

NORMA  
BRASILEIRA

ABNT NBR  
5419-3

Primeira edição  
22.05.2015

Versão corrigida  
02.07.2018

---

## **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*

ICS 91.120.40

ISBN 978-85-07-05503-7



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 5419-3:2015  
51 páginas

© ABNT 2015

## ABNT NBR 5419-3:2015



© ABNT 2015

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

### ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

**Sumário**

Página

<b>Prefácio .....</b>	<b>vii</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>ix</b>
<b>1 Escopo .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Referências normativas .....</b>	<b>1</b>
<b>3 Termos e definições .....</b>	<b>2</b>
<b>4 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA .....</b>	<b>6</b>
4.1 Classe do SPDA.....	6
4.2 Projeto do SPDA.....	7
4.3 Continuidade da armadura de aço em estruturas de concreto armado .....	8
<b>5 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas .....</b>	<b>8</b>
5.1 Geral .....	8
5.1.1 Aplicação de um SPDA externo .....	8
5.1.2 Escolha de um SPDA externo .....	8
5.1.3 Uso de componentes naturais .....	9
5.2 Subsistema de captação .....	9
5.2.1 Geral .....	9
5.2.2 Posicionamento.....	10
5.2.3 Captadores para descargas laterais de estruturas altas.....	11
5.2.4 Construção .....	12
5.2.5 Componentes naturais .....	12
5.3 Subsistema de descida.....	14
5.3.1 Geral .....	14
5.3.2 Posicionamento para um SPDA isolado .....	14
5.3.3 Posicionamento para um SPDA não isolado.....	14
5.3.4 Construção .....	15
5.3.5 Componentes naturais .....	16
5.3.6 Conexões de ensaio.....	17
5.4 Subsistema de aterramento .....	17
5.4.1 Geral .....	17
5.4.2 Condições gerais nos arranjos de aterramento .....	17
5.4.3 Instalação dos eletrodos de aterramento .....	18
5.4.4 Eletrodos de aterramento naturais.....	19
5.5 Componentes .....	19
5.5.1 Geral .....	19
5.5.2 Fixação .....	20
5.5.3 Conexões .....	20
5.6 Materiais e dimensões .....	20
5.6.1 Materiais.....	20
5.6.2 Dimensões .....	21
<b>6 Sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas .....</b>	<b>22</b>
6.1 Geral .....	22

**ABNT NBR 5419-3:2015**

<b>6.2</b>	<b>Equipotencialização para fins de proteção contra descargas atmosféricas .....</b>	<b>23</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>23</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Equipotencialização para instalações metálicas .....</b>	<b>23</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Equipotencialização para elementos condutores externos .....</b>	<b>25</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Equipotencialização para sistemas internos .....</b>	<b>25</b>
<b>6.2.5</b>	<b>Equipotencialização para as linhas conectadas à estrutura a ser protegida .....</b>	<b>26</b>
<b>6.3</b>	<b>Isolação elétrica do SPDA externo .....</b>	<b>26</b>
<b>6.3.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>26</b>
<b>6.3.2</b>	<b>Aplicação simplificada .....</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Manutenção, inspeção e documentação de um SPDA .....</b>	<b>28</b>
<b>7.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>28</b>
<b>7.2</b>	<b>Aplicação das inspeções .....</b>	<b>28</b>
<b>7.3</b>	<b>Ordem das inspeções .....</b>	<b>28</b>
<b>7.4</b>	<b>Manutenção .....</b>	<b>29</b>
<b>7.5</b>	<b>Documentação .....</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>Medidas de proteção contra acidentes com seres vivos devido à tensões de passo e de toque .....</b>	<b>30</b>
<b>8.1</b>	<b>Medidas de proteção contra tensões de toque .....</b>	<b>30</b>
<b>8.2</b>	<b>Medidas de proteção contra tensões de passo .....</b>	<b>30</b>
<b>Anexo A</b>	<b>(normativo) Posicionamento do subsistema de captação .....</b>	<b>31</b>
<b>A.1</b>	<b>Posicionamento do subsistema de captação utilizando-se o método do ângulo de proteção .....</b>	<b>31</b>
<b>A.1.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>31</b>
<b>A.1.2</b>	<b>Volume de proteção provido por mastro .....</b>	<b>31</b>
<b>A.1.3</b>	<b>Volume de proteção provido por condutor suspenso .....</b>	<b>32</b>
<b>A.2</b>	<b>Posicionamento do subsistema de captação utilizando o método da esfera rolante .....</b>	<b>33</b>
<b>A.3</b>	<b>Posicionamento do subsistema de captação utilizando o método das malhas .....</b>	<b>34</b>
<b>Anexo B</b>	<b>(informativo) Seção mínima da blindagem do cabo de entrada de modo a evitar centelhamento perigoso .....</b>	<b>35</b>
<b>Anexo C</b>	<b>(informativo) Divisão da corrente da descarga atmosférica entre os condutores de descida .....</b>	<b>37</b>
<b>Anexo D</b>	<b>(normativo) Informação adicional para SPDA no caso de estruturas com risco de explosão .....</b>	<b>41</b>
<b>D.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>41</b>
<b>D.2</b>	<b>Condições adicionais e definições .....</b>	<b>41</b>
<b>D.3</b>	<b>Requisitos básicos .....</b>	<b>42</b>
<b>D.3.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>42</b>
<b>D.3.2</b>	<b>Informações exigidas .....</b>	<b>42</b>
<b>D.3.3</b>	<b>Ligação à terra .....</b>	<b>42</b>
<b>D.3.4</b>	<b>Ligação equipotencial (ou equipotencialização) .....</b>	<b>42</b>
<b>D.4</b>	<b>Estruturas contendo material explosivo sólido .....</b>	<b>43</b>
<b>D.5</b>	<b>Estruturas contendo zonas de risco .....</b>	<b>43</b>

