendo ao edifício completo com um SPDA de acordo com o PN 03:064.10-100/3 reduzindo o componente R_B por meio da probabilidade P_B . Ligação equipotencial para descargas atmosféricas na entrada – um requisito obrigatório de SPDA – reduzindo também os componentes R_U e R_V por meio da probabilidade P_{EB} ;
- provendo a zona Z_3 (arquivo) com medidas de proteção contra as consequências de incêndio (como extintores, sistema automático de detecção de incêndio etc.). Isto irá reduzir os componentes R_B e R_V por meio da redução do fator r_p ;
- provendo uma ligação equipotencial para descargas atmosféricas de acordo com a PN 03:064.10-100/3 na entrada da edificação. Isto irá reduzir somente os componentes R_U e R_V por meio da probabilidade P_{EB} .

Combinando elementos diferentes destas medidas de proteção, as seguintes soluções podem ser adotadas:

- Solução 1:
 - proteger o edifício com um SPDA classe III de acordo com o PN 03:064.10-100/3, para reduzir a componente R_B ($P_B = 0,1$).
 - este SPDA inclui a interligação equipotencial de descargas atmosféricas obrigatória na entrada com DPS projetados para NP III ($P_{EB} = 0,05$) e reduzir componentes R_U e R_V .

— Solução 2:

- proteger o edifício com um SPDA classe de acordo com o PN 03:064.10-100/3, para reduzir a componente R_B ($P_B = 0,2$);
- este SPDA inclui a interligação equipotencial de descargas atmosféricas obrigatória na entrada com DPS projetados para NP IV ($P_{EB} = 0,05$) e reduzir componentes R_U e R_V ;
- utilizar sistemas de extinção de incêndio (ou detecção) para reduzir componentes R_B e R_V . Instalar um sistema manual na zona Z3 (arquivo) ($r_p = 0,5$).

Para ambas as soluções, os valores de risco da Tabela E.20 irá mudar a valores reduzidos relatados na Tabela E.21

Tabela E.21 – Edifício de escritórios: risco R_1 para estrutura protegida (valores $\times 10^{-5}$)

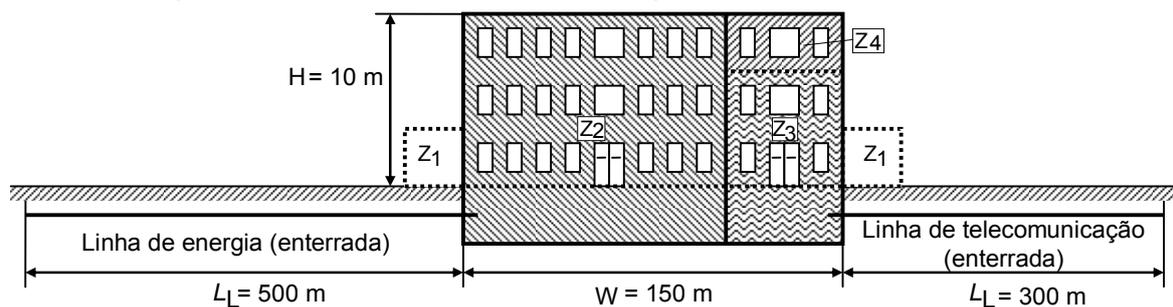
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Total	Tolerável	Resultado
Solução 1	≈ 0	0	0,664	0,053	0,005	$R_1 = 0,722$	$R_T = 1$	$R_1 \leq R_T$
Solução 2	≈ 0	0	0,552	0,089	0,008	$R_1 = 0,648$	$R_T = 1$	$R_1 \leq R_T$

Ambas as soluções reduzem o risco para valores abaixo do tolerável. A solução a ser adotada está sujeita a ambos os critérios: melhor solução técnica e solução de melhor custo efetivo.

E.4 Hospital

Como um caso mais complexo, este estudo considera as facilidades de um hospital normal com um bloco de quartos, um bloco de operação e uma unidade de terapia intensiva.

As perdas de vida humana (L1) e das perdas econômicas (L4) são relevantes para este tipo de hospital e são necessárias para avaliar a necessidade de proteção e para a eficiência do custo das medidas de proteção; estes são requisitos para avaliação dos riscos R_1 e R_4 .



IEC 2644/10

Legenda

- Z₁ externa
- Z₂ bloco de quartos
- Z₃ bloco de operação
- Z₄ unidade de terapia intensiva

Figura E.3 – Hospital

E.4.1 Dados relevantes e características

O hospital está localizado em um território plano sem nenhuma estrutura nas redondezas. A densidade de descargas atmosféricas para a terra é $N_G = 4$ descargas por quilômetro quadrado por ano.

Dados para o edifício e suas redondezas são dados na Tabela E.22.

Dados para as linhas que adentram a estrutura e seus sistemas internos conectados são dados, para linha de energia, na Tabela E.23, e, para linha de telecomunicação, na Tabela E.24.

Tabela E.22 – Hospital: características ambientais e globais da estrutura

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)		N_G	4,0	
Dimensões da estrutura (m)		L, W, H	50, 150, 10	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Nenhum	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

Tabela E.23 – Hospital: linha de energia

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	500	
Fator de Instalação	Enterrado	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	AT(com transformador AT/BT)	C_T	0,2	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Linha blindada interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	R_S	$R_S \leq 1$	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha blindada interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	0	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhum	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	2,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P_{LD}	0,2	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9

Tabela E.24 – Hospital: linha de telecomunicações

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	300	
Fator de instalação	Enterrado	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de telecomunicação	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Linha blindada interligada a mesma barra de interligação que o equipamento	R_S	$1 R_S \leq 5$	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha blindada interligada a mesma barra de interligação que o equipamento	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	0	
Estrutura adjacente	Comprimento, largura, altura	L_J, W_J, H_J	20, 30, 5	
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura isolada	C_{DJ}	1	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	0,8	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

E.4.2 Definição das zonas em um hospital

As seguintes zonas foram definidas:

- a) Z_1 (externa ao edifício);
- b) Z_2 (bloco de apartamentos);
- c) Z_3 (bloco cirúrgico);
- d) Z_4 (unidade de terapia intensiva).

Levando em conta o seguinte:

- o tipo de superfície é diferente fora da estrutura em comparação com o interior do edifício;

- existem dois compartimentos à prova de fogo, separados: o primeiro é o bloco de apartamentos (Z_2) e o segundo é o bloco cirúrgico junto com a UTI (Z_3 e Z_4);
- em todas as zonas internas Z_2 , Z_3 e Z_4 , existem sistemas internos conectados à energia assim como linhas de telecomunicação;
- não existe blindagem espacial;
- a unidade de terapia intensiva contém muitos sistemas eletrônicos sensíveis, e uma blindagem espacial pode ser adotada como medida de proteção;

Nas diferentes zonas, dentro e fora do hospital, um número total de 1 000 pessoas deve ser considerado.

O número de pessoas, o tempo de presença e os valores econômicos relativos a cada zona são diferentes. A distribuição dentro de cada zona individual e os valores totais são mostrados na Tabela E.25. Estes valores serão utilizados mais tarde para subdividir os valores de perda total dentro de cada fração para cada zona.

Tabela E.25 – Hospital: distribuição das pessoas e dos valores econômicos nas zonas

Zona	Número de pessoas	Tempo de presença (h/a)	Valores econômicos em \$ x 10 ⁶				
			Animais C_a	Edifício C_b	Conteúdo C_c	Sistemas internos C_s	Total C_t
Z_1 (externa)	10	8 760	–	–	–	–	–
Z_2 (bloco de aptos)	950	8 760	–	70	6	3,5	79,5
Z_3 (bloco cirúrgico)	35	8 760	–	2	0,9	5,5	8,4
Z_4 (UTI)	5	8 760	–	1	0,1	1,0	2,1
Total	$n_t = 1\ 000$	–	0	73	7	10	90,0

Para risco R_1 , seguindo a avaliação do projetista de SPDA, os valores de perda básicos (valores médios típicos da quantidade relativa de perda por ano) de acordo com a Tabela C.2 e o fator de acréscimo para perigos especiais de acordo com a Tabela C.6 são os seguintes:

- $L_T = 10^{-2}$ na zona Z_1 fora da estrutura;
- $L_T = 10^{-2}$ nas zonas Z_2 , Z_3 , Z_4 dentro da estrutura;
- $L_F = 10^{-1}$ nas zonas Z_2 , Z_3 , Z_4 dentro da estrutura;
- $h_z = 5$ nas zonas Z_2 , Z_3 , Z_4 dentro da estrutura devido à dificuldade de evacuação;
- $L_O = 10^{-3}$ na zona Z_2 (bloco de apartamentos);
- $L_O = 10^{-2}$ na zona Z_3 (bloco cirúrgico) e zona Z_4 (UTI).

Estes valores de perdas básicos foram reduzidos para cada zona de acordo com as Equações (C.1) a (C.4), levando em consideração o número de pessoas em perigo em cada zona individual em relação ao número total de pessoas considerado e o tempo durante o qual as pessoas estão presentes.

Para risco R_4 , os valores de perda básicos de acordo com a Tabela C.12 são os seguintes:

- $L_T = 0$ nenhum animal em perigo;

- $L_F = 0,5$ nas zonas Z_2, Z_3, Z_4 dentro da estrutura;
- $L_O = 10^{-2}$ nas zonas Z_2, Z_3, Z_4 dentro da estrutura

Estes valores de perda básicos foram reduzidos para cada zona de acordo com as Equações (C.11) a (C.13), levando em consideração o valor em perigo na zona individual relativo ao valor total da estrutura (animais, edificação, conteúdo, sistemas internos e atividades) considerado. O valor em perigo em uma zona individual depende do tipo de dano:

- D1 (ferimentos por choque elétrico): valor c_a de animais somente;
- D2 (danos físicos): soma de todos os valores $c_a + c_b + c_c + c_s$;
- D3 (falha de sistema interno): valor c_s dos sistemas internos e suas atividades somente.

As características resultantes das zonas Z_1 a Z_4 são fornecidas nas Tabelas E.26 a E.29.

Tabela E.26 – Hospital: fatores validos para zona Z_1 (fora do edifício)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Supefície do piso	Concreto	r_t	10^{-2}	Tabela C.3
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Risco de incêndio	Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
L1: perda de vida humana	Perigo especial: nenhum	h_z	1	Tabela C.5
	D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	0	
	D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	0	
Fator para pessoas na zona	$n_z / n_t \times t_z / 8\ 760 = 10 / 1\ 000 \times 8\ 760 / 8\ 760$	–	0,01	

Tabela E.27 – Hospital: fatores válidos para zona Z_2 (bloco de apartamentos)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.9
Risco de incêndio	Ordinário	r_f	10^{-2}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4

Tabela E.27 (continuação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Blindagem espacial interna		Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,01	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: dificuldade de evacuação	h_z	5	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-3}	
Fator para pessoas na zona		$n_z / n_t \times t_z / 8\ 760 = 950 / 1\ 000 \times 8\ 760 / 8\ 760$	–	0,95	
L4: Perda econômica		D2: devido a danos físicos	L_F	0,5	Tabela C.12
		D2: Fator $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 79,5 / 90$	–	0,883	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
		D3: Fator $c_s / c_t = 3,5 / 90$	–	0,039	

Tabela E.28 – Hospital: fatores válidos para zona Z₃ (bloco cirúrgico)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.9
Risco de incêndio	Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)

Tabela E.28 (continuação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,01	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: dificuldade de evacuação	h_z	5	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
Fator para pessoas na zona		$n_z / n_t \times t_z / 8\ 760 = 35 / 1\ 000 \times 8\ 760 / 8\ 760$	–	0,035	
L4: perda econômica		D2: devido a danos físicos	L_F	0,5	Tabela C.12
		D2: Fator $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 8,4 / 90$	–	0,093	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
		D3: Fator $c_s / c_t = 5,5 / 90$	–	0,061	

Tabela E.29 – Hospital: fatores válidos para a zona Z₄ (Unidade de Terapia Intensiva)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Linóleo	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga na estrutura)	Nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga na linha)	Nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.9
Risco de incêndio	Baixo	r_f	10^{-3}	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)

Tabela E.29 (continuação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,01	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana		Perigo especial: dificuldade de evacuação	h_z	5	Tabela C.6
		D1: devido à tensão de toque e de passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
		D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
Fator para pessoas na zona		$n_z / n_t \times t_z / 8\ 760 = 5 / 1\ 000 \times 8\ 760 / 8\ 760$	–	0,005	
L4: perda econômica		D2: devido a danos físicos	L_F	0,5	Tabela C.12
		D2: Fator $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t = 2,1 / 90$	–	0,023	
		D3: devido à falha de sistemas internos	L_O	10^{-2}	
		D3: Fator $c_s / c_t = 1,0 / 90$	–	0,011	

E.4.3 Cálculo das quantidades relevantes

Cálculos são dados na Tabela E.30 para as áreas de exposição equivalente e na Tabela E.31 para o número de eventos perigosos esperados.

Tabela E.30 – Hospital: áreas de exposição equivalentes da estrutura e linhas

	Símbolo	Resultado m ²	Referência Equação	Equação
Estrutura	A_D	$2,23 \times 10^4$	(A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	$9,85 \times 10^5$	(A.7)	$A_M = 2 \times 500 \times (L+W) + \pi \times 500^2$
Linha de energia	$A_{L/P}$	$2,00 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	$2,00 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha de telecomunicações	$A_{L/T}$	$1,20 \times 10^4$	(A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	$1,20 \times 10^6$	(A.11)	$A_{L/P} = 4\,000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	$2,81 \times 10^3$	(A.2)	$A_{DJ/T} = L_J \times W_J + 2 \times (3 \times H_J) \times (L_J + W_J) + \pi \times (3 \times H_J)^2$

Tabela E.31 – Hospital: número anual de eventos perigosos esperados

	Símbolo	Resultado 1 / ano	Referência Equação	Equação
Estrutura	N_D	$8,93 \times 10^{-2}$	(A.4)	$N_D = N_G \times A_{D/B} \times C_{D/B} \times 10^{-6}$
	N_M	3,94	(A.6)	$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}$
Linha de energia	$N_{L/P}$	$4,00 \times 10^{-3}$	(A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{I/P}$	$4,00 \times 10^{-1}$	(A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/P}$	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente
Linha de telecomunicações	$N_{L/T}$	$1,20 \times 10^{-2}$	(A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{I/T}$	1,20	(A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$
	$N_{DJ/T}$	$1,12 \times 10^{-2}$	(A.5)	$N_{DJ/T} = N_G \times A_{DJ/T} \times C_{DJ/T} \times C_{T/T} \times 10^{-6}$

E.4.4 Risco R_1 – Decisão da necessidade de proteção

Valores das probabilidades P_X são fornecidos na Tabela E.32, e os componentes de risco para estruturas sem proteção são relatados na Tabela E.33.

Tabela E.32 – Hospital: risco R_1 – Valores da probabilidade P para a estrutura sem proteção

Tipo de danos	Símbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Referência Equação	Equação
D1 Ferimentos devido a choque	P_A	1		1			
	$P_{U/P}$			0,2			
	$P_{U/T}$			0,8			
D2 Danos físicos	P_B			1			
	$P_{V/P}$			0,2			
	$P_{V/T}$			0,8			
D3 Falha de sistemas interno	P_C			1		(14)	$P_C = 1 - (1 - P_{C/P}) \times (1 - P_{C/T}) = 1 - (1 - 1) \times (1 - 1)$
	P_M			0,0064		(15)	$P_M = 1 - (1 - P_{M/P}) \times (1 - P_{M/T}) = 1 - (1 - 0,0064) \times (1 - 0,00004)$
	$P_{W/P}$			0,2			
	$P_{W/T}$			0,8			
	$P_{Z/P}$			0			
	$P_{Z/T}$			0			

Tabela E.33 – Hospital: risco R_1 para a estrutura sem proteção (values $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	0,009	0,0009	≈ 0	≈ 0	0,010
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B		42,4	0,156	0,022	42,6
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		9,21	0,034	0,005	9,245
D3 Falha de sistemas interno	R_C		8,484	3,126	0,447	12,057
	R_M		2,413	0,889	0,127	3,429
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		1,841	0,678	0,097	2,616
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		0,009	64,37	4,89	0,698	$R_1 = 69,96$
Tolerável		$R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosférica é necessária				$R_T = 1$

Porque $R_1 = 69,96 \times 10^{-5}$ é superior ao valor tolerável $R_T = 10^{-5}$, a proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura é necessária.

E.4.5 Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção

O risco R_1 é principalmente influenciado (ver Tabela E.33):

- pelos danos físicos na zona Z_2 (componentes $R_B \approx 61\%$ e $R_V \approx 13\%$ do risco total);
- pelas falhas dos sistemas internos nas zonas Z_2 e Z_3 (componentes $R_C \approx 12\%$ respectivamente $R_C \approx 5\%$) do risco total.

Estes componentes de risco dominantes podem ser reduzidos:

- instalando no edifício completo um SPDA de acordo com o PN 03:064.10-100/3, reduzindo o componente R_B por meio da probabilidade P_B . A inclusão obrigatória da ligação equipotencial para descargas atmosféricas na entrada reduz também os componentes R_U e R_V por meio da probabilidade P_{EB} ;
- fornecendo à zona Z_2 as medidas de proteção contra as consequências de fogo (como extintores, sistema automático de detecção de incêndio etc.). Isto irá reduzir os componentes R_B e R_V por meio do fator de redução r_p ;
- instalando nas zonas Z_3 e Z_4 uma proteção com DPS coordenados de acordo com o PN 03:064.10-100/4 para os sistemas de potência interno e sistemas de telecomunicações. Isto irá reduzir os componentes R_C , R_M , R_W por meio da probabilidade P_{SPD} .
- instalando nas zonas Z_3 e Z_4 uma blindagem tipo malha espacial adequada de acordo com o PN 03:064.10-100/4. Isto irá reduzir o componente R_M por meio da probabilidade P_M .

Combinando diferentes elementos destas medidas de proteção, as seguintes soluções podem ser adotadas:

- Solução 1:
 - proteger a edificação com um SPDA classe I ($P_B = 0,02$ incluindo também $P_{EB} = 0,01$);
 - instalar uma proteção com DPS coordenado no sistema de potência interno e no sistema de telecomunicação para (1,5 x) melhor que NP I ($P_{SPD} = 0,005$) nas zonas Z_2 , Z_3 , Z_4 ;
 - instalar na zona Z_2 um sistema automático de proteção contra incêndio ($r_p = 0,2$ para zona Z_2 somente);
 - instalar nas zonas Z_3 e Z_4 uma blindagem tipo malha com $w_m = 0,5$ m.

Utilizando esta solução, os valores de risco da Tabela E.33 irão mudar para os valores reduzidos relatados na Tabela E.34.

Tabela E.34 – Hospital: risco R_1 para estrutura protegida de acordo com a solução 1 (valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B		0,170	0,003	≈ 0	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Falha de sistemas interno	R_C		0,085	0,031	0,004	0,12
	R_M		0,012	≈ 0	≈ 0	0,012
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,009	0,003	≈ 0	0,004
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,294	0,038	0,005	$R_1 = 0,338$
Tolerável		$R_1 < R_T$: a estrutura está protegida para este tipo de perda				$R_T = 1$

— Solução 2:

- proteger o edifício com um SPDA classe I ($P_B = 0,02$ incluindo também $P_{EB} = 0,01$);
- instalar uma proteção com DPS coordenada nos sistemas internos de potência e de telecomunicação para (3 x) melhor que NP I ($P_{SPD} = 0,001$) nas zonas Z₂, Z₃, Z₄;
- providenciar para zona Z₂ um sistema automático contra incêndio ($r_p = 0,2$ para zona Z₂ somente).

Utilizando esta solução, os valores de risco da Tabela E.33 irá modificar para os valores reduzidos relatados na Tabela E.35.

Tabela E.35 – Hospital: risco R_1 para a estrutura protegida de acordo com a solução 2 (valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Símbolo	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B		0,170	0,003	0,001	0,174
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Falha de sistemas interno	R_C		0,017	0,006	0,001	0,024
	R_M		0,002	0,001	≈ 0	0,003
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,002	0,001	≈ 0	0,003
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,209	0,011	0,002	$R_1 = 0,222$
Tolerável		$R_1 < R_T$: a estrutura está protegida para este tipo de perda				$R_T = 1$

— Solução 3:

- proteger o edifício com um SPDA Classe I ($P_B = 0,02$ incluindo também $P_{EB} = 0,01$);
- instalar uma proteção com DPS coordenado nos sistemas internos de potência e de telecomunicação para (2 x) melhor que NP I ($P_{SPD} = 0,002$) nas zonas Z_2, Z_3, Z_4 ;
- providenciar para zona Z_2 um sistema automático contra incêndio ($r_p = 0,2$ para zona Z_2 somente);
- providenciar para zonas Z_3 e Z_4 uma blindagem malhada com $w_m = 0,1$ m.

Utilizando esta solução, os valores de risco da tabela E.33 irão mudar para os valores reduzidos relatados na Tabela E.36.

Tabela E.36 – Hospital: Risco R_1 para estruturas protegidas conforme a solução c)
(valores $\times 10^{-5}$)

Tipo de danos	Simbolo	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Estrutura
D1 Ferimentos devido a choque	R_A	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
D2 Danos físicos	R_B		0,170	0,003	≈ 0	0,173
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		0,018	≈ 0	≈ 0	0,018
D3 Falha de sistemas interno	R_C		0,034	0,012	0,002	0,048
	R_M		≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	$R_W = R_{W/P} + R_{W/T}$		0,004	0,001	≈ 0	0,005
	$R_Z = R_{Z/P} + R_{Z/T}$					
Total		≈ 0	0,226	0,016	0,002	$R_1 = 0,244$
Tolerável		$R_1 < R_T$: a estrutura está protegida para este tipo de perda				$R_T = 1$

Todas as soluções reduzem o risco a valores abaixo do nível tolerável. A solução a ser adotada está sujeita a ambos os critérios de melhor solução técnica e de melhor custo efetivo.

E.4.6 Risco R_4 – Análise de custo-benefício

Para as perdas econômicas L_4 , o correspondente risco R_4 pode ser avaliado da mesma forma que foi feito anteriormente. Todos os parâmetros necessários para avaliação dos componentes de risco são dados nas Tabelas E.22 a E.29, onde os valores de perdas L_X para perda econômica L_4 somente são válidos. Entretanto, somente as zonas Z_2, Z_3 e Z_4 são relevantes, enquanto que a zona Z_1 é desprezada (ela pode ser relevante somente no caso de perdas de animais).

Dos valores de risco R_4 ou R'_4 e do valor total da estrutura $c_t = 90 \times 10^6$ \$ (Tabela E.25), o custo anual de perda $C_L = R_4 \times c_t$ para uma estrutura não protegida e $C_{RL} = R'_4 \times c_t$ para uma estrutura protegida pode ser calculado (ver Equação (D.2) e (D.4)). Os resultados estão mostrados na Tabela E.37.

Tabela E.37 – Hospital: custo de perda C_L (não protegida) e C_{RL} (protegida)

Proteção	Risco R_4 valores $\times 10^{-5}$					Custo de perdas \$
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Estrutura	C_L ou C_{RL}
Não protegida	–	53,2	8,7	1,6	63,5	57 185
Solução 1	–	0,22	0,07	0,01	0,30	271
Solução 2	–	0,18	0,02	0,005	0,21	190
Solução 3	–	0,19	0,03	0,007	0,23	208

Os valores assumidos para taxa de juros, amortização e manutenção relevantes às medidas de proteção são dados na Tabela E.38.

Tabela E.38 – Hospital: taxas relevantes às medidas de proteção

Taxa	Símbolo	Valor
Juros	i	0,04
Amortização	a	0,05
Manutenção	m	0,01

Uma lista de custo C_P para possíveis medidas de proteção e custo anual C_{PM} das medidas de proteção adotadas nas soluções 1, 2 ou 3 é dada na Tabela E.39 (ver Equação (D.5)).

Tabela E.39 – Hospital: custo C_P e C_{PM} das medidas de proteção (valores em \$)

Medida de proteção	Custo C_P	Custo anual $C_{PM} = C_P (i + a + m)$		
		Solução 1	Solução 2	Solução 3
SPDA classe I	100 000	10 000	10 000	10 000
Proteção automática contra incêndio na zona Z_2	50 000	5 000	5 000	5 000
Blindagem nas Zonas Z_3 e Z_4 ($w = 0,5$ m)	100 000	10 000		
Blindagem nas Zonas Z_3 e Z_4 ($w = 0,1$ m)	110 000			11 000
DPS no sistema de potência ($1,5 \times NP$ I)	20 000	2 000		

Tabela E.39 (continuação)

Medida de proteção	Custo C_P	Custo anual $C_{PM} = C_P (I + a + m)$		
		Solução 1	Solução 2	Solução 3
DPS no sistema de potência (2 × NP I)	24 000			2 400
DPS no sistema de potência (3 × NP I)	30 000		3 000	
DPS no sistema de TLC (1,5 × NP I)	10 000	1 000		
DPS no sistema de TLC (2 × NP I)	12 000			1 200
DPS no sistema de TLC (3 × NP I)	15 000		1 500	
Custo total anual C_{PM}		28 000	19 500	29 600

A economia anual monetária S_M pode ser avaliada pela comparação do custo anual de perdas C_L para a estrutura não protegida com a soma do custo anual residual de perdas C_{RL} para a estrutura protegida e o custo anual das medidas de proteção C_{PM} . Os resultados para as soluções 1, 2 e 3 são dados na Tabela E.40.

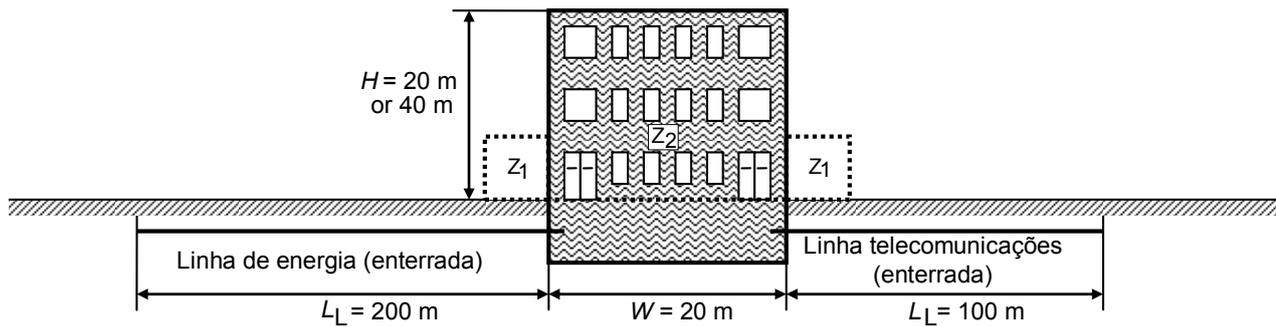
Tabela E.40 – Hospital: economia anual monetária (valores em \$)

	Símbolo	Solução 1	Solução 2	Solução 3
Perdas para estrutura não protegida	C_L	57 185	57 185	57 185
Perda residual para estrutura protegida	C_{RL}	271	190	208
Custo anual da proteção	C_{PM}	28 000	19 500	29 600
Economia anual $S_M = C_L (C_{RL} + C_{PM})$	S_M	28 914	37 495	27 377

E.5 Bloco de apartamentos

Este estudo de caso compara diferentes soluções para proteção contra descargas atmosféricas para um bloco de apartamentos. Os resultados mostram que algumas soluções podem não ser suficientes, enquanto que várias soluções adequadas podem ser escolhidas de diferentes combinações das medidas de proteção.

Somente o risco R_1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco R_A , R_B , R_U e R_V (de acordo com a Tabela 2) é determinado e comparado com o valor do risco tolerável $R_T = 10^{-5}$ (de acordo com a Tabela 4). A avaliação econômica não foi requerida uma vez que o risco R_4 para perdas econômicas (L4) não foi considerado.



IEC 2645/10

Legenda

Z_1 : externa

Z_2 : interna

Figura E.4 – Bloco de apartamentos

E.5.1 Dados relevantes e características

O Bloco de apartamentos está localizado em um território plano sem nenhuma estrutura nas redondezas. A densidade de descargas atmosféricas para a terra é $N_G = 4$ descargas por quilômetro quadrado por ano. No bloco vivem 200 pessoas. Este também é o número total de pessoas a ser considerado, porque é assumido que fora do edifício nenhuma pessoa deve estar durante a tempestade.

Dados para o bloco e suas redondezas são fornecidos na Tabela E.41.

Dados para as linhas e seus sistemas internos conectados são fornecidos, para a linha de energia na Tabela E.42 e para as linhas de telecomunicações na Tabela E.43.

Tabela E.41 – Bloco de apartamentos: características ambientais e globais da estrutura

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)		N_G	4,0	
Dimensões da estrutura (m)	$H = 20$ ou 40 (ver Tabela E.45)	L, W	30, 20	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada	C_D	1	Tabela A.1
SPDA	Variável (ver Tabela E.45)	P_B	–	Tabela B.2
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)

Tabela E.42 – Bloco de apartamentos: linha de energia

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	200	
Fator de instalação	Enterrada	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de BT	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	2,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,4	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9

Tabela E.43 – Bloco de apartamentos: linha de telecomunicação

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L_L	100	
Fator de Instalação	Enterrada	C_I	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de telecomunicação	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	–	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1	Tabela B.4
		C_{LI}	1	
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J	–	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	C_{DJ}	–	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

E.5.2 Definição das zonas em um bloco de apartamentos

As seguintes zonas podem ser definidas:

- Z_1 (fora do edifício);
- Z_2 (dentro do edifício).

Para a zona Z_1 , é assumido que nenhuma pessoa estará fora do edifício. Entretanto, o risco de choque às pessoas é $R_A = 0$. Porque R_A é somente o componente de risco fora do edifício, a zona Z_1 pode ser desprezada completamente.

A zona Z_2 é definida levando em consideração o seguinte:

- a estrutura é classificada como um “edifício civil”;
- há, nesta zona, ambos os sistemas internos (energia e telecomunicações);
- não há blindagem espacial;
- a estrutura é considerada um único compartimento à prova de fogo;
- perdas são assumidas como correspondente aos valores médios típicos da Tabela C.1.

Os fatores resultantes válidos para zona Z_2 estão relatados na Tabela E.44.

Tabela E.44 – Bloco de apartamentos: fatores válidos para zona Z_2 (dentro da edificação)

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Madeira	r_t	10^{-5}	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga na estrutura)		nenhuma	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga na linha)		nenhuma	P_{TU}	1	Tabela B.6
Risco de incêndio		Variável (ver Tabela E.45)	r_f	–	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Variável (ver Tabela E.45)	r_p	–	Tabela C.4
Blindagem espacial interna		nenhuma	K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Não blindada (condutores do laço no mesmo eletroduto)	K_{S3}	0,2	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Não blindada (laços grandes $> 10m^2$)	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	nenhum	P_{SPD}	1	Tabela B.3

Tabela E.44 (continuação)

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
L1: perda de vida humana	Perigo especial: Nenhum	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido a tensão de toque e passo	L_T	10^{-2}	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	L_F	10^{-1}	
Fator para pessoas na zona	$n_z / n_t \times t_z / 8\ 760 = 200 / 200 \times 8\ 760 / 8\ 760$	–	1	

E.5.3 Risco R_1 – Seleção das medidas de proteção

Os valores de risco R_1 e das medidas de proteção selecionadas para reduzir o risco ao nível tolerável $R_T = 10^{-5}$ são dadas na Tabela E.45, dependendo dos seguintes parâmetros:

- altura do edifício H ;
- fator de redução r_f para risco de incêndio;
- fator de redução r_p reduzindo as consequências de incêndio;
- probabilidade P_B dependendo da classe do SPDA adotada.

Tabela E.45 – Bloco de apartamentos: Risco R_1 para um bloco de apartamentos dependendo das medidas de proteção

Altura H (m)	Risco de incêndio		SPDA		Proteção contra incêndio		Risco R_1 Valores $\times 10^{-5}$	Estrutura protegida $R_1 \leq R_T$
	Tipo	r_f	Classe	P_B	Tipo	r_p		
20	Baixo	0,001	Nenhum	1	Nenhuma	1	0,837	Sim
	Ordinário	0,01	Nenhum	1	Nenhuma	1	8,364	Não
			III	0,1	Nenhuma	1	0,776	Sim
			IV	0,2	Manual	0,5	0,747	Sim
	Alto	0,1	Nenhum	1	Nenhuma	1	83,64	Não
			II	0,05	Automático	0,2	0,764	Sim
			I	0,02	Nenhuma	1	1,553	Não
I			0,02	Manual	0,5	0,776	Sim	
40	Baixo ordinário	0,001	Nenhum	1	Nenhuma	1	2,436	Não
			Nenhum	1	Automática	0,2	0,489	Sim
			IV	0,2	Nenhuma	1	0,469	Sim
	Alto	0,01	Nenhum	1	Nenhuma	1	24,34	Não
			IV	0,2	Automática	0,2	0,938	Sim
			I	0,02	Nenhuma	1	0,475	Sim
		0,1	Nenhum	1	Nenhuma	1	243,4	Não
			I	0,02	Automática	0,2	0,949	Sim

Anexo F (informativo)

Densidade de descargas atmosféricas N_G

F.1 Considerações sobre os dados apresentados relacionados à densidade de descargas atmosféricas

O mapa de densidade de descargas atmosféricas foi gerado, para todo o território nacional, a partir dos registros de pulsos luminosos capturados do espaço, pelo *Lightning Imaging Sensor* – LIS, a bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* – TRMM, da NASA, durante o período de 1998 a 2009.

Os dados brutos de descargas atmosféricas, oriundos do LIS, foram tratados de forma a considerar a eficiência de detecção do sensor, o período de observação de um ponto sobre a superfície terrestre pelo fato de o TRMM não ser geoestacionário, a distorção causada por efeitos geomagnéticos e o percentual médio das descargas nuvem para o solo em relação ao total registrado pelo LIS.

Para estimar o percentual médio de descargas atmosféricas da nuvem para o solo, foram utilizados os registros oriundos da rede de detecção de superfície disponível no período.

Após o tratamento dos dados, foi gerada uma grade de densidade de descargas atmosféricas composta por células com resolução de 12,5 km x 12,5 km. Cada célula da grade de densidade contém um valor médio anual de densidade.

Os valores de densidade de descargas atmosféricas do mapa, representados por diferentes tons de cor, foram calculados por meio de um aplicativo *Geographic Information System* – GIS, que utiliza o método de interpolação numérica *Inverse Distance Weighted* – IDW, a partir dos valores médios anuais da grade de densidade.

Na legenda do mapa, consta uma escala de cores contendo dez valores de densidade de descargas atmosféricas.

NOTA Valores de densidade inferiores a 0,5 descargas/km²/ano ou superiores a 19 descargas/km²/ano são representados no mapa pelas cores das paletas da extremidade da escala: lilás claro (0,5) e preto (19). Valores intermediários a esses limites são representados no mapa por tons de cor indicados na escala.