D.5.1	Geral .....	43
D.5.1.1	Proteção contra surtos .....	43
D.5.1.2	Ligação equipotencial (equipotencialização) .....	43
D.5.2	Estruturas contendo zonas 2 e zona 22 .....	44
D.5.3	Estruturas contendo zonas 1 e zona 21 .....	44
D.5.4	Estruturas contendo zonas 0 e zona 20 .....	44
D.5.5	Aplicações específicas .....	44
D.5.5.1	Postos de abastecimento de combustível .....	44
D.5.5.2	Tanques de armazenamento .....	45
D.5.5.3	Linhas de tubulações .....	46
Anexo E	(vago) .....	47
Anexo F	(normativo) Ensaio de continuidade elétrica das armaduras .....	48
F.1	Introdução .....	48
F.2	Procedimento para a primeira verificação .....	48
F.2.1	Objetivo .....	48
F.2.2	Pontos de medição .....	48
F.2.3	Procedimento para medição .....	49
F.2.3.1	Edifício em construção .....	49
F.2.3.2	Edifício já construído .....	49
F.3	Procedimento para verificação final .....	50
F.4	Aparelhagem de medição .....	50
Bibliografia	.....	51
<b>Figuras</b>		
Figura 1	– Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA .....	11
Figura 2	– Laço em um condutor de descida .....	15
Figura 3	– Comprimento mínimo $l_1$ do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA .....	18
Figura A.1	– Volume de proteção provido por um mastro .....	31
Figura A.2	– Volume de proteção provido por um mastro para duas alturas diferentes .....	32
Figura A.3	– Volume de proteção provido por elemento condutor suspenso .....	32
Figura A.4	– Projeto do subsistema de captação conforme o método da esfera rolante .....	33
Figura C.1	– Valores do coeficiente $k_c$ no caso de um subsistema de captadores a um fio e um subsistema de aterramento em anel .....	37
Figura C.2	– Valores de coeficiente $k_c$ no caso de um sistema de captadores em malha e sistema de aterramento em anel .....	38
Figura C.3	– Exemplos de cálculos de distâncias de separação no caso de um sistema de captadores em malha, um anel de interconexão a cada nível e um sistema de aterramento em anel .....	40
Figura F.1	– Método de medição .....	49

**ABNT NBR 5419-3:2015****Tabelas**

<b>Tabela 1 – Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA (ver ABNT NBR 5419-1).....</b>	<b>7</b>
<b>Tabela 2 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA .....</b>	<b>10</b>
<b>Tabela 3 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabela 4 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabela 5 – Materiais para SPDA e condições de utilização .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 6 – Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 7 – Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 8 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabela 9 – Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL).....</b>	<b>24</b>
<b>Tabela 10 – Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente <math>k_i</math>.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 11 – Isolação do SPDA externo – Valores do coeficiente <math>k_m</math> .....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 12 – Isolação do SPDA externo – Valores aproximados do coeficiente <math>k_c</math>.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabela B.1 – Comprimento de cabo a ser considerado segundo a condição da blindagem .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela C.1 – Valores do coeficiente <math>k_c</math> .....</b>	<b>37</b>



## 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 08, de 12.08.2014 a 10.12.2014, com o número de Projeto 03:064.10-100/3.

Esta parte da ABNT NBR 5419 e as ABNT NBR 5419-1, ABNT NBR 5419-2, e ABNT NBR 5419-4 cancelam e substituem a(s) ABNT NBR 5419:2005.

Esta versão corrigida da ABNT NBR 5419-3:2015 incorpora a Errata 1, de 02.07.2018.

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 ABNT NBR 5419-3).*

## ABNT NBR 5419-3:2015

*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 ABNT NBR 5419-4.*

*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 consistem em:

- 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.



## Proteção contra descargas atmosféricas — Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida

### 1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 5419 estabelece 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 na ABNT NBR 5419-4.

NOTA 2 Requisitos específicos para proteção contra descargas atmosféricas em turbinas eólicas são apresentados na IEC 61400-24 [9].

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

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

ABNT NBR 5419-4:2015, *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 5419-3:2015

### 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 externo de proteção contra descargas atmosféricas**

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 da descarga atmosférica 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 da descarga atmosférica 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 da descarga atmosférica 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 aterramento 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

**ABNT NBR 5419-3:2015****3.19****partes condutivas 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 elétrica 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 [1] 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 sinal 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



## ABNT NBR 5419-3:2015

### 3.34

#### **instalador de proteção contra descargas atmosféricas**

profissional qualificado, habilitado ou comprovadamente treinado por um profissional qualificado 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, ABNT NBR IEC 60079-10-2 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 na ABNT NBR 5419-1:2015, Tabela 1.

**Tabela 1 – Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA (ver ABNT NBR 5419-1)**

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 ABNT NBR 5419-1:2015, 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 em anel (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 na ABNT NBR 5419-2:2015, Anexo B.

A classe do SPDA requerido deve ser selecionada com base em uma avaliação de risco (ver ABNT NBR 5419-2).

## 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.

## ABNT NBR 5419-3:2015

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 [14].

## 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 especifica 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, não são contemplados nesta Norma.

**NOTA** Recomenda-se que os captadores que contenham material radioativo sejam retirados de acordo com a resolução 04/89 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

**ABNT NBR 5419-3:2015****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:

- a) método do ângulo de proteção;
- b) método da esfera rolante;
- c) método das malhas.

Os métodos da esfera rolante e das malhas são adequados em todos os casos.

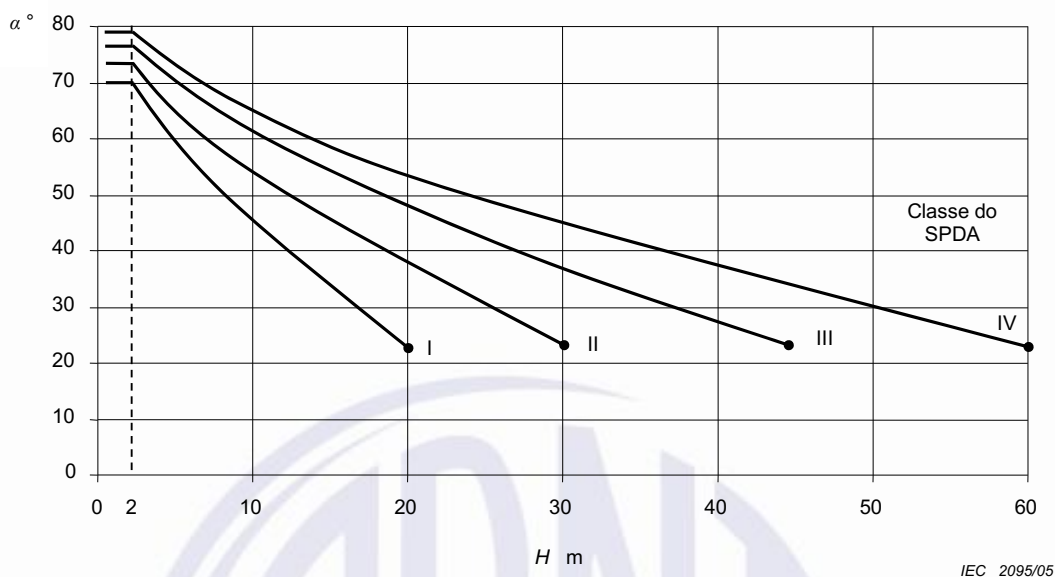
O método do ângulo de proteção é adequado para proteção das edificações, mas está sujeito aos limites de altura indicados na Tabela 2, sempre considerando o plano de referência que se deseja proteger.

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**

—	Método de proteção		
Classe do SPDA	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção $\alpha^\circ$
I	20	5 × 5	Ver Figura 1
II	30	10 × 10	
III	45	15 × 15	
IV	60	20 × 20	





NOTA 1 Para valores de  $H$  (m) acima dos valores finais de cada curva (classes I a IV) são aplicáveis apenas os métodos da esfera rolante e das malhas.

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 Captadores 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 atmosféricas de baixa amplitude na fachada de estruturas menores de 60 m de altura são suficientemente baixas podendo ser desconsideradas. Telhados e saliências horizontais devem ser protegidos de acordo com a classe do SPDA determinada pela avaliação de risco da ABNT NBR 5419-2.

#### 5.2.3.2 Estruturas acima de 60 m 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 atmosféricas em estruturas altas serão laterais e, além disto, seus parâmetros são significativamente mais baixos do que as descargas atmosféricas 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

**ABNT NBR 5419-3:2015**

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). Devem ser considerados componentes menos combustíveis como folhas de madeira.

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, provocado 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  $ZPR_{0B}$  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 <sup>a</sup> $t$ mm	Espessura <sup>b</sup> $t'$ 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
<sup>a</sup> $t$ previne perfuração, pontos quentes ou ignição. <sup>b</sup> $t'$ 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.
- e) 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 1 mm de asfalto, 0,5 mm de PVC ou camada de pintura para proteção contra corrosão ou com função de acabamento não são considerados como isolante para correntes impulsivas.

## ABNT NBR 5419-3:2015

### 5.3 Subsistema 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 arrançados a fim de proverem:

- a) diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- b) o menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica;
- c) a equipotencialização com as partes condutoras de uma estrutura deve ser feita de acordo com os requisitos de 6.2.

Para melhor distribuição das correntes das descargas atmosféricas devem ser consideradas interligações horizontais com os condutores de descida, como já é feito no nível do solo, pelo anel de aterramento, conforme 5.4, 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 condutores 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 centelhamentos perigosos facilitando a proteção das instalações internas (ver ABNT NBR 5419-4). 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:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 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**

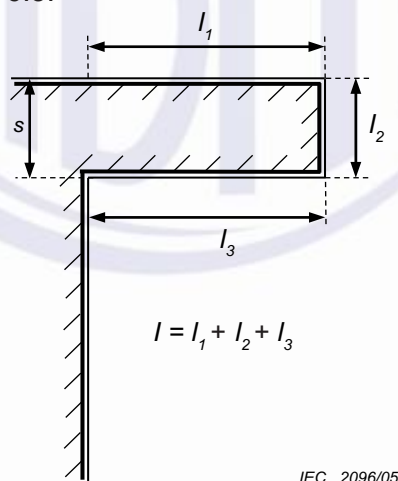
Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20
NOTA É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20 % além dos valores acima.	