Alternativamente à utilização dos mapas, pode-se obter o N_G por meio de coordenadas cartesianas obtidas por GPS e inseridas no site http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng

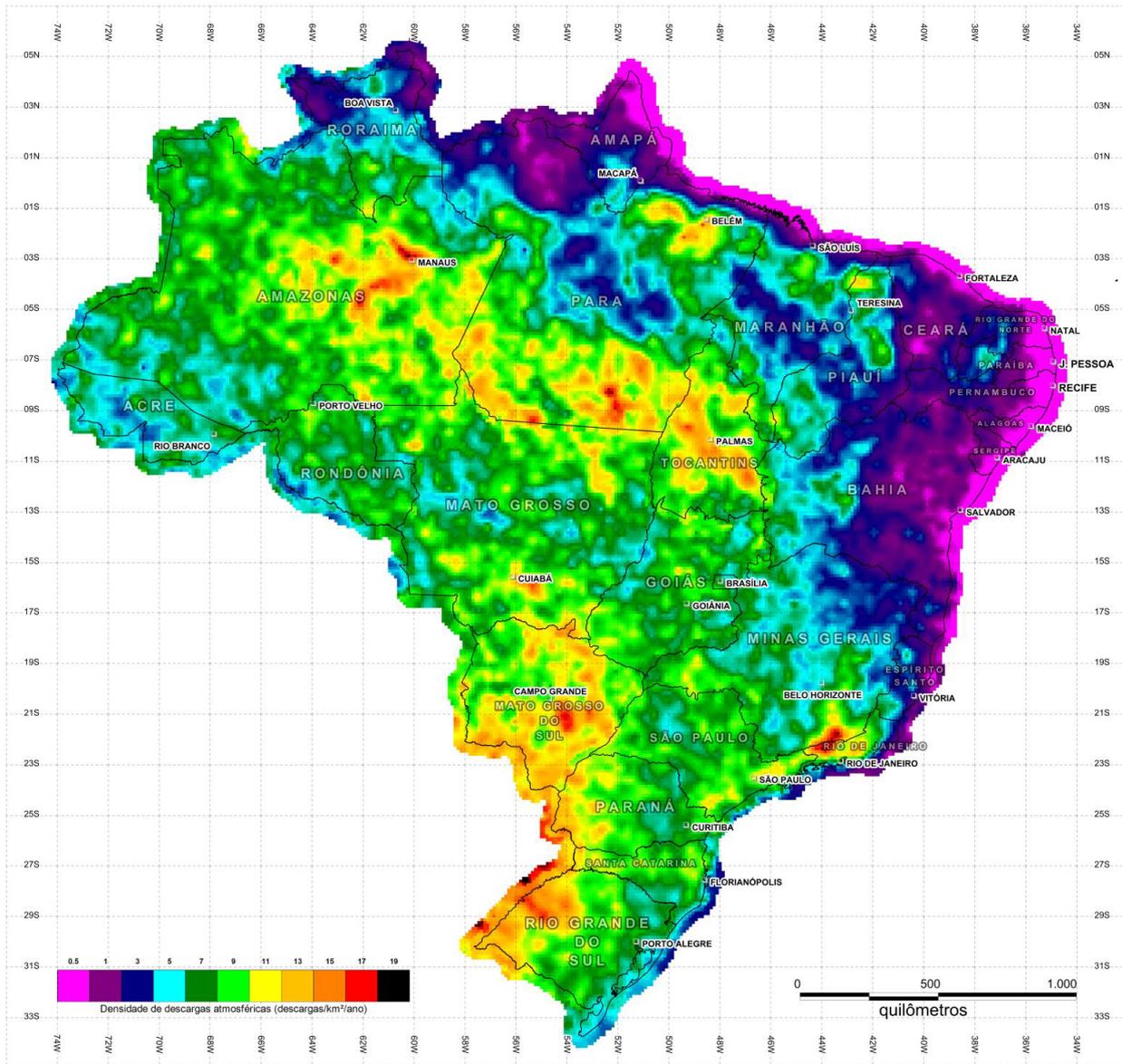


Figura F.1 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa do Brasil (descargas atmosféricas/ km^2 /ano)

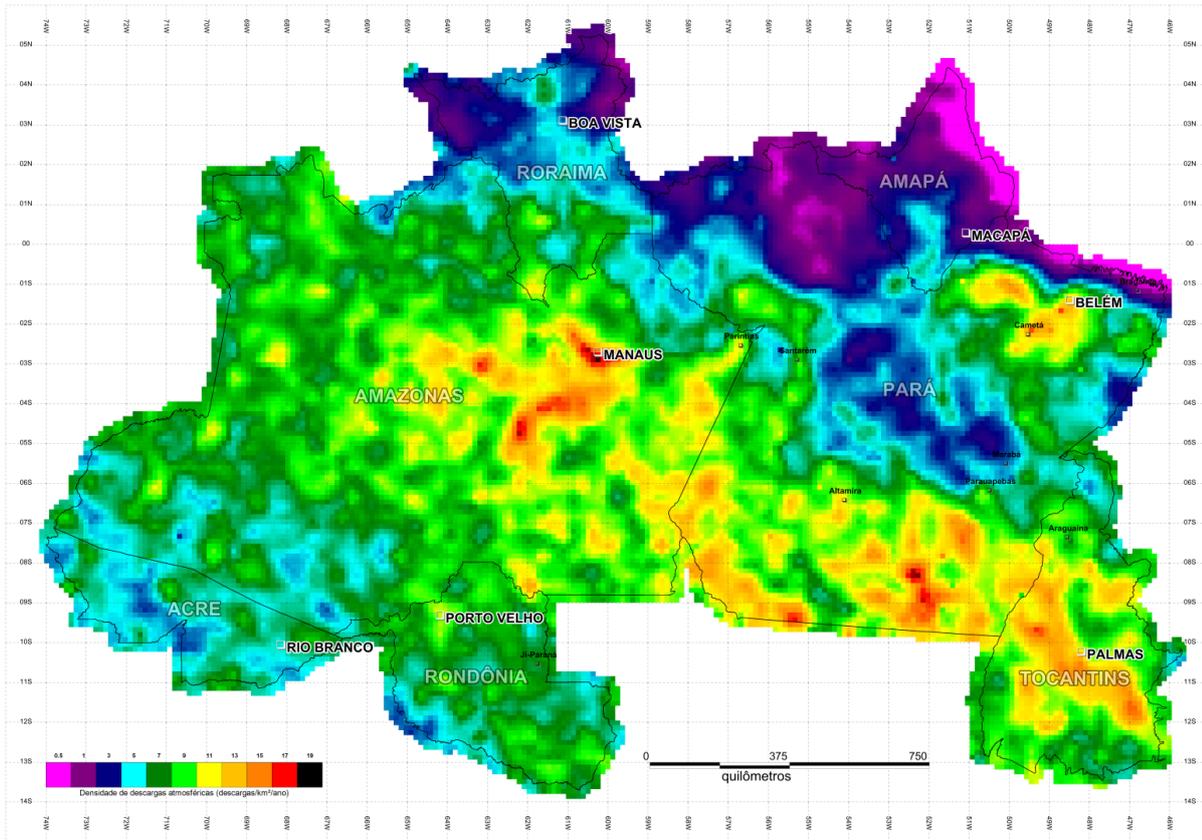


Figura F.2 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região norte (descargas atmosféricas/km²/ano)

Projeto em Consulta Nacional

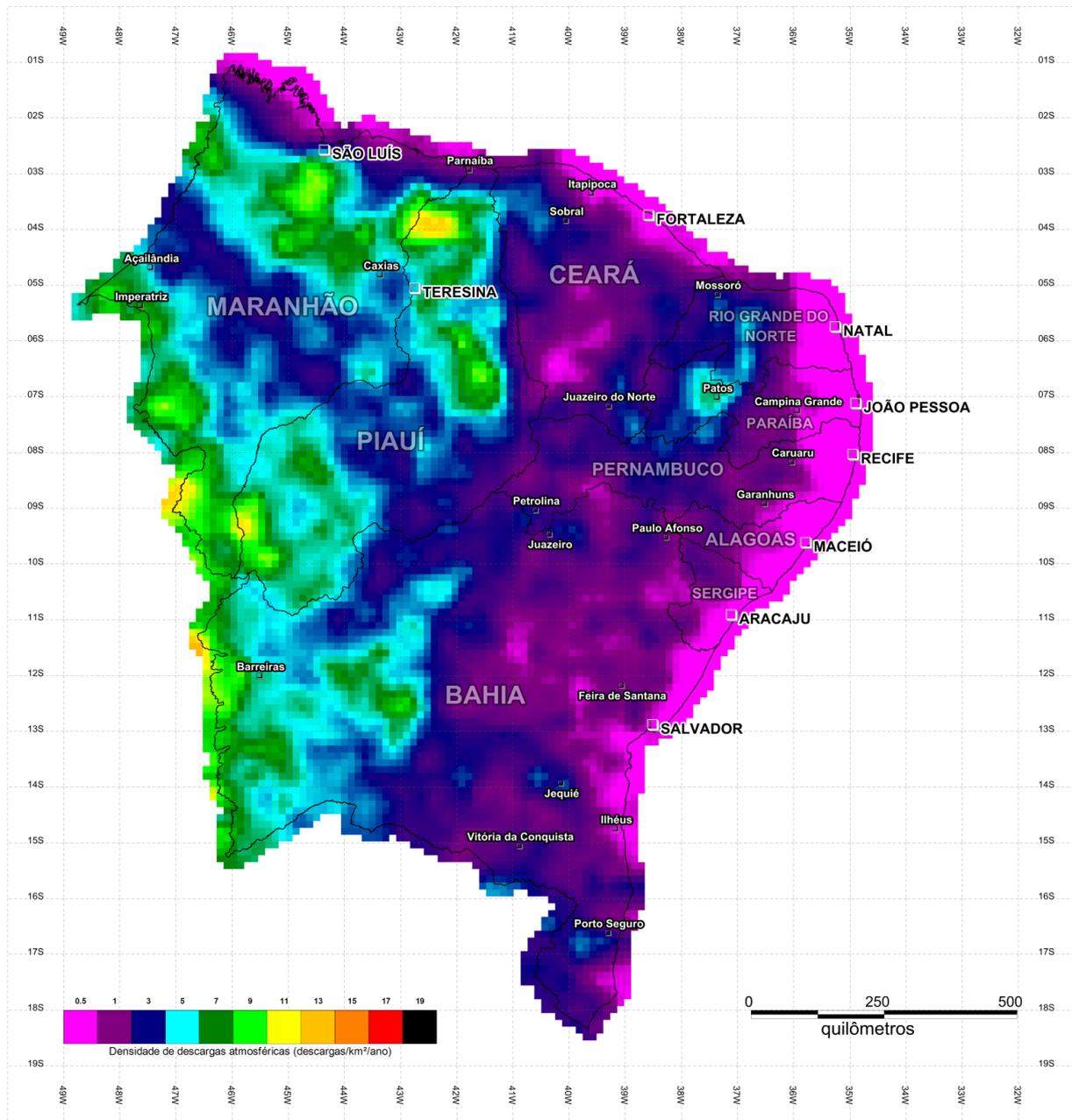


Figura F.3 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região nordeste (descargas atmosféricas/ km^2/ano)

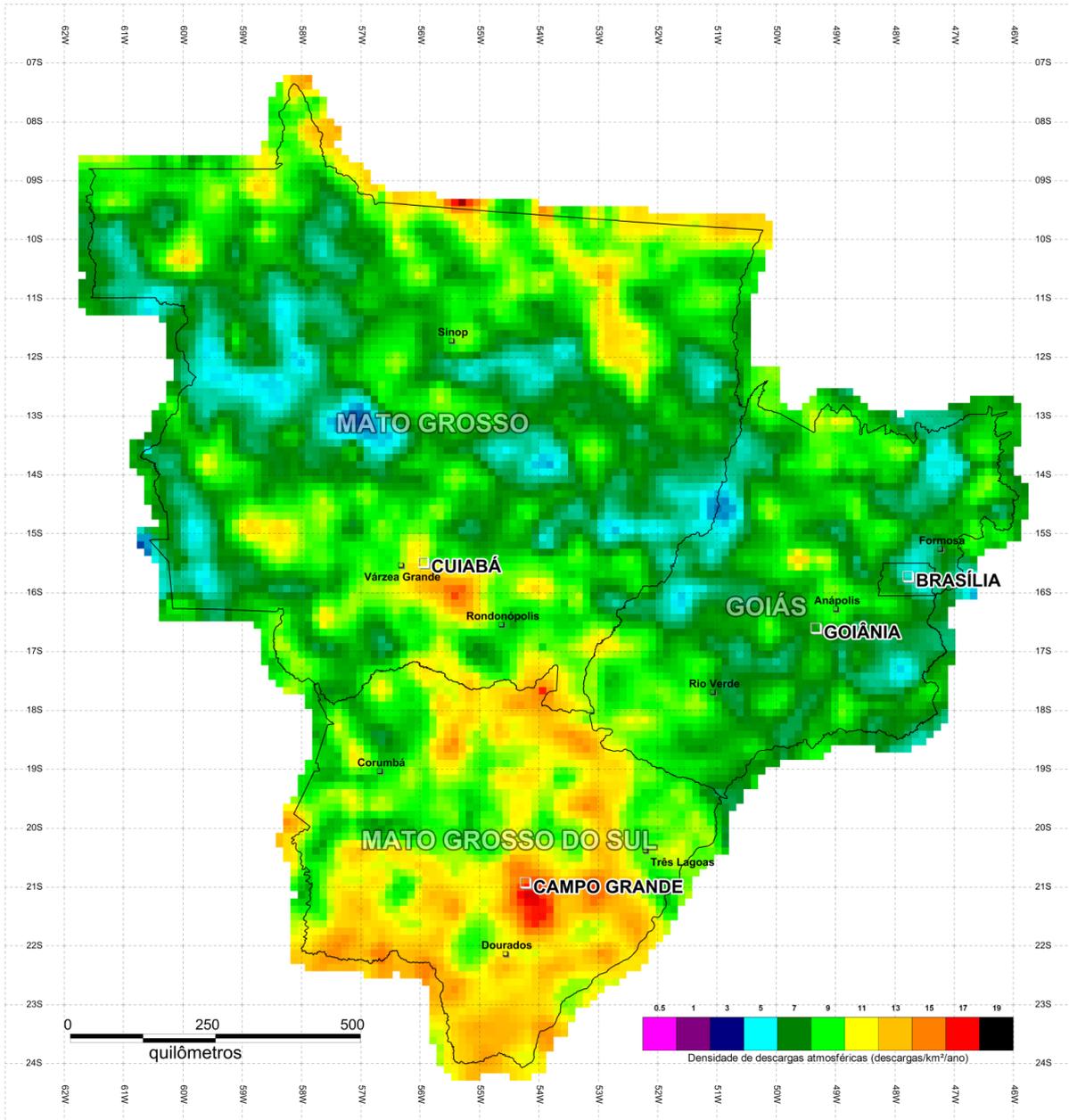


Figura F.4 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região centro-oeste (descargas atmosféricas/km²/ano)

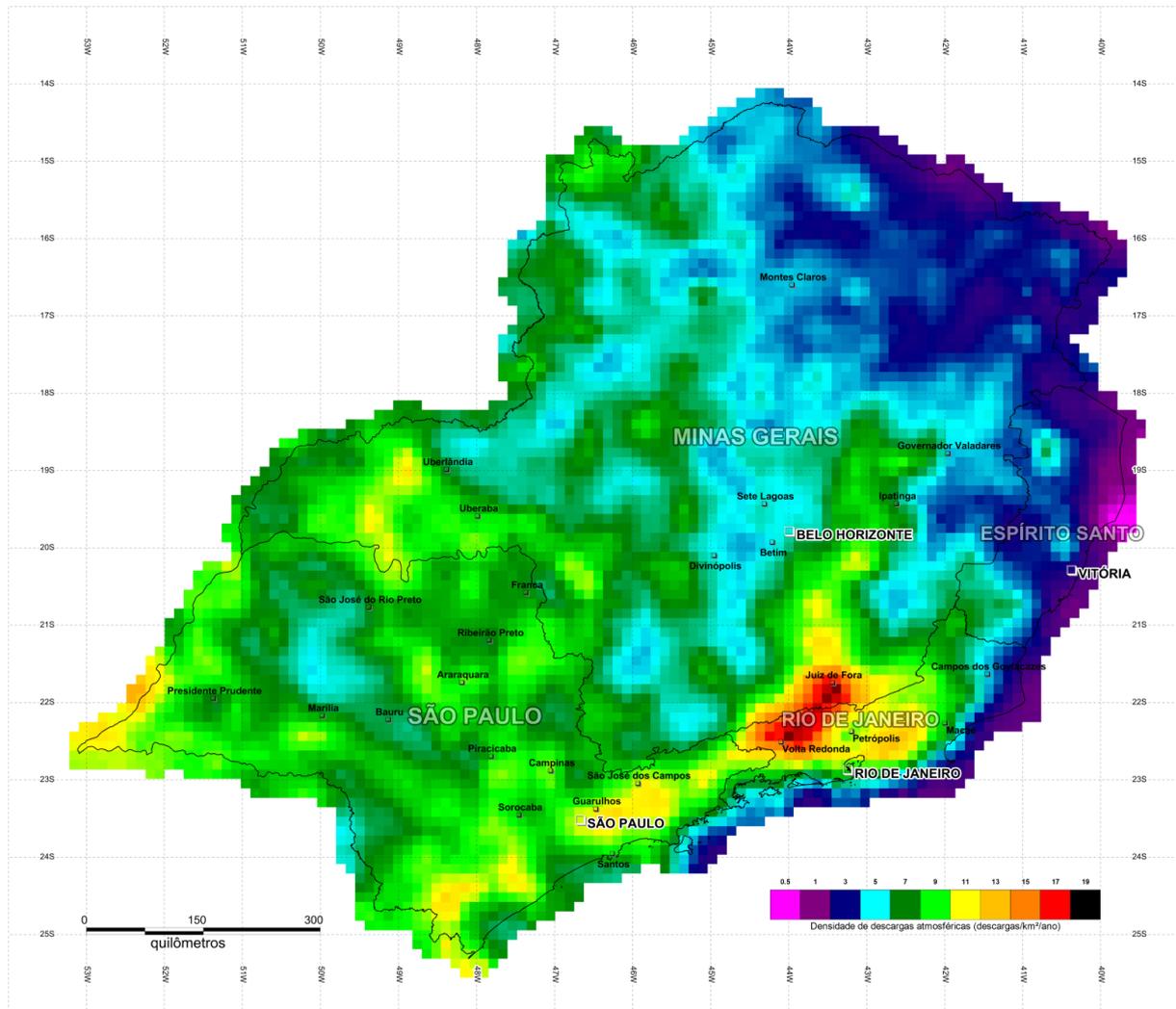


Figura F.5 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região Sudeste (descargas atmosféricas/ km^2/ano)

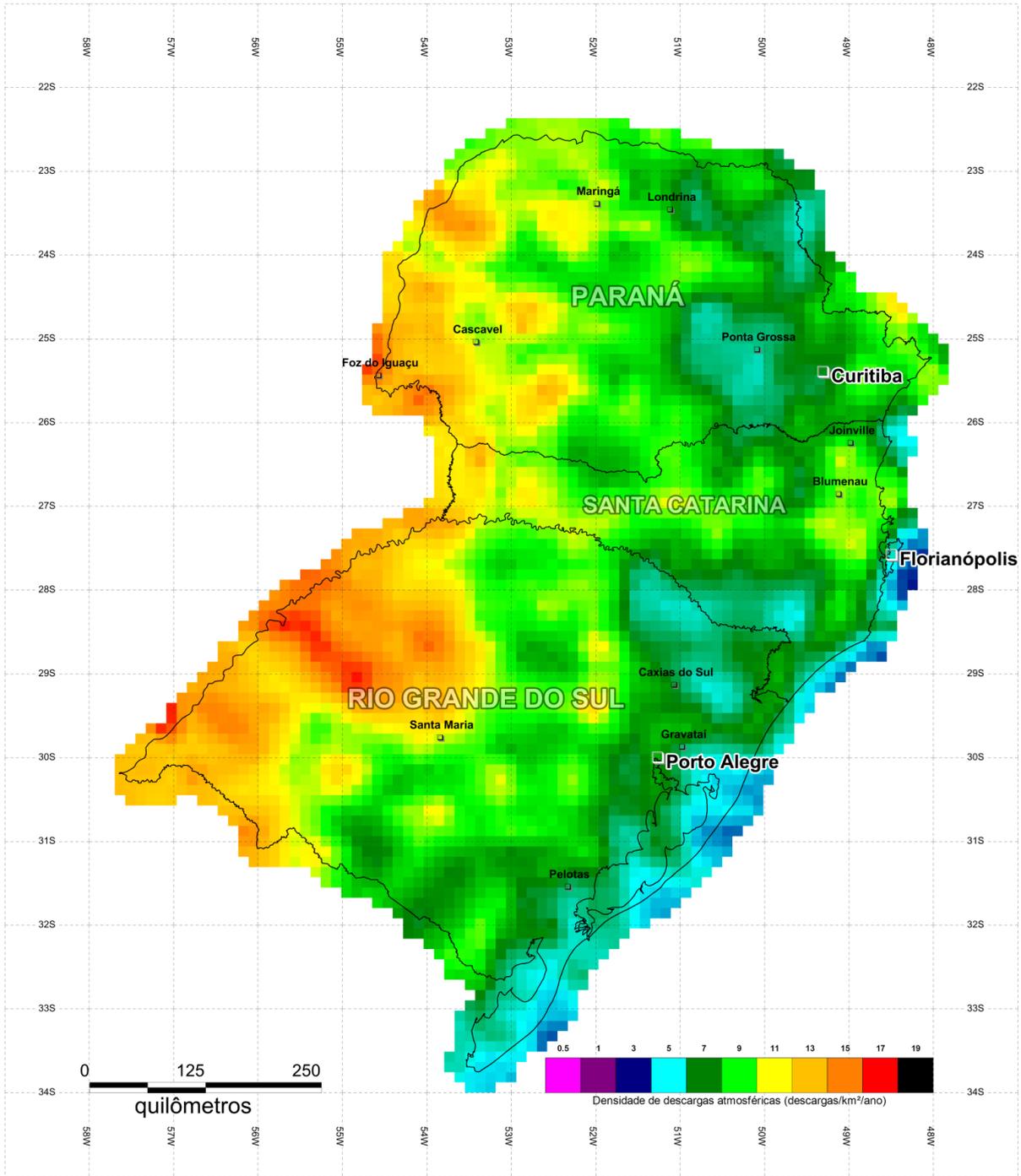


Figura F.6 – Densidade de descargas atmosféricas N_G – Mapa da região sul (descargas atmosféricas/km²/ano)



Bibliografia

ABNT NBR 5410, Instalações elétricas de baixa tensão

ABNT NBR 13571, Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios

ABNT NBR 15749, *Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento*

ABNT NBR 6323, Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação

IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*

IEC 62561(all parts), *Lightning protection system components (LPSC)*

IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*

IEC/TS 60479 (all parts), *Effects of current on human beings and livestock*

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

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

IEC 61400-24, *Wind turbines – Part 24: Lightning protection*

IEC 61557-4, *Electrical safety in low-voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 4: Resistance of earth connection and equipotential bonding*

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 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*

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

IEEE working group report, Estimating lightning performance of transmission lines-Analytical models. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993



ITU-T Recommendation K.67, Expected surges on telecommunications and signalling networks due to lightning

BERGER K., ANDERSON R.B., KRÖNINGER H., Parameters of lightning flashes. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37

ANDERSON R.B., ERIKSSON A.J., Lightning parameters for engineering application. CIGRE Electra No 69 (1980), p. 65 – 102

ITU-T Recommendation K.46, *Protection of telecommunication lines using metallic symmetric conductors against lightning-induced surges*

ITU-T Recommendation K.47, *Protection of telecommunication lines using metallic conductors against direct lightning discharges*

NUCCI C.A., *Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part I: Return stroke current models with specified channel-base current for the evaluation of return stroke electromagnetic fields.* CIGRE Electra No 161 (Agosto 1995)

NUCCI C.A., *Lightning induced overvoltages on overhead power lines. Part II: Coupling models for the evaluation of the induced voltages.* CIGRE Electra No 162 (Outubro 1995)



**Proteção contra descargas atmosféricas —
Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida**

APRESENTAÇÃO

1) Este Projeto foi elaborado pela Comissão de Estudo de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (CE-03:064.10) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03), nas reuniões de:

23.06.2005	28.07.2005	01.09.2005
27.10.2005	03.11.2005	01.12.2005
02.02.2006	02.03.2006	13.04.2006
04.05.2006	13.06.2006	03.08.2006
05.10.2006	16.11.2006	07.12.2006
09.02.2007	14.03.2007	09.04.2007
10.05.2007	15.06.2007	12.07.2007
17.08.2007	11.10.2007	08.11.2007
14.02.2008	10.04.2008	08.05.2008
12.06.2008	17.07.2008	14.08.2008
11.09.2008	09.10.2008	12.02.2009
19.03.2009	09.04.2009	27.04.2009
04.06.2009	16.07.2009	13.08.2009
03.09.2009	08.10.2009	05.11.2009
10.12.2009	07.08.2010	09.09.2010
25.11.2010	10.03.2011	13.06.2011
03.11.2011	01.12.2011	11.06.2012
02.08.2012	28.02.2013	23.05.2013

© ABNT 2014

Todos os direitos reservados. Salvo disposição em contrário, nenhuma parte desta publicação pode ser modificada ou utilizada de outra forma que altere seu conteúdo. Esta publicação não é um documento normativo e tem apenas a incumbência de permitir uma consulta prévia ao assunto tratado. Não é autorizado postar na internet ou intranet sem prévia permissão por escrito. A permissão pode ser solicitada aos meios de comunicação da ABNT.



- a) Este Projeto, juntamente com os projetos, 03:064.10-100/1, 03:064.10-100/2 e 03:064.10-100/4 são previstos para cancelar e substituir a ABNT NBR 5419:2005, quando aprovado, sendo que nesse ínterim a referida Norma continua em vigor;
- b) Este Projeto é previsto para receber a seguinte numeração após sua aprovação como Norma Brasileira: ABNT NBR 5419-3
- c) Não tem valor normativo.

2) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória;

3) Tomaram parte na sua elaboração:

Participante	Representante
AFEAL	Fabíola Rago
ASSEAG/STDE	Eduardo Vazentini
BANDEIRANTE ENERGIA	Domenico Sávio Santos
ENCONTRE ENGENHARIA	Duílio Moreira Leite
BANDEIRANTE ENERGIA	Paulo S. R. Patrício
BUDGET ENG.	Antonio Carlos Mori
CELESC	Guilherme M. T. Kobayashi
CIA CATAGUAZES	Filipe Rios Penha
CONEXEL	Robinson Zanon Gomes
CONSULTOR AUTÔNOMO	Pedro S. Sumodjo
CONSULTOR AUTÔNOMO	Ricardo Corrêa Verício
COPPERSTEEL BIMETÉLICOS LTDA	João Henrique Zancanela
ELETRIZAR ENGENHARIA	Gilberto M. Falcoski
ELETRO-ESTUDOS ENGENHARIA	Paulo Edmundo da F. Freire
EMBRASTEC	José Marcio Rosa
EMERSON NETWORK POWER	José Cláudio de O. e Silva
EMILIA TAKAGI ENG.	Mauricio Vagner M. Torres
EMILIA TAKAGI RIBEIRO	Luiz A Ribeiro
ENG. AUTÔNOMO	João Albino Robles
ERICO	Claudio Ruman
ERICO	Marcelo Lugli



FASTWELD	Rinaldo J. Botelho
FIRTENGE / SINDUSCON	Renato M. Oliveira
FISCHMANN ENGENHARIA S/C LTDA	Victor Fischmann
GALENO GOMES ENG.	Galeno Lemos Gomes
GILCO PROTEÇÃO ELÉTRICA	Igídio G. L. Castro
GIULIETTO MODENA ENG. ^a - GUISMO	Jobson Modena
GLOLANI COMERCIAL LTDA	Danilo G. Santos
HELLERMANN TITON	Valdir R. B. Pinto
HINDELET	Levi C. F. da Silva
IEE/USP	Hélio Sueta
IEE/USP	Mário César E.S. Ramos
IFSP - INST FEDERAL DE SP	Mario Sergio Cambraia
INSTRUMENTEC	Renato J. Julio
INSTRUMENTEC	Willian Donizete Carvalho
KASCHER ENGENHARIA	Ronaldo Kascher Moreira
LAMBDA CONSULTORIA	Edson Martinho
LPM	Alvaro Marziliak Jr
LPM MONTAGENS INDUSTRIAIS	Pablo E. Pacheco M.
MANHATTAN ELETRONIC	Juan Alexandre Suarez
MASUKI ENGENHARIA	Luiz M. Masuki
MAZ ENGENHARIA	Willy Wilker B. Gomes
MEGABRÁS	Luiz A. Pettoruti
MEGABRÁS	Manuel J. Leibovich
MEMBRO DA CE 64.01	José Rubens A. Souza
METRÔ-SP	Victor M. A. S. Vasconcelos
MUNDO ELÉTRICO	Paulo Takeyama
O SETOR ELÉTRICO	Sergio Bogomoltz
OBO BETTERMAMM	Roberto Halway
OBO BETTERMAMM	Solenio Augusto Araujo
OBO BETTERMANN	Sérgio Roberto
PETROBRÁS	Anderson Luiz A. Ribeiro
PETROBRÁS	Renato Gouvea Valk
PLP	Juliano A. Pallaro



POLI – USP	Carlos A. F. Sartori
PROCION ENG ^a / ABRASIP	Luiz O. Costi
PROELCO	Antonio R. Panicali
PROTEQSEN	Luiz A. Licurci
RAYCON	Milton Julio Zanluqui
REIS MIRANDA ENG. ^a .	Armando P. Reis Miranda
SCHNEIDER ELECTRIC	Luiz Rosendo Tost Gomes
SECOVI-SP	Ronaldo Sá
SESI E SENAI	Alexandre C. Martinez
SINDICEL	Eduardo Daniel
SINDUSCON / SECOVI	Cláudio J. Goldstein
SOTA CONSULTORIA	Carlos Alberto Sotille
ST&SC SERVIÇOS TÉCNICOS LTDA	Sérgio T. Sobral
TARGET ENG	Cristiano Ferraz de Paiva
TERMOTÉCNICA	José Barbosa de Oliveira
TERMOTÉCNICA	Normando V. B. Alves
THEKA DO BRASIL	Marius B. Rebuzzi
VALE S.A.	Pedro Resende Coelho
VBM. PROJ. ASSEC. INSTALAÇÕES	Ariovaldo da S. Martins



Proteção contra descargas atmosféricas — Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida

*Lightning protection —
Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

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 5419-3 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 XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX, com o número de Projeto 03:064.10-100/3

As ABNT NBR 5419-1 (Projeto 03:064.10-100/1), ABNT NBR 5419-2 (Projeto 03:064.10-100/2), ABNT NBR 5419-3 (Projeto 03:064.10-100/3) e ABNT NBR 5419-4 (Projeto 03:064.10-100/4) cancelam e substituem a ABNT NBR 5419:2005.

A aplicação da ABNT NBR 5419 não dispensa o respeito aos regulamentos de órgãos públicos aos quais a instalação deve satisfazer.

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 the ABNT NBR 5419 provides the requirements for protection of a structure against physical damage by means of a lightning protection system (LPS), and for protection against injury to living beings due to touch and step voltages in the vicinity of an LPS (see PN 03:064.10-100/3).

This standard is applicable to:

- a) design, installation, inspection and maintenance of an LPS for structures without limitation of their height,*
- b) establishment of measures for protection against injury to living beings due to touch and step voltages.*

NOTE 1 This part of the ABNT NBR 5419 is not intended to provide protection against failures of electrical and electronic systems due to overvoltages. Specific requirements for such cases are provided in PN 03:064.10-100/4.

NOTE 2 Specific requirements for protection against lightning of wind turbines are reported in IEC 61400-24 [2].



Introdução

Esta Parte da ABNT NBR 5419 trata da proteção, no interior e ao redor de uma estrutura, contra danos físicos e contra lesões a seres vivos devido às tensões de toque e passo.

Considera-se que a principal e mais eficaz medida de proteção contra danos físicos é o SPDA – sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Geralmente, o SPDA é composto por dois sistemas de proteção: sistema externo e sistema interno.

O SPDA externo é destinado a:

- interceptar uma descarga atmosférica para a estrutura (por meio do subsistema de captação),
- conduzir a corrente da descarga atmosférica para a terra de forma segura (por meio do subsistema de descida),
- dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra (por meio do subsistema de aterramento).

O SPDA interno é destinado a reduzir os riscos com centelhamentos perigosos dentro do volume de proteção criado pelo SPDA externo utilizando ligações equipotenciais ou distância de segurança (isolação elétrica) entre os componentes do SPDA externo (como definido em 3.2) e outros elementos eletricamente condutores internos à estrutura.

As principais medidas de proteção contra os riscos devido às tensões de passo e de toque para os seres vivos têm como objetivo:

- a) reduzir a corrente elétrica que flui por meio dos seres vivos por meio de isolamento de partes condutoras expostas e/ou por meio de um aumento da resistividade superficial do solo;
- b) reduzir a ocorrência de tensões perigosas de toque e passo por meio de barreiras físicas e/ou avisos de advertência.

O tipo e localização de um SPDA devem ser cuidadosamente considerados no projeto inicial de uma nova estrutura, possibilitando, desta forma, um uso otimizado das partes eletricamente condutoras desta. Utilizando essa premissa na fase de projeto, a construção de uma instalação ou edificação é realizada de forma a preservar a estética e melhorar a eficácia do SPDA com custo e esforços minimizados.

Uma vez iniciada uma construção em um determinado local, o acesso restrito ao solo e à armadura de aço das estruturas dificulta o aproveitamento desses elementos como componentes naturais do SPDA, notadamente o subsistema de aterramento. Por esta razão, a resistividade e tipo do solo devem sempre ser considerados nos estágios iniciais do empreendimento, sendo estas informações fundamentais para o projeto do sistema de aterramento e que podem exigir adequações no projeto da estrutura da fundação.

O melhor resultado e com custo otimizado sempre será alcançado com a frequente interação entre os projetistas, arquitetos, instaladores do SPDA e construtores.

Quando um SPDA for instalado ou adequado em uma estrutura ou edificação existente, devem ser seguidas as prescrições contidas nesta Norma em todas as suas etapas, do projeto à emissão da documentação final.

Projeto em Consulta Nacional



Proteção contra descargas atmosféricas — Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida

1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 5419 provê os requisitos para proteção de uma estrutura contra danos físicos por meio de um SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas – e para proteção de seres vivos contra lesões causadas pelas tensões de toque e passo nas vizinhanças de um SPDA.

Esta Norma é aplicável a:

- a) projeto, instalação, inspeção e manutenção de um SPDA para estruturas sem limitação de altura;
- b) estabelecimento de medidas para proteção contra lesões a seres vivos causadas pelas tensões de passo e toque provenientes das descargas atmosféricas.

NOTA 1 As prescrições contidas nesta Parte da ABNT NBR 5419 não são direcionadas a prover proteção contra falhas de sistemas elétricos e eletrônicos devido a sobretensões. Requisitos específicos para tais casos são providos no PN 03:064.10-100/4.

NOTA 2 Requisitos específicos para proteção contra descargas atmosféricas em turbinas eólicas são apresentados na IEC 61400-24 [2].

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, *Instalações elétricas de baixa tensão*

ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*

ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios*

PN 03:064.10-100/1, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais*

PN 03:064.10-100/2, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 2: Gerenciamento de risco*

PN 03:064.10-100/4, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura*

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*



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 61000-4-9, *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 – Basic EMC Publication*

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 de proteção contra descargas atmosféricas

SPDA

sistema completo utilizado para minimizar os danos físicos causados por descargas atmosféricas em uma estrutura

NOTA Consiste nos sistemas de proteção externo e interno.

3.2

sistema de proteção contra descargas atmosféricas externo

parte do SPDA consistindo em um subsistema de captação, um subsistema de descida e um subsistema de aterramento

3.3

SPDA externo isolado da estrutura a ser protegida

SPDA com o subsistema de captação e o subsistema de descida posicionados de tal forma que o caminho da corrente de descarga não fique em contato com a estrutura a ser protegida

NOTA Não é permitida a ocorrência de centelhamentos perigosos entre o SPDA e a estrutura protegida

3.4

SPDA externo não isolado da estrutura a ser protegida

SPDA com um subsistema de captação e um subsistema de descida posicionados de tal forma que o caminho da corrente de descarga esteja em contato com a estrutura a ser protegida



3.5

sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas

parte do SPDA consistindo em ligações equipotenciais para descargas atmosféricas ou isolamento elétrica do SPDA externo

3.6

subsistema de captação

parte do SPDA externo que utiliza elementos metálicos dispostos em qualquer direção, que são projetados e posicionados para interceptar as descargas atmosféricas

3.7

subsistema de descida

parte de um SPDA externo projetado para conduzir a corrente de descarga desde o subsistema de captação até o subsistema de aterramento

3.8

condutor em anel

condutor formando um laço fechado ao redor da estrutura e interconectando os condutores de descida para a distribuição da corrente da descarga atmosférica entre eles

3.9

subsistema de aterramento

parte de um SPDA externo que é destinada a conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra

3.10

eletrodo de aterramento

parte ou conjunto de partes do subsistema de aterramento capaz de realizar o contato elétrico direto com a terra e que dispersa a corrente da descarga atmosférica nesta

3.11

eletrodo de aterramento em anel

eletrodo de aterramento formando um anel fechado ao redor da estrutura, em contato com a superfície ou abaixo do solo

3.12

eletrodo de aterramento pela fundação

parte condutora enterrada no solo embutida no concreto da fundação da estrutura, preferencialmente na forma de um circuito fechado, e que tem continuidade elétrica garantida

3.13

impedância de terra convencional

relação entre os valores de pico da tensão no sistema de aterramento e da corrente neste sistema, valores estes que, em geral, não ocorrem simultaneamente

3.14

tensão no sistema de aterramento

diferença de potencial entre o sistema de aterramento e o terra remoto

3.15

componente natural do SPDA

componente condutivo não instalado especificamente para proteção contra descargas atmosféricas, mas que pode ser integrado ao SPDA ou que, em alguns casos, pode prover a função de uma ou mais partes do SPDA



NOTA Exemplos para uso deste termo incluem:

- captor natural (estrutura e telhas metálicas);
- descida natural (perfis metálicos configurando os pilares de sustentação);
- eletrodo de aterramento natural (armaduras do concreto armado providas de continuidade elétrica).

3.16

componente de conexão

parte do SPDA que é usada para a conexão entre condutores ou entre um condutor do SPDA e outras instalações metálicas

3.17

componente de fixação

parte do SPDA que é utilizado para fixar seus elementos à estrutura a ser protegida

3.18

instalações metálicas

elementos metálicos ao longo da estrutura a ser protegida que podem se tornar caminho para a corrente da descarga atmosférica, como tubulações, escadas, trilhos dos elevadores, coifas, dutos de ar condicionado, armadura de aço da estrutura e peças metálicas estruturais

3.19

partes condutoras externas

elementos metálicos extensos que entram ou saem da estrutura a ser protegida, como eletrocalhas, elementos metálicos de sustentação, dutos metálicos, e outros, que possam conduzir parte da corrente de descarga atmosférica para o interior da estrutura

3.20

sistema elétrico

componentes do sistema de fornecimento de energia de baixa tensão

3.21

sistema eletrônico

sistema dotado de componentes eletrônicos sensíveis como equipamentos de comunicação, computador, sistemas de controle e instrumentação, sistemas de rádio, equipamentos de tecnologia da informação — ETI no geral e instalações de eletrônica de potência

NOTA A ABNT NBR 5410 define equipamento de tecnologia da informação (ETI) como:

a) equipamento concebido com o objetivo de:

- receber dados de uma fonte externa (por exemplo, via linha de entrada de dados ou via teclado);
- processar os dados recebidos (por exemplo, executando cálculos, transformando ou registrando os dados, arquivando-os, triando-os, memorizando-os, transferindo-os); e
- fornecer dados de saída (seja a outro equipamento, seja reproduzindo dados ou imagens).

b) esta definição abrange uma ampla gama de equipamentos, como, por exemplo, computadores, equipamentos transceptores, concentradores e conversores de dados, equipamentos de telecomunicação e de transmissão de dados; sistemas de alarme contra incêndio e intrusão, sistemas de controle e automação predial etc.



3.22

sistemas internos

sistemas elétricos e eletrônicos localizados no interior de uma estrutura

3.23

equipotencialização para descargas atmosféricas

equipotencialização

EB (*Equipotential Bonding*)

ligação ao SPDA de partes condutoras separadas, por conexões diretas ou via dispositivos de proteção contra surto (DPS), para reduzir diferenças de potencial causadas pela corrente da descarga atmosférica.

NOTA Convém que as expressões “equalização de potencial” e “equipotencialização” sejam entendidas em seu sentido mais amplo, isto é, como recomendação a um conjunto de medidas que tendem, em geral, a reduzir as tensões entre os diversos pontos de uma instalação desde que os condutores, agentes dessa equalização, sejam instalados o mais próximo possível dos elementos a serem protegidos.

De uma forma geral, é desejável a instalação do maior número possível de cabos que interliguem o eletrodo de aterramento aos elementos a serem aterrados e que estes tenham o menor comprimento possível.

Convém ressaltar que, por tratar-se de fenômenos impulsivos, tal prática não garante a eliminação das tensões resultantes, principalmente quando não forem observadas as recomendações de proximidade já mencionadas.

3.24

barramento de equipotencialização principal

BEP

barramento destinado a servir de via de interligação de todos os elementos que possam ser incluídos na equipotencialização principal

NOTA A designação “barramento” está associada ao papel de via de interligação e não a qualquer configuração particular do elemento. É importante que este seja dimensionado para suportar as solicitações físicas, mecânicas e elétricas a que será submetido.

3.25

barramento de equipotencialização local

BEL

barramento destinado a servir de via de interligação de todos os elementos que possam ser incluídos em uma equipotencialização local

3.26

condutor de equipotencialização

condutor que interliga partes condutoras ao SPDA

3.27

armadura interconectada

conjunto de elementos (vergalhões) de aço dentro de uma estrutura de concreto que é considerado eletricamente contínuo

3.28

centelhamento perigoso

descarga elétrica devido a uma descarga atmosférica que causa danos físicos à estrutura a ser protegida

3.29

distância de segurança

distância entre duas partes condutoras na qual nenhum centelhamento perigoso pode ocorrer



3.30

dispositivo de proteção contra surto

DPS

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

3.31

conexão de ensaio

conexão projetada para facilitar ensaios elétricos e medições em subsistemas do SPDA

3.32

classe do SPDA

número que denota a classificação de um SPDA de acordo com o nível de proteção para o qual ele é projetado

3.33

projetista de proteção contra descargas atmosféricas

especialista habilitado e que possui capacidade técnica para desenvolver projetos de SPDA

3.34

instalador de proteção contra descargas atmosféricas

profissional competente, habilitado ou comprovadamente treinado por um profissional competente e habilitado para instalar um SPDA

3.35

estruturas com risco de explosão

estruturas contendo materiais explosivos ou zonas perigosas conforme determinado nas ABNT NBR IEC 60079-10-1 e ABNT NBR IEC 60079-14

3.36

centelhador de isolamento

componente com distância de isolamento suficiente para separar eletricamente partes condutoras da instalação, que desvia ou reduz parte do surto elétrico por meio de centelhamento interno

NOTA No caso de um raio, devido ao tempo de resposta do centelhador partes da instalação podem ser temporariamente afetadas.