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.

**ABNT NBR 5419-3:2015**

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.

Quando a distância entre o condutor de descida e um material prontamente combustível não puder ser assegurada, a seção nominal do condutor de aço galvanizado não pode ser inferior a 100 mm<sup>2</sup>. Pode ser utilizado outro condutor com seção nominal que proporcione equivalência térmica.

**5.3.5 Componentes naturais**

As seguintes partes da estrutura podem ser consideradas como condutores naturais de descida:

- a) as instalações metálicas, desde que:
  - a continuidade elétrica entre as várias partes seja feita de forma durável de acordo com 5.5.3;
  - 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.

- b) as armaduras das estruturas de concreto armado 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 ao fabricante, com respostas documentadas, são indispensáveis para validação dessa utilização.

- c) 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.

- d) 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.

### 5.3.6 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).

No primeiro caso, 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)

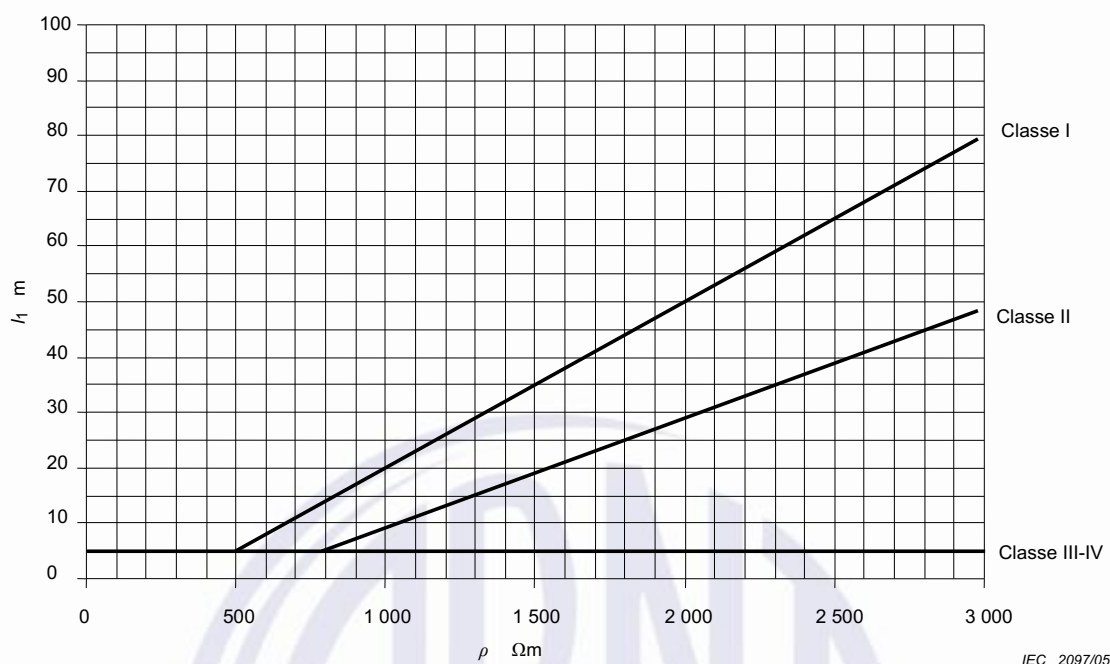
Para o eletrodo de aterramento em anel ou interligando a fundação descontínua, o raio médio  $r_e$  da área abrangida pelos eletrodos não pode ser inferior ao valor  $l_1$ :

$$r_e \geq l_1 \quad (1)$$

onde  $l_1$  é representado na Figura 3 de acordo com o SPDA classe I, II, III e IV.



## ABNT NBR 5419-3:2015



NOTA 1 As classes III e IV são independentes da resistividade do solo.

NOTA 2 Para solos com resistividades maiores que 3 000  $\Omega.m$ , prolongar as curvas por meio das equações:

$$l_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (para classe I)} \quad (1a)$$

$$l_1 = 0,02\rho - 11 \text{ (para a classe II)} \quad (1b)$$

### 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 Encordoadado Como cobertura	Maciço Encordoadado Como cobertura	Maciço Encordoadado Como cobertura	Não permitido	Boa em muitos ambientes	Compostos sulfurados Materiais orgânicos Altos conteúdos de cloretos	–
Aço galvanizado a quente	Maciço Encordoadado	Maciço Encordoadado	Maciço Encordoadado	Maciço Encordoadado	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos	Cobre
Aço inoxidável	Maciço Encordoadado	Maciço Encordoadado	Maciço Encordoadado	Maciço Encordoadado	Bom em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos	–
Aço revestido por cobre	Maciço Encordoadado	Maciço Encordoadado	Maciço Encordoadado	Não permitido	Bom em muitos ambientes	Compostos sulfurados	–



## ABNT NBR 5419-3:2015

Tabela 5 (continuação)

Material	Utilização				Corrosão		
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumentado por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico
Alumínio	Maciço Encordoados	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Bom em atmosferas contendo baixas concentrações de sulfurados e cloretos	Soluções alcalinas	Cobre
<p>NOTA 1 Esta tabela fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.</p> <p>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.</p> <p>NOTA 3 Aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.</p>							

### 5.5.2 Fixação

Elementos captosres 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.

### 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 <sup>2</sup>	Comentários <sup>d</sup>
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço <sup>d</sup>	35	Diâmetro 6 mm
	Encordado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30 % <sup>e</sup>	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64 %	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente <sup>a</sup>	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável <sup>c</sup>	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço <sup>b</sup>	200	Diâmetro 16 mm

<sup>a</sup> O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 [1].

<sup>b</sup> Aplicável somente a minicaptadores. 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.

<sup>c</sup> Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.

<sup>d</sup> Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.

<sup>e</sup> 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.

## ABNT NBR 5419-3:2015

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 <sup>f</sup>		Comentários <sup>f</sup>
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordado <sup>c</sup>	–	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço <sup>c</sup>	–	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça <sup>c</sup>	–	50 mm <sup>2</sup>	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço <sup>a, b</sup>	16 mm	Diâmetro 10 mm	–
	Tubo <sup>a b</sup>	25 mm	–	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça <sup>a</sup>	–	90 mm <sup>2</sup>	Espessura 3 mm
	Encordado	–	70 mm <sup>2</sup>	–
Aço cobreado	Arredondado Maciço <sup>d</sup> Encordado <sup>g</sup>	12,7 mm	70 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável <sup>e</sup>	Arredondado maciço	15 mm	Diâmetro 10 mm	Espessura mínima 2 mm
	Fita maciça		100 mm <sup>2</sup>	

<sup>a</sup> O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323 [1].

<sup>b</sup> Aplicável somente a mini captosres. 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.

<sup>c</sup> Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.

<sup>d</sup> Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.

<sup>e</sup> Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela .

<sup>f</sup> A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).

<sup>g</sup> 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 a ABNT NBR 5419-4.

O centelhamento perigoso entre diferentes partes pode ser evitado por meio de:

- ligações equipotenciais conforme 6.2, ou
- isolamento 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.

**ABNT NBR 5419-3:2015**

**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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16



**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:

$$I_{\text{imp}} \geq k_c I$$

onde

$k_c I$  é a corrente da descarga atmosférica 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  $U_{\text{RIMP}}$  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 a ABNT NBR 5419-1:2015, Anexo E.

Se uma ligação direta não for aceitável, deve-se usar DPS com as seguintes características:

$$I_{\text{imp}} \geq I_F$$

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  $U_{\text{RIMP}}$  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. A ABNT NBR 5419-2 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 6.2.2.2-a) e 6.2.2.2-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 a ABNT NBR 5419-4.

**ABNT NBR 5419-3:2015**

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 esquema 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 da ABNT NBR 5419-4 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 da ABNT NBR 5419-4 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. A ABNT NBR 5419-2 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 da descarga atmosférica 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 Figura 2 e Anexo C).

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 atmosférica (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.

## ABNT NBR 5419-3:2015

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 esteja 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 e que estejam incorporados ao SPDA externo e interno se enquadrem nesta Norma.

### 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, sinais 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** 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 “imediato” 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 da necessidade do SPDA (externo e interno), além da seleção do respectivo nível de proteção para a estrutura, por meio de um relatório de uma análise de risco;
- 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.

**ABNT NBR 5419-3:2015****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 do solo, até 3 m de distância dos condutores de descida, for maior ou igual a 100 k $\Omega$ .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 destas 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  $\mu$ s, por exemplo, no mínimo uma camada de 3 mm de polietileno reticulado; ou
- b) restrições físicas (barreiras) ou sinalização de alerta para minimizar a probabilidade dos condutores de descida serem tocados.

**8.2 Medidas de proteção contra tensões de passo**

Os riscos são reduzidos a um nível tolerável se uma das condições apresentadas em 8.1.1 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

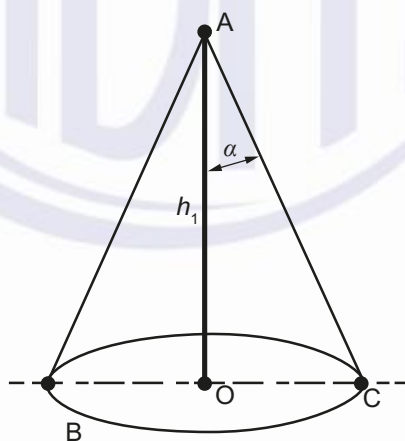
##### A.1.1 Geral

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  $\alpha$ , 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

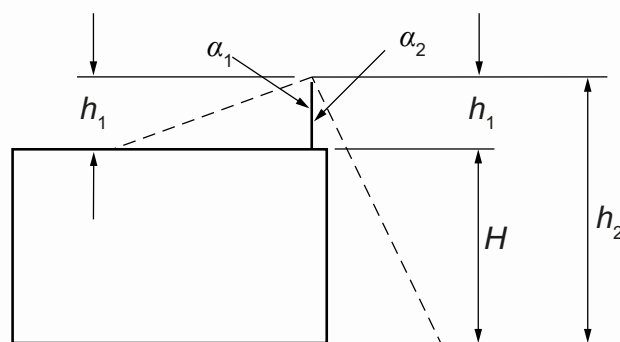


#### Legenda

- 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
- $\alpha$  ângulo de proteção conforme Tabela 2