3.37

interfaces isolantes

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

NOTA 1 Estes incluem os transformadores de isolamento com blindagem aterrada entre os enrolamentos, cabos de fibra ótica sem elementos metálicos e isoladores óticos.

NOTA 2 Verificar se o isolamento intrínseco destes dispositivos são adequados para esta aplicação ou se é necessário o uso de DPS.

3.38

plano de referência

superfície, geralmente plana, sobre a qual se faz a projeção do volume de proteção de elementos do sistema de captação ou sobre a qual se movimenta a esfera rolante na aplicação dos cálculos dos métodos de proteção. Vários planos de referência em diferentes níveis podem ser considerados na região dos componentes do sistema de captação sob análise

4 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA

4.1 Classe do SPDA

As características de um SPDA são determinadas pelas características da estrutura a ser protegida e pelo nível de proteção considerado para descargas atmosféricas.

A Tabela 1 apresenta as quatro classes de SPDA (I a IV) definidas nesta Norma e que correspondem aos níveis de proteção para descargas atmosféricas definidos no PN 03:064.10-100/1, Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA (ver PN 03:064.10-100/1)

Nível de proteção	Classe de SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Cada classe de SPDA é caracterizada pelo seguinte.

a) dados dependentes da classe de SPDA:

- parâmetros da descarga atmosférica (ver PN 03:064.10-100/1, Tabelas 3 e 4);
- raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção (ver 5.2.2);
- distâncias típicas entre condutores de descida e dos condutores intermediários (ver 5.3.3);
- distância de segurança contra centelhamento perigoso (ver 6.3);
- comprimento mínimo dos eletrodos de terra (ver 5.4.2).

b) fatores não dependentes da classe do SPDA:

- equipotencialização para descargas atmosféricas (ver 6.2);
- espessura mínima de placas ou tubulações metálicas nos sistemas de captação (ver 5.2.5);
- materiais do SPDA e condições de uso (ver 5.5);
- materiais, configuração e dimensões mínimas para captadores, descidas e eletrodos de aterramento (ver 5.6);
- dimensões mínimas dos condutores de conexão (ver 6.2.2).

A eficiência de cada classe de SPDA é fornecida no PN 03:064.10-100/2, Anexo B.

A classe do SPDA requerido deve ser selecionada com base em uma avaliação de risco (ver PN 03:064.10-100/2).



4.2 Projeto do SPDA

Quanto maior for a sintonia e a coordenação entre os projetos e execuções das estruturas a serem protegidas e do SPDA, melhores serão as soluções adotadas possibilitando otimizar custo dentro da melhor solução técnica possível. Preferencialmente, o próprio projeto da estrutura deve viabilizar a utilização das partes metálicas desta como componentes naturais do SPDA.

A documentação do projeto do SPDA deve conter toda a informação necessária para assegurar uma correta e completa instalação.

O SPDA deve ser projetado e instalado por profissionais habilitados e capacitados para o desenvolvimento dessas atividades.

4.3 Continuidade da armadura de aço em estruturas de concreto armado

A armadura de aço dentro de estruturas de concreto armado é considerada eletricamente contínua, contanto que pelo menos 50 % das conexões entre barras horizontais e verticais sejam firmemente conectadas. As conexões entre barras verticais devem ser soldadas, ou unidas com arame recozido, cintas ou grampos, trespasadas com sobreposição mínima de 20 vezes seu diâmetro.

Para estruturas novas medidas complementares, visando garantir essa continuidade elétrica desde o início da obra, podem ser especificadas pelo projetista do SPDA em trabalho conjunto com o construtor e o engenheiro civil.

Para estruturas utilizando concreto com armadura de aço (incluindo as estruturas pré-fabricadas), a continuidade elétrica da armadura deve ser determinada por ensaios elétricos efetuados entre a parte mais alta e o nível do solo. A resistência elétrica total obtida no ensaio final (ver Anexo F) não pode ser superior a $0,2 \Omega$ e deve ser medida com utilização de equipamento adequado para esta finalidade. Se este valor não for alcançado, ou se não for possível a execução deste ensaio, a armadura de aço não pode ser validada como condutor natural da corrente da descarga atmosférica conforme mostrado em 5.3.5. Neste caso, é recomendado que um sistema convencional de proteção seja instalado. No caso de estruturas de concreto armado pré-fabricado, a continuidade elétrica da armadura de aço também deve ser realizada entre os elementos de concreto pré-fabricado adjacentes.

NOTA 1 Para informação adicional sobre ensaio da continuidade da armadura de aço em estruturas de concreto armado, ver Anexo F.

NOTA 2 Recomenda-se que o uso de grampos específicos para estabelecer a continuidade elétrica entre elementos específicos do SPDA e as armaduras das estruturas de aço do concreto armado atendam as prescrições contidas na IEC 62561-1.

5 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas

5.1 Geral

5.1.1 Aplicação de um SPDA externo

O SPDA externo é projetado para interceptar as descargas atmosféricas diretas à estrutura, incluindo as descargas laterais às estruturas, e conduzir a corrente da descarga atmosférica do ponto de impacto à terra. O SPDA externo tem também a finalidade de dispersar esta corrente na terra sem causar danos térmicos ou mecânicos, nem centelhamentos perigosos que possam iniciar fogo ou explosões.



5.1.2 Escolha de um SPDA externo

Na maioria dos casos, o SPDA externo pode incorporar partes da estrutura a ser protegida. Um SPDA externo isolado deve ser considerado quando os efeitos térmicos e de explosão no ponto de impacto, ou nos condutores percorridos pela corrente da descarga atmosférica, puderem causar danos à estrutura ou ao seu conteúdo. Exemplos típicos incluem estruturas com paredes ou cobertura de material combustível e áreas com risco de explosão e fogo.

NOTA O uso de um SPDA isolado pode ser conveniente onde for previsto que mudanças na estrutura, seu conteúdo ou o seu uso irão requerer modificações no SPDA.

Um SPDA externo isolado pode também ser considerado quando a suscetibilidade do seu conteúdo justificar a redução do campo eletromagnético radiado, associado ao pulso de corrente da descarga atmosférica no condutor de descida.

5.1.3 Uso de componentes naturais

Componentes naturais feitos de materiais condutores, os quais devem permanecer dentro ou na estrutura definitivamente e não podem ser modificados, por exemplo, armaduras de aço interconectadas estruturando o concreto armado, vigamentos metálicos da estrutura etc., podem ser utilizados como componente natural do SPDA, desde que cumpram os requisitos específicos desta Norma. Outros componentes metálicos que não forem definitivos à estrutura devem ficar dentro do volume de proteção ou incorporados complementarmente ao SPDA.

5.2 Subsistema de captação

5.2.1 Geral

A probabilidade de penetração da corrente da descarga atmosférica na estrutura é consideravelmente limitada pela presença de subsistemas de captação apropriadamente instalados.

Subsistemas de captação podem ser compostos por qualquer combinação dos seguintes elementos:

- hastes (incluindo mastros);
- condutores suspensos;
- condutores em malha.

Para estar conforme esta Norma, todos os tipos de subsistemas de captação devem ser posicionados de acordo com 5.2.2, 5.2.3 e Anexo A. Todos os tipos de elementos captadores devem cumprir na íntegra as exigências desta Norma.

O correto posicionamento dos elementos captadores e do subsistema de captação é que determina o volume de proteção.

Captadores individuais devem ser interconectados ao nível da cobertura para assegurar a divisão de corrente em pelo menos dois caminhos.

Esta Norma somente regulamenta os métodos de captação citados nesta seção. Recursos artificiais destinados a aumentar o raio de proteção dos captadores ou inibir a ocorrência das descargas atmosféricas, como captadores com formatos especiais ou outras tecnologias, não são contemplados nesta norma.

NOTA Captadores que contenham material radioativo serão retirados de acordo com a resolução 04/89 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).



5.2.2 Posicionamento

Componentes do subsistema de captação instalados na estrutura devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas (especialmente no nível superior de qualquer fachada) de acordo com um ou mais dos seguintes métodos.

Métodos aceitáveis a serem utilizados na determinação da posição do subsistema de captação incluem:

- método do ângulo de proteção;
- método da esfera rolante;
- método das malhas.

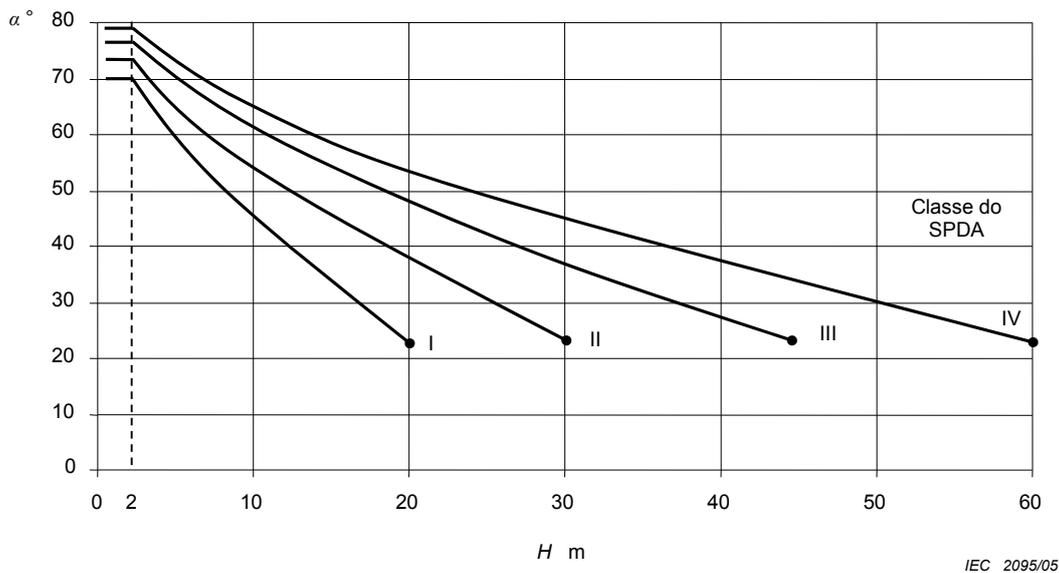
Os métodos da esfera rolante e das malhas são adequados em todos os casos.

O método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples, mas está sujeito aos limites de altura dos captadores indicados na Tabela 2.

Os valores para o ângulo de proteção, raio da esfera rolante e tamanho da malha para cada classe de SPDA são dadas na Tabela 2 e Figura 1. Informações detalhadas para o posicionamento de um sistema de captação são dados no Anexo A.

Tabela 2 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA

Classe do SPDA	Método de proteção		
	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção α°
I	20	5 × 5	Ver Figura 1
II	30	10 × 10	
III	45	15 × 15	
IV	60	20 × 20	



NOTA 1 Não aplicável além dos valores marcados com •. Somente os métodos da esfera rolante e das malhas são aplicáveis nestes casos.

NOTA 2 H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida.

NOTA 3 O ângulo não será alterado para valores de H abaixo de 2 m.

Figura 1 – Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA

5.2.3 Captores para descargas laterais de estruturas altas

5.2.3.1 Estruturas até 60 m de altura

Pesquisas indicam que a probabilidade do impacto de descargas de baixa amplitude na fachada de estruturas menores de 60 m de altura são suficientemente baixas para serem desconsideradas. Telhados e saliências horizontais devem ser protegidos de acordo com a classe do SPDA determinada pela avaliação de risco do PN 03:064.10-100/2.

5.2.3.2 Estruturas acima de 60 metros de altura

Em estruturas com altura superior a 60 m, descargas laterais podem ocorrer, especialmente em pontas, cantos e em saliências significativas, como: varandas, marquises etc.

NOTA Em geral, o risco devido a estas descargas é baixo porque somente uma pequena porcentagem de todas as descargas em estruturas altas serão laterais e, além disto, seus parâmetros são significativamente mais baixos do que as descargas no topo das estruturas. Entretanto, pessoas e equipamentos elétricos e eletrônicos expostos nas paredes externas das estruturas podem ser atingidos e sofrer danos mesmo pelas descargas atmosféricas com baixos valores de pico de corrente.

As regras para o posicionamento do subsistema de captação lateral nas partes superiores de uma estrutura devem atender pelo menos aos requisitos para o nível de proteção IV com ênfase na localização dos elementos da captação em cantos, quinas, bordas e saliências significativas. A exigência de captação lateral de uma estrutura pode ser satisfeita pela presença de elementos metálicos externos, como revestimento de metal ou fachadas metálicas desde que satisfaçam



os requisitos mínimos da Tabela 3. A exigência de captação lateral pode também incluir a utilização de condutores de descida externos localizados nas arestas verticais da estrutura quando não existem condutores metálicos naturais e externos.

A captação lateral instalada ou natural que atenda aos requisitos mínimos para este fim, deve ser interligada a condutores de descida instalados ou ser interligada a estruturas metálicas eletricamente contínuas na fachada ou às armaduras de aço do concreto armado dos pilares desde que atendam os requisitos de 5.3.5.

NOTA Recomenda-se que a utilização de subsistemas de aterramento e descida naturais seja priorizada.

5.2.4 Construção

Captadores de um SPDA não isolado da estrutura a ser protegida podem ser instalados como a seguir:

- a) se a cobertura é feita por material não combustível, os condutores do subsistema de captação podem ser posicionados na superfície da cobertura;
- b) se a cobertura for feita por material prontamente combustível, cuidados especiais devem ser tomados em relação à distância entre os condutores do subsistema de captação e o material. Para coberturas de sapé ou palha onde não sejam utilizadas barras de aço para sustentação do material, uma distância não inferior a 0,15 m é adequada. Para outros materiais combustíveis, 0,10 m;
- c) partes facilmente combustíveis da estrutura a ser protegida não podem permanecer em contato direto com os componentes de um SPDA externo e não podem ficar abaixo de qualquer componente metálico que possa derreter ao ser atingido pela descarga atmosférica (ver 5.2.5). Folhas de madeira devem ser considerados componentes menos combustíveis, como.

NOTA Se for permitido que água possa se acumular em uma cobertura plana, recomenda-se que o subsistema de captação seja instalado acima do provável nível máximo de água.

5.2.5 Componentes naturais

As seguintes partes de uma estrutura podem ser consideradas como captadores naturais e partes de um SPDA de acordo com 5.1.3:

- a) chapas metálicas cobrindo a estrutura a ser protegida, desde que:
 - a continuidade elétrica entre as diversas partes seja feita de forma duradoura (por exemplo, solda forte, caldeamento, frissamento, costurado, aparafusado ou conectado com parafuso e porca);
 - a espessura da chapa metálica não seja menor que o valor t' fornecido na Tabela 3, se não for importante que se previna a perfuração da chapa ou se não for importante considerar a ignição de qualquer material inflamável abaixo da cobertura;
 - a espessura da folha metálica não seja menor que o valor t fornecido na Tabela 3, se for necessário precauções contra perfuração ou se for necessário considerar os problemas com pontos quentes;

NOTA Quando existe a possibilidade de aparecer um ponto quente em uma telha metálica, provocada por uma descarga atmosférica direta, recomenda-se verificar se o aumento da temperatura na parte inferior da telha não constitui risco. Pontos quentes ou problemas de ignição podem ser desconsiderados, quando as telhas metálicas ficam dentro de uma zona ZPR_{0B} ou superior.

- elas não sejam revestidas com material isolante.

Tabela 3 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação

Classe do SPDA	Material	Espessura ^a <i>t</i> mm	Espessura ^b <i>t'</i> mm
I a IV	Chumbo	–	2,0
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5
	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	–	0,7

^a *t* previne perfuração, pontos quentes ou ignição.
^b *t'* somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição.

- b) componentes metálicos da construção da cobertura (treliças, ganchos de ancoragem, armadura de aço da estrutura etc.), abaixo de cobertura não metálica, desde que esta possa ser excluída do volume de proteção;
- c) partes metálicas, como as ornamentações, grades, tubulações, coberturas de parapeitos etc., que estejam instaladas de forma permanente, ou seja, que sua retirada desconfigura a característica da estrutura e que tenham seções transversais não inferiores às especificadas para componentes captadores;
- d) tubulações metálicas e tanques na cobertura, desde que eles sejam construídos de material com espessuras e seções transversais de acordo com a Tabela 6.

Tubulações metálicas e tanques contendo misturas explosivas ou prontamente combustíveis, desde que elas sejam construídas de material com espessura não inferior aos valores apropriados de *t* fornecidos na Tabela 3 e que a elevação de temperatura da superfície interna no ponto de impacto não constitua alto grau de risco (ver Anexo D).

Tanto a tubulação quanto o volume gerado pelos gases emitidos no entorno deste, considerado potencialmente explosivo, devem ficar dentro do volume de proteção do SPDA isolado, calculado conforme especificações desta Norma.

Se as condições para espessura não forem preenchidas, as tubulações e os tanques devem ser incluídos no volume de proteção.

Tubulações contendo misturas explosivas ou prontamente combustíveis não podem ser consideradas como um componente captador natural se a gaxeta do acoplamento dos flanges não for metálica ou se os lados dos flanges não forem de outra maneira apropriadamente equipotencializados.

NOTA Uma fina proteção por pintura ou de cerca de 1 mm de asfalto, ou 0,5 mm de PVC, não é considerada como um isolante.



5.3 Subsistemas de condutores de descida

5.3.1 Geral

Com o propósito de reduzir a probabilidade de danos devido à corrente da descarga atmosférica fluindo pelo SPDA, os condutores de descida devem ser arranjados a fim de proverem:

- diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- o menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica;
- a equipotencialização com as partes condutoras de uma estrutura deve ser feita de acordo com os requisitos de 6.2.

Devem ser consideradas interligações horizontais com os condutores de descida, ao nível do solo, e em intervalos entre 10 m a 20 m de altura de acordo com a Tabela 4, para condutores de descida construídos em SPDA convencional.

NOTA 1 Notar que a geometria dos condutores de descida e dos anéis horizontais intermediários afeta as distâncias de separação (ver 6.3).

NOTA 2 Quanto maior for o número de condutores de descida, instalados a um espaçamento regular em volta do perímetro interconectado pelos anéis condutores, maior será a redução da probabilidade de descargas perigosas facilitando a proteção das instalações internas (ver PN 03:064.10-100/4). Esta condição é obtida em estruturas metálicas e em estruturas de concreto armado nas quais o aço interconectado é eletricamente contínuo.

Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores horizontais são dados na Tabela 4.

Informações adicionais na divisão da corrente da descarga atmosférica entre os condutores de descida são obtidas no Anexo C.

5.3.2 Posicionamento para um SPDA isolado

O posicionamento das descidas deve obedecer ao seguinte:

- se os captosres consistirem em hastes em mastros separados (ou um mastro) não metálicos nem interconectados às armaduras, é necessário para cada mastro pelo menos um condutor de descida. Não há necessidade de condutor de descida para mastros metálicos ou interconectados às armaduras;
- se os captosres consistem em condutores suspensos em catenária (ou um fio), pelo menos um condutor de descida é necessário em cada suporte da estrutura;
- se os captosres formam uma rede de condutores, é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores.

5.3.3 Posicionamento para um SPDA não isolado

Para cada SPDA não isolado, o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois, mesmo se o valor do cálculo do perímetro dividido pelo espaçamento para o nível correspondente resultar em valor inferior. No posicionamento, utilizar o espaçamento mais uniforme possível entre os condutores de descida ao redor do perímetro. Valores das distâncias entre os condutores de descida são dados na Tabela 4.

NOTA O valor da distância entre os condutores de descidas está relacionado com a distância de segurança dada em 6.3.

Tabela 4 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA

Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20

NOTA É aceitável uma variação no espaçamento dos condutores de descidas de $\pm 20\%$.

Um condutor de descida deve ser instalado, preferencialmente, em cada canto saliente da estrutura, além dos demais condutores impostos pela distância de segurança calculada.

5.3.4 Construção

Os condutores de descida devem ser instalados de forma exequível e que formem uma continuação direta dos condutores do subsistema de captação.

Condutores de descida devem ser instalados em linha reta e vertical constituindo o caminho mais curto e direto para a terra. A formação de laços deve ser evitada, mas onde isto não for possível, o afastamento s entre os dois pontos do condutor e o comprimento l do condutor entre estes pontos (ver Figura 2) devem ser conforme 6.3.

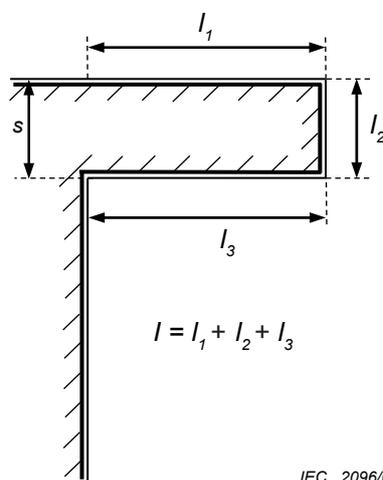


Figura 2 – Laço em um condutor de descida

Não é recomendável que condutores de descida sejam instalados em calhas ou tubulações de águas pluviais mesmo que eles sejam cobertos por materiais isolantes, porém se esta for a única alternativa disponível, o projetista deve fazer uma análise criteriosa, levando em consideração que se trata de um local úmido, podendo apresentar riscos de formação de par eletrolítico, possibilidade de entupimento, devido à possível presença de folhas ou outros tipos de elementos. Para os casos acima citados, o projetista deve deixar documentados as dificuldades e os riscos existentes, bem como as ações que devem ser tomadas para minimizar esses riscos.

NOTA A presença de umidade nos dutos de água pluvial aumentam a possibilidade de corrosão nos condutores de descida.



Os condutores de descida devem ser posicionados de forma que a distância de segurança de acordo com 6.3 seja observada entre eles e quaisquer portas e janelas.

Os condutores de descida de um SPDA não isolado da estrutura a ser protegida podem ser instalados como a seguir:

- a) se a parede é feita de material não combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície ou dentro da parede;
- b) se a parede for feita de material combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície da parede, desde que a elevação de temperatura devido à passagem da corrente da descarga atmosférica neste não seja perigosa para o material da parede;
- c) se a parede for feita de material prontamente combustível e a elevação da temperatura dos condutores de descida for perigosa, os condutores de descida devem ser instalados de forma a ficarem distantes da parede, pelo menos 0,1 m. Os suportes de montagem podem estar em contato com a parede.

5.3.5 Quando a distância entre o condutor de descida e um material prontamente combustível não puder ser assegurada, a seção reta do condutor de aço galvanizado não pode ser inferior a 100 mm². Pode ser utilizado outro condutor com seção reta que proporcione equivalência térmica.

5.3.6 Componentes naturais

As seguintes partes da estrutura podem ser consideradas como condutores naturais de descida:

- as instalações metálicas, desde que:
- a continuidade elétrica entre as várias partes seja feita de forma durável de acordo com 5.5.2;
- suas dimensões sejam no mínimo iguais ao especificado na Tabela 6 para condutores de descida normalizados.

Tubulações contendo misturas inflamáveis ou explosivas não podem ser consideradas como um componente natural de descida se as gaxetas nos acoplamentos dos flanges não forem metálicas ou se os lados dos flanges não forem apropriadamente conectados.

NOTA Instalações metálicas podem ser revestidas com material isolante.

- a) as armaduras das estruturas de concreto armado sejam eletricamente contínuas;

NOTA 1 Com concreto armado pré-fabricado é importante se estabelecer pontos de interconexão entre os elementos da armadura. Também é importante que o concreto armado contenha uma conexão condutora entre os pontos de interconexão. As partes individuais podem ser conectadas no campo durante a montagem.

NOTA 2 No caso de concreto protendido, recomenda-se que sejam feitos estudos específicos em relação aos riscos de danos mecânicos e corrosão decorrentes da descarga atmosférica. Consultas, com respostas documentadas, ao fabricante são indispensáveis para validação dessa utilização.

- b) o vigamento de aço interconectado da estrutura;

NOTA Anéis condutores intermediários não são necessários se o vigamento metálico das estruturas de aço ou as armaduras de aço interconectadas da estrutura forem utilizados como condutores de descida.

- c) elementos da fachada, perfis e subconstruções metálicas das fachadas, desde que:
- suas dimensões estejam conforme aos requisitos para condutores de descidas (ver 5.6.2) e que, para folhas metálicas ou tubulações metálicas, as espessuras não sejam inferiores a t' (ver Tabela 3);
 - sua continuidade elétrica na direção vertical respeite os requisitos de 5.5.2.

5.3.7 Conexões de ensaio

Nas junções entre cabos de descida e eletrodos de aterramento, uma conexão de ensaio deve ser fixada em cada condutor de descida, exceto no caso de condutores de descidas naturais combinados com os eletrodos de aterramento natural (pela fundação).

Com o objetivo de ensaio, o elemento de conexão deve ser capaz de ser aberto apenas com o auxílio de ferramenta. Em uso normal, ele deve permanecer fechado e não pode manter contato com o solo.

5.4 Subsistema de aterramento

5.4.1 Geral

Quando se tratar da dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, o método mais importante de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento. Deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local.

Sob o ponto de vista da proteção contra descargas atmosféricas, uma única infraestrutura de aterramento integrada é preferível e adequada para todos os propósitos, ou seja, o eletrodo deve ser comum e atender à proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal (telecomunicações, TV a cabo, dados etc.).

Sistemas de aterramento devem ser conectados de acordo com os requisitos de 6.2.

NOTA Recomenda-se evitar a utilização de materiais diferentes em um mesmo subsistema de aterramento. Quando isso não for possível, convém adotar medidas para evitar a corrosão.

5.4.2 Condições gerais nos arranjos de aterramento

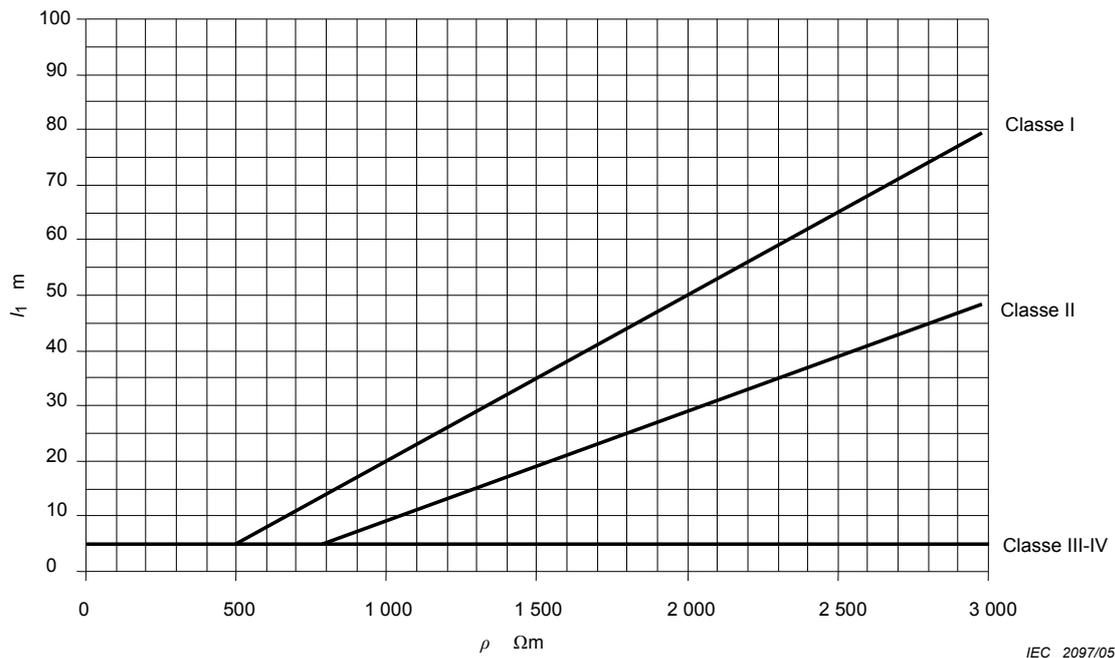
Para subsistemas de aterramento, na impossibilidade do aproveitamento das armaduras das fundações, o arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo à estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80 % do seu comprimento total, ou elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da fundação (sapatas). Estes eletrodos de aterramento podem também ser do tipo malha de aterramento. Devem ser consideradas medidas preventivas para evitar eventuais situações que envolvam tensões superficiais perigosas (ver Seção 8).

Embora 20 % do eletrodo convencional possa não estar em contato direto com o solo, a continuidade elétrica do anel deve ser garantida ao longo de todo o seu comprimento (ver 7.3)

Para o eletrodo de aterramento em anel ou interligando a fundação descontínua, o raio médio r_e da área abrangida pelos eletrodos não pode ser inferior ao valor l_1 :

$$r_e \geq l_1 \quad (1)$$

onde l_1 é representado na Figura 3 de acordo com o SPDA classe I, II, III e IV.



IEC 2097/05

NOTA 1 As classes III e IV são independentes da resistividade do solo.

NOTA 2 Para solos com resistividades maiores que 3 000 Ω.m, prolongar as curvas por meio das equações:

$$l_1 = 0,03\rho - 10 \quad (\text{para classe I}) \quad (1a)$$

$$l_1 = 0,02\rho - 11 \quad (\text{para a classe II}) \quad (1b)$$

Figura 3 – Comprimento mínimo l_1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA

Eletrodos adicionais, quando necessários, podem ser conectados ao eletrodo de aterramento em anel, e devem ser localizados o mais próximo possível dos pontos onde os condutores de descida forem conectados.

Quando o valor requerido de l_1 for maior do que o valor conveniente de r_e , eletrodos adicionais horizontais ou verticais (ou inclinados) devem ser adicionados com comprimentos individuais l_r (horizontal) e l_v (vertical) dados pelas seguintes equações:

$$l_r = l_1 - r_e \quad (2)$$

e

$$l_v = (l_1 - r_e)/2 \quad (3)$$

5.4.3 Instalação dos eletrodos de aterramento

O eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 m e ficar posicionado à distância aproximada de 1 m ao redor das paredes externas.

Eletrodos de aterramento devem ser instalados de tal maneira a permitir sua inspeção durante a construção.

A profundidade de enterramento e o tipo de eletrodos de aterramento devem ser constituídos de forma a minimizar os efeitos da corrosão e dos efeitos causados pelo ressecamento do solo e assim estabilizar a qualidade e a efetividade do conjunto.

No caso da impossibilidade técnica da construção do anel externo à edificação, este pode ser instalado internamente. Para isto, devem ser tomadas medidas visando minimizar os riscos causados por tensões superficiais (ver Seção 8).

5.4.4 Eletrodos de aterramento naturais

As armaduras de aço interconectadas nas fundações de concreto, ou outras estruturas metálicas subterrâneas disponíveis, podem ser utilizadas como eletrodos de aterramento, desde que sua continuidade elétrica seja garantida. Os métodos para garantir essa continuidade são idênticos aos utilizados para os condutores de descida. Quando as armaduras do concreto das vigas de fundação (baldrame) são utilizadas como eletrodo de aterramento, devem ser tomados cuidados especiais nas interconexões para prevenir rachaduras do concreto.

No caso de concreto protendido, os cabos de aço não podem ser usados como condutores das correntes da descarga atmosférica.

5.5 Componentes

5.5.1 Geral

Componentes de um SPDA devem suportar os efeitos eletromagnéticos da corrente de descarga atmosférica e esforços acidentais previsíveis sem serem danificados. Devem ser fabricados com os materiais listados na Tabela 5 ou com outros tipos de materiais com características de comportamento mecânico, elétrico e químico (relacionado à corrosão) equivalente.

NOTA Componentes feitos de materiais não metálicos podem ser usados para fixação.

Tabela 5 – Materiais para SPDA e condições de utilização

Material	Utilização				Corrosão		
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumentado por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico
Cobre	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Não permitido	Bom em muitos ambientes	Compostos sulfurados Materiais orgânicos Altos conteúdos de cloretos	–
Aço galvanizado a quente	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos	Cobre
Aço inoxidável	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Bom em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos	–
Aço revestido por cobre	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Não permitido	Bom em muitos ambientes	Compostos sulfurados	–



Tabela 5 (continuação)

Alumínio	Maciço Encordoado	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Bom em atmosferas contendo baixas concentrações de sulfurados e cloretos	Soluções alcalinas	Cobre
----------	----------------------	---------------	---------------	---------------	--	--------------------	-------

NOTA 1 Esta tabela fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.

NOTA 2 Condutores encordoados são mais vulneráveis à corrosão do que condutores sólidos. Condutores encordoados são também vulneráveis quando eles entram ou saem nas posições concreto/terra.

NOTA 3 Aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.

5.5.2 Fixação

Elementos captadores e condutores de descidas devem ser firmemente fixados de forma que as forças eletrodinâmicas ou mecânicas acidentais (por exemplo, vibrações, expansão térmica etc.) não causem afrouxamento ou quebra de condutores.

A fixação dos condutores do SPDA deve ser realizada em distância máxima assim compreendida:

- até 1,0 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na horizontal;
- até 1,5 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na vertical ou inclinado;
- até 1,0 m para condutores rígidos (fitas e barras) na horizontal;
- até 1,5 m para condutores rígidos (fitas e barras) na vertical ou inclinado.

NOTA Para estruturas de pequenas dimensões, recomenda-se garantir o número mínimo de fixações de modo a impedir que esforços eletrodinâmicos, ou esforços mecânicos acidentais (por exemplo, vibração) possam causar a ruptura ou desconexão do sistema.

5.5.3 Conexões

O número de conexões ao longo dos condutores deve ser o menor possível. Conexões devem ser feitas de forma segura e por meio de solda elétrica ou exotérmica e conexões mecânicas de pressão (se embutidas em caixas de inspeção) ou compressão. Não são permitidas emendas em cabos de descida, exceto o conector para ensaios, o qual é obrigatório, a ser instalado próximo do solo (a altura sugerida é 1,5 m a partir do piso) de modo a proporcionar fácil acesso para realização de ensaios.

Para alcançar este objetivo, as conexões das amaduras de aço do concreto devem estar conforme 4.3. e devem atender aos requisitos de ensaios de continuidade de acordo com o Anexo F.

5.6 Materiais e dimensões

5.6.1 Materiais

Materiais e suas dimensões devem ser escolhidos tendo em mente a possibilidade de corrosão tanto da estrutura a ser protegida quanto do SPDA.



5.6.2 Dimensões

Configurações e áreas de seção mínima dos condutores dos subsistemas de captação e de descida são dadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas

Material	Configuração	Área da seção mínima mm ²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoadado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30 % ^e	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64 %	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente ^a	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável ^c	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm

^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ANBT NBR 6323.
^b Aplicável somente a minicaptoras. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.
^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.
^d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela referem - se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.
^e A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).

NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.
NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Configurações e dimensões mínimas dos condutores do subsistema de aterramento são dadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordado ^c	–	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	–	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	–	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço ^{a, b}	16 mm	Diâmetro 10 mm	–
	Tubo ^{a b}	25 mm	–	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça ^a	–	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordado	–	70 mm ²	–
Aço cobreado	Arredondado maciço ^d Encordado ^g	14 mm	50 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Aço inoxidável ^e	Arredondado maciço Fita maciça	15 mm	100 mm ²	Espessura mínima 2 mm

^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ANBT NBR 6323.

^b Aplicável somente a minicaptos. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.

^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.

^d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela referem – se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5%, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.

^e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo, devem atender às prescrições desta tabela.

^f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).

^g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

6 Sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas

6.1 Geral

O SPDA interno deve evitar a ocorrência de centelhamentos perigosos dentro do volume de proteção e da estrutura a ser protegida devido à corrente da descarga atmosférica que flui pelo SPDA externo ou em outras partes condutivas da estrutura.

Pode ocorrer centelhamentos perigosos entre o SPDA externo e outros componentes, como:

- a) as instalações metálicas



- b) os sistemas internos;
- c) as partes condutivas externas e linhas conectadas à estrutura.

NOTA 1 Um centelhamento dentro de uma estrutura com risco de explosão é sempre perigoso. Nesse caso, são necessárias medidas de proteção adicionais.

NOTA 2 Para a proteção dos sistemas internos contra sobretensões, tomar como referência o PN 03:064.10-100/4.

O centelhamento perigoso entre diferentes partes pode ser evitado por meio de:

- ligações equipotenciais conforme 6.2, ou
- isolação elétrica entre as partes conforme 6.3.

6.2 Equipotencialização para fins de proteção contra descargas atmosféricas

6.2.1 Geral

6.2.1.1 A equipotencialização é obtida por meio da interligação do SPDA com

- a) instalações metálicas,
- b) sistemas internos,
- c) partes condutivas externas e linhas elétricas conectadas à estrutura.

Devem ser considerados os efeitos causados quando uma equipotencialização é estabelecida com sistemas internos para fins de proteção, pois uma parte da corrente da descarga atmosférica pode fluir por tais sistemas.

6.2.1.2 Os meios de interligação podem ser:

- a) direto: condutores de ligação, onde a continuidade elétrica não seja garantida pelas ligações naturais;
- b) indireto: dispositivos de proteção contra surtos (DPS), onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não possa ser realizada;
- c) indireto: centelhadores, onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não seja permitida.

6.2.1.3 Os DPS devem ser instalados de modo a poderem ser inspecionados.

6.2.1.4 Elementos metálicos externos à estrutura a ser protegida podem ser afetados quando da instalação do SPDA. Ligações equipotenciais com as partes metálicas externas devem ser consideradas durante o projeto de tais sistemas.

6.2.1.5 O barramento de equipotencialização do SPDA deve ser interligado e coordenado com outros barramentos de equipotencialização existentes na estrutura. No primeiro nível de coordenação, esse barramento deve ser sempre o BEP.

6.2.2 Equipotencialização para instalações metálicas

6.2.2.1 No caso de um SPDA externo isolado, a equipotencialização deve ser efetuada somente ao nível do solo.

6.2.2.2 Para um SPDA externo não isolado, devem ser realizadas equipotencializações nos seguintes locais:

- a) na base da estrutura ou próximo do nível do solo. Os condutores de ligação devem ser conectados a uma barra de ligação construída e instalada de modo a permitir fácil acesso para inspeção. O barramento de equipotencialização principal (BEP) deve ser ligado ao sistema de aterramento. Nos casos de estruturas extensas, com mais de 20 m em qualquer direção (horizontal ou vertical), devem-se instalar tantas barras de equipotencialização local (BEL) quantas forem necessárias, desde que entre essas barras haja uma interligação proposital e delas ao BEP;
- b) onde os requisitos de isolamento não são atendidos (ver 6.3).

6.2.2.3 As equipotencializações para fins de proteção contra descargas atmosféricas devem ser retilíneas e curtas tanto quanto possível.

6.2.2.4 Os valores mínimos da seção reta dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização e dos condutores que ligam essas barras ao sistema de aterramento são listados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta mm ²
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

6.2.2.5 Para essas interligações, devem ser considerados os efeitos causados por corrosão.

6.2.2.6 Para utilização do aço inoxidável, este deve ter a seção equivalente a do aço galvanizado a fogo.

6.2.2.7 Os valores mínimos da seção reta dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização são listados na Tabela 9.

Tabela 9 – Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL)

Nível do SPDA	Material	Área da seção reta mm ²
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	16
	Aço galvanizado a fogo	22



6.2.2.8 Para utilização do aço inoxidável, este deve ter a seção equivalente a do aço galvanizado a fogo.

6.2.2.9 Os segmentos das tubulações metálicas (gás, água etc.) que possuam peças isolantes intercaladas em seus flanges, devem ser interligados direta ou indiretamente (por meio de condutores ou DPS específicos para essa função, respectivamente), dependendo das condições locais da instalação.

6.2.2.10 Os DPS devem ter as seguintes características:

$$I_{imp} \geq k_C I$$

onde

$k_C I$ é a corrente da descarga que flui do SPDA externo para esses elementos metálicos interligados que tem relevância no dimensionamento do DPS (ver Anexo C);

tensão de impulso disruptiva nominal U_{RIMP} menor que o nível de impulso suportável de isolamento entre as partes.

6.2.3 Equipotencialização para elementos condutores externos

A equipotencialização deve ser efetuada a partir do ponto mais próximo de onde os elementos condutores externos adentram na estrutura a ser protegida.

Os condutores de ligação devem ser capazes de suportar a parcela I_F da corrente da descarga atmosférica que flui por meio desses condutores, a qual deve ser avaliada de acordo com o PN 03:064.10-100/1, Anexo F.

Se uma ligação direta não for aceitável, deve-se usar DPS com as seguintes características:

$$I_{imp} \geq I_F$$

onde I_F é a corrente da descarga atmosférica que flui ao longo do condutor externo considerado

- o nível de proteção UP deve ser inferior ao nível de suportabilidade a impulso da isolamento entre as partes;
- tensão de impulso disruptiva nominal U_{RIMP} menor que o nível de impulso suportável de isolamento entre as partes.

NOTA Quando houver a necessidade de uma equipotencialização sem que um SPDA seja necessário, recomenda-se que o BEP ou o BEL, oriundos da instalação elétrica de baixa tensão, sejam usados para esse fim. O PN 03:064.10-100/2 fornece informação sobre a necessidade da instalação de um SPDA.

6.2.4 Equipotencialização para sistemas internos

As equipotencializações para fins de proteção contra descargas atmosféricas são obrigatórias e devem ser realizadas em conformidade com 6.2.2.a) e 6.2.2.b).

Se os condutores dos sistemas internos forem blindados ou se estiverem dentro de eletrodutos metálicos, pode ser suficiente fazer apenas as ligações equipotenciais a essas blindagens ou eletrodutos.

NOTA As equipotencializações, blindagens e eletrodutos não evitam, necessariamente, danos devido a sobretensões nos equipamentos ligados aos condutores. Sobre a proteção desses equipamentos, tomar como referência o PN 03:064.10-100/4.



Os condutores vivos dos sistemas internos que não sejam blindados e nem estejam dentro de eletrodutos metálicos devem ter equipotencialização ao BEP por meio de DPS. Os condutores PE e PEN, em um sistema TN, devem ser ligados diretamente ao BEP.

Os condutores de ligação e os DPS devem ter as características indicadas em 6.2.2.

Se for necessária a proteção contra surtos de sistemas internos, deve-se usar uma “proteção com DPS coordenados” de acordo com os requisitos do PN 03:064.10-100/4 e da ABNT NBR 5410.

6.2.5 Equipotencialização para as linhas conectadas à estrutura a ser protegida

A equipotencialização para fins de proteção contra descargas atmosféricas para linhas de alimentação elétrica e de sinais deve ser realizada de acordo com 6.2.3.

Deve haver equipotencialização, direta ou via DPS, de todos os condutores de cada linha. Os condutores vivos devem ser ligados ao BEP ou BEL – o que estiver mais próximo, somente via DPS. Os condutores PE e PEN, em um esquema TN, devem ser ligados diretamente ao BEP ou ao BEL.

Se as linhas forem blindadas ou estiverem dispostas em eletrodutos metálicos, essas blindagens ou eletrodutos devem ser equipotencializadas. Não são necessárias equipotencializações para os condutores se as áreas das seções (S_C) das blindagens ou eletrodutos forem superiores ou iguais ao valor mínimo (S_{Cmin}) avaliado de acordo com o Anexo B.

As equipotencializações das blindagens de cabos ou dos eletrodutos devem ser realizadas a partir do ponto mais próximo de onde esses adentrarem na estrutura.

Os condutores de ligação e os DPS devem ter as características indicadas em 6.2.3.

Se for necessária proteção contra surtos de sistemas internos ligados às linhas que entram na estrutura, deve-se usar uma “proteção com DPS coordenados” de acordo com os requisitos do PN 03:064.10-100/4 e da ABNT NBR 5410.

NOTA Quando uma equipotencialização for necessária sem a existência do SPDA externo, recomenda-se que o eletrodo de aterramento da instalação elétrica seja usado para esse fim. O PN 03:064.10-100/2 fornece informação sobre as condições nas quais um SPDA externo não é necessário.

6.3 Isolação elétrica do SPDA externo

6.3.1 Geral

A isolamento elétrica entre o subsistema de captação ou de condutores de descida e as partes metálicas estruturais, instalações metálicas e sistemas internos pode ser obtida pela adoção de uma distância “ d ”, entre as partes, superior à distância de segurança “ s ”:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot I \quad (4)$$

onde

k_i depende do nível de proteção escolhido para o SPDA (ver Tabela 10);

k_c depende da corrente de descarga pelos condutores de descida (ver Tabela 12 e Anexo C);

k_m depende do material isolante (ver Tabela 11);

l é o comprimento expresso em metros (m), ao longo do subsistema de captação ou de descida, desde o ponto onde a distância de segurança deve ser considerada até a equipotencialização mais próxima (ver.6.3).

O comprimento l ao longo da captação pode ser desconsiderado em estruturas com telhado metálico contínuo quando este for utilizado como captação natural.

Tabela 10 – Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente k_i

Nível de proteção do SPDA	K_i
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Tabela 11 – Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente k_m

Material	K_m
Ar	1
Concreto, tijolos	0,5

NOTA 1 No caso de vários materiais isolantes estarem em serie, é uma boa prática usar o menor valor de k_m .
NOTA 2 A utilização de outros materiais isolantes está sob consideração.

No caso de haver linhas ou partes condutivas externas ligadas à estrutura, é necessário garantir a equipotencialização (por meio de ligação direta ou via DPS) nos pontos de entrada na estrutura.

Não é exigida distância de segurança em estruturas metálicas ou de concreto com armadura interligada e eletricamente contínua.

O coeficiente k_c da corrente da descarga atmosférica (na captação ou na descida) depende da classe do SPDA, do número total (n) e da posição dos condutores de descida, dos anéis intermediários e do subsistema de aterramento. A distância de segurança necessária depende da queda de tensão do caminho mais curto a partir do ponto onde esta deve ser considerada até o eletrodo de aterramento ou o ponto de equipotencialização mais próximo.

6.3.2 Aplicação simplificada

Em estruturas típicas para a aplicação da Equação 4, as condições que se seguem devem ser consideradas:

- k_c depende da corrente da descarga (parcial) que flui e do arranjo dos condutores de descida (ver Tabela 12 e Anexo C);
- l é o comprimento vertical, em metros, ao longo do condutor de descida, a partir do ponto onde a distância de separação deve ser considerada até o ponto de equipotencialização mais próximo.



Tabela 12 – Isolação do SPDA externo – Valores aproximados do coeficiente k_c

Numero de descidas n	k_c
1 (somente para SPDA isolado)	1
2	0,66
3 ou mais	0,44

NOTA A abordagem simplificada geralmente leva a resultados mais conservadores.

7 Manutenção, inspeção e documentação de um SPDA

7.1 Geral

A eficácia de qualquer SPDA depende da sua instalação, manutenção e métodos de ensaio utilizados.

Inspeções, ensaios e manutenção não podem ser realizados durante a ameaça de tempestades.

7.2 Aplicação das inspeções

O objetivo das inspeções é assegurar que:

- o SPDA esta de acordo com projeto baseado nesta Norma;
- todos os componentes do SPDA estão em boas condições e são capazes de cumprir suas funções; que não apresentem corrosão, e atendam às suas respectivas Normas;
- qualquer nova construção ou reforma que altere as condições iniciais previstas em projeto além de novas tubulações metálicas, linhas de energia e sinal que adentrem a estrutura estão incorporadas ao SPDA externo e interno.

7.3 Ordem das inspeções

7.3.1 Inspeções devem ser feitas de acordo com 7.2, como a seguir:

- durante a construção da estrutura;
- após a instalação do SPDA, no momento da emissão do documento “*as built*”;
- após alterações ou reparos, ou quando houver suspeita de que a estrutura foi atingida por uma descarga atmosférica;
- inspeção visual semestral apontando eventuais pontos deteriorados no sistema;
- periodicamente, realizada por profissional habilitado e capacitado a exercer esta atividade, com emissão de documentação pertinente, em intervalos determinados, assim relacionados:
 - um ano, para estruturas contendo munição ou explosivos, ou em locais expostos à corrosão atmosférica severa (regiões litorâneas, ambientes industriais com atmosfera agressiva etc.), ou ainda estruturas pertencentes a fornecedores de serviços considerados essenciais (energia, água, telecomunicações etc.);
 - três anos, para as demais estruturas.



7.3.2 Durante as inspeções periódicas, é particularmente importante checar os seguintes itens:

- a) deterioração e corrosão dos captosres, condutores de descida e conexões;
- b) condição das equipotencializações;
- c) corrosão dos eletrodos de aterramento;
- d) verificação da integridade física dos condutores do eletrodo de aterramento para os subsistemas de aterramento não naturais.

Por analogia, parte do procedimento do ensaio para medição de continuidade elétrica das armaduras pode ser aplicada aos condutores do subsistema de aterramento do SPDA a fim de comprovar a continuidade elétrica dos trechos sob ensaio, o que fornece parâmetros para determinação da integridade física do eletrodo de aterramento e suas conexões. Neste caso, os valores de validação devem ser compatíveis com parâmetros relacionados ao tipo de material usado (resistividade do condutor relacionada ao comprimento do trecho ensaiado).

NOTA 1 Na medição de continuidade elétrica, é desejável a utilização de equipamentos que tenham sua construção baseada em esquemas a quatro fios (dois para injeção de corrente e dois para medir a diferença de potencial), tipo ponte, por exemplo, micro-ohmímetros.

Não podem ser utilizados multímetros na função de ohmímetro.

7.4 Manutenção

7.4.1 A regularidade das inspeções é condição fundamental para a confiabilidade de um SPDA. O responsável pela estrutura deve ser informado de todas as irregularidades observadas por meio de relatório técnico emitido após cada inspeção periódica. Cabe ao profissional emitente da documentação recomendar, baseado nos danos encontrados, o prazo de manutenção no sistema, que pode variar desde “imediate” a “item de manutenção preventiva”.

7.5 Documentação

7.5.1 A seguinte documentação técnica deve ser mantida no local, ou em poder dos responsáveis pela manutenção do SPDA:

- a) verificação de necessidade do SPDA (externo e interno), além da seleção do respectivo nível de proteção para a estrutura;
- b) desenhos em escala mostrando as dimensões, os materiais e as posições de todos os componentes do SPDA externo e interno;
- c) quando aplicável, os dados sobre a natureza e a resistividade do solo; constando detalhes relativos à estratificação do solo, ou seja, o número de camadas, a espessura e o valor da resistividade de cada uma;
- d) registro de ensaios realizados no eletrodo de aterramento e outras medidas tomadas em relação a prevenção contra as tensões de toque e passo. Verificação da integridade física do eletrodo (continuidade elétrica dos condutores) e se o emprego de medidas adicionais no local foi necessário para mitigar tais fenômenos (acrescimento de materiais isolantes, afastamento do local etc.), descrevendo-o.



8 Medidas de proteção contra acidentes com seres vivos devido à tensões de passo e de toque

8.1 Medidas de proteção contra tensões de toque

8.1.1 Em certas condições, a proximidade dos condutores de descida de um SPDA, externo à estrutura, pode trazer risco de vida mesmo que o SPDA tenha sido projetado e construído de acordo com as recomendações apresentadas por esta Norma.

Os riscos são reduzidos a níveis toleráveis se uma das seguintes condições for preenchida:

- a) a probabilidade da aproximação de pessoas, ou a duração da presença delas fora da estrutura e próximas aos condutores de descida, for muito baixa;
- b) o subsistema de descida consistir em pelo menos dez caminhos naturais de descida (elementos de aço das armaduras, pilares de aço etc.) interconectados conforme 5.3.5;
- c) a resistividade da camada superficial, até 3 m de distância dos condutores de descida, for maior ou igual a 100 k Ω .m.

NOTA Uma cobertura de material isolante, por exemplo, asfalto de 5 cm de espessura, ou uma cobertura de 20 cm de espessura de brita, geralmente reduz os riscos a um nível tolerável.

8.1.2 se nenhuma dessas condições for preenchida, medidas de proteção devem ser adotadas contra danos a seres vivos devido às tensões de toque como a seguir:

- a) a isolação dos condutores de descida expostos deve ser provida utilizando-se materiais que suportem uma tensão de ensaio de 100 kV, 1,2/50 μ s, por exemplo, no mínimo uma camada de 3 mm de polietileno reticulado;
- b) restrições físicas (barreiras) ou sinalização de alerta para minimizar a probabilidade dos condutores de descida ser tocados.

8.2 Medidas de proteção contra tensões de passo

Os riscos são reduzidos a um nível tolerável se uma das condições apresentadas em 8.1 – a), b) ou c) forem preenchidas.

Se nenhuma dessas condições for preenchida, medidas de proteção devem ser adotadas contra danos a seres vivos devido às tensões de passo como a seguir:

- a) impor restrições físicas (barreiras) ou sinalização de alerta para minimizar a probabilidade de acesso à área perigosa, até 3 m dos condutores de descida;
- b) construção de eletrodo de aterramento reticulado complementar no entorno do condutor de descida.

Anexo A (normativo)

Posicionamento do subsistema de captação

A.1 Posicionamento do subsistema de captação utilizando-se o método do ângulo de proteção

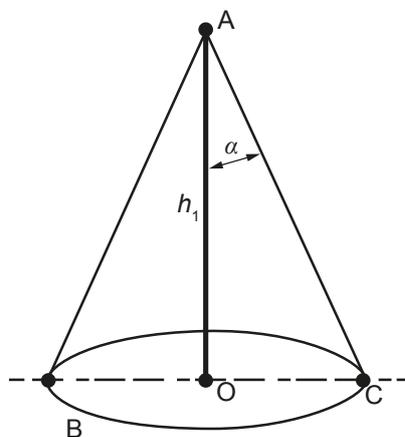
A.1.1 Geral

A posição do subsistema de captação é considerada adequada se a estrutura a ser protegida estiver situada totalmente dentro do volume de proteção provido pelo subsistema de captação.

Devem ser consideradas apenas as dimensões físicas dos elementos metálicos do subsistema de captação para a determinação do volume de proteção.

A.1.2 Volume de proteção provido por mastro

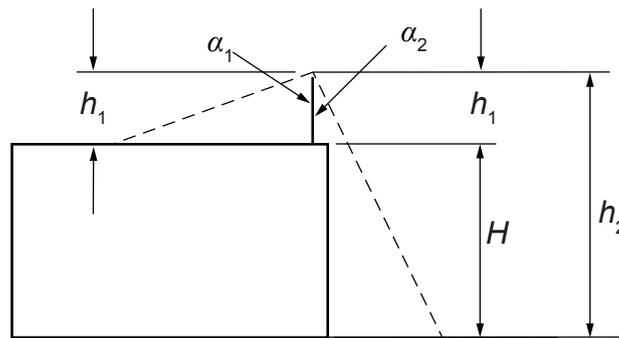
O volume de proteção provido por um mastro é definido pela forma de um cone circular cujo vértice está posicionado no eixo do mastro, o ângulo α , dependendo da classe do SPDA, e a altura do mastro como consta na Tabela 2. Exemplos de volumes de proteção são dados nas Figuras A.1 e A.2



Legenda

- A topo do captor
- B plano de referência
- OC raio da base do cone de proteção
- h_1 altura de um mastro acima do plano de referência
- α ângulo de proteção conforme Tabela 2

Figura A.1 – Volume de proteção provido por um mastro



Legenda

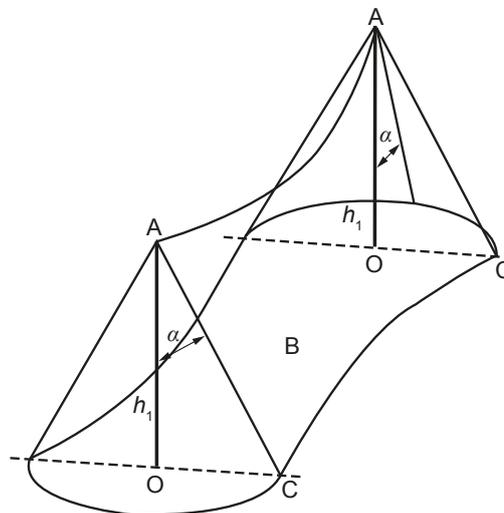
h_1 altura do mastro.

NOTA O ângulo de proteção α_1 corresponde à altura h_1 do mastro, sendo esta a altura acima da superfície da cobertura da estrutura a ser protegida; o ângulo de proteção α_2 corresponde à altura $h_2 = h_1 + H$, com o solo sendo o plano de referência; α_1 está relacionado com h_1 , e α_2 está relacionado com h_2 .

Figura A.2 – Volume de proteção provido por um mastro para duas alturas diferentes

A.1.3 Volume de proteção provido por condutor suspenso

O volume de proteção provido por condutor suspenso está definido como sendo a composição do volume de proteção virtual de mastros com seus vértices alinhados nesse condutor. Exemplos do volume de proteção são dados na Figura A.3.



Legenda

A topo do captor

B plano de referência

OC raio da base do cone de proteção

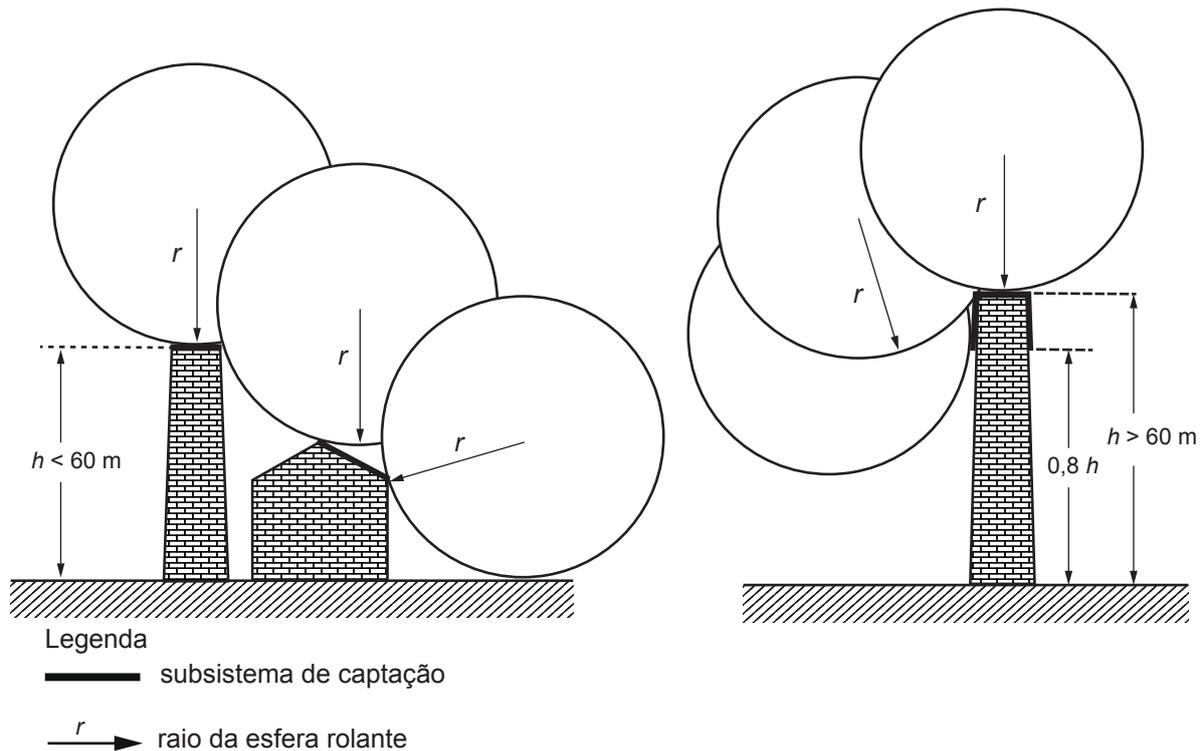
h_1 altura de um mastro acima do plano de referência

α ângulo de proteção conforme Tabela 2

Figura A.3 – Volume de proteção provido por elemento condutor suspenso

A.2 Posicionamento do subsistema de captação utilizando o método da esfera rolante

O adequado posicionamento do subsistema de captação na aplicação deste método ocorre se nenhum ponto da estrutura a ser protegida entrar em contato com uma esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções possíveis. O raio, r , dessa esfera depende da classe do SPDA (ver Tabela 2). Sendo assim, a esfera somente poderá tocar o próprio subsistema de captação (ver Figura A.4).



O raio da esfera rolante r deve seguir o valor especificado dependendo da classe do SPDA (ver Tabela 2).

Figura A.4 – Projeto do subsistema de captação conforme o método da esfera rolante

Pode ocorrer impacto direto nas laterais de todas as estruturas com altura maior que o raio, r , da esfera rolante. Cada ponto lateral tocado pela esfera rolante é um ponto possível de ocorrência de impacto direto. Entretanto, a probabilidade de ocorrência de descargas laterais é, geralmente, desprezível para estruturas com altura inferior a 60 m.

Para estruturas com altura superior a 60 m, um maior número de descargas atmosféricas incidirá na cobertura, em especial nos cantos da estrutura e nas extremidades horizontais da periferia. Apenas uma pequena porcentagem de todas as descargas atmosféricas atingirá as laterais desta.

Além disso, estatísticas mostram que a probabilidade das descargas atmosféricas ocorrerem na lateral das estruturas aumenta consideravelmente em função da altura do ponto de impacto, nas estruturas de altura elevada, quando medidas a partir do solo.

Por esta razão, a instalação de captação na lateral da parte superior das estruturas altas (tipicamente a 20 % do topo da altura da estrutura) deve ser considerada. Neste caso, o método da esfera rolante é aplicado somente para o posicionamento do subsistema de captação na parte superior da estrutura.



A.3 Posicionamento do subsistema de captação utilizando o método das malhas

Uma malha de condutores pode ser considerada como um bom método de captação para proteger superfícies planas. Para tanto devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

- a) condutores captadores deverão ser instalados:
- na periferia da cobertura da estrutura;
 - nas saliências da cobertura da estrutura;

nas cumeeiras dos telhados, se o declive deste exceder 1/10 (um de desnível por dez de comprimento);

NOTA 1 O método das malhas é apropriado para telhados horizontais e inclinados sem curvatura.

NOTA 2 O método das malhas é apropriado para proteger superfícies laterais planas contra descargas atmosféricas laterais.

NOTA 3 Se o declive do telhado exceder 1/10, condutores paralelos, em vez de em malha, podem ser usados, adotando a distância entre os condutores não maior que a largura de malha exigida.

- b) as dimensões de malha não podem ser maiores que os valores encontrados na Tabela 2;
- c) o conjunto de condutores do subsistema de captação deve ser construído de tal modo que a corrente elétrica da descarga atmosférica sempre encontre pelo menos duas rotas condutoras distintas para o subsistema de aterramento;
- d) nenhuma instalação metálica deve ultrapassar o volume de proteção formado pela malha do subsistema de captação;
- e) os condutores da malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível da instalação.

Anexo B (informativo)

Seção mínima da blindagem do cabo de entrada de modo a evitar centelhamento perigoso

Sobretensões entre condutores vivos e blindagem do cabo podem causar centelhamento perigoso devido à corrente do raio conduzida pela blindagem. As sobretensões dependem do material, das dimensões da blindagem, do comprimento e posicionamento do cabo.

O valor mínimo S_{cmin} (em mm^2) da área da seção reta da blindagem necessária para evitar centelhamento perigoso é dado por:

$$S_{cmin} = \frac{I_f \cdot \rho_c \cdot L_c \cdot 10^6}{U_w} \quad (mm^2)$$

onde

I_f é a corrente que percorre a blindagem, expressa em quiloampère (kA);

ρ_c é a resistividade da blindagem, expressa em ohm vezes metro ($\Omega \cdot m$);

L_c é o comprimento do cabo, expresso em metro (m) (ver Tabela B.1);

U_w é a tensão suportável de impulso do sistema eletro-eletrônico alimentado pelo cabo, expressa em quilovolt (kV).

Tabela B.1 – Comprimento de cabo a ser considerado segundo a condição da blindagem

Condição da blindagem	L_c
Em contato com um solo de resistividade ρ (Ωm)	$L_c \leq 8 \cdot \sqrt{\rho}$
Isolado do solo ou no ar	L_c distância entre a estrutura e o ponto de aterramento da blindagem mais próximo

NOTA É necessário certificar-se de que uma elevação de temperatura inaceitável no isolamento da linha não possa ocorrer quando a corrente do raio percorrer a blindagem da linha ou os condutores da linha. Para informação detalhada, ver PN 03:064.10-100/4.

Os limites de corrente são dados:

a) para cabos blindados, por:

$$I_f = 8 \cdot S_c$$

e



b) para cabos não blindados, por :

$$I_f = 8 \cdot n' \cdot S'_c$$

onde

I_f é a corrente na blindagem, expressa em quiloampère (kA);

n' é o número de condutores;

S_c é a seção da blindagem, expressa em milímetros quadrados (mm²);

S'_c é a seção de cada condutor, expressa em milímetros quadrados (mm²).

Anexo C (informativo)

Divisão da corrente da descarga atmosférica entre os condutores de descida

O coeficiente de divisão k_c da corrente da descarga atmosférica entre os condutores de descida depende do número total de condutores de descida n e das suas posições, dos condutores em anel de interligação, do tipo do subsistema de captação e do tipo do subsistema de aterramento como indicado na Tabela C.1.

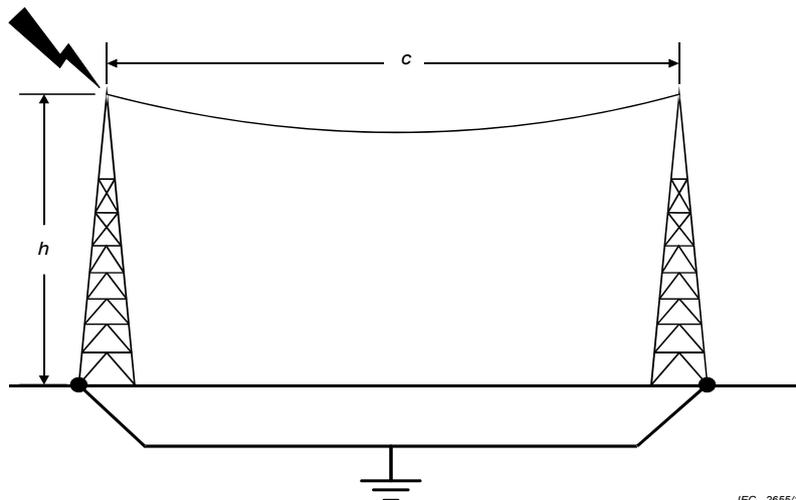
A Tabela C.1 aplica-se para os arranjos de aterramento em anel.

Tabela C.1 – Valores do coeficiente k_c

Tipo de captadores	Numero de condutores de descida n	k_c
		Arranjo de aterramento em anel
Haste simples	1	1
Fio	2	0,5... 1 (ver Figura C.1) ^a
Malha	4 e mais	0,25... 0,5 (ver Figura C.2) ^b
Malha	4 e mais, conectados por condutores horizontais em anel	1/n... 0,5 (ver Figura C.3) ^c

^a Faixa de valores de $k_c = 0,5$, onde $c < h$ a $k_c = 1$ com $h < c$ (ver Figura C.1).
^b A equação para k_c de acordo com a Figura C.2 é uma aproximação para estruturas em forma de cubo e para $n \geq 4$. Os valores de h , cs e cd são assumidos para serem na faixa de 5 m a 20 m.
^c Se os condutores de descidas são conectados por condutores em anel, a distribuição de corrente é mais homogênea nas partes mais baixas do sistema de descidas e k_c é ainda mais reduzido. Isto é especialmente válido para estruturas altas.

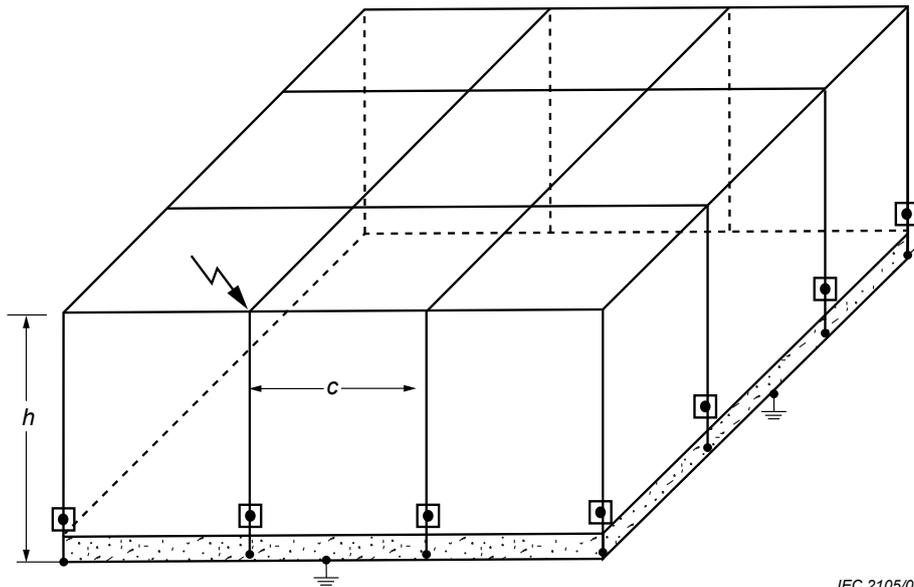
NOTA Outros valores de k_c podem ser utilizados se cálculos detalhados forem feitos.



Assim:

$$K_c = \frac{h + c}{2h + c}$$

Figura C.1 – Valores do coeficiente k_c no caso de um sistema de captadores em fio e um sistema de aterramento em anel



IEC 2105/05

Assim:

$$K_C = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times 3 \sqrt{\frac{c}{h}}$$

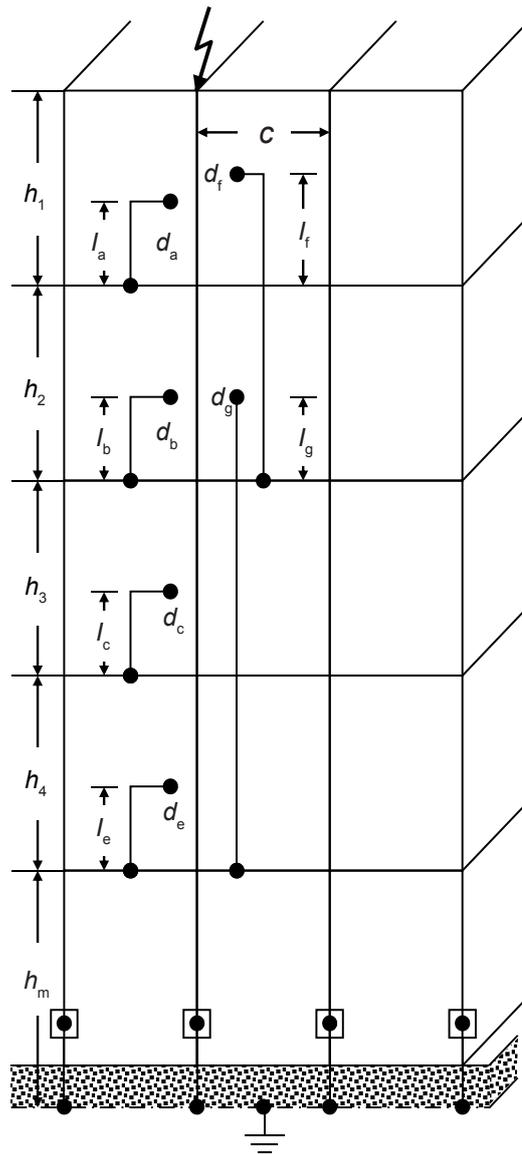
onde

- n número total de condutores de descidas;
- c distância de um condutor de descida ao próximo condutor de descida;
- h espaçamento (ou altura) entre os condutores em anel.

NOTA 1 Para uma avaliação detalhada do valor do coeficiente k_C , ver Figura C.3.

NOTA 2 Se existirem condutores de descida internos, recomenda-se que eles sejam levados em consideração na avaliação de k_C .

Figura C.2 – Valores de coeficiente k_C no caso de um sistema de captores em malha e sistema de aterramento em anel



IEC 2106/05

analisando a figura, temos:

$$d_a \geq s_a = \frac{l_q}{k_m} \times k_{c1} \times l_a$$

$$d_b \geq s_b = \frac{l_q}{k_m} \times k_{c2} \times l_b$$

$$d_c \geq s_c = \frac{l_q}{k_m} \times k_{c3} \times l_c$$

$$d_e \geq s_e = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c4} \times l_e$$

$$d_f \geq s_f = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c1} \times l_f + k_{c2} \times h_2)$$

$$d_g \geq s_g = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c2} \times l_g + k_{c3} \times h_3 + k_{c4} \times h_4)$$

e

$$d_a \geq s_a = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c1} \times l_a$$

$$d_b \geq s_b = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c2} \times l_b$$

$$d_c \geq s_c = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c3} \times l_c$$

$$d_e \geq s_e = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c4} \times l_e$$

$$d_f \geq s_f = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c1} \times l_f + k_{c2} \times h_2)$$

$$d_g \geq s_g = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c2} \times l_g + k_{c3} \times h_3 + k_{c4} \times h_4)$$

assim,

$$K_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

$$K_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1$$

$$K_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01$$

$$K_{c4} = \frac{1}{n}$$

$$K_{cm} = K_{c4} = \frac{1}{n}$$

Onde

- n é o número total de condutores de descidas;
- c é a distância ao mais próximo condutor de descida;
- h é o espaçamento (ou altura) entre os condutores em anel;
- m é o número total de níveis;
- d é a distância ao condutor de descida mais próximo;
- l é a altura acima ao ponto de blindagem.

Figura C.3 – Exemplos de cálculos de distâncias de separação no caso de um sistema de captores em malha, um anel de interconexão a cada nível e um sistema de aterramento em anel



Anexo D (normativo)

Informação adicional para SPDA no caso de estruturas com risco de explosão

D.1 Geral

Este anexo provê informações adicionais para projeto, instalação, ampliação, modificação de um SPDA para estruturas onde haja risco de explosão.

NOTA As informações fornecidas neste Anexo estão baseadas em experiências práticas comprovadas em instalações de SPDA onde existe o risco de explosão.

D.2 Condições adicionais e definições

Além dos termos e definições da Seção 3, aplicam-se os seguintes termos e definições.

D.2.1

centelhador de isolamento

componente com distância para isolar partes eletricamente condutivas da instalação

D.2.2

material sólido explosivo

componente químico, sólido, mistura, ou equipamento que tem como propósito primário ou comum a explosão

D.2.3

zona 0

local em que uma atmosfera explosiva composta por uma mistura de ar e substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa, está continuamente presente ou presente por longos períodos com frequência

D.2.4

zona 1

local em que é provável a ocorrência ocasional de uma atmosfera explosiva composta por uma mistura de ar e substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa, em condições normais de operação

D.2.5

zona 2

local em que a ocorrência de uma atmosfera explosiva composta por uma mistura de ar e substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa em condições normais de operação não é provável, mas, se acontecer, durará por um período curto

NOTA 1 Nesta definição, a palavra “durará” significa o tempo total durante o qual a atmosfera inflamável existirá. Isto normalmente incluirá o tempo entre a liberação somado ao tempo de dispersão total da mistura inflamável para a atmosfera.

NOTA 2 Indicativos de frequência de ocorrência e duração podem ser obtidos em manuais de processo relativos a indústrias ou em documentação específica aplicável ao local, por exemplo, mapas de risco.



D.2.6

zona 20

local em que uma atmosfera explosiva, na forma de nuvem de pó combustível no ar, está continuamente presente, ou presente por longos períodos ou frequentemente

D.2.7

zona 21

local em que uma atmosfera explosiva, na forma de uma nuvem de pó combustível no ar, é ocasionalmente provável de acontecer em condições normais de operação

D.2.8

zona 22

local em que uma atmosfera explosiva, na forma de nuvem de pó combustível no ar, não é provável em condições normais de operação, mas, se acontecer, durará por um período curto

D.3 Requisitos básicos

D.3.1 Geral

O SPDA deve ser projetado e instalado de tal maneira que, em caso do impacto direto da descarga atmosférica, não haja fusão ou fragmentação de material, exceto no ponto de impacto.

NOTA Centelhamento ou dano no ponto de impacto podem acontecer. Recomenda-se que isto seja considerado na determinação da localização dos captores. Onde não for possível instalar condutores de descida fora da zona de risco, convém que estes condutores sejam instalados de tal forma que a temperatura de autoignição dada pela fonte da zona de risco relativa não exceda naquela aplicação.

D.3.2 Informações exigidas

O projetista e o instalador do sistema de proteção contra descargas atmosféricas devem ter acesso aos desenhos técnicos das estruturas a serem protegidas, contendo as áreas em que o material explosivo sólido deve ser manuseado ou armazenado e as zonas de risco apropriadamente demarcadas de acordo com ABNT NBR IEC 60079-10-1, ABNT NBR IEC 60079-10-2 e ABNT NBR IEC 60079-14

D.3.3 Ligação à terra

Um eletrodo em anel deve ser instalado no subsistema de aterramento, de acordo com 5.4.2, para todos os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas utilizados em estruturas onde haja perigo de explosão.

A resistência ôhmica do eletrodo de aterramento para estruturas contendo materiais explosivos sólidos e misturas explosivas deve ser tão baixa quanto possível, mas este valor sempre deve ser função indissociável dos resultados dos ensaios de estratificação do solo no local.

D.3.4 Ligação equipotencial (ou equipotencialização)

A equipotencialização entre componentes do SPDA e outras instalações condutoras, bem como entre componentes condutores de todas as instalações, de acordo com 6.2, deve ser asseguradas nas zonas de risco onde o material explosivo sólido estiver presente:

- a) no nível do solo;



- b) onde a distância entre as partes condutivas for menor que a distância de segurança s calculada, assumindo-se $k_c = 1$.

NOTA Em função dos danos parciais causados pelas descargas atmosféricas, as distâncias de segurança podem ser consideradas somente em áreas onde não há mistura explosiva. Nessas áreas, onde qualquer centelhamento pode causar ignição do ambiente, equipotencializações adicionais serão necessárias para assegurar que não haja centelhamento nas áreas classificadas como zona 0 e zona 20.

D.4 Estruturas contendo material explosivo sólido

O projeto do sistema de proteção contra descargas atmosféricas para estruturas que contenham material explosivo sólido deve considerar a sensibilidade do material quando ele for utilizado ou armazenado. Por exemplo, algum material explosivo de grande tamanho pode não exigir qualquer consideração adicional diferente daquelas contidas neste Anexo. Porém, existem alguns tipos de materiais explosivos que podem ser sensíveis às mudanças bruscas de campo elétrico e/ou radiado por campo eletromagnético impulsivo causado pela descarga atmosférica. Pode ser necessário estabelecer interligações adicionais ou outros requisitos de proteção para tais aplicações.