**Figura A.1 – Volume de proteção provido por um mastro**

## ABNT NBR 5419-3:2015

**Legenda**

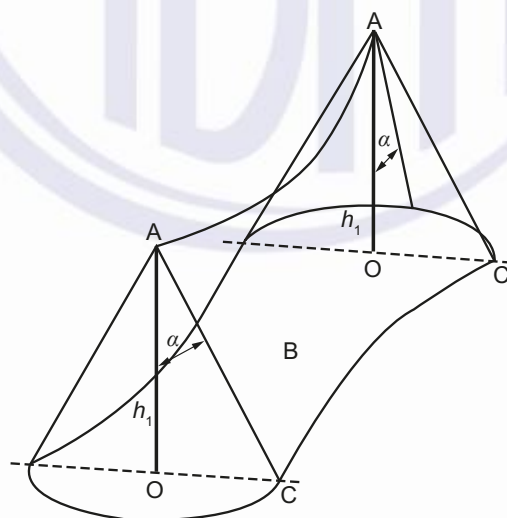
$h_1$  altura do mastro.

NOTA O ângulo de proteção  $\alpha_1$  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  $\alpha_2$  corresponde à altura  $h_2 = h_1 + H$ , com o solo sendo o plano de referência;  $\alpha_1$  está relacionado com  $h_1$ , e  $\alpha_2$  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**

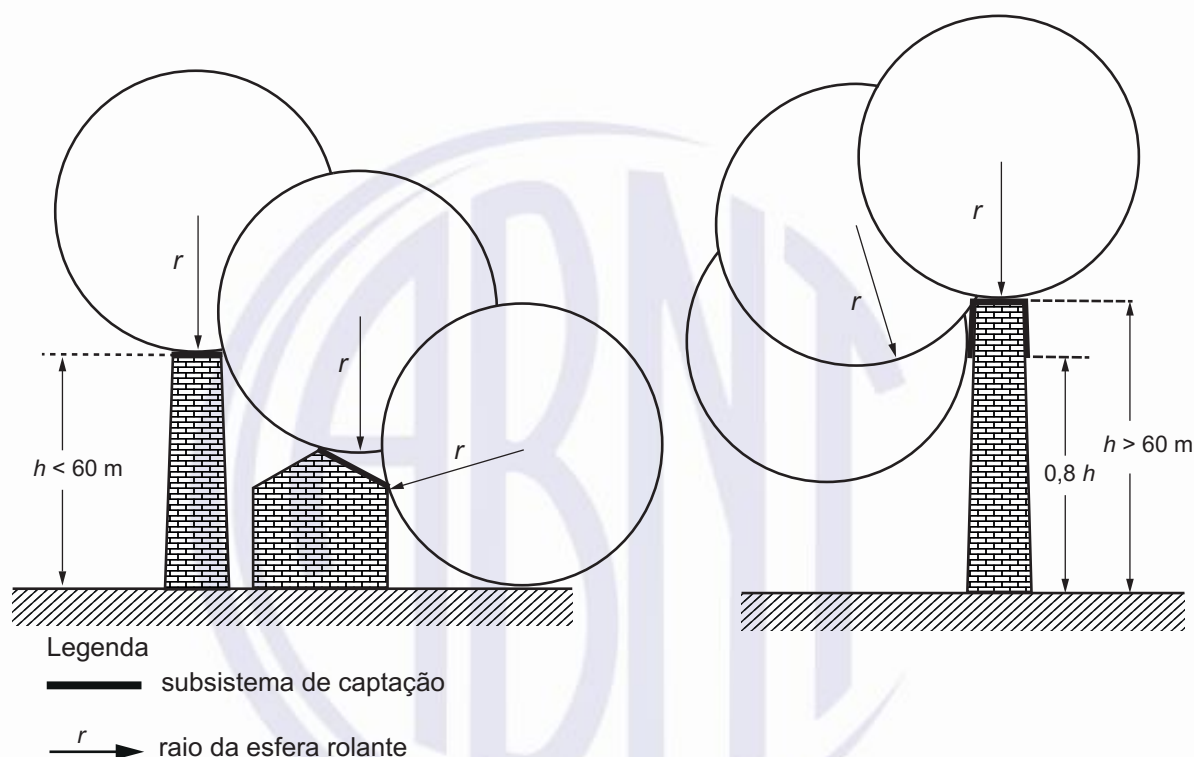
- A topo do captor
- B plano de referência
- OC raio da base do cone de proteção
- $h_1$  altura de um mastro acima do plano de referência
- $\alpha$  ângulo de proteção conforme Tabela 2

**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 atmosféricas 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, acima de 60 m de altura, (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.

**ABNT NBR 5419-3:2015****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 devem 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, que por suas características não possa assumir a condição de elemento captor, ultrapasse para fora o volume protegido 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<sup>2</sup>) da área da seção reta da blindagem necessária para evitar centelhamento perigoso é dado por:

$$S_{cmin} = \frac{I_f \cdot \rho_c \cdot L_c \cdot 10^6}{U_w} \quad (\text{mm}^2)$$

onde

$I_f$  é a corrente que percorre a blindagem, expressa em quiloampère (kA);

$\rho_c$  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 eletroeletrônico 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 $\rho$ ( $\Omega m$ )	$L_c \leq 8 \cdot \sqrt{\rho}$
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 ABNT NBR 5419-4.