Para estruturas contendo material explosivo sólido, um SPDA isolado (como definido em 5.1.2) é recomendado. Estruturas com invólucro metálico de 5 mm de espessura de aço ou equivalente (7 mm para estruturas de alumínio) podem ser consideradas como sendo subsistema de captação natural, como definido em 5.2.5. Os requisitos para interligação à terra contidas em 5.4 são aplicáveis para tais estruturas.

Dispositivos de proteção contra surtos (DPS) específicos devem ser instalados como parte integrante da proteção do SPDA em todos os locais onde materiais explosivos estiverem presentes.

Onde aplicável, os DPS devem ser posicionados do lado externo do local onde o material explosivo sólido estiver presente. DPS posicionados dentro dos locais onde há exposição de material explosivo ou presença de pó explosivo devem ser instalados dentro de invólucro à prova de explosão.

D.5 Estruturas contendo zonas de risco

D.5.1 Geral

Todos os elementos do SPDA externo (subsistemas de captação e descida) devem ficar a pelo menos 1 m distante da zona de risco. Os condutores instalados devem ter continuidade elétrica assegurada. Onde a zona de risco estiver localizada diretamente sob uma placa de metal que possa ser perfurada por uma descarga atmosférica (ver 5.2.5), esta deve ser provida de um subsistema de captação conforme prescrições de (5.2).

D.5.1.1 Proteção contra surtos

Dispositivos de proteção contra surtos devem ser posicionados fora da zona de risco, quando praticável. Dispositivos de proteção contra surtos localizados dentro da zona de risco devem ser certificados para funcionamento nessa condição ou devem ser encapsulados. E esses invólucros devem ser certificados para essa utilização.

D.5.1.2 Ligação equipotencial (equipotencialização)

Ligações equipotenciais devem ser executadas para o sistema de proteção contra descargas atmosféricas conforme os requisitos desta Norma e da ABNT NBR IEC 60079-14, além dos requisitos específicos de equipotencialização de D.3.4.



As conexões entre tubos devem ser executadas de tal forma que quando da passagem de corrente elétrica originada por uma descarga atmosférica não haja centelhamento. As conexões soldadas, aparafusadas ou fixadas mecanicamente com grampos entre os flanges são apropriadas para equipotencialização dos tubos. As conexões por meio de grampos somente são permitidas se tiverem comprovadas sua suportabilidade às correntes elétricas da descarga atmosférica, esta eficiência pode ser comprovada por ensaios e procedimentos previamente realizados. As junções (*jumpers*) devem ser realizadas para o acoplamento entre flanges e ligação dos tubos e tanques à terra.

D.5.2 Estruturas contendo zonas 2 e zona 22

Estruturas onde existam zonas definidas como zona 2 e zona 22 podem não requerer medidas de proteção suplementar.

Instalações industriais construídas em estrutura metálica (por exemplo, colunas externas, reatores, containers com zona 2 e zona 22) com espessura e material encontrado na Tabela 3, devem seguir as seguintes aplicações:

- a) não é necessária a instalação de subsistemas de captação e descida;
- b) instalações industriais devem ser interligadas ao aterramento conforme Seção 5.

D.5.3 Estruturas contendo zonas 1 e zona 21

Para estruturas onde existam zonas definidas como zona 1 e zona 21, aplicam-se as medidas requeridas para zona 2 e zona 22 com a adição a seguir:

Devem ser tomadas medidas específicas de proteção quando houver peças isoladas ao longo da tubulação. Por exemplo, uma descarga disruptiva pode ser evitada com a utilização de explosão confinada ou de interligação indireta, via centelhadores próprios para este fim.

D.5.4 Estruturas contendo zonas 0 e zona 20

Para estruturas onde existam áreas definidas como zonas 0 e zona 20, aplicam-se as exigências de D.5.3, com as recomendações suplementares desta subseção. Para instalações externas com áreas definidas como zona 0 e zona 20, aplicam-se as exigências para as zona 1, zona 2, zona 21 e zona 22 com os seguintes complementos:

- a) equipamentos elétricos dentro de tanques que contenham líquidos inflamáveis devem ser apropriados para essa utilização. Medidas para proteção contra descargas atmosféricas devem ser tomadas conforme as características da construção;
- b) contêineres fechados, de aço, com áreas internas definidas como zona 0 e zona 20, devem ter uma espessura de parede de no mínimo, 5 mm nos locais onde for possível o impacto direto de descarga atmosférica. Se as paredes tiverem espessura inferior à especificada, um subsistema de captação deve ser instalado.

D.5.5 Aplicações específicas

D.5.5.1 Postos de abastecimento de combustível

Nos postos de abastecimento para carros, trens, navios etc., com áreas de risco definidas como zona 2 e zona 22, os tubos de metal devem ser ligados à terra de acordo com a Seção 5.



As linhas de encaminhamento de tubulações devem ser conectadas a estruturas de aço e trilhos, onde existir (se necessário isolar a interligação com centelhadores certificados para utilização na zona de risco em que for instalado), considerar correntes elétricas nos trilhos, correntes parasitas, fusíveis utilizados em trens elétricos, sistemas de proteção catódica contra corrosão e semelhantes.

Proteger o volume ao redor da tubulação dos respiros dos tanques de combustível gerado pelos gases potencialmente inflamáveis, por ela emitidos. Este local deve ficar dentro do volume de proteção de SPDA isolado, calculado conforme especificações desta Norma.

D.5.5.2 Tanques de armazenamento

Certos tipos de estruturas utilizadas para armazenamento de líquidos que podem produzir vapor inflamável ou para armazenamento de gases são normalmente autoprotégidos (contidos totalmente dentro de recipientes metálicos, contínuos, com uma espessura de parede superior a 5 mm de aço ou 7 mm de alumínio, sem espaços que permitam centelhamento) e não requerem proteção adicional. Analogamente, tanques em contato direto com o solo e linhas de encaminhamento de tubulação não necessitam da instalação do subsistema de captação. Componentes elétricos e de instrumentação utilizados dentro desses equipamentos devem ser certificados para esse tipo de aplicação. Medidas para proteção contra descargas atmosféricas devem ser tomadas conforme o tipo de construção.

Tanques ou contêineres individuais, metálicos, devem ser ligados ao eletrodo de aterramento conforme a Seção 5, dependendo de suas dimensões horizontais (diâmetro ou comprimento):

- a) até 20 m: duas interligações no mínimo, dispostas equidistantemente no perímetro;
- b) superior a 20 m: duas interligações mais uma interligação adicional a cada 10 m de perímetro, dispostas equidistantemente.

Para tanques agrupados em pátios, por exemplo, refinarias e pátios de armazenamento, o aterramento de cada tanque em um ponto é suficiente, independentemente da maior dimensão horizontal. Quando dispostos em pátios, os tanques devem estar interconectados. Além das conexões conforme Tabelas 7 e 8, tubulações que estão eletricamente conectadas, conforme 5.3.5, também podem ser consideradas como interligação.

No caso de tanques com teto flutuante, o teto flutuante deve ser interligado à carcaça principal do tanque de forma eficaz. O projeto dos selos e derivadores e suas relativas localizações necessitam ser cuidadosamente considerados de forma que o risco de qualquer eventual ignição da mistura explosiva por um centelhamento seja reduzido ao menor nível possível. Quando uma escada móvel for instalada, condutores de equipotencialização, flexíveis de 35 mm², devem ser conectados nas dobradiças da escada, entre a escada e o topo do tanque e entre a escada e o teto flutuante.

Quando uma escada móvel não é montada no tanque de teto flutuante, um ou mais (dependendo das dimensões do tanque) condutores flexíveis de equipotencialização de 35 mm² devem ser conectados entre a estrutura principal do tanque e o teto flutuante. Os condutores de equipotencialização devem seguir o teto ou serem instalados de forma que não formem laços (*loops*) decorrentes da movimentação deste. Em tanques de teto flutuante, devem existir ligações múltiplas, em intervalos de 1,5 m, entre a periferia do teto flutuante e a parede do tanque. A seleção do material é dada pelo produto armazenado no tanque e/ou requisitos ambientais. Alternativas para prover uma adequada conexão entre o teto flutuante e a parede do tanque com relação à condução das correntes de impulso associadas a descargas atmosféricas somente serão permitidas se demonstradas com sucesso em ensaios e se esses procedimentos forem utilizados para assegurar a confiabilidade da conexão.



D.5.5.3 Linhas de tubulações

As linhas de tubulações metálicas externas aos processos industriais devem estar conectadas ao eletrodo de aterramento a cada 30 m, ou serem interligadas ao nível do solo a elementos já aterrados, ou serem aterradas com eletrodo vertical. Os itens a seguir são aplicáveis para linhas longas que transportam líquidos inflamáveis:

- a) em estações de bombeamento, partes de escoamento e instalações similares, todos os tubos principais incluindo as blindagens metálicas devem ser interligados por condutores de seção transversal de pelo menos 50 mm²;
- b) as conexões de interligação de partes metálicas separadas por elemento isolante devem ser executadas de forma a não se soltarem (com solda, ou com parafusos e porcas autoatarrachantes). Peças isoladas devem ser interligadas a fim de evitar centelhamentos perigosos.



Anexo E
(vago)



Anexo F (normativo)

Ensaio de continuidade elétrica das armaduras

F.1 Introdução

O uso das armaduras do concreto como parte integrante do SPDA natural deve ser estimulado desde que sejam seguidas as recomendações descritas na Norma e complementadas neste Anexo.

É importante analisar o projeto estrutural da edificação visando auxiliar o ensaio das estruturas do concreto armado.

F.1.1 A definição dos pilares utilizados é feita, se possível por meio da análise do projeto estrutural da edificação, com consulta ao responsável pela execução da obra em relação à amarração das armaduras e de forma prioritária pela medição da continuidade elétrica dos pilares e vigas. Com o SPDA instalado, uma verificação final deve ser realizada.

F.1.2 Primeiramente, os componentes naturais devem obedecer aos requisitos mínimos descritos nesta Norma sendo:

- a) condutores de descidas conforme 5.3;
- b) subsistema de aterramento conforme 5.4.

F.1.3 Os ensaios de continuidade das armaduras devem ser realizados com dois objetivos:

- a) para verificação de continuidade elétrica de pilares e trechos de armaduras na fundação (primeira verificação);
- b) após a instalação do sistema, para verificar a continuidade de todo o sistema envolvido (verificação final).

F.2 Procedimento para a primeira verificação

F.2.1 Objetivo

A primeira verificação tem por objetivo determinar se é possível utilizar as armaduras do concreto armado como parte integrante do SPDA e possibilitar a identificação de quais pilares devem ser utilizados em projeto.

F.2.2 Pontos de medição

A continuidade elétrica das armaduras de uma edificação deve ser determinada medindo-se, com o instrumento adequado, a resistência ôhmica entre segmentos da estrutura, executando-se diversas medições entre trechos diferentes.

Todos os pilares que serão conectados ao subsistema de captação devem ser individualmente verificados, a menos que, durante a medição de edificações extensas (perímetros superiores

a 200 m), e que a medição em pelo menos 50 % do total de pilares a serem utilizados resultar em valores na mesma ordem de grandeza, e que nenhum resultado seja maior que 1Ω , o número de medições pode ser reduzido.

Medições cruzadas, ou seja, parte superior de um pilar contra parte inferior de um outro pilar, devem ser realizadas para verificar interligações entre pilares.

Medições somente na parte inferior são necessárias para verificação da continuidade de baldrames e trechos da fundação.

Medições em trechos intermediários dos pilares são necessárias para verificação de eventuais pontos de descontinuidade na armadura.

Os pontos de conexão do subsistema de captação com o pilar devem ser os mesmos utilizados nos ensaios.

F.2.3 Procedimento para medição

F.2.3.1 Edifício em construção

Se for possível acompanhar a construção do edifício, verificar se as condições previstas para o uso das armaduras de concreto, conforme 5.3.5, foram satisfeitas, registrando, por meio de documento técnico oficial com fotos identificando os locais. Neste caso a primeira verificação não é necessária.

F.2.3.2 Edifício já construído

Se o edifício já estiver construído e não houver evidências de que as condições previstas para o uso das armaduras de concreto foram satisfeitas, a primeira verificação deve ser realizada conforme contido neste Anexo.

Neste caso, identificar os pilares de concreto que devem ser ensaiados. Em cada um dos pilares, na parte mais alta, próxima à cobertura, e na parte mais baixa, próxima à fundação da edificação, utilizando uma ferramenta adequada, fazer a remoção do cobrimento de concreto com o objetivo de expor a armadura de aço. Essa exposição deve ser realizada de forma a tornar possível a fixação dos conectores terminais dos cabos de ensaio. Antes de conectar estes cabos, limpar o aço para garantir o melhor contato elétrico possível. A Figura F.1 mostra um esquema de medição.

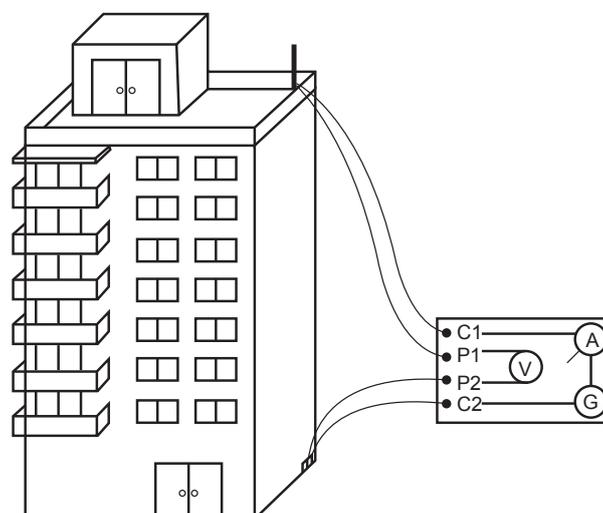


Figura F.1 – Método de medição



A medição deve ser realizada com aparelhos que forneçam corrente elétrica entre 1A e 10A, com frequência diferente de 60 Hz e seus múltiplos. Importante notar que a corrente utilizada deve ser suficiente para garantir precisão no resultado sem danificar as armaduras.

No caso da primeira verificação, pode-se admitir que a continuidade das armaduras é aceitável, se os valores medidos para trechos semelhantes forem da mesma ordem de grandeza e inferiores a 1 Ω .

F.3 Procedimento para verificação final

A verificação final deve ser realizada nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas que utilizam componentes naturais nas descidas, após a conclusão da instalação do sistema. A medição da resistência deve ser realizada entre a parte mais alta do subsistema de captação e o de aterramento, preferencialmente no BEP. O valor máximo permitido para o ensaio de resistência nesse trecho é de 0,2 Ω .

F.4 Aparelhagem de medição

O instrumento adequado para medir a continuidade deve injetar corrente elétrica entre 1 A e 10 A, com frequência diferente de 60 Hz e seus múltiplos, entre os pontos extremos da armadura sob ensaio, sendo capaz de, ao mesmo tempo que injeta essa corrente, medir a queda de tensão entre esses pontos. A resistência ôhmica obtida na verificação da continuidade é calculada dividindo-se a tensão medida pela corrente injetada.

Considerando que o afastamento dos pontos onde se faz a injeção de corrente pode ser de várias dezenas de metros, o sistema de medida deve utilizar a configuração de quatro fios, sendo dois para corrente e dois para potencial (conforme Figura F.1), evitando assim o erro provocado pela resistência própria dos cabos de ensaio e de seus respectivos contatos. Por exemplo, podem ser utilizados miliohmímetros ou micro-ohmímetros de quatro terminais, em escalas cuja corrente atenda às exigências anteriormente prescritas.

Não é admissível a utilização de multímetro convencional na função de ohmímetro, pois a corrente que este instrumento injeta no circuito é insuficiente para obter resultados estáveis e confiáveis.

Conexões entre partes do sistema

Uma vez constatada, na verificação inicial, a continuidade dos pilares ensaiados, a conexão entre o subsistema de captação e as armaduras devem ser realizadas com critério.

A quantidade de pilares a serem utilizados no SPDA deve ser calculada da mesma forma que nos projetos tradicionais (descidas para sistemas convencionais), sendo que é recomendável um número de interligações entre o subsistema de captação e os pilares, no mínimo igual ou preferencialmente o dobro da quantidade de descidas calculada, caso a quantidade de pilares permita.

As conexões realizadas dentro dos pilares devem ser feitas de tal forma que garanta um bom contato entre os condutores, uma boa robustez mecânica e térmica, bem como previnam a corrosão. A restauração dos pilares deve ser feita de tal forma que evite penetração de umidade e restabeleça as condições do concreto o mais perto possível de antes da realização da quebra.

Sempre que possível, o projeto da fundação do edifício deve ser analisado no sentido de verificar a viabilidade da sua utilização como subsistema de aterramento.

No caso de se utilizar outro sistema de aterramento, um anel enterrado ao redor da edificação, por exemplo, as conexões entre as armaduras dos pilares e este sistema, devem ser realizadas com os mesmos cuidados descritos anteriormente.



Bibliografia

ABNT NBR 5410, *Instalações elétricas de baixa tensão*

ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios*

ABNT NBR 15749, *Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento*

ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*

IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*

IEC 62561(all parts), *Lightning protection system components (LPSC)*

IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*

IEC/TS 60479 (all parts), *Effects of current on human beings and livestock*

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

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

IEC 61400-24, *Wind turbines – Part 24: Lightning protection*

IEC 61557-4, *Electrical safety in low-voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 4: Resistance of earth connection and equipotential bonding*

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 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*

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*

IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines-Analytical models*. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993



ITU-T Recommendation K.67, *Expected surges on telecommunications and signalling networks due to lightning*

BERGER K., ANDERSON R.B., KRÖNINGER H., *Parameters of lightning flashes*.
CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37

ANDERSON R.B., ERIKSSON A.J., *Lightning parameters for engineering application*.
CIGRE Electra No 69 (1980), p. 65 – 102



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

APRESENTAÇÃO

1) Este Projeto foi elaborado pela Comissão de Estudo de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (CE-03:064.10) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03), nas reuniões de:

23.06.2005	28.07.2005	01.09.2005
27.10.2005	03.11.2005	01.12.2005
02.02.2006	02.03.2006	13.04.2006
04.05.2006	13.06.2006	03.08.2006
05.10.2006	16.11.2006	07.12.2006
09.02.2007	14.03.2007	09.04.2007
10.05.2007	15.06.2007	12.07.2007
17.08.2007	11.10.2007	08.11.2007
14.02.2008	10.04.2008	08.05.2008
12.06.2008	17.07.2008	14.08.2008
11.09.2008	09.10.2008	12.02.2009
19.03.2009	09.04.2009	27.04.2009
04.06.2009	16.07.2009	13.08.2009
03.09.2009	08.10.2009	05.11.2009
10.12.2009	07.08.2010	09.09.2010
25.11.2010	10.03.2011	13.06.2011
03.11.2011	01.12.2011	11.06.2012
02.08.2012	28.02.2013	23.05.2013

- a) Este Projeto, juntamente com os projetos, 03:064.10-100/1 03:064.10-100/2 e 03:064.10-100/3 é previstos para cancelar e substituir a ABNT NBR 5419:2005, quando aprovado, sendo que nesse ínterim a referida norma continua em vigor;



b) Este Projeto é previsto para receber a seguinte numeração após sua aprovação como Norma Brasileira: ABNT NBR 5419-4;

c) Não tem valor normativo.

2) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória;

3) Tomaram parte na sua elaboração:

Participante	Representante
AFEAL	Fabíola Rago
ASSEAG/STDE	Eduardo Vazentini
BANDEIRANTE ENERGIA	Domenico Sávio Santos
ENCONTRE ENGENHARIA	Duilio Moreira Leite
BANDEIRANTE ENERGIA	Paulo S.R. Patrício
BUDGET ENG.	Antonio Carlos Mori
CELESC	Guilherme M.T. Kobayashi
CIA CATAGUAZES	Filipe Rios Penha
CONEXEL	Robinson Zanon Gomes
CONSULTOR AUTÔNOMO	Pedro S. Sumodjo
CONSULTOR AUTÔNOMO	Ricardo Corrêa Verício
COPPERSTEEL BIMETÉLICOS LTDA	João Henrique Zancanela
ELETRIZAR ENGENHARIA	Gilberto M. Falcoski
ELETRO-ESTUDOS ENGENHARIA	Paulo Edmundo da F. Freire
EMBRASTEC	José Marcio Rosa
EMERSON NETWORK POWER	José Cláudio de O. e Silva
EMILIA TAKAGI ENG.	Mauricio Vagner M Torres
EMILIA TAKAGI RIBEIRO	Luiz A Ribeiro
ENG. AUTÔNOMO	João Albino Robles
ERICO	Claudio Ruman
ERICO	Marcelo Lugli
FASTWELD	Rinaldo J. Botelho
FIRTEGE / SINDUSCON	Renato M Oliveira
FISCHMANN ENGENHARIA S/C LTDA	Victor Fischmann



GALENO GOMES ENG.	Galeno Lemos Gomes
GILCO PROTEÇÃO ELÉTRICA	Igídio G.L. Castro
GIULIETTO MODENA ENG. ^a - GUISMO	Jobson Modena
GLOLANI COMERCIAL LTDA	Danilo G Santos
HELLERMANN TITON	Valdir RB Pinto
HINDELET	Levi C. F. da Silva
IEE/USP	Hélio Sueta
IEE/USP	Mário César E.S. Ramos
IFSP - INST FEDERAL DE SP	Mario Sergio Cambraia
INSTRUMENTEC	Renato J Julio
INSTRUMENTEC	Willian Donizete Carvalho
KASCHER ENGENHARIA	Ronaldo Kascher Moreira
LAMBDA CONSULTORIA	Edson Martinho
LPM	Alvaro Marziliak Jr
LPM MONTAGENS INDUSTRIAIS	Pablo E. Pacheco M.
MANHATTAN ELETRONIC	Juan Alexandre Suarez
MASUKI ENGENHARIA	Luiz M. Masuki
MAZENGENHARIA	Willy Wilker B Gomes
MEGABRÁS	Luiz A. Pettoruti
MEGABRÁS	Manuel J. Leibovich
MEMBRO DA CE 64.01	José Rubens A Souza
METRÔ-SP	Victor M.A.S. Vasconcelos
MUNDO ELÉTRICO	Paulo Takeyama
O SETOR ELÉTRICO	Sergio Bogomoltz
OBO BETTERMAMM	Roberto Halway
OBO BETTERMAMM	Solenio Augusto Araujo
OBO BETTERMANN	Sérgio Roberto
PETROBRÁS	Anderson Luiz A. Ribeiro
PETROBRÁS	Renato Gouvea Valk
PLP	Juliano A Pallaro
POLI – USP	Carlos A. F. Sartori
PROCION ENG ^a / ABRASIP	Luiz O. Costi
PROELCO	Antonio R. Panicali



PROTEQSEN	Luiz A. Licurci
RAYCON	Milton Julio Zanluqui
REIS MIRANDA ENG. ^a	Armando P. Reis Miranda
SCHNEIDER ELECTRIC	Luiz Rosendo Tost Gomes
SECOVI-SP	Ronaldo Sá
SESI e SENAI	Alexandre C. Martinez
SINDICEL	Eduardo Daniel
SINDUSCON / SECOVI	Cláudio J. Goldstein
SOTA CONSULTORIA	Carlos Alberto Sotille
ST&SC SERVIÇOS TÉCNICOS LTDA	Sérgio T Sobral
TARGET ENG	Cristiano Ferraz de Paiva
TERMOTÉCNICA	José Barbosa de Oliveira
TERMOTÉCNICA	Normando V. B. Alves
THEKA DO BRASIL	Marius B. Rebuzzi
VALE S.A.	Pedro Resende Coelho
VBM. PROJ. ASSEC. INSTALAÇÕES	Ariovaldo da S. Martins



Proteção contra descargas atmosféricas

Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

Lightning protection

Part 4: Electrical and electronic systems within structures

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 XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX, com o número de Projeto 03:064.10-100/4.

As ABNT NBR 5419-1 (Projeto 03:064.10-100/1), ABNT NBR 5419-2 (Projeto 03:064.10-100/2), ABNT NBR 5419-3 (Projeto 03:064.10-100/3) e ABNT NBR 5419-4 (Projeto 03:064.10-100/4) cancelam e substituem a ABNT NBR 5419:2005.

A aplicação da ABNT NBR 5419 não dispensa o respeito aos regulamentos de órgãos públicos aos quais a instalação deve satisfazer.

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 no PN 03:064.10-100/1.

- 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*.

O PN 03:064.10-100/3 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 o PN 03:064.10-100/3 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, *Instalações elétricas de baixa tensão*

ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*

ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios*

PN 03:064.10-100/1, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais*

PN 03:064.10-100/2, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 2: Gerenciamento de risco*

PN 03:064.10-100/3, *Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida*

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*

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 61000-4-9, *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 – Basic EMC Publication*

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

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

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 no tipo 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 UOC 1,2/50 μ s e a corrente de curto circuito ISC 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

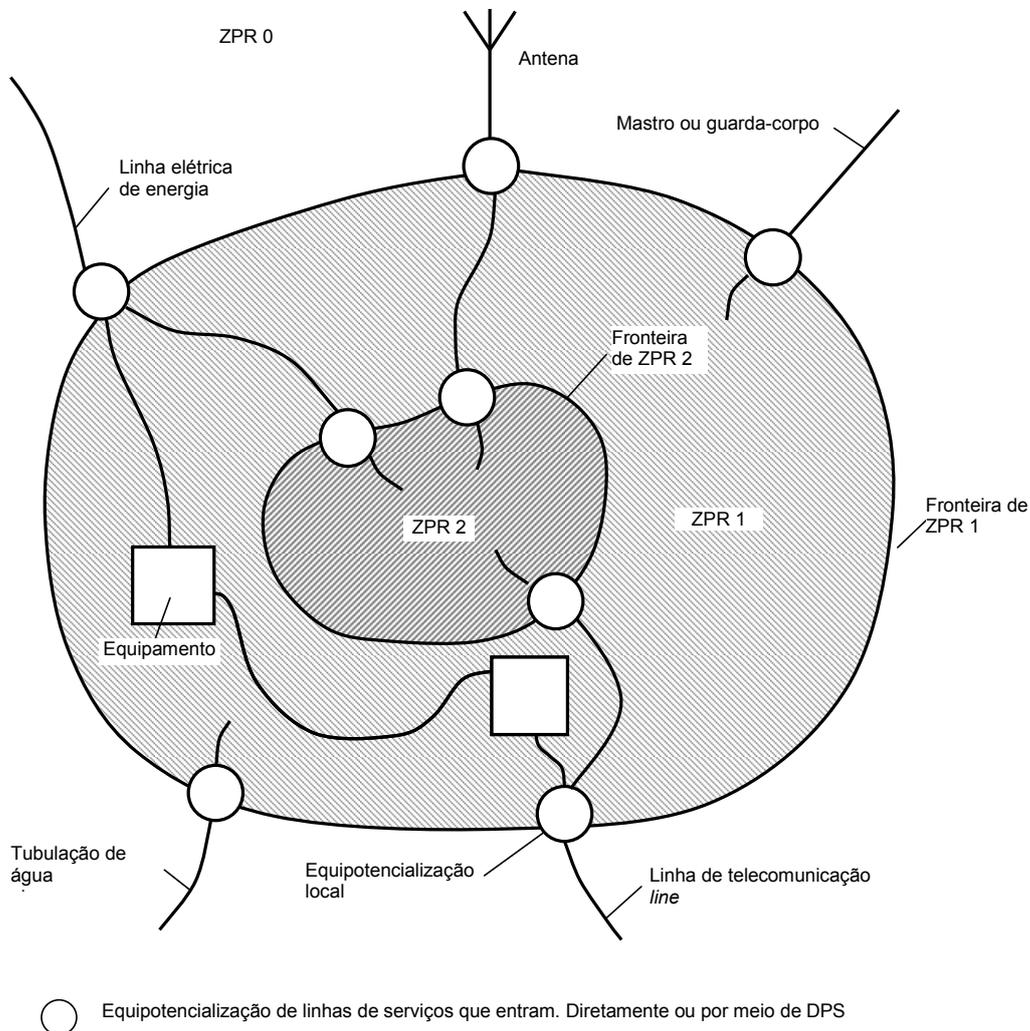
NOTA Rigorosamente, equipotencialização é um conceito que somente se aplica em corrente contínua ou, de forma aproximada, em baixas frequências. Para as componentes de frequências mais altas das correntes das descargas atmosféricas, algumas das medidas tipicamente empregadas com finalidade de equipotencialização 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 especialmente 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 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.

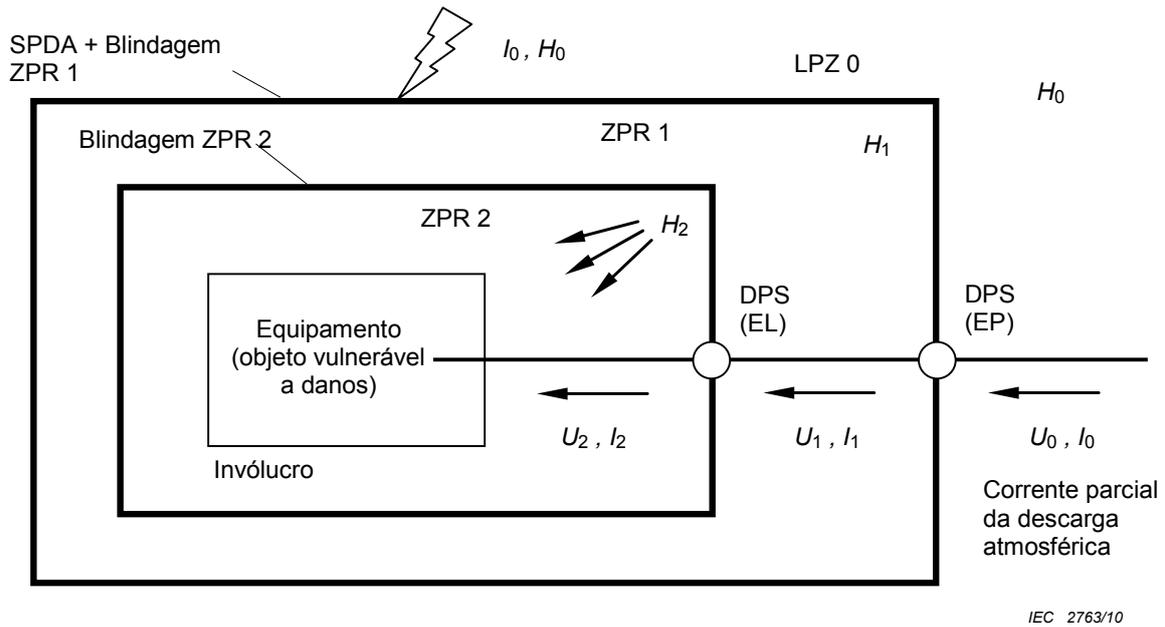
A proteção contra *LEMP* é baseada no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR): o volume contendo sistemas que devem ser protegidos deve ser dividido em ZPR. Estas zonas são teoricamente associadas à parte do espaço (ou de um sistema interno) onde a severidade do *LEMP* é compatível com a suportabilidade 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 2702/10

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.

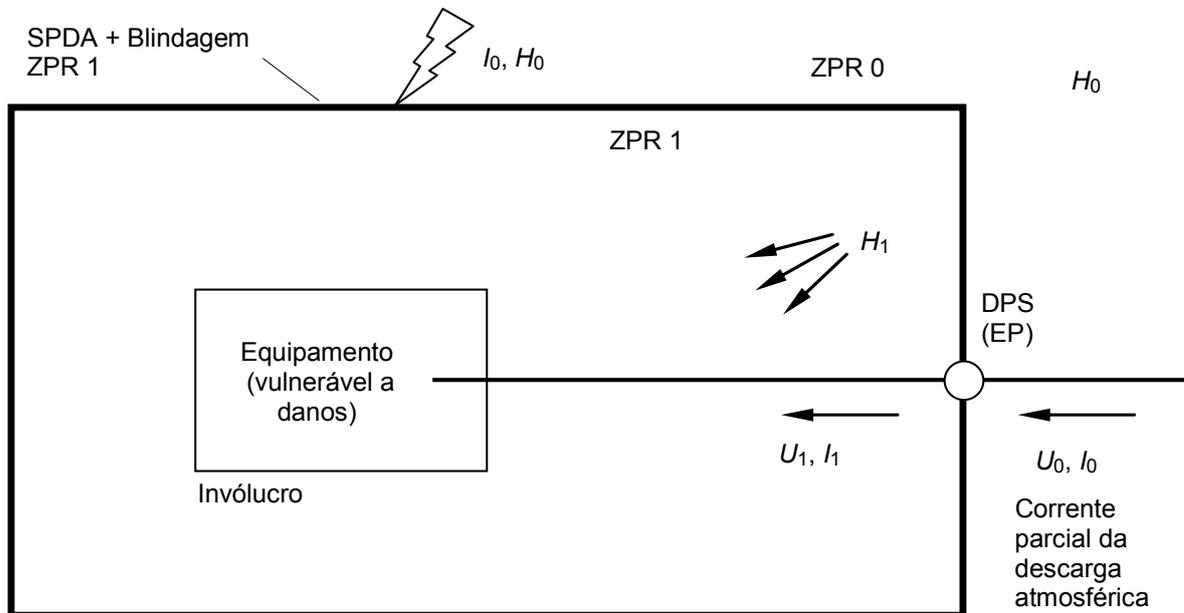
Figura 1 – Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR



Legenda

- EP equipotencialização principal
- EL equipotencialização local

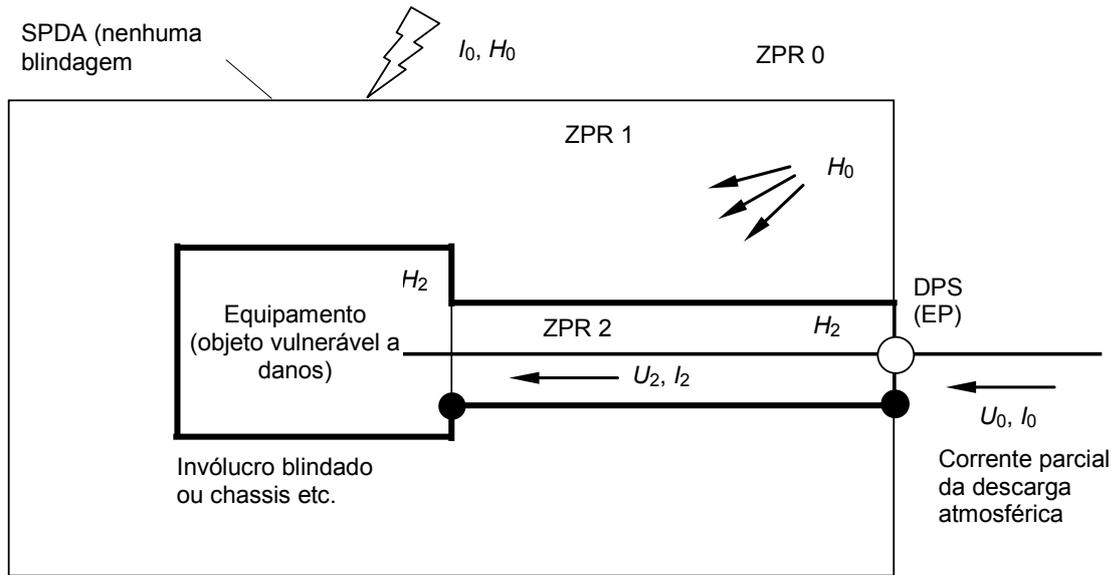
a) MPS usando blindagem espacial e um sistema coordenado de DPS – Equipamentos bem protegidos contra surtos conduzidos ($U_2 \ll U_0$ e $I_2 \ll I_0$) e contra campos magnéticos irradiados ($H_2 \ll H_0$)



Legenda

- EP equipotencialização principal

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

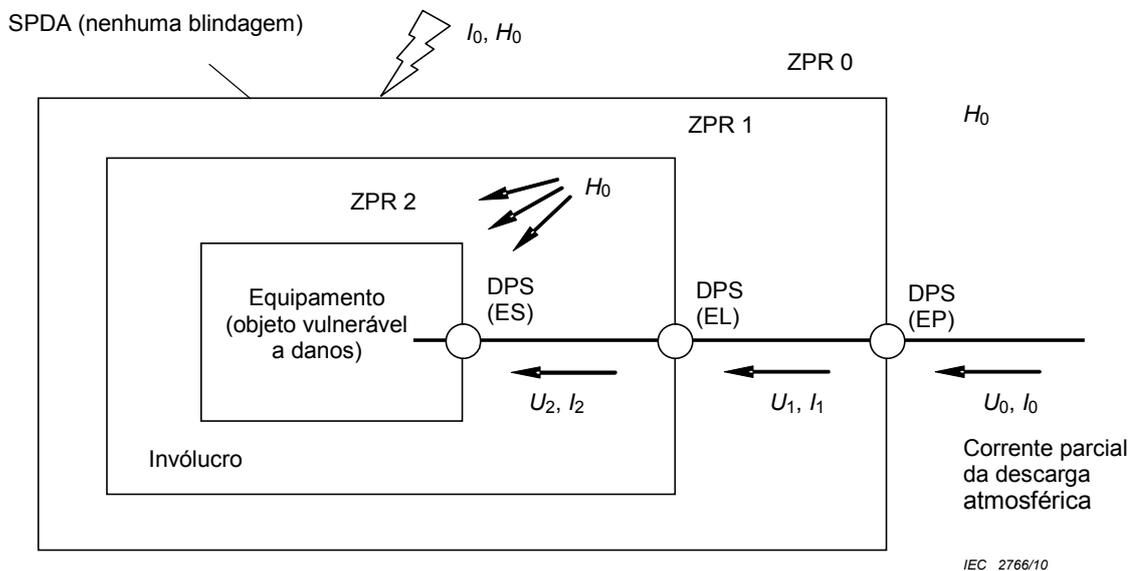


IEC 2765/10

Legenda

EP equipotencialização principal

- c) MPS usando linhas internas blindadas e proteção por meio de DPSs 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).

NOTE 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 um 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 PN 03:064.10-100/3 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 PN 03:064.10-100/1):

4.3.1 Zonas externas:

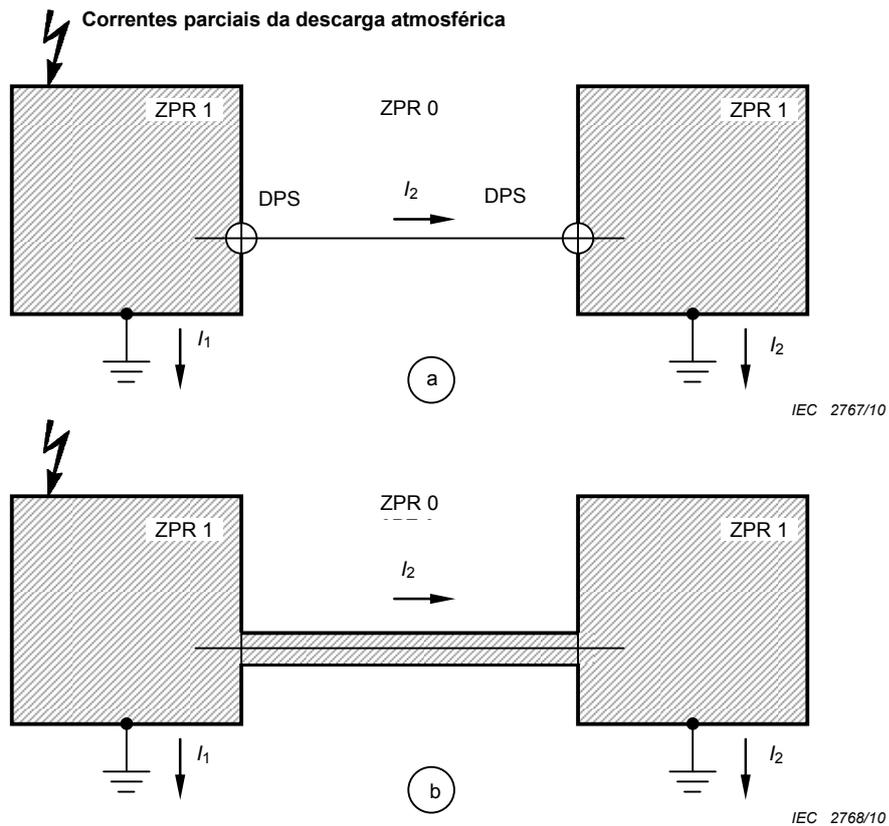
- ZPR 0 zona onde a ameaça é devido a não atenuação do campo eletromagnético da descarga atmosférica e onde os sistemas internos podem ser sujeitos às correntes de surto totais ou parciais. A ZPR 0 é subdividida em:
 - ZPR 0_A zona onde a ameaça é devido à descarga atmosférica direta e a totalidade do campo eletromagnético gerado por esta descarga. Os sistemas internos podem estar sujeitos à totalidade da corrente de surto;
 - 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):

- 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;
- 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 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 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

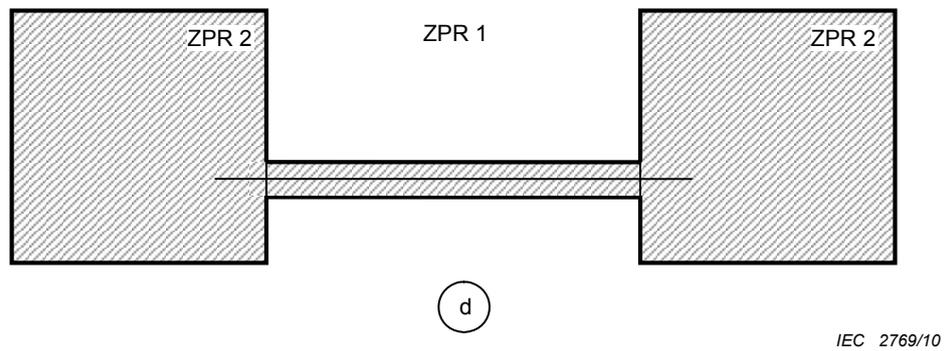
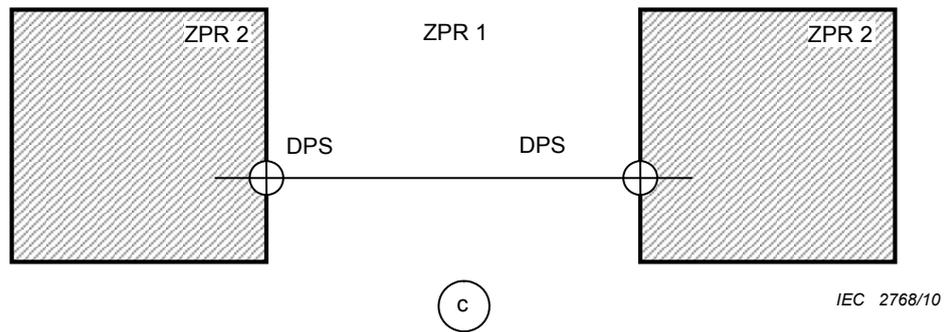
I_1, I_2 Correntes parciais da descarga atmosférica.

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.

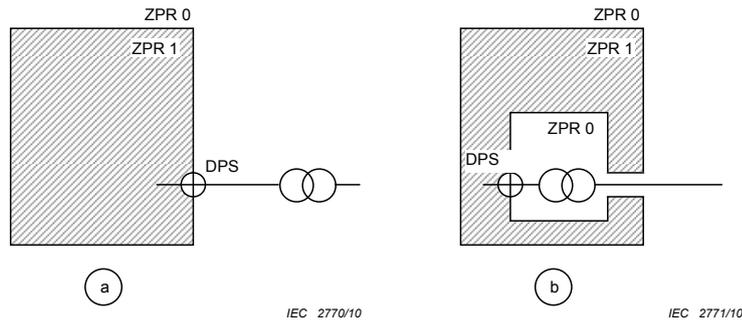
NOTA A Figura 3-d) mostra que tais interferências podem ser evitadas e os DPS podem ser omitidos, se cabos ou dutos blindados forem utilizados para interligar ambas ZPR 2.

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.



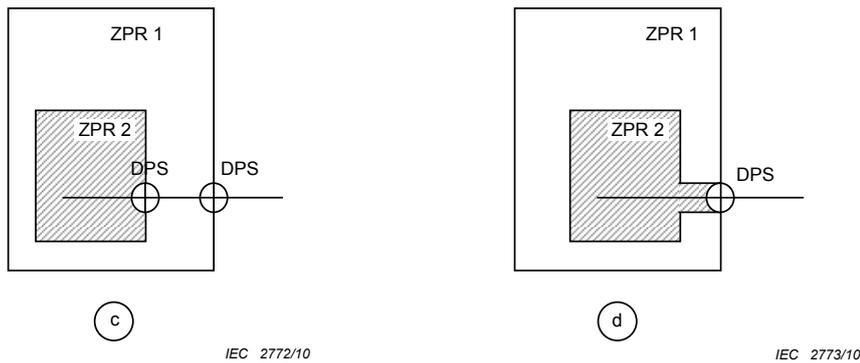
NOTA Figura 4-a) mostra uma estrutura alimentada por um transformador. Se o transformador é localizado fora da estrutura, somente a linha de baixa tensão entrando na estrutura requer proteção por meio de um DPS.

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 1 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 PN 03:064.10-100/2, 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 2 Ligações equipotenciais de acordo com o PN 03:064.10-100/3 protege apenas contra centelhamentos perigosos. A proteção contra surtos de sistemas internos requer uma coordenação de DPS de acordo com esta Norma.

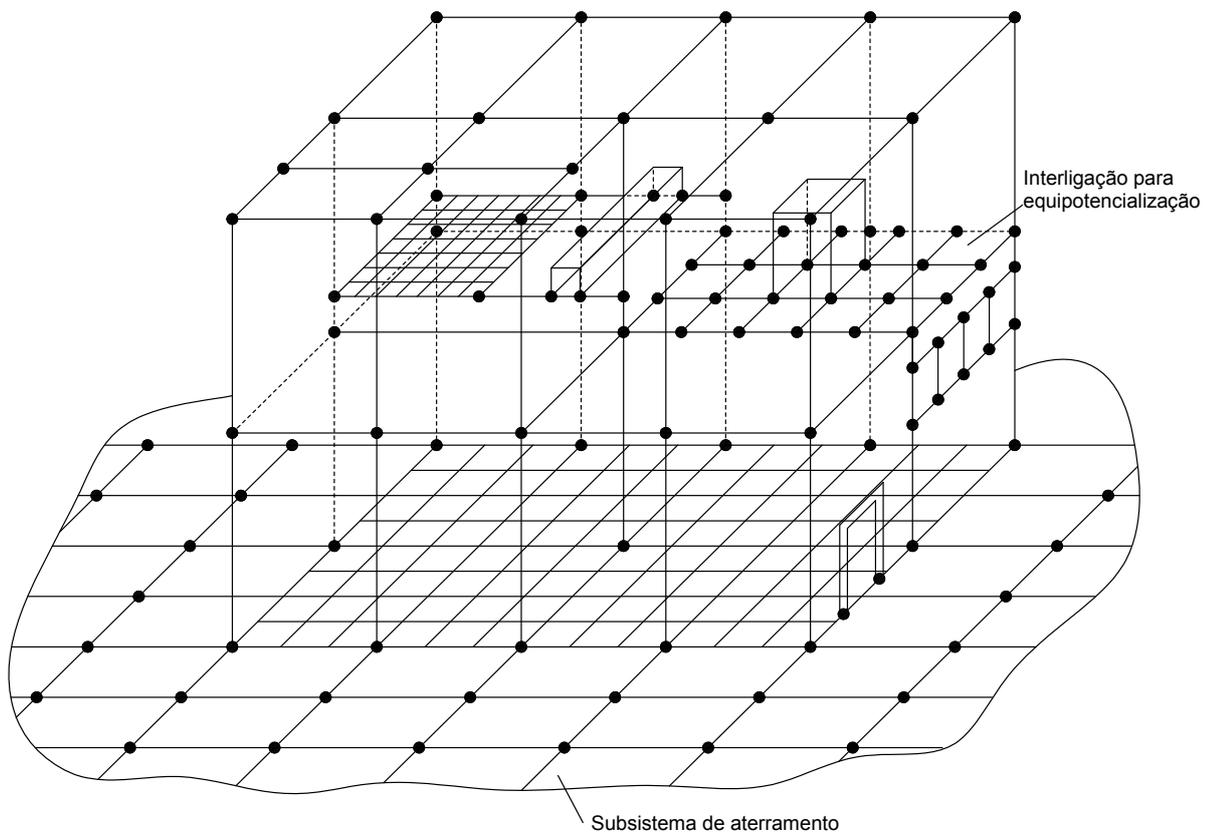
NOTA 3 Informações adicionais sobre a implementação de MPS podem ser obtidas na ABNT NBR 5410.

5 Aterramento e equipotencialização

5.1 Princípios gerais

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

- o subsistema de aterramento (dispersando as correntes da descarga atmosférica no solo), e
- a malha de equipotencialização (minimizando as diferenças de potencial e reduzindo o campo magnético).



IEC 2774/10

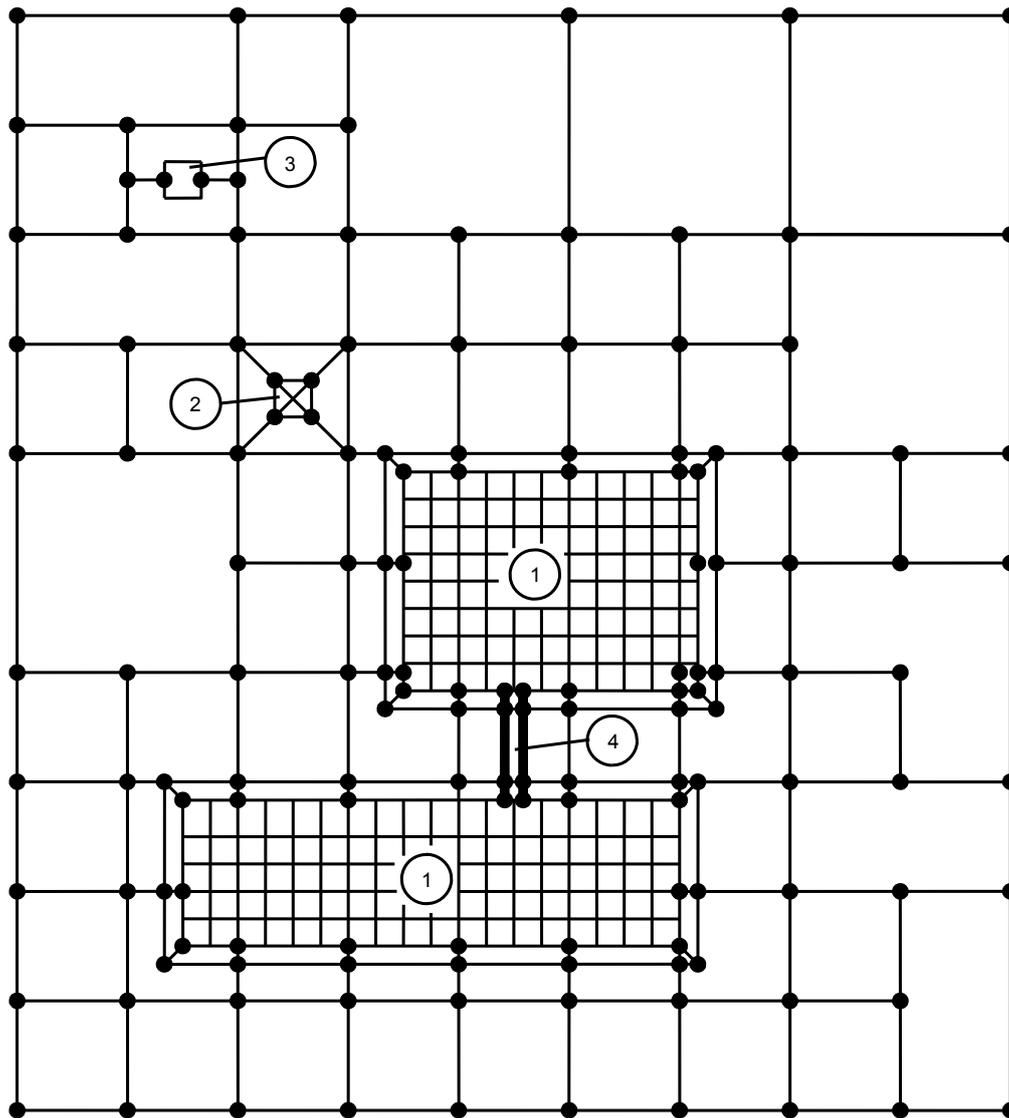
NOTA Todos os condutores desenhados são elementos metálicos estruturais equipotencializados ou condutores de equipotencialização. Alguns deles podem servir para interceptar, conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica para a terra.

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 ao PN 03:064.10-100/3.

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 em grade (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.

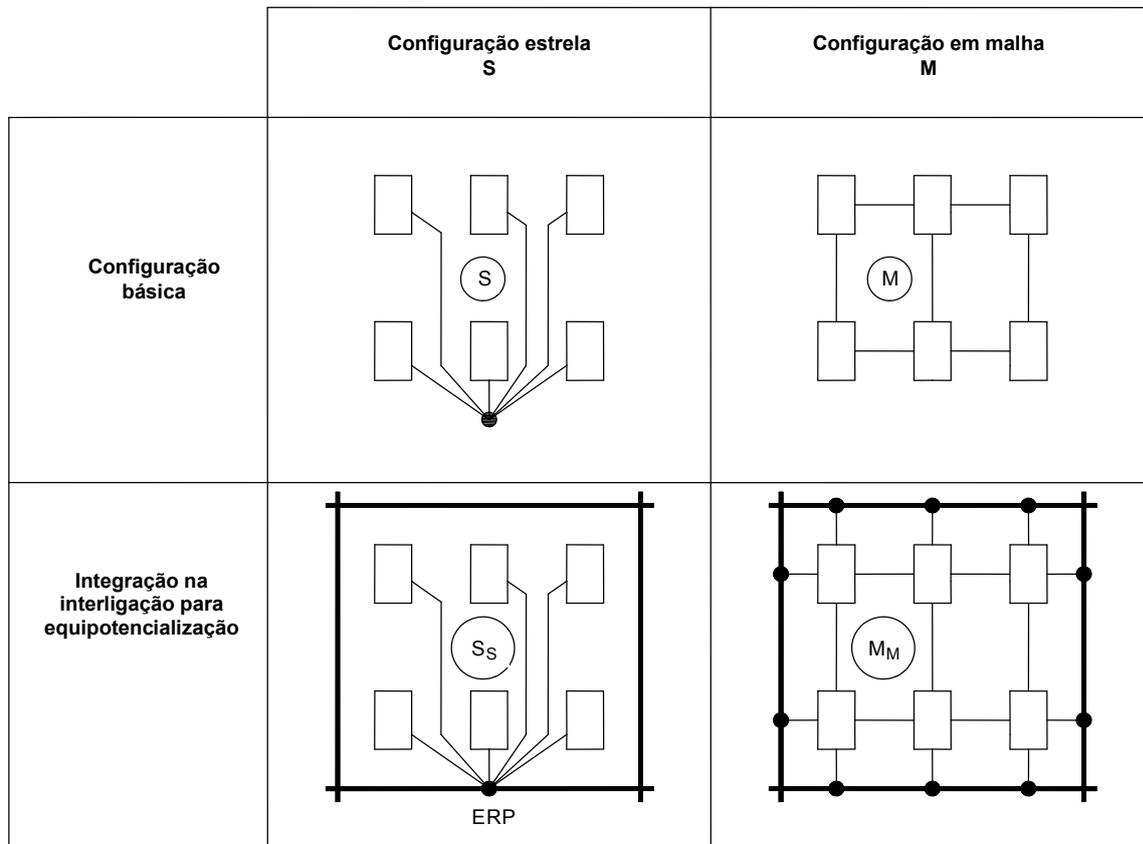
5.3 Ligação equipotencial

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

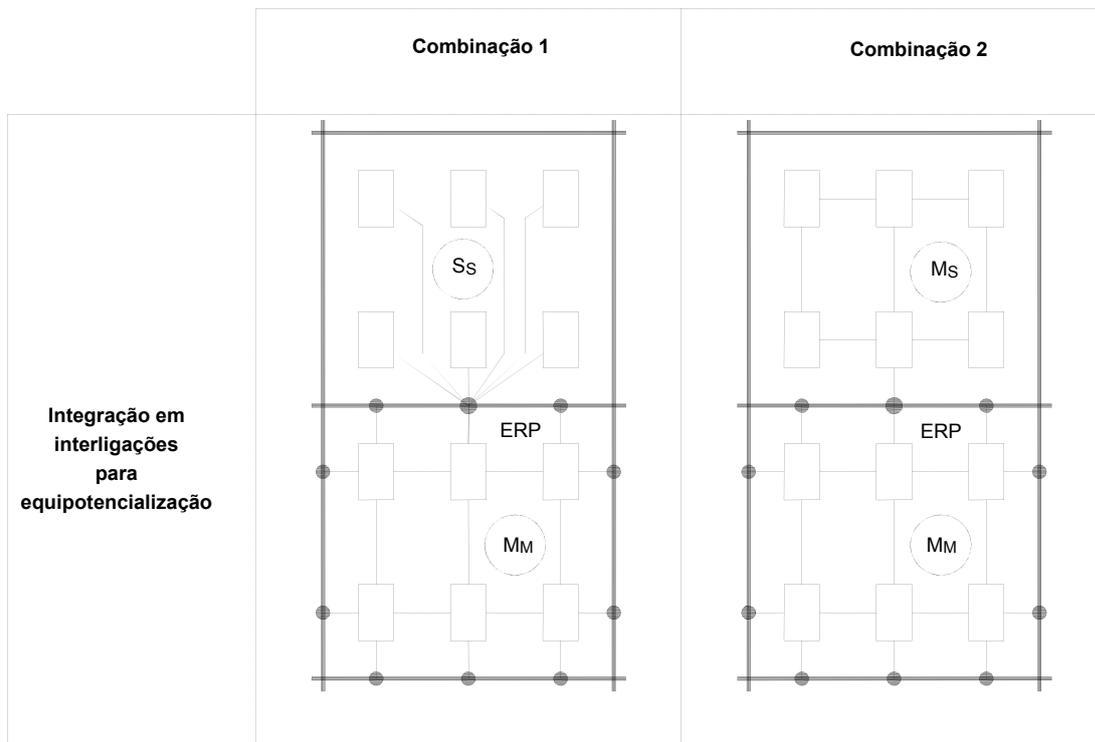
- barra para equipotencialização
- condutor para equipotencialização
- equipamento
- ponto de conexão para interligação para equipotencialização
- ERP ponto de referência para o sistema de aterramento
- S_s configuração em estrela, integrada em um ponto “estrela”
- M_M configuração em malha integrada 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 podem 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 para cabos metálicos 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 ao PN 03:064.10-100/3. 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 PN 03:064.10-100/1) e a análise da divisão das correntes (ver PN 03:064.10-100/3).

DPS devem ser dimensionados de acordo com a Seção 7.

Tabela 1 – Seção transversal mínima para componentes da equipotencialização

Componentes da equipotencialização		Material ^a	Seção transversal ^b mm ²
Barras de equipotencialização		Cobre	e
Condutores para conexão de barras de equipotencialização para o subsistema de aterramento		Cobre	50
		Aço	80
Condutores para conexão entre barras de equipotencialização (conduzindo a totalidade ou uma parte significativa da corrente da descarga atmosférica)		Cobre	16
		Aluminio	25
		Aço	50
Condutores para conexão de partes metálicas internas da instalação para as barras de equipotencialização (conduzindo uma parcela da corrente de raio)		Cobre	6
		Aluminio	10
		Aço	16
Condutores de aterramento para os DPS (conduzindo a totalidade ou parte significativa da corrente da descarga atmosférica) ^c	Tipo I	Cobre	16
	Tipo II		6
	Tipo III		2,5
	Outros DPS ^d		1

^a Outros materiais utilizados devem ter seção transversal assegurando resistência mecânica e condutância equivalentes.
^b Retirado pela CE.
^c Para DPS usados em aplicações de energia, informações adicionais de condutores para conexão são fornecidas em ABNT NBR 5410:2004, 6.3.5.
^d Incluindo DPS usados em sistemas de sinal.
^e A barra de equipotencialização deve ser constituída de uma barra chata de cobre nu, de largura maior ou igual a 25 mm, espessura maior ou igual a 3 mm e comprimento suficiente para suportar o número de conexões.



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 PN 03:064.10-100/3).

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. Reequações 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 do PN 03:064.10-100/3 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 ao PN 03:064.10-100/3, Tabela 3;
- b) os desenhos das blindagens em forma de grade e a seção transversal mínima dos seus condutores, devem atender ao PN 03:064.10-100/3, 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 do PN 03:064.10-100/3, Tabelas 3 e 6:

- a) na fronteira entre as ZPRs_{1e2} ou subsequentes, providenciar que a distância de segurança “s” entre as blindagens magnéticas e o SPDA seja atendida (Ver PN 03:064.10-100/3, 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 ZPR1.
- 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 6164321; 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 no PN 03_064.10-100/1, 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 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:

- as disposições são definidas por um especialista em proteção contra e descargas atmosféricas;
- existe uma boa coordenação entre os diferentes especialistas envolvidos na construção da edificação e nas MPS (por exemplo, engenheiros civil e eletricitista);
- o plano de gerenciamento de 10.2 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 (PN 03:064.10-100/2) 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 no PN 03:064.10-100/1, e as medidas de proteção adotadas, os seguintes passos devem ser adotados:

- fornecimento de um sistema de aterramento, compreendendo uma interligação para equipotencialização e um subsistema de aterramento;
- equipotencialização das partes metálicas externas e linhas metálicas entrando na estrutura ou por meio de DPS;
- 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	Ação a ser empregada
Análise inicial de risco ^a	<p>Checar a necessidade de proteção para <i>LEMP</i></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>

Tabela 2 (continuação)

Etapa	Objetivo	Ação a ser empregada
Instalação de MPS, incluindo a sua supervisão	Qualidade da instalação Documentação Possibilidade de revisão dos desenhos detalhados	Especialista em proteção contra descargas atmosféricas Instalador das MPS Escritório de engenharia Supervisor
Aprovação das MPS	Inspeção e emissão de laudo (relatório) das MPS implantadas	Especialista independente em proteção contra descargas atmosféricas Supervisor
Inspeções periódicas	Confirmação da eficácia das MPS	Especialista em proteção contra descargas atmosféricas Supervisor

^a Ver PN 03:064.10-100/2.
^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:

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

9.3.1.2 Inspeções devem ser feitas:

- durante a instalação das MPS;
- após a instalação das MPS;
- periodicamente;
- após qualquer alteração dos componentes relevantes das MPS;
- 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:

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

NOTA Quando não existem recomendações específicas feitas pelas autoridades pertinentes, são recomendados os valores do PN 03:064.10-100/3, Tabela E.2.



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 kV – 0,5 kV – 1 kV 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

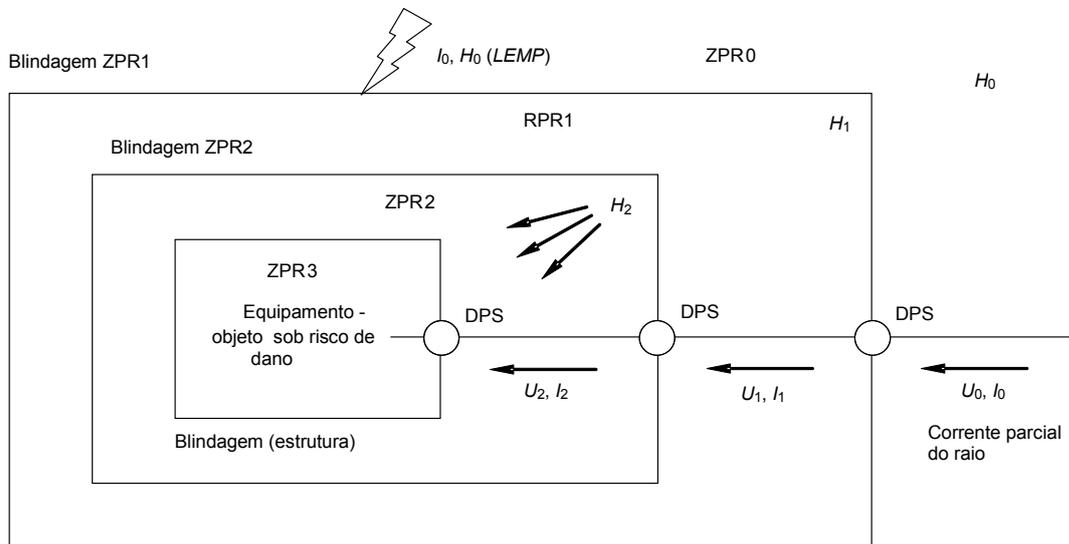
A suportabilidade dos equipamentos deve ser compatível com a fonte de danos. Para alcançar este objetivo, o mecanismo de acoplamento deve ser adequadamente controlado pela correta criação de zonas de proteção contra descargas atmosféricas “raios” (ZPR).

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

1	Fonte primária dos danos, LEMP				
	Como definidas pelos parâmetros de acordo com as NPs I a IV:				
PN 03:064.10-100/1		Impulso μs	Amplitude para NP I – II – III - IV kA	Variação para NP I – II – III - IV kA/ μs	Efeitos relevantes:
	I_0	10/350 1/200 0,25/100	200 – 150 – 100 – 100 100 – 75 – 50 – 50 50 – 37,5 – 25 – 25	20 – 15 – 10 – 10 100 – 75 – 50 – 50 200 – 150 – 100 – 100	Corrente parcial da descarga atmosférica Indução Indução
	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 a IV para tensão nominal 120/208, 127/220, 115–230, 120–240, 127–254				
	ABNT NBR 5410-2004 U_W	Categoria de sobretensão I a IV		4kV – 2,5 kV – 1,5 kV – 0,8kV	
	Como definida para categoria de sobretensão I a IV para tensão nominal 220/380, 230/400, 277/480:				
	ABNT NBR 5410-2004 U_W	Categoria de sobretensão I a IV		6 kV – 4 kV – 2,5 kV – 1,5 kV	
	ABNT NBR 5410-2004	U_W	Categoria de sobretensão I a 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	4kV – 2 kV – 1 kV – 0,5 kV	
		I_{SC}	impulso 8/20 μs	2kVA – 1 kVA – 0,5 kVA – 0,25 kA	
5	Ensaio para equipamentos que não atendem aos 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, $T_P = 10$ μs)	1000 A/m – 300 A/m – 100 A/m	
	IEC 61000-4-10	H	Oscilação amortecida 1 MHz, (impulso 0,2/0,5 μs , $T_P = 0,25$ 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 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 μ s) e um primeiro componente negativo I_{FN} (forma de onda 1/200 μ s) e componentes subsequentes I_S (forma de onda 0,25/100 μ s). 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 μ s. 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 μ s. 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 μ s.

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 da 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 circundante H_2 e a corrente da descarga atmosférica conduzida I_2 e tensão U_2 .

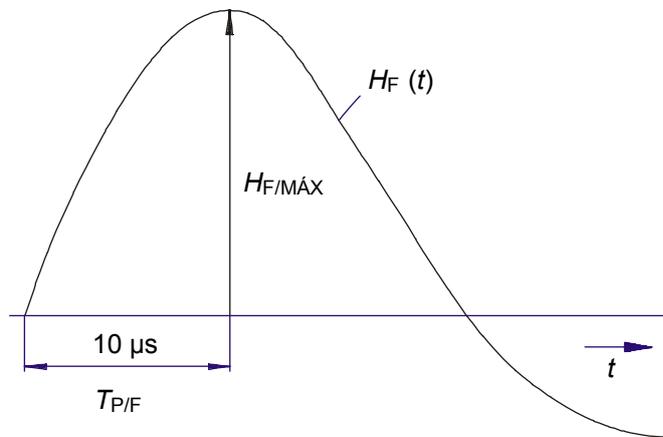
A redução de I_1 para I_2 e de U_1 para U_2 é o assunto do Anexo C, enquanto a redução de H_0 para um valor suficientemente abaixo de H_2 é considerado aqui como a seguir.

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.

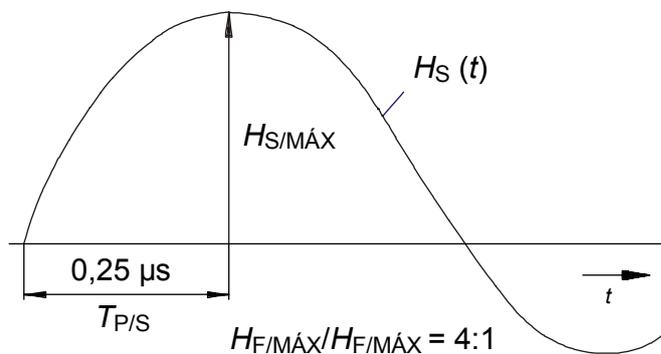
Norma básica: IEC 61000-4-9



IEC 2781/10

- 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



IEC 2782/10

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

NOTA 1 Embora as definições dos tempos para o valor máximo TP e o tempo de frente $T1$ 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

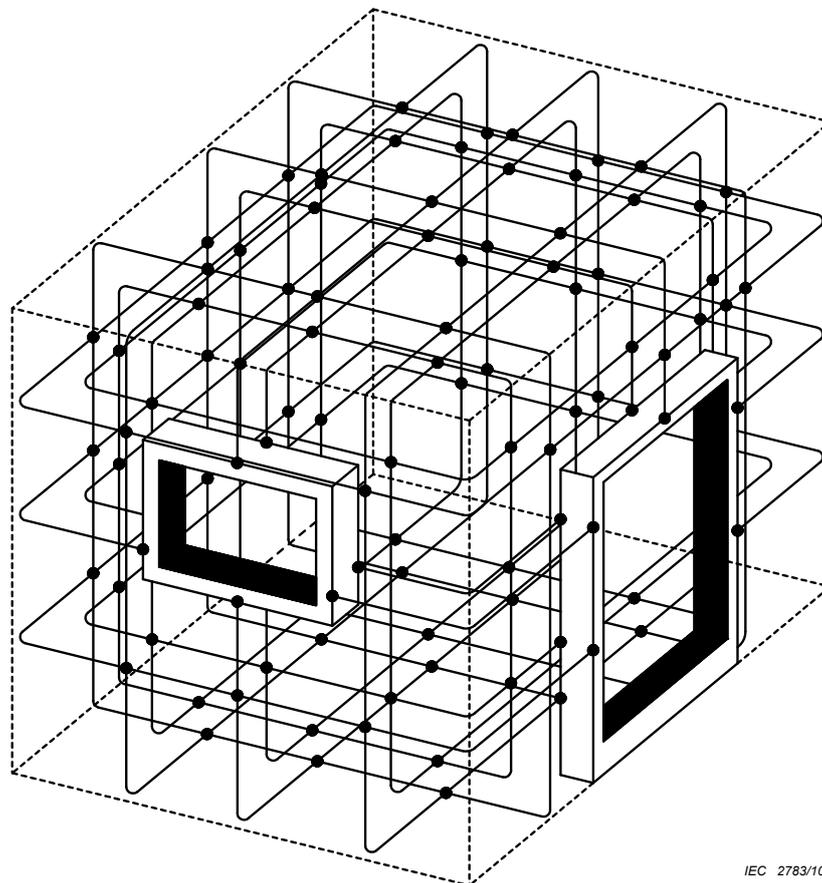
A.3.2 Blindagens espaciais

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 o PN 03:064.10-100/3, 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.



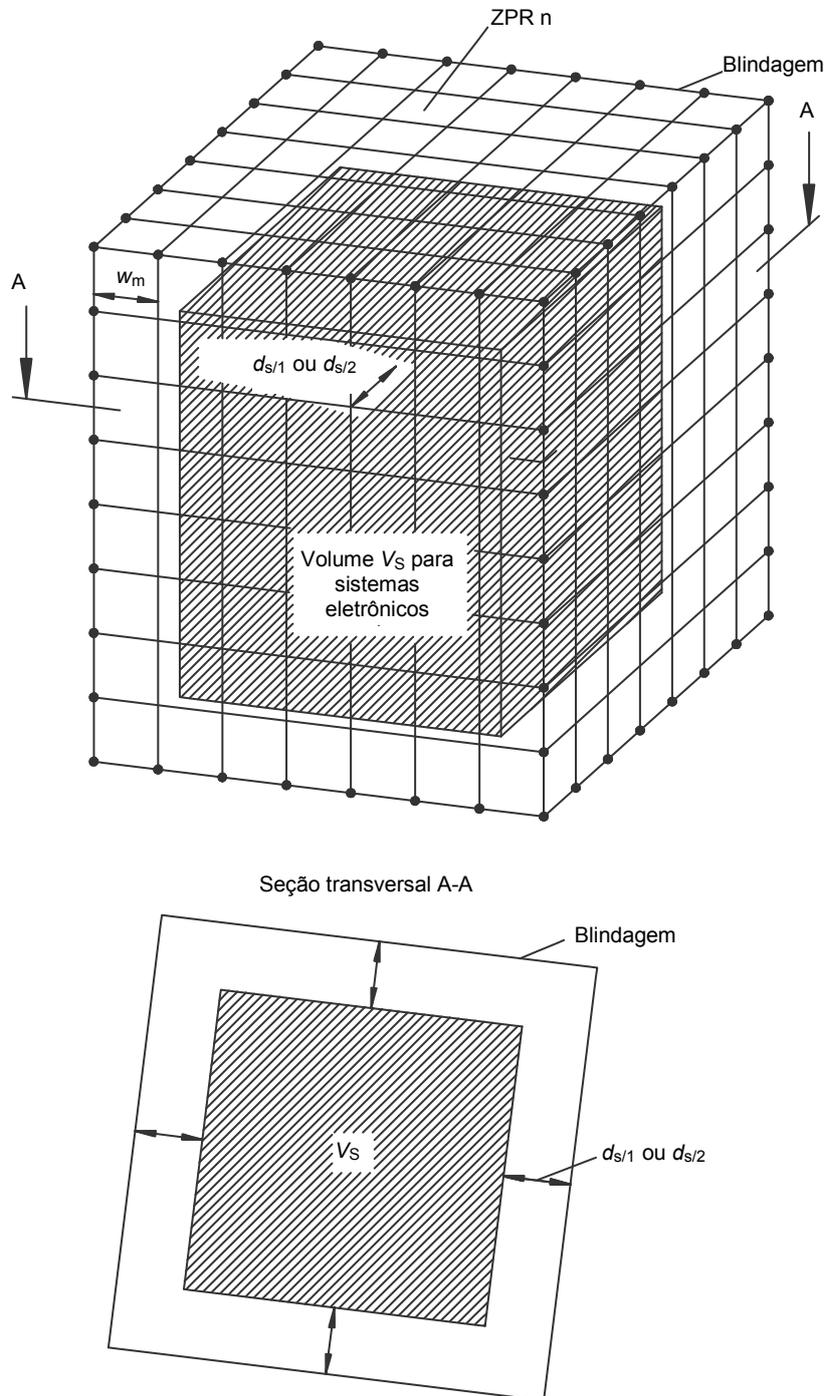
Legenda

- 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).

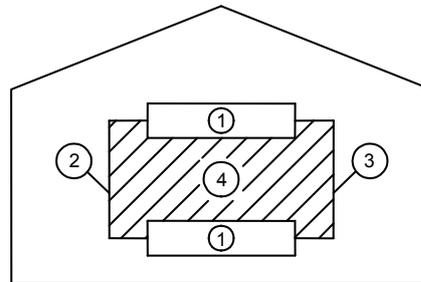
Figura A.4 – Volume para sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma ZPR n interna

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

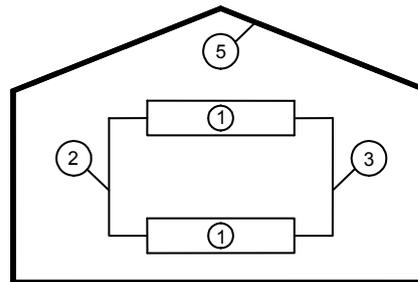


IEC 2785/10

a) Sistema desprotegido

Legenda

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

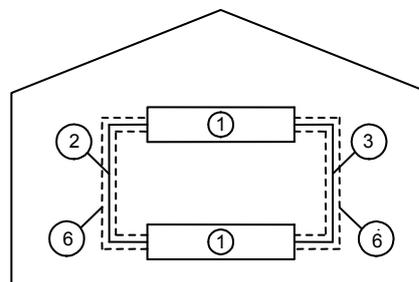


IEC 2786/10

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

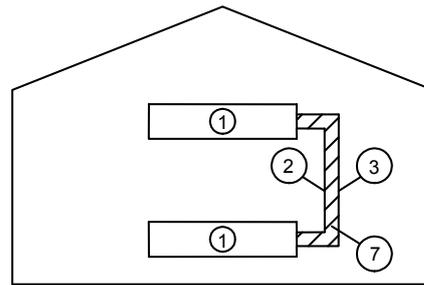


IEC 2787/10

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 uma 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.