Os limites de corrente são dados:

a) para cabos blindados, por:

$$I_f = 8 \cdot S_c$$

e

**ABNT NBR 5419-3:2015**

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 (mm<sup>2</sup>);

$S'_c$  é a seção de cada condutor, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).



## 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.

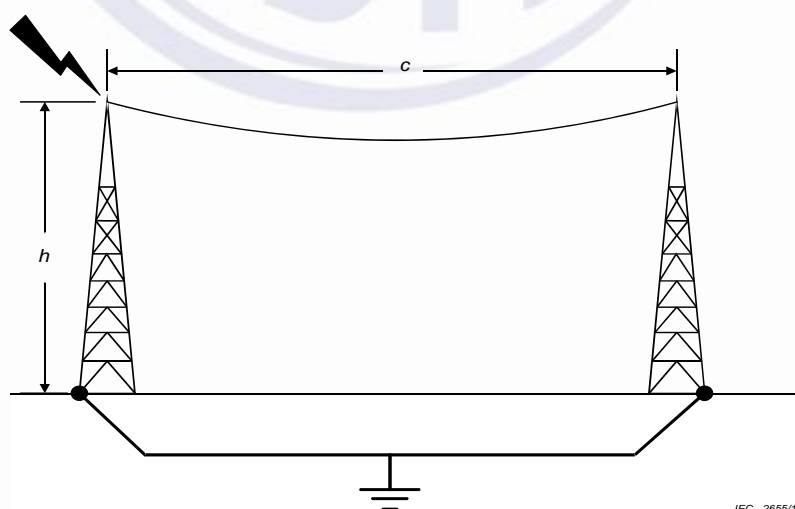
A Tabela C.1 aplica-se para os arranjos de aterramento em anel.

**Tabela C.1 – Valores do coeficiente  $k_c$**

Tipo de captadores	Número 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) <sup>a</sup>
Malha	4 e mais	0,25... 0,5 (ver Figura C.2) <sup>b</sup>
Malha	4 e mais, conectados por condutores horizontais em anel	1/ $n$ ... 0,5 (ver Figura C.3) <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Faixa de valores de  $k_c = 0,5$ , onde  $c < h$  a  $k_c = 1$  com  $h < c$  (ver Figura C.1).  
<sup>b</sup> 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  $h$ ,  $c_s$  e  $c_d$  são assumidos para serem na faixa de 5 m a 20 m.  
<sup>c</sup> 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.

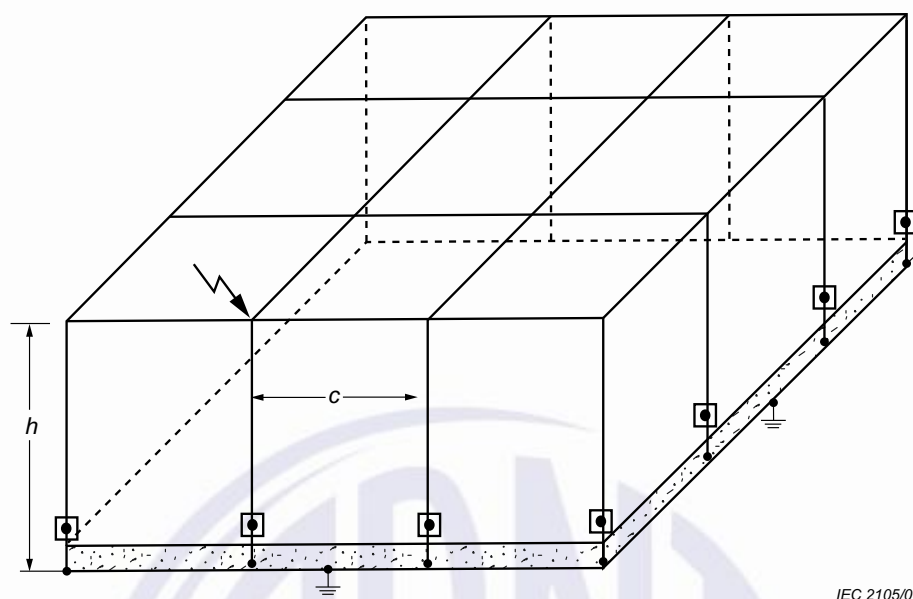


Assim:

$$K_c = \frac{h + c}{2h + c}$$

**Figura C.1 – Valores do coeficiente  $k_c$  no caso de um subsistema de captadores a um fio e um subsistema de aterramento em anel**

## ABNT NBR 5419-3:2015



Assim:

$$K_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

onde

$n$  número total de condutores de descidas;

$c$  distância de um condutor de descida ao próximo condutor de descida;