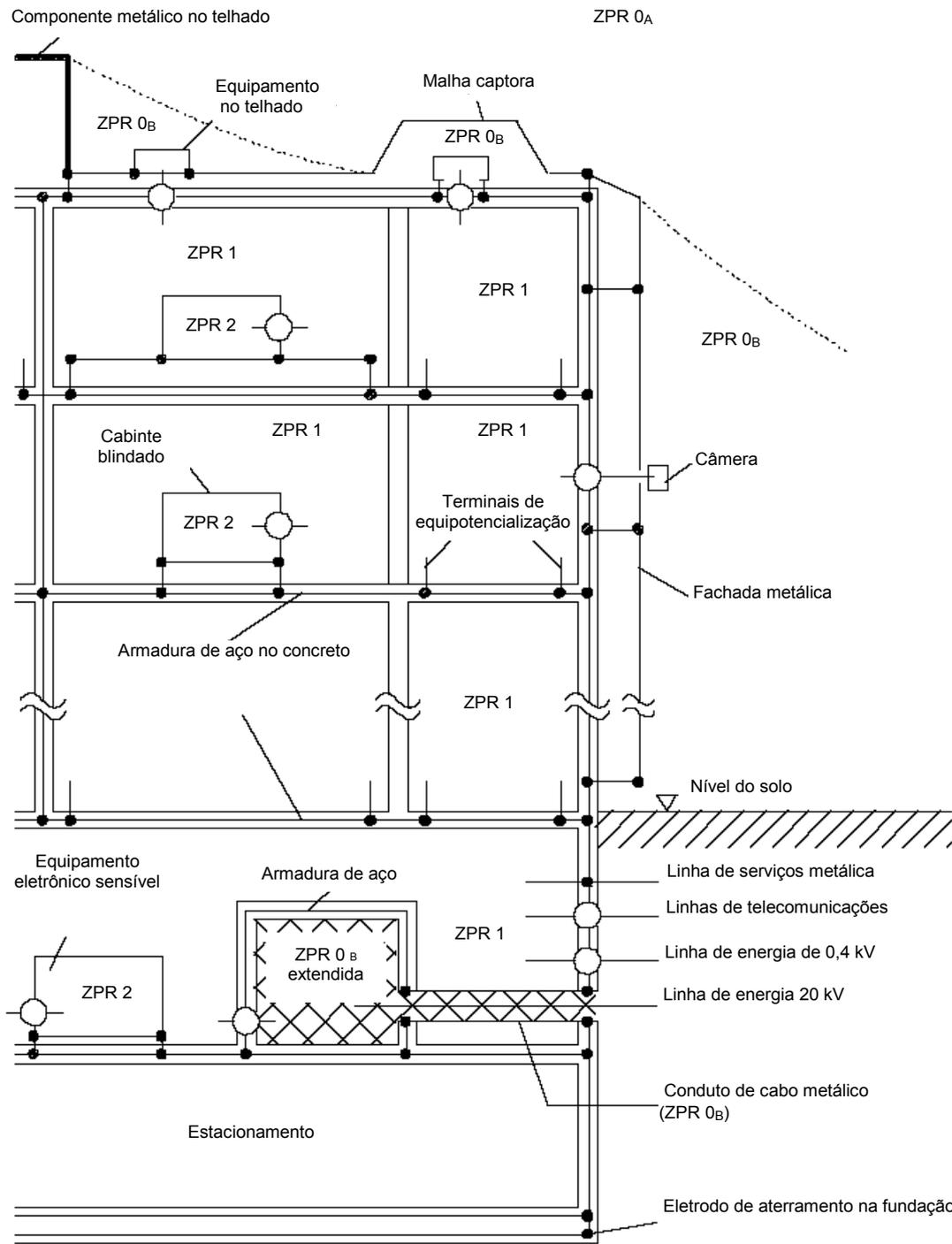
Quando cabos, que correm entre estruturas separadas, necessitam ser protegidos, eles devem ser colocados em dutos metálicos. Estes dutos devem ser equipotencializados nas duas extremidades das barras de equipotencialização das estruturas separadas. Se os cabos forem blindados (equipotencializados em 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.



IEC 2789/10

Legenda

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

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

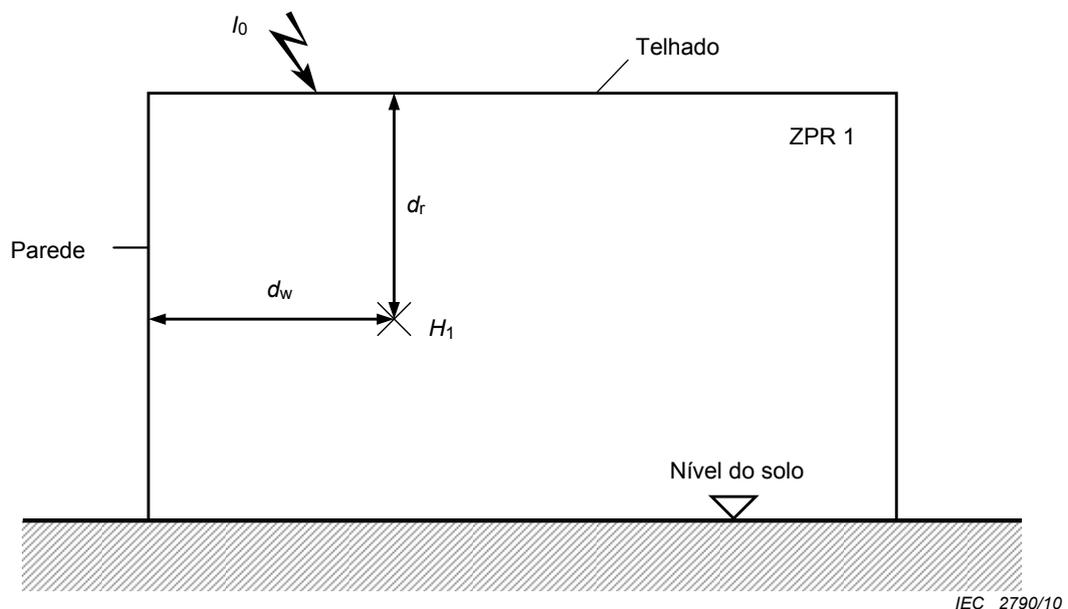
A.4 Campo magnético dentro da ZPR

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 a seguir.

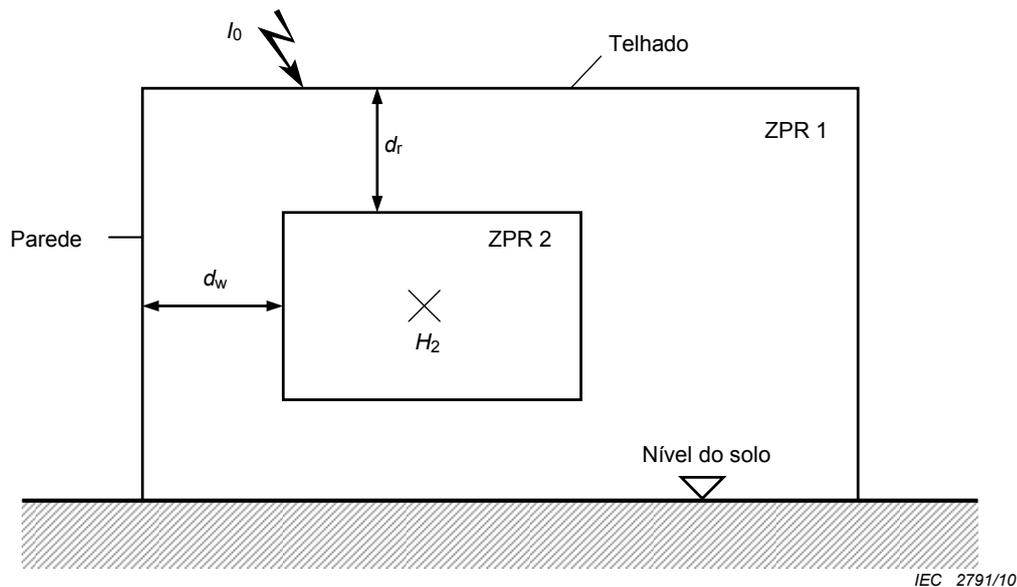
A.4.1.1 Blindagem espacial de ZPR 1 no caso de impacto direto da descarga atmosférica

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 ZPR1, 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 0A;
- 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):

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

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

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 média 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 $I_{0/MÁX} = 100$ 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.

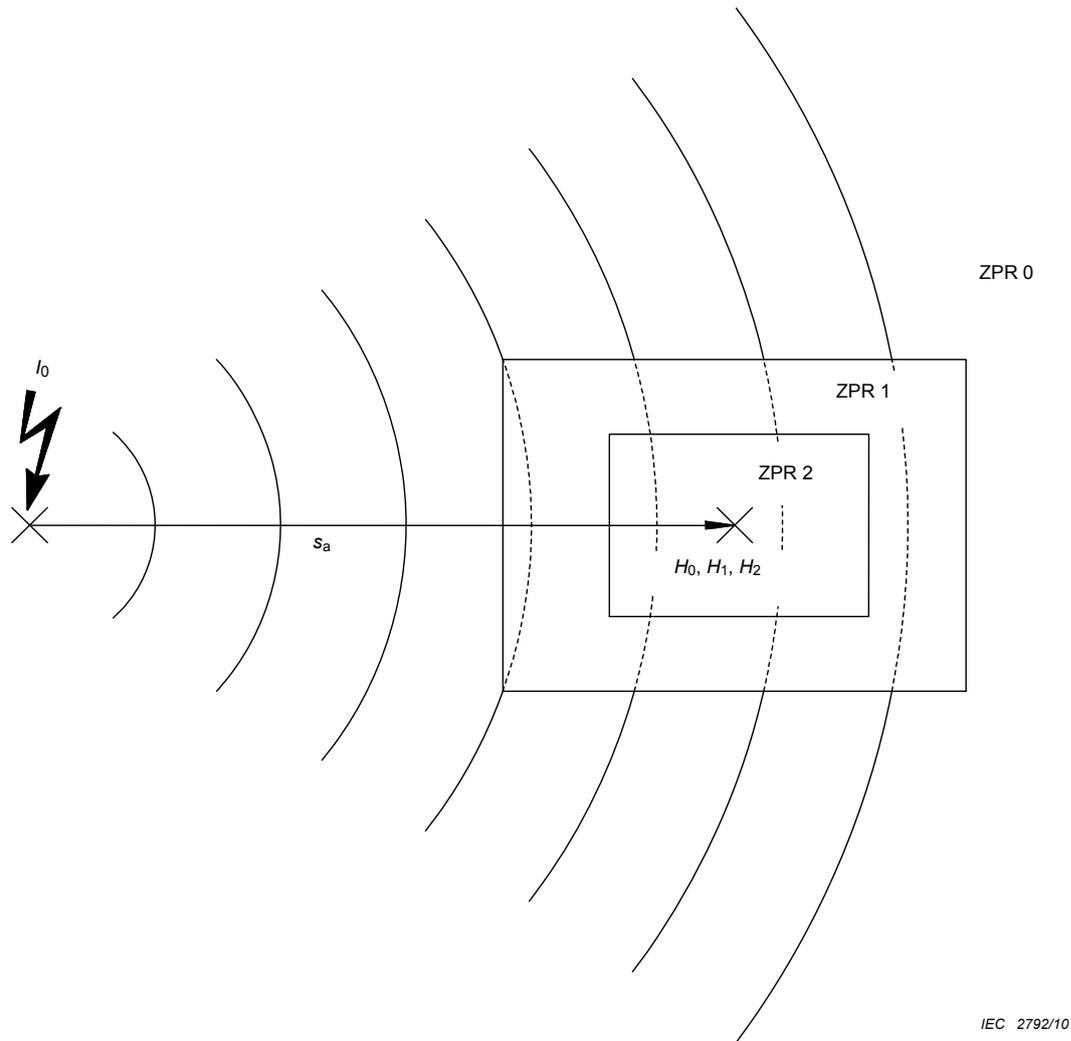


Figura A.8 – Avaliação dos valores do campo magnético no caso do impacto direto de uma descarga atmosférica próxima ao local

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 uma haste 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:

$$H_0 = I_0 / (2 \times \pi \times s_a)(A/m) \quad (A.7)$$

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

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

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

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

onde

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

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

— $I_{S/MÁX}^{(A)}$ é o valor máximo da corrente da descarga atmosférica dos componentes subsequentes 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.

EXEMPLO 1

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).

EXEMPLO 2

A corrente da descarga atmosférica $I_{0/MÁX}$ depende do NP escolhido (ver PN 03:064.10-100/1). 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 sa possível. Como mostrado na Figura A.9, esta distância mínima sa 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 PN 03:064.10-100/1, A.4).

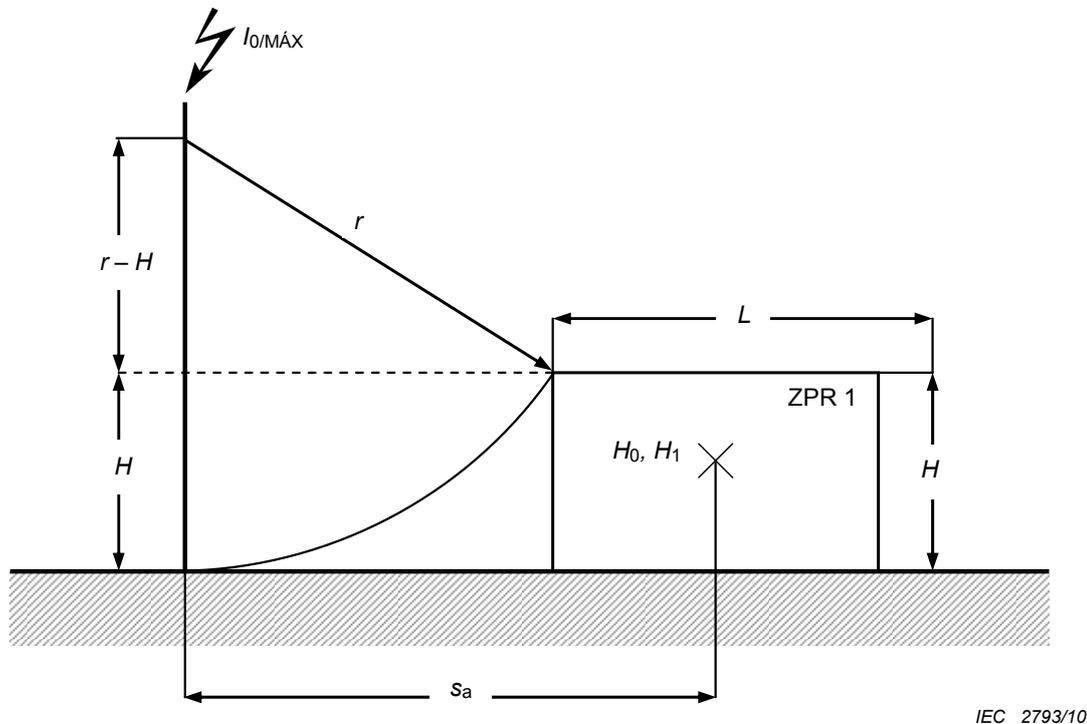


Figura A.9 – Distância s_a dependendo do raio da esfera rolante e das dimensões da estrutura

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. 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 mais altas

Nas blindagens em forma de grade em ZPR 2, e mais altas, 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 LPZ $n + 1$ pode ser avaliada como dada por A.4.1.2 para pontos de impacto próximos da descarga atmosférica:

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

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:

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

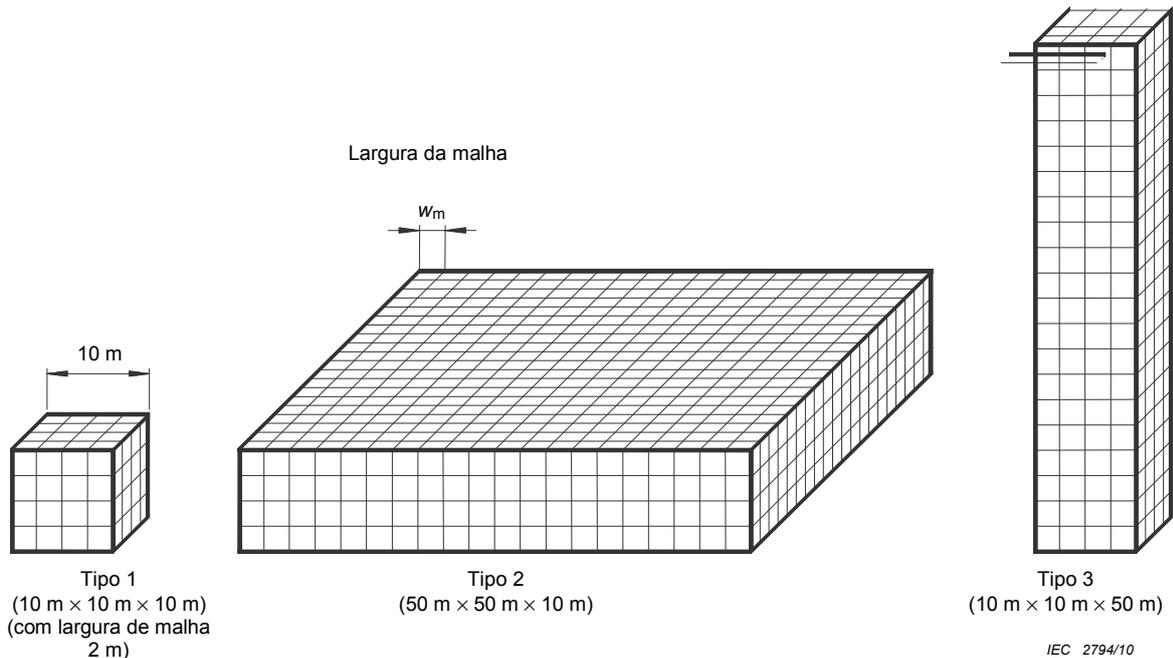


Figura A.10 – Tipos de blindagens em forma de grade

No cálculo, é considerado o acoplamento de todas as hastes dentro da blindagem em forma de grade, incluindo todas as outras hastes 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 da haste 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 transientes.

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

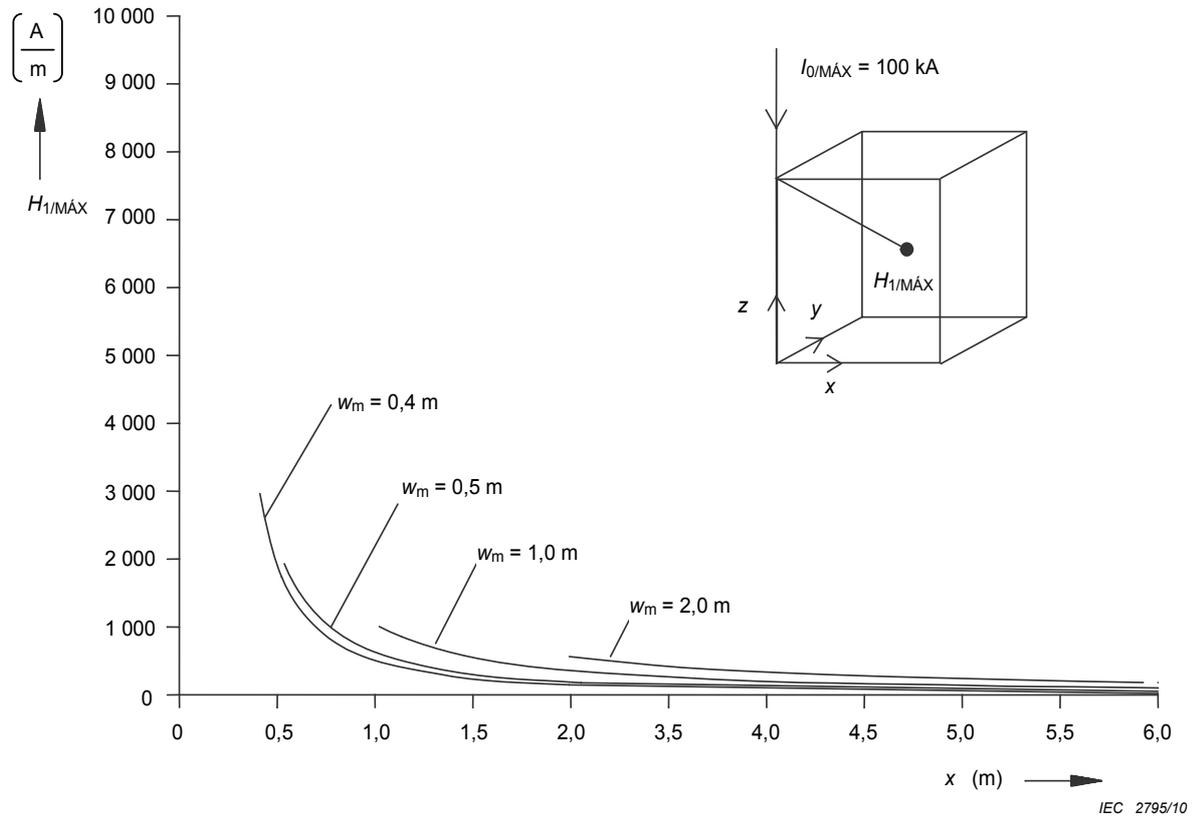


Figura A.11 – Intensidade do campo magnético $H_{1/MAX}$ dentro de uma blindagem em forma de grade tipo 1

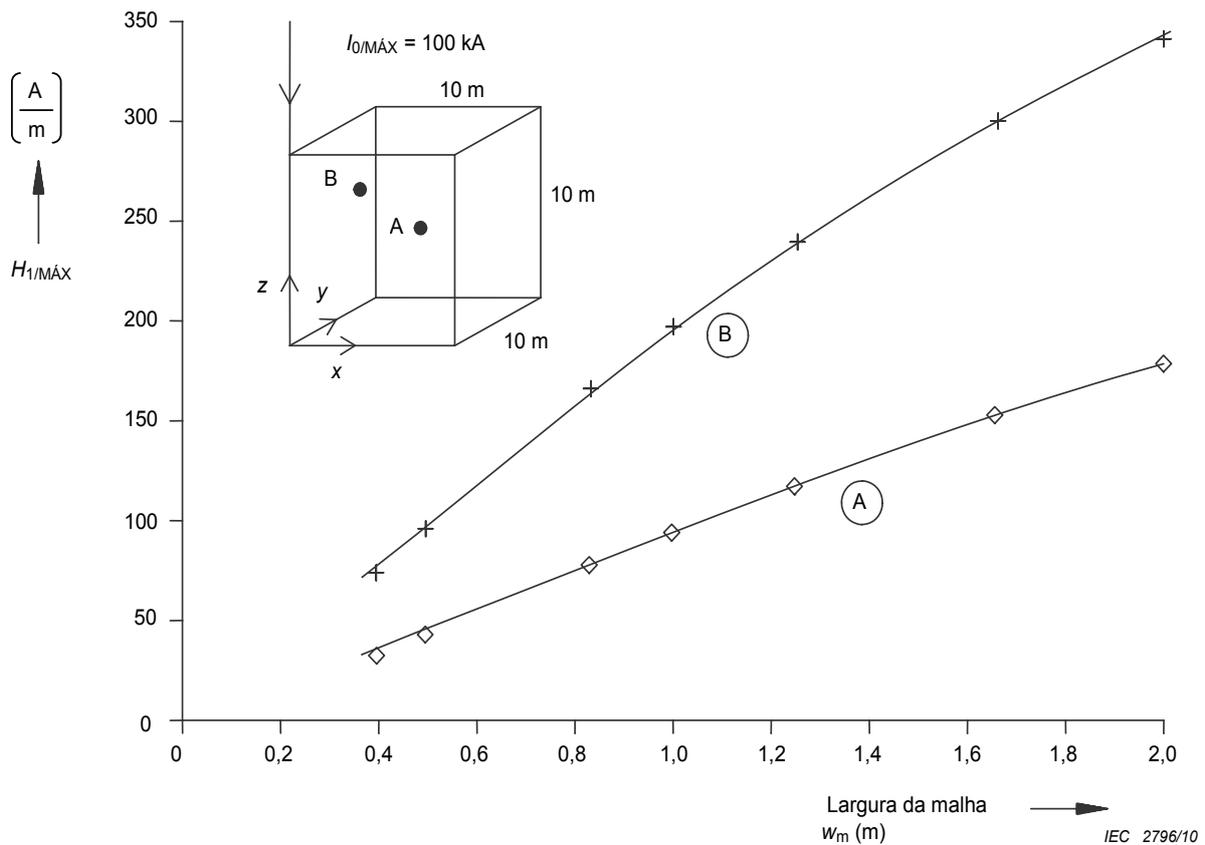


Figura A.12 – Intensidade do campo magnético $H_{1/MAX}$ dentro de uma blindagem em forma de grade tipo 1, de acordo com a largura da malha

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 $I_{0/MAX} = 100$ 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 :

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

Na Figura A.11, $H_{1/MAX}$ é calculado ao longo de uma linha reta começando do ponto de impacto ($x = y = 0$, $z = 10$ m) e terminando no centro do volume ($x = y = 5$ m, $z = 5$ 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.

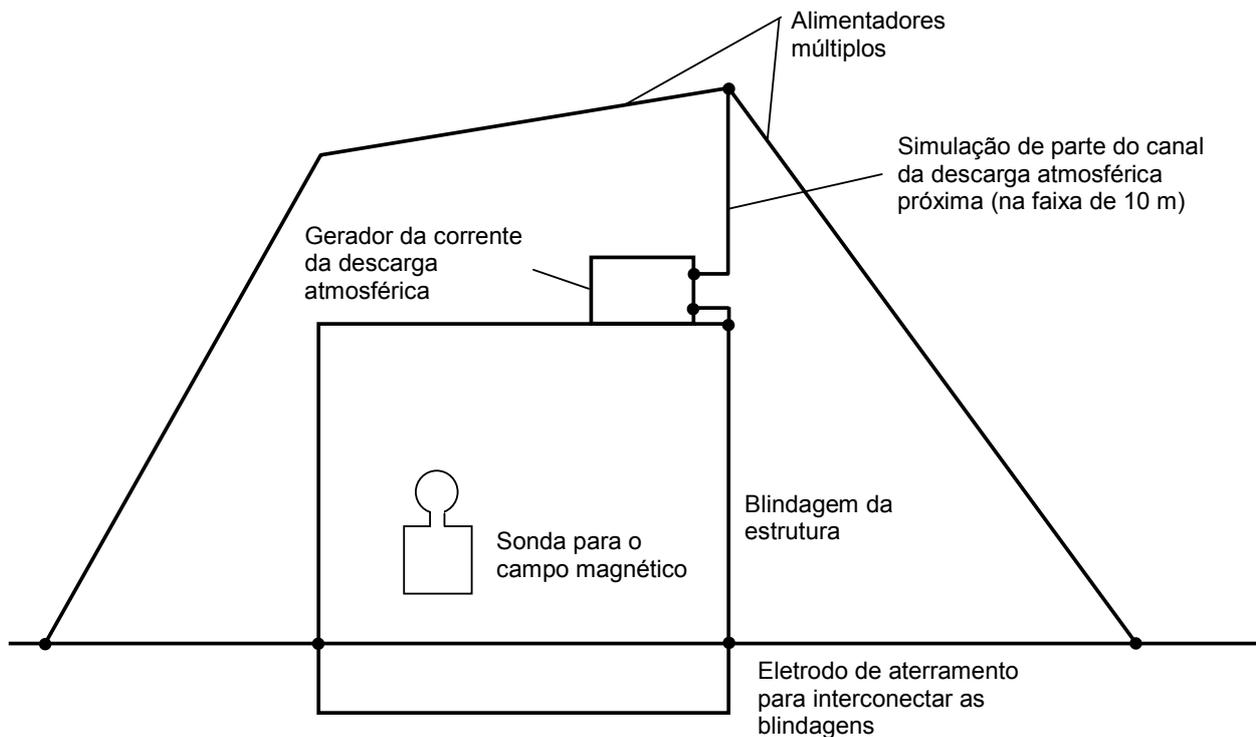
Na Figura A.12, $H_{1/MAX}$ é calculado para dois pontos dentro da blindagem (ponto A: $x = y = 5$ m, $z = 5$ m; ponto B: $x = y = 3$ m, $z = 7$ m). O resultado é plotado como uma função da largura da malha w_m .

Ambas as figuras mostram os efeitos dos principais parâmetros governando 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 o 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.

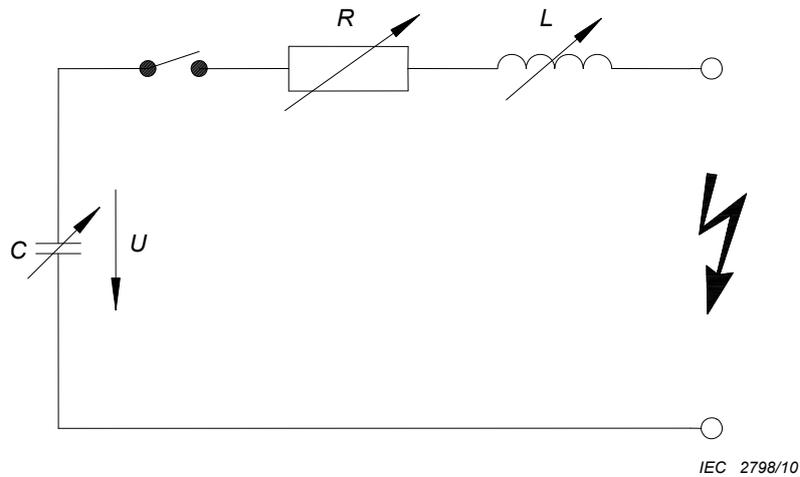
A.4.3 Avaliação experimental do campo magnético devido a uma descarga atmosférica direta

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

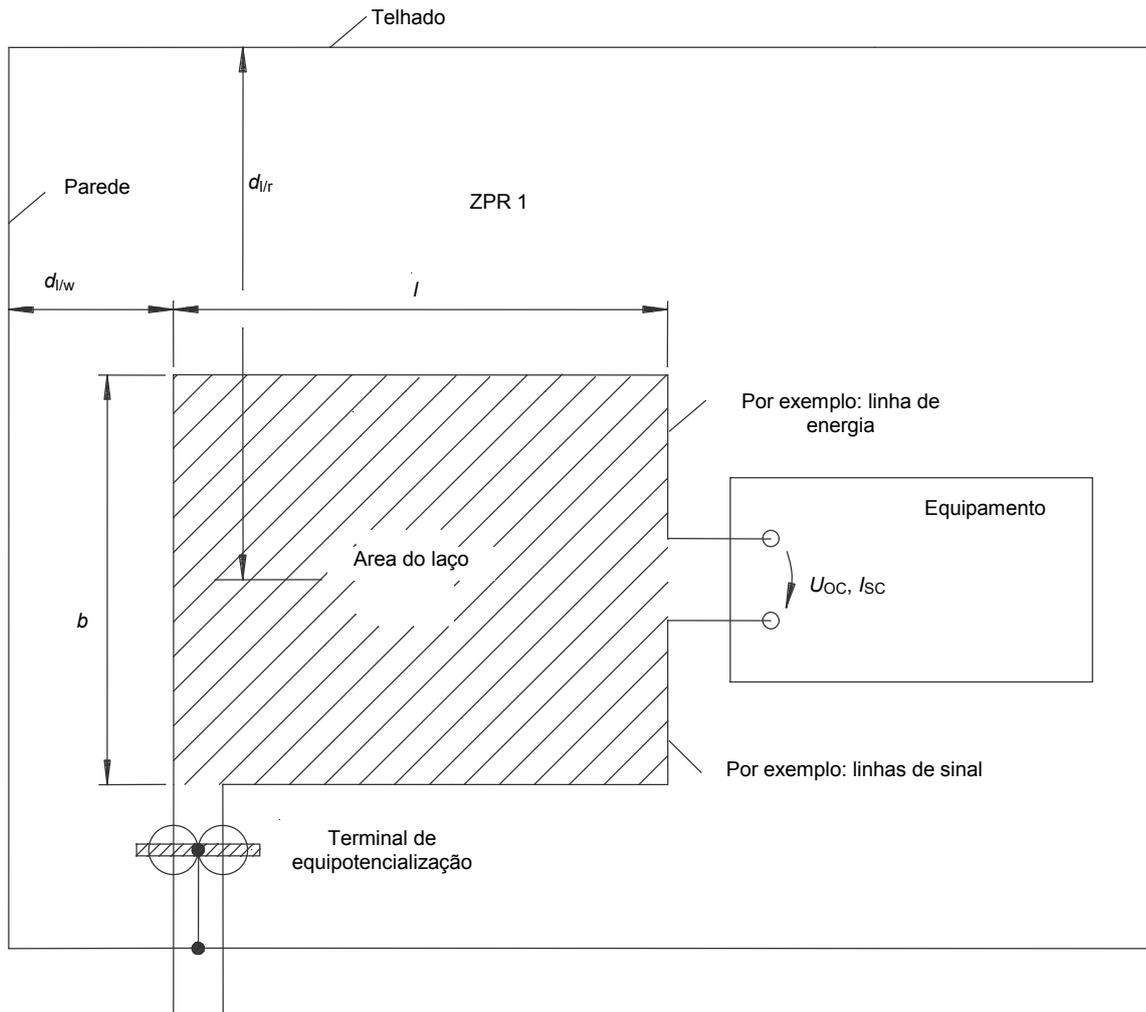
b) Gerador da corrente da descarga atmosférica

Figura A.13 – Ensaio de baixo nível 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):

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

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

$$\mu_0 \text{ é igual a } 4 \times \pi \times 10^{-7} \text{ (Vs)/(Am);}$$



- b (m) é a largura do laço;
- $d_{l/w}$ (m) é a distância do laço da parede da blindagem, para $d_{l/w} \geq ds/1$;
- $d_{l/r}$ (m) é a distância média do laço do 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 do impacto da 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:

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

onde

μ_0 é igual a $4\pi \cdot 10^{-7}$ (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:

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



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:

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

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

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:

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

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

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.

onde

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

b (m) é a largura da malha;

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 é negligenciada (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 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:

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

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

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:

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

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

onde

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

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

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

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 o PN 03:064.10-100/2 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 o PN 03:064.10-100/2.

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 o PN 03:064.10-100/2.	

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 ótica) ^a .
2	Suportabilidade dos sistemas eletrônicos especificados ^{a, b} .
^a Para informações detalhadas, ver PN 03:064.10-100/2.	
^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 equipotencializado 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 x 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 x 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 da coordenação de DPS

Recomenda-se que uma coordenação de DPS seja projetada para proteger os cabos que cruzam as fronteiras de diferentes ZPR.

Convém que o projeto das eletrocalhas, 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 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).

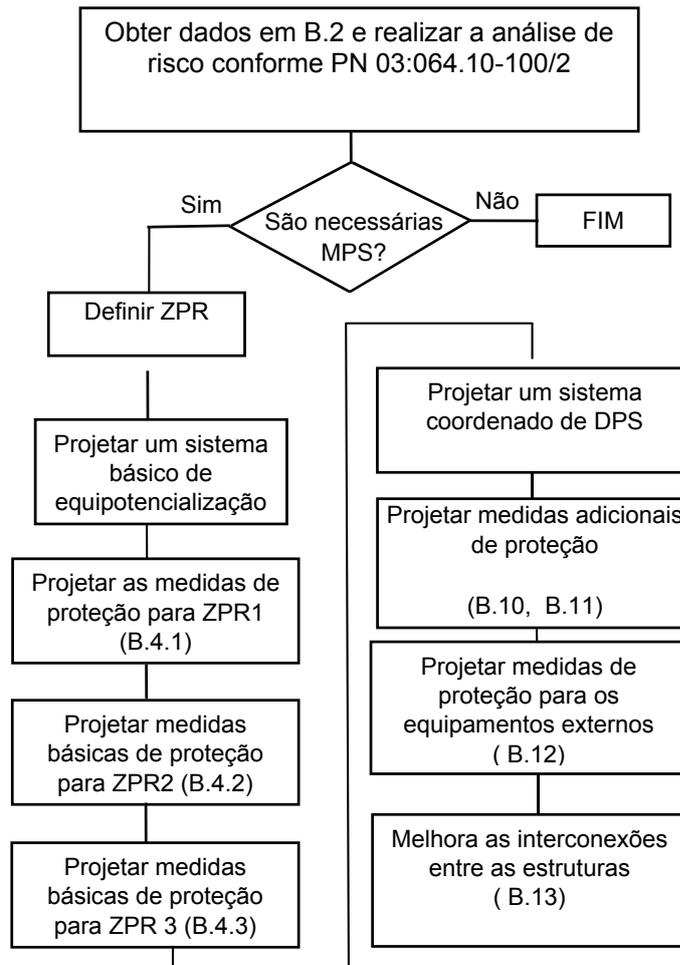


Figura B.1 – MPS etapas do projeto para uma estrutura existente

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

Um SPDA existente (de acordo com PN 03:064.10-100/3) 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 sistema de aterramento;



- c) reduzir a distância entre os condutores de descida e reduzir a largura da malha do sistema da captação para valores de referência abaixo de 5 m,
- d) instalação de condutores de equipotencialização flexíveis através das juntas de expansão entre blocos adjacentes reforçados, mas estruturalmente separados.

B.7 Estabelecimento de ZPR para sistemas elétricos e eletrônicos

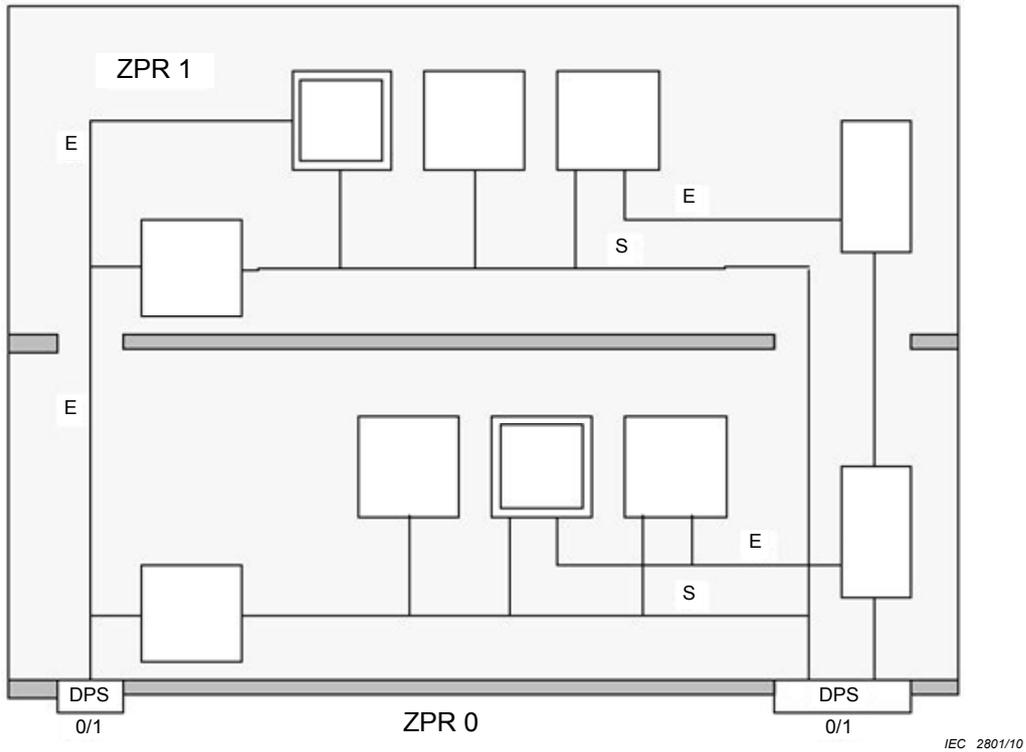
Dependendo do número, tipo e sensibilidade dos sistemas elétricos e eletrônicos existentes, ZPR internas adequadas são definidas de pequenas zonas locais até a totalidade de grandes zonas (o volume total da edificação).

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:

- a) esta ZPR 1 pode ser criada utilizando um SPDA, de acordo com PN 03:064.10-100/3, que consiste em um SPDA externo (subsistema captadores, de descida e de aterramento) e um SPDA interno (ligação equipotencial e observância das distâncias de segurança).
- b) 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 captadores 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.
- c) 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.

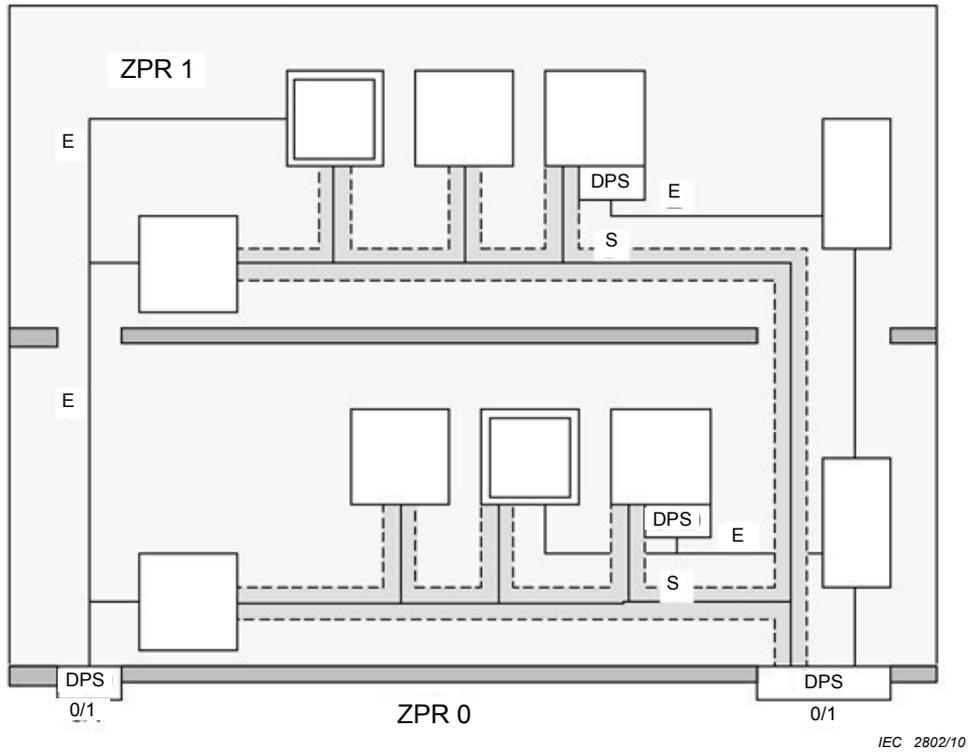


Legenda

- 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 laços internos dentro da estrutura)

Instalação antiga ns ← Instalação nova ns ZPR 0

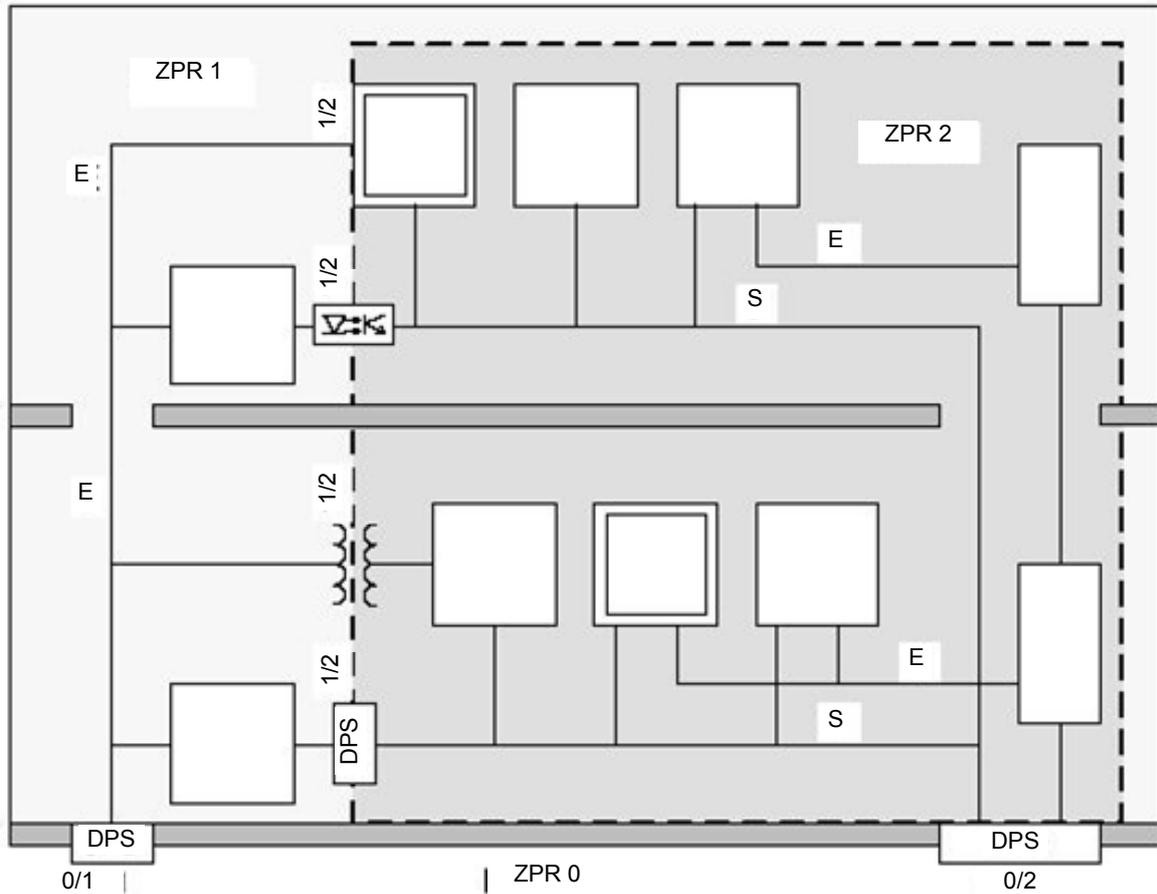


IEC 2802/10

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 coordenação de DPS nas linhas de energia



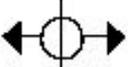
IEC 2803/10

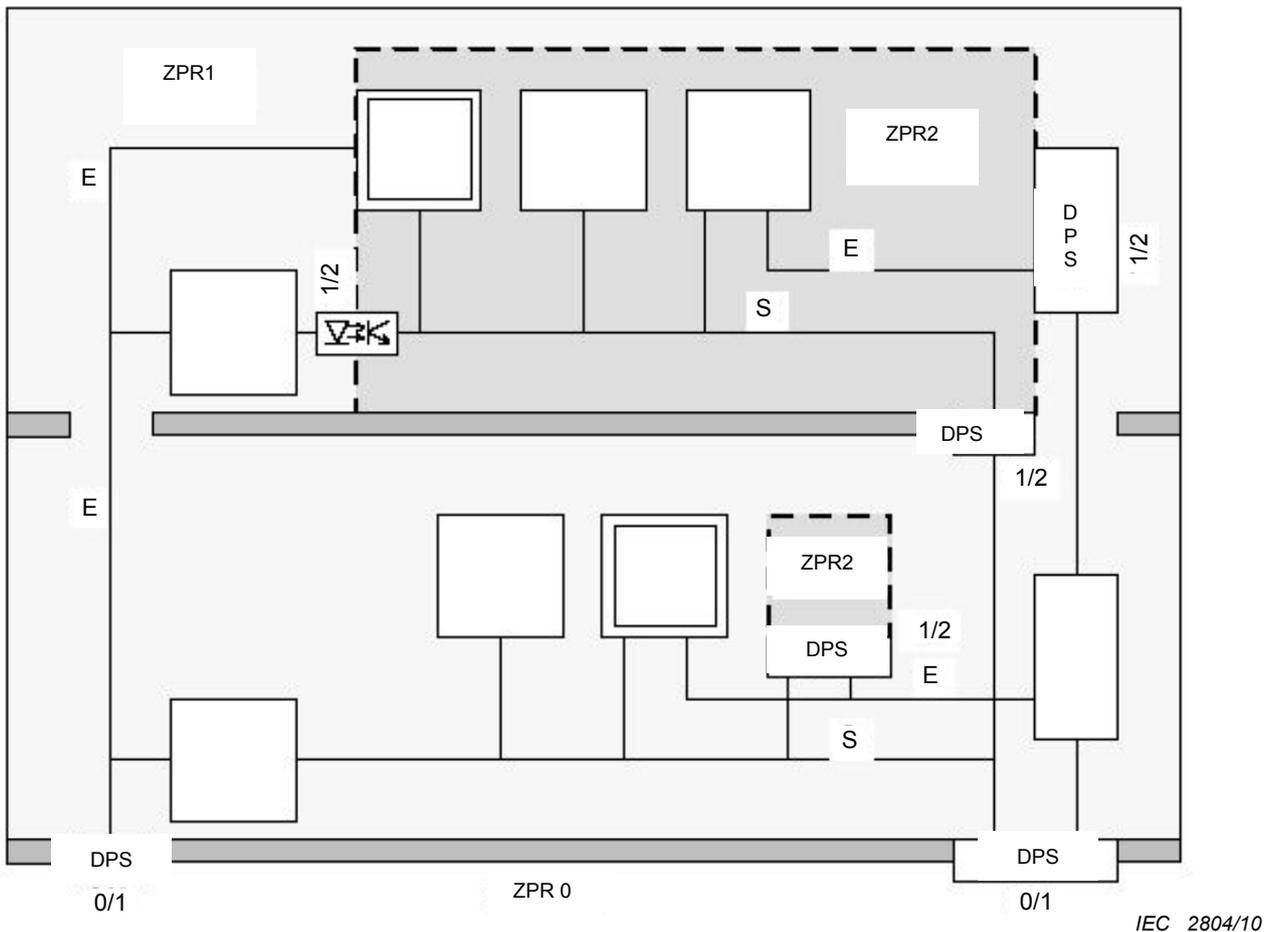
Legenda

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

Instalação antiga  Instalação nova ZPR0



Legenda

- E linhas de energia
- S linhas de sinal

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

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

A Figura B.2b) 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 *IN* 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 isolação).

A Figura B.2c) 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 da “mão esquerda”, 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 da “mão direita”, O DPS instalado na fronteira de ZPR 1 deve ser selecionado para a direta transição de ZPR 0/2 (ver C.3.5).



A Figura B.2d) mostra a criação de duas ZPR menores (ZPR2) 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 seja 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 o PN 03:064.10-100/3, 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 tanto 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, evita 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 ótica 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.

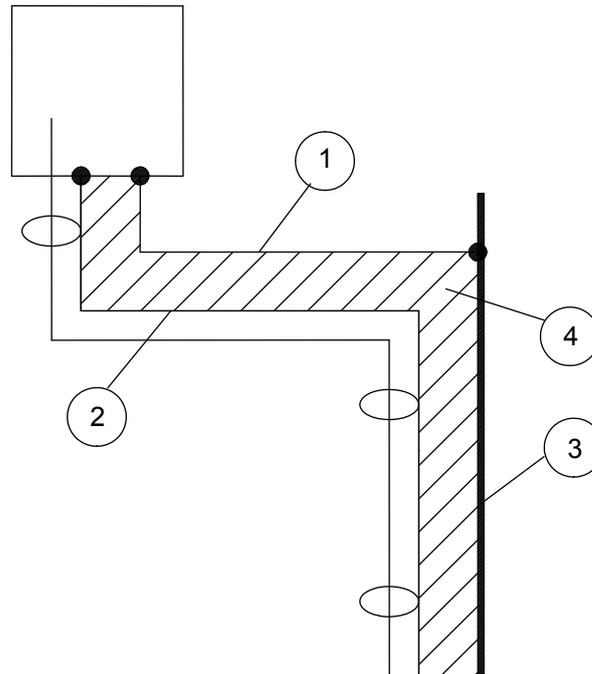
B.11 Medidas de proteção por roteamento de linhas e blindagem

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.



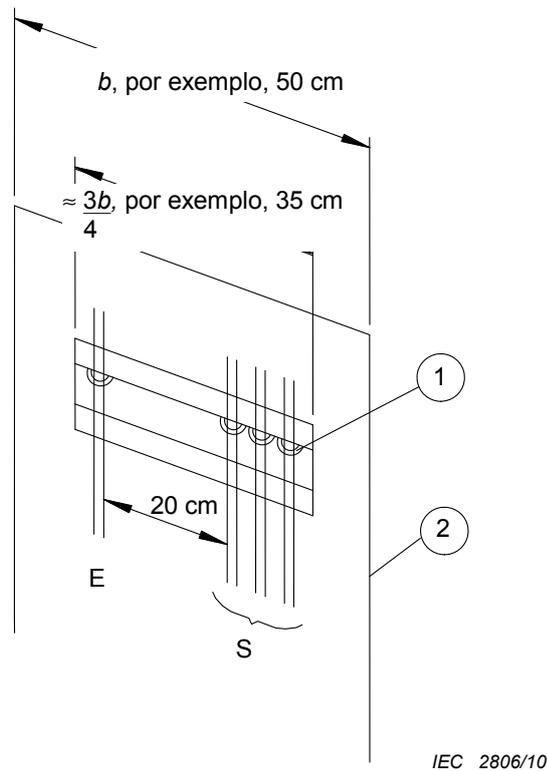
IEC 2805/10

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 elétricas
- S linhas de sinal

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

B.12 Medidas de proteção para equipamentos instalados externamente

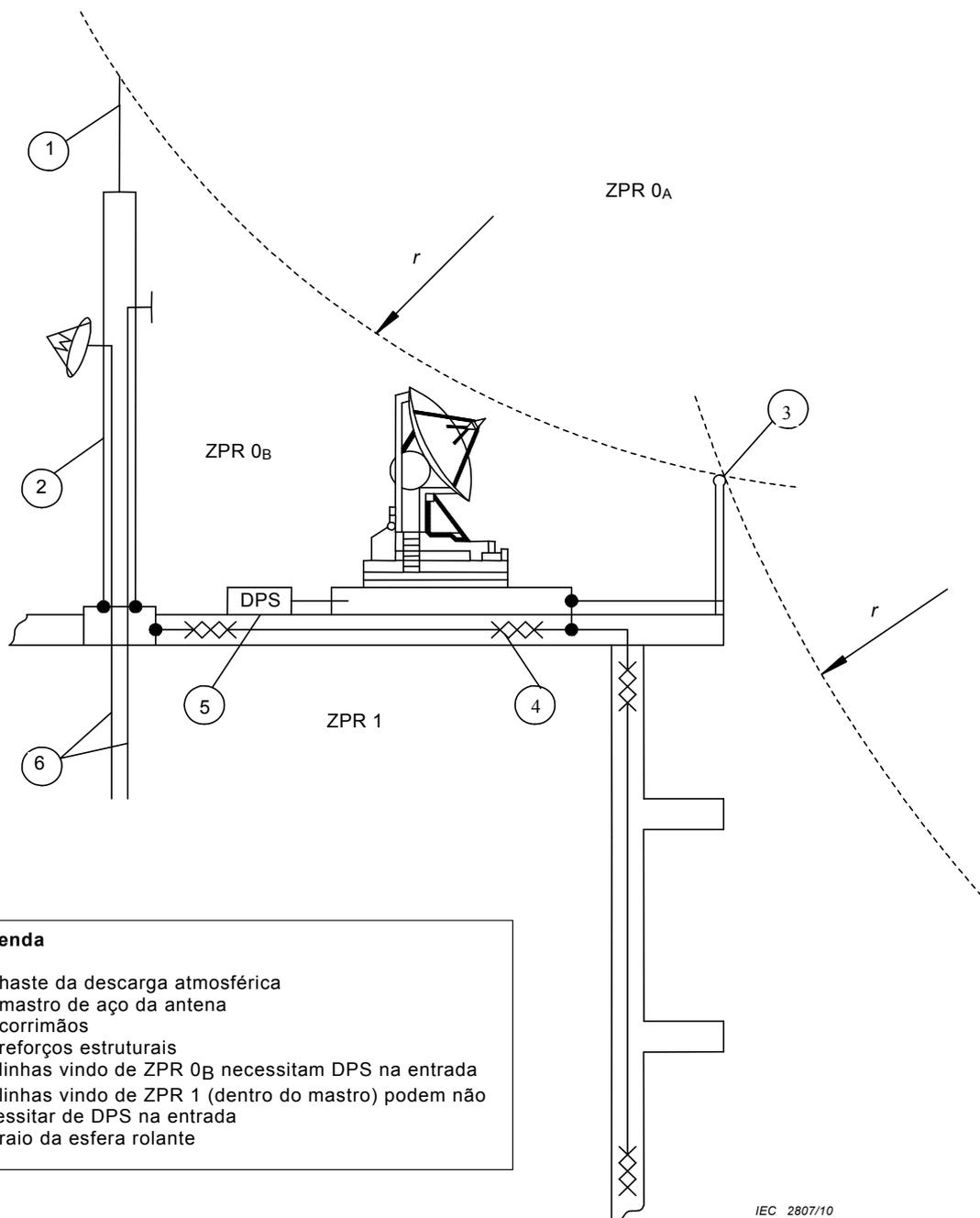
B.12.1 Princípios gerais

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 0B 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 PN 03:064.10-100/3) 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 captadores. 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 DPS instalados em seus alimentadores para minimizar as correntes de surto que podem trafegar pelos cabos até os receptores ou transmissores. Quando um SDPA esta disponível, convém que os suportes (bases) da antena sejam interligados a eles.

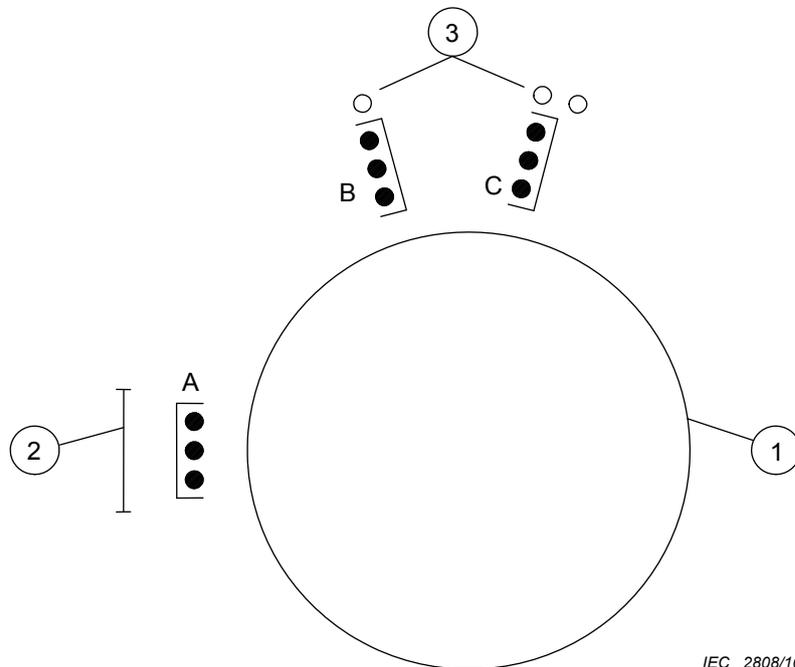


Legenda	
1	haste da descarga atmosférica
2	mastro de aço da antena
3	corrimãos
4	reforços estruturais
5	linhas vindo de ZPR 0B necessitam DPS na entrada
6	linhas vindo de ZPR 1 (dentro do mastro) podem não necessitar de DPS na entrada
<i>r</i>	raio da esfera rolante

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

B.12.3 Redução das sobretensões nos cabos

Tensões e correntes 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 MÁXimizar as vantagens de colocar todos os cabos juntos dentro dos componentes tubulares de 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 MÁXimizar a proteção (ver Figura B.7).



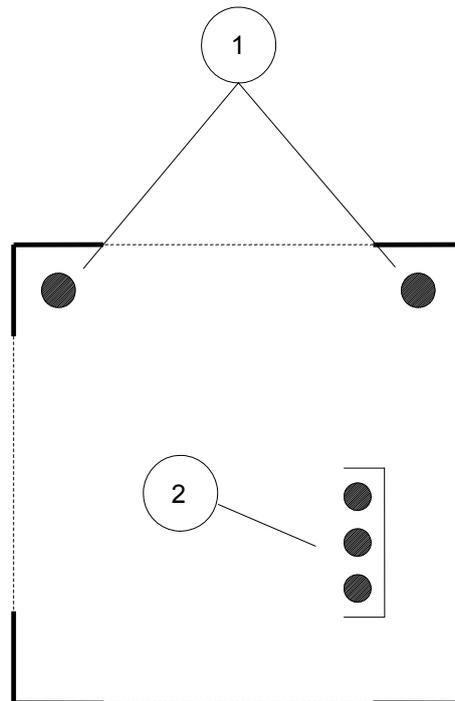
IEC 2808/10

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



IEC 2809/10

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:

- isoladas (fibras óticas sem componentes metálicos); ou
- metálicas (par de cabos, multivias, guia de ondas, cabos coaxiais ou cabos de fibra ótica 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 ótica, 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:

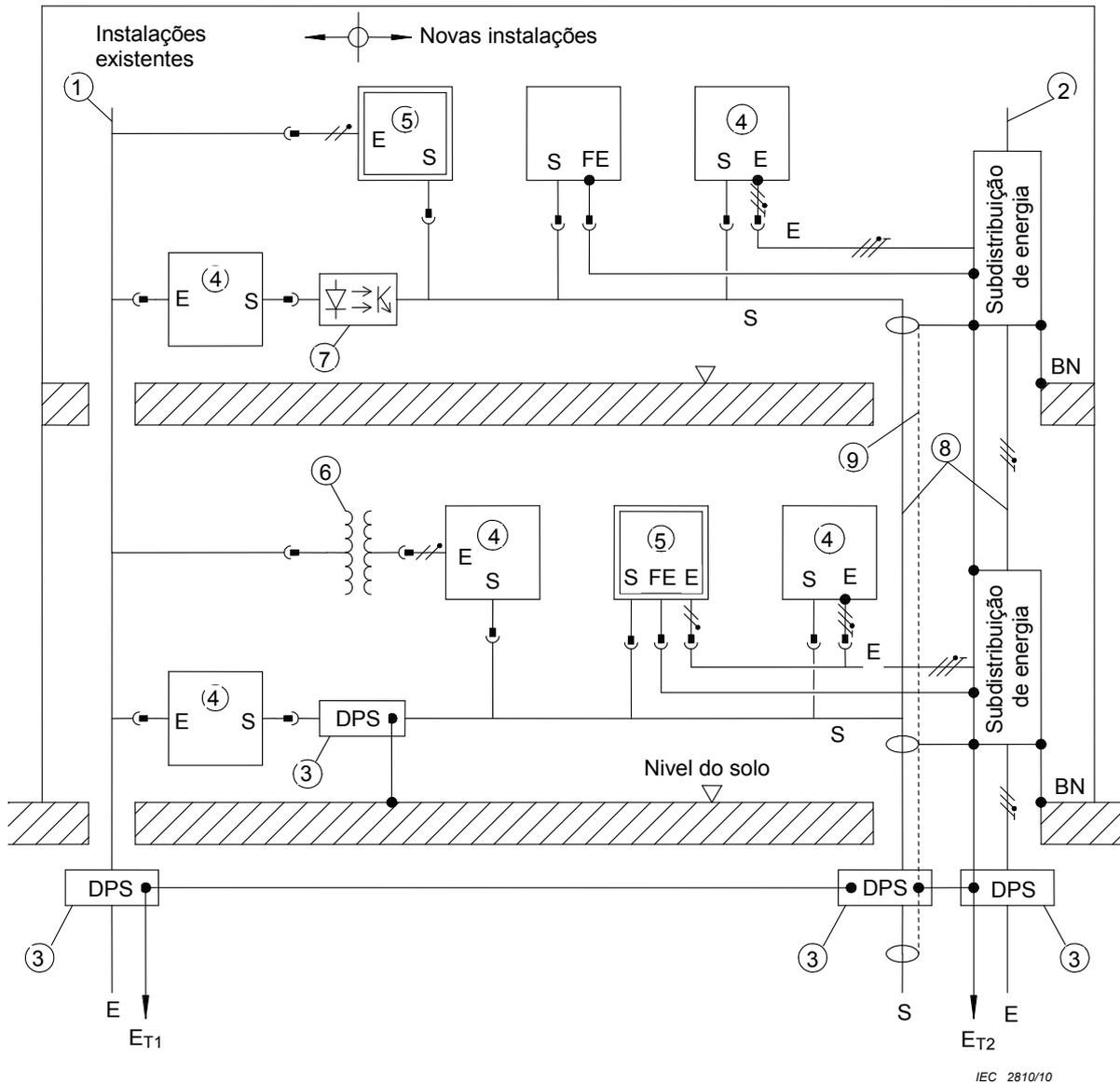
- a) a equipotencialização necessária, realizada de forma direta ou por meio de DPS, na entrada das ZPR 1 de ambas edificações, protege apenas os equipamentos internos, enquanto as linhas externas permanecem desprotegidas;
- b) as linhas podem ser protegidas pela instalação de um condutor de equipotencialização 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 elétricas |
| 2 | nova alimentação (TN-S,TN-CS,TT,IT) | S | linhas de sinal (blindadas ou não blindadas) |
| 3 | dispositivo de proteção contra surto (DPS) | E _T | 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 | optoacoplador ou cabo de fibra ótica | /// | 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 ótica 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 PN 03:064.10-100/3 (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 da descarga atmosférica, 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 dados S2), nos serviços conectados à estrutura (fonte de dados 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 PN 03:064.10-100. 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 um DPS seja instalado.

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 de descarga I_n flui, somada à queda de tensão indutiva ΔU nos condutores de conexão) seja menor que U_W . Caso a corrente de descarga 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 de descarga 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 de descarga 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 no PN 03:064.10-100/1, Anexo E, e é baseada no NP determinado utilizando o PN 03:064.10-100/2. 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 no PN 03:064.10-100/2, 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:

- tensão de impulso suportada pelo equipamento U_W ;
- 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:

- equipamentos conectados à linha de energia conforme IEC 60664-1 e IEC 61643-12;
- equipamentos conectados às linhas de telecomunicação conforme IEC 61643-22, ITU-T K.20, K.21 e K-45;
- 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 de impulso suportada 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;
- $U_{P/F} = \max(U_P, \Delta U)$ 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/metro de comprimento pode ser assumido. Quando o comprimento da linha for menor ou igual a 0,5m, $U_{P/F} = 1,2 \times U_P$. 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 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:

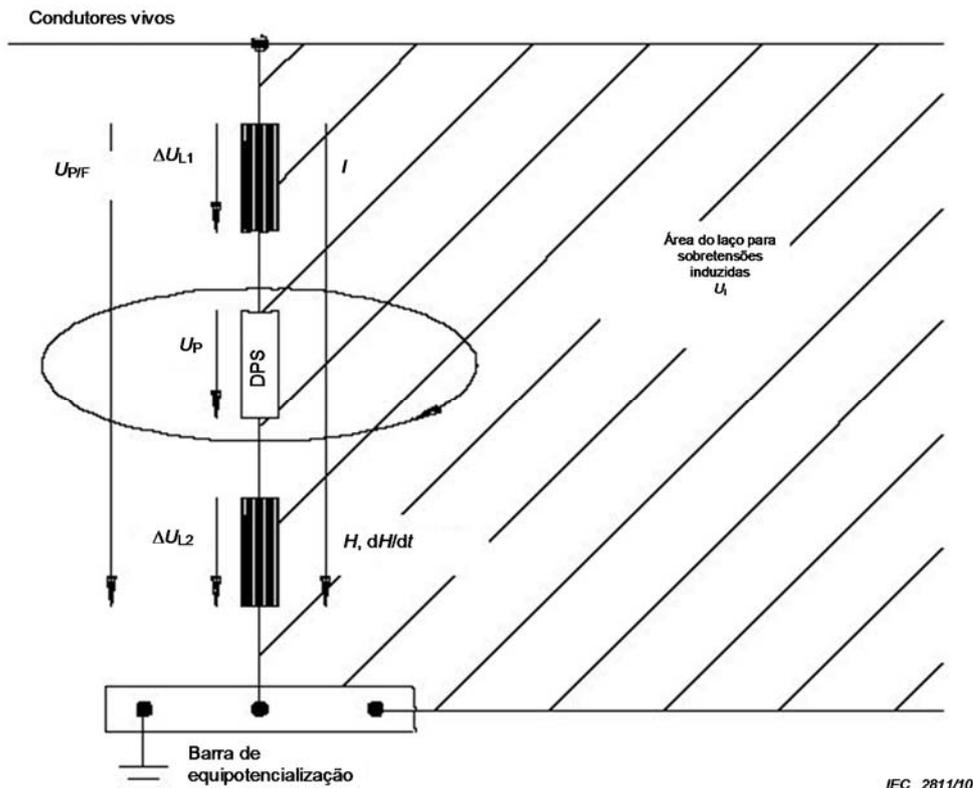
- a) possuírem DPS de montante com coordenação de energia; e
- b) uma das três condições a seguir forem atendidas:
 - 1) $U_{P/F} \leq U_W$: quando o comprimento do circuito entre o DPS e o equipamento for negligenciável (caso típico do DPS instalado nos terminais do equipamento);
 - 2) $U_{P/F} \leq 0,8 U_W$: 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).



Legenda

I	corrente parcial da descarga atmosférica
U_1	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 simultaneamente). Ou seja, a corrente parcial de descarga 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 de descarga

Os DPS devem suportar a corrente de descarga esperada nos pontos onde estão instalados, conforme o PN 03:064.10-100/1, 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 I)

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) do PN 03:064.10-100/1.

— DPS ensaiado com I_n (ensaio classe II)

Este tipo de DPS pode ser utilizado quando as linhas que adentram a edificação estão inteiramente dentro ZPR 0B 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 PN 03:064.10-100/1, 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 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 II)

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 PN 03:064.10-100/1, E.4.

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

— DPS ensaiado com uma onda combinada UOC (ensaio classe III)

Este tipo de DPS pode ser usado quando as linhas que adentram a edificação estão totalmente localizadas na ZPR 0B 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 III 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 PN 03:064.10-100/1, 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 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 coordenados, convém que os DPS 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 ZPR1, por exemplo: no ponto MB da instalação). O DPS1 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, DPS2 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) ou SA ou (tomada de energia) instalar DPS 2 cumprindo os requisito descrito em C.2.2 e os requisitos de coordenação com DPS 1 de 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) foi cumprida.

Anexo D (informativo)

Fatores a considerar na seleção dos DPS

D.1 Introdução

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

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

^a Tabela D.1 refere-se aos DPS conectados entre linha e neutro (conexão CT1).

^b Em geral, I_{imp} está associada com formas de onda de maior duração (por exemplo, 10/350 μs) do que $I_{m\acute{a}x}$.

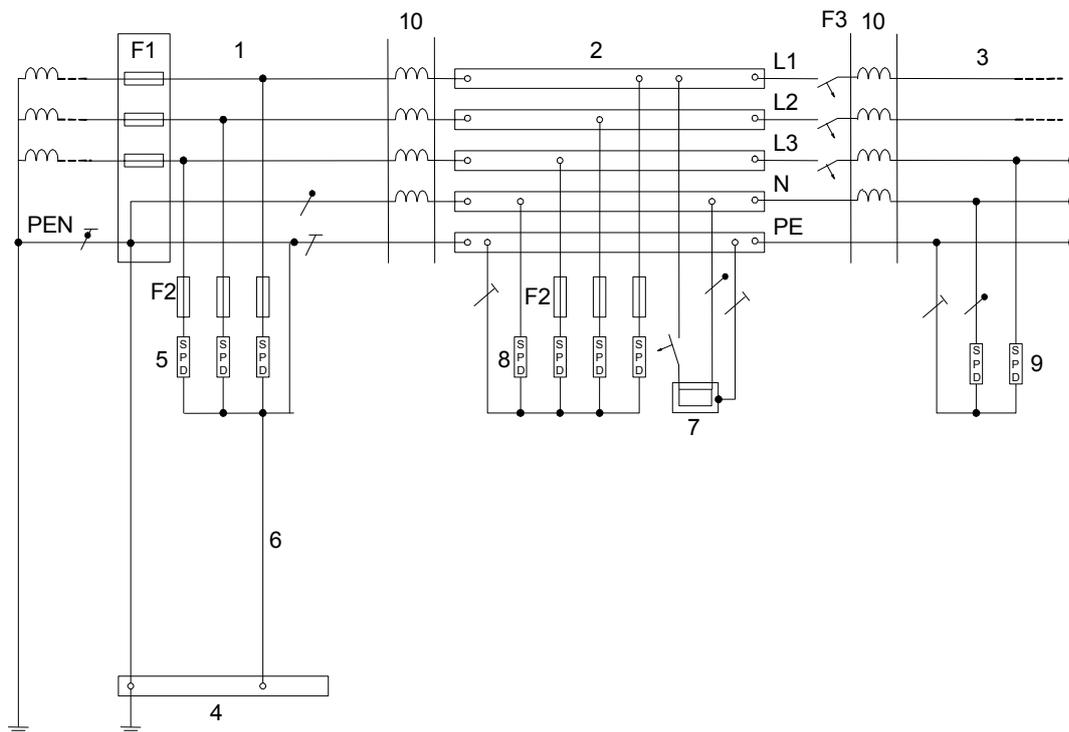
^c Ver ABNT NBR 5410 e IEC 60364-5-53.

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 localização do DPS(s) dentro da estrutura (ver Figura D.1);
- o método de acoplamento da descarga à facilidade (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);
- 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;
- 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 condutivos 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 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 I, classe II e classe III

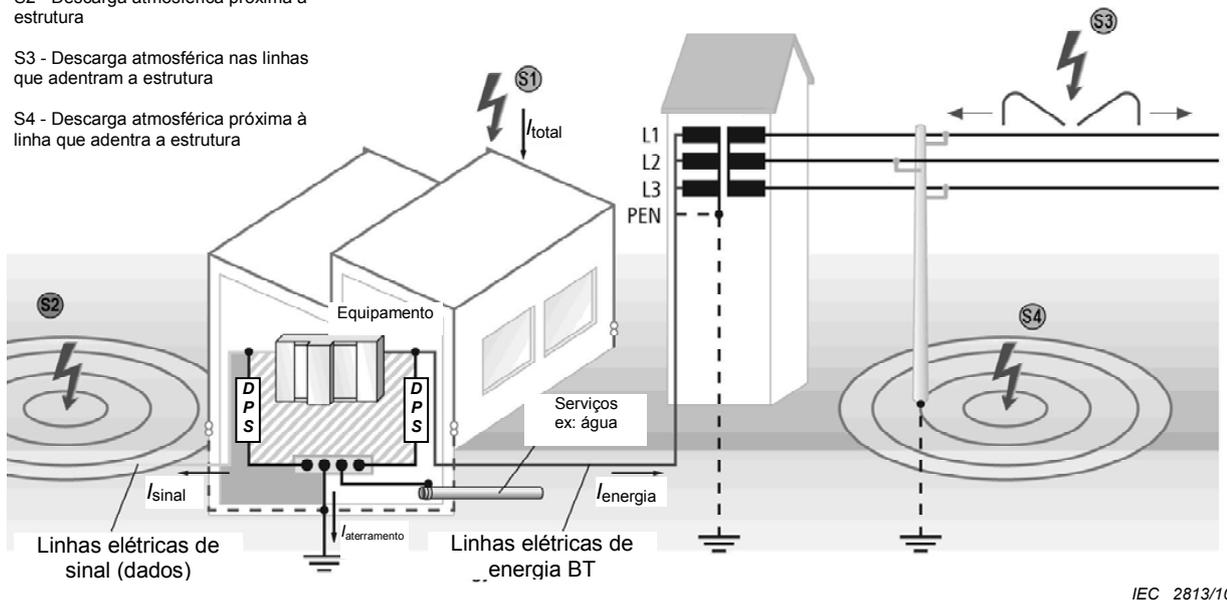
Fontes de danos:

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

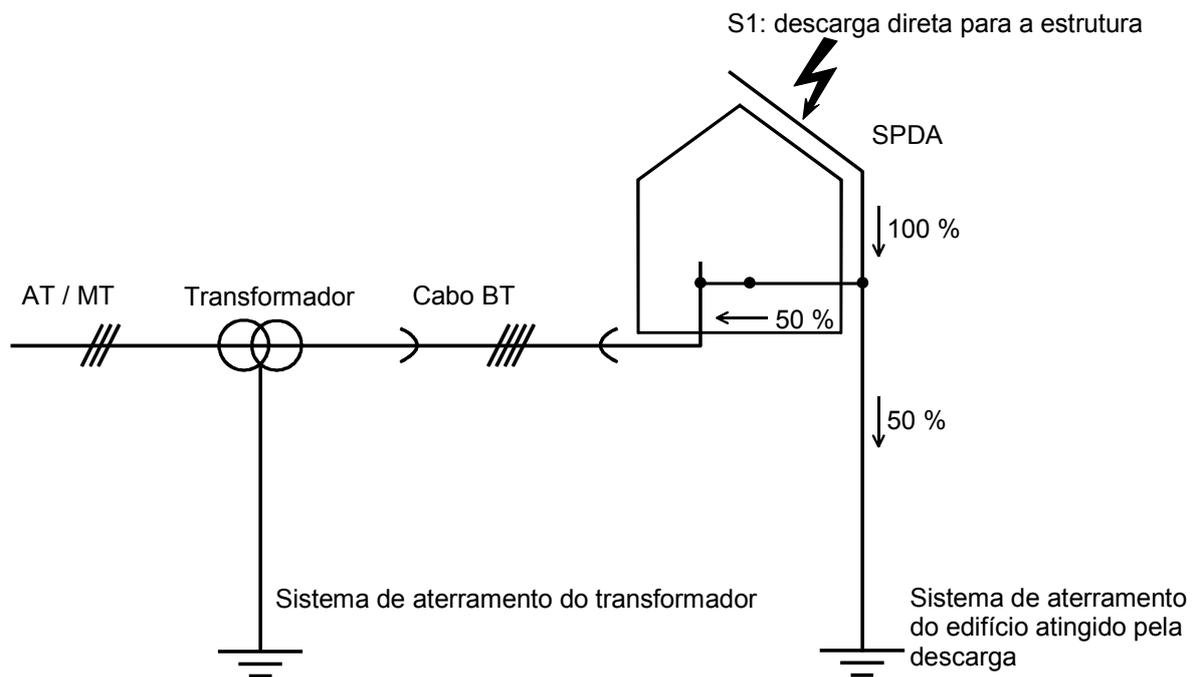
D.3.1 Princípios gerais

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 (ver PN 03:064.10-100/1, Seção 6).

Esta Norma indica que, para um NP I, a amplitude da descarga direta (S1) de SPDA que impacte na estrutura pode atingir um valor de pico de 200 kA, com uma forma de onda de 10/350 μ s (ver PN 03:064.10-100/1, 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 PN 03:064.10-100/1, E.2), uma suposição geral é de que 50 % desta corrente é conduzida ao sistema de aterramento, e 50 % retorna por meio dos DPS de equipotencialização. Para o NP I, isto implica que parte da descarga 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).



IEC 2814/10

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 do PN 03:064.10-100/1, 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 de descargas se comparado a um esquema TT.

Pressupostos simplificados da distribuição real de corrente são úteis para se avaliar o possível nível de solicitação 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 assunções sobre o nível de solicitação a que estará sujeito um DPS em experiências de campo coletados ao longo do tempo. O PN 03:064.10-100/1, 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 I do DPS não é necessária. Neste caso, DPS ensaiado na classe II podem ser apropriados.

Em geral, a abordagem deve ser no sentido de se utilizar DPS classe I, onde correntes diretas ou parciais das descargas atmosféricas estão envolvidas (S1/S3) e classe II/III 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}) (ver PN 03:064.10-100/2, 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

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

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

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

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*