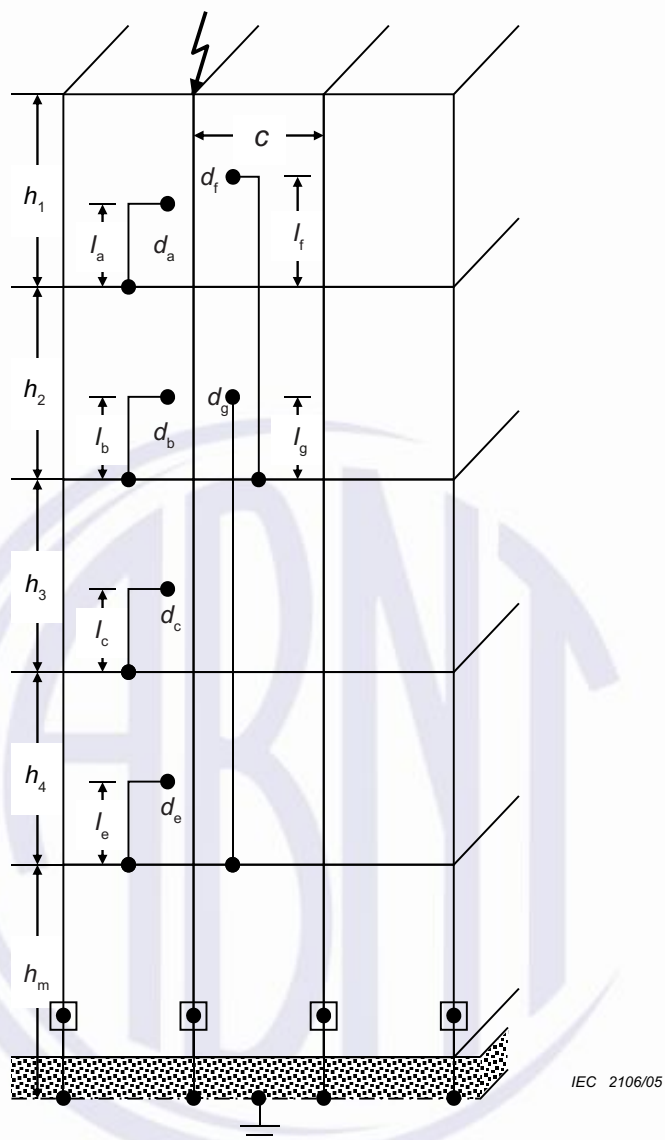
$h$  espaçamento (ou altura) entre os condutores em anel.

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 captadores em malha e sistema de aterramento em anel**





analisando a figura, temos:

$$d_a \geq s_a = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c1} \times l_a$$

$$d_b \geq s_b = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c2} \times l_b$$

$$d_c \geq s_c = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c3} \times l_c$$

$$d_e \geq s_e = \frac{k_i}{k_m} \times k_{c4} \times l_e$$

$$d_f \geq s_f = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c1} \times l_f + k_{c2} \times h_2)$$

$$d_g \geq s_g = \frac{k_i}{k_m} \times (k_{c2} \times l_g + k_{c3} \times h_3 + k_{c4} \times h_4)$$

**ABNT NBR 5419-3:2015**

assim,

$$K_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \times \sqrt[3]{\frac{c}{h_1}}$$

$$K_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1$$

$$K_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01$$

$$K_{c4} = \frac{1}{n}$$

$$K_{cm} = K_{c4} = \frac{1}{n}$$

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 captos 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.

## ABNT NBR 5419-3:2015

### 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 captadores. 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 são 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 estes 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.

## ABNT NBR 5419-3:2015

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 (*jumper*s) 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, containeres 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 a 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 mm<sup>2</sup>, 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 mm<sup>2</sup> 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.

**ABNT NBR 5419-3:2015****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 mm<sup>2</sup>;
- 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  $1 \Omega$ , 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 baldrame 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.

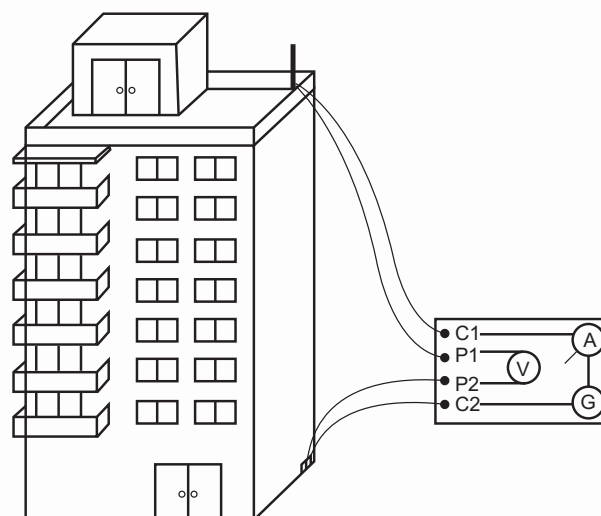


Figura F.1 – Método de medição

**ABNT NBR 5419-3:2015**

A medição deve ser realizada com aparelhos que forneçam corrente elétrica entre 1 A e 10 A, 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  $\Omega$ .

**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  $\Omega$ .

**F.4 Aparelhagem de medição**

O instrumento adequado para medir a continuidade deve injetar uma corrente elétrica entre 1 A e 10 A, com corrente contínua ou alternada 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 esta corrente, medir a queda de tensão entre estes 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

- [1] ABNT NBR 6323, *Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação*
- [2] ABNT NBR 13571, *Haste de aterramento aço-cobreado e acessórios*
- [3] ABNT NBR 15749, *Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento*
- [4] 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*
- [5] IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*
- [6] IEC/TS 60479 (all parts), *Effects of current on human beings and livestock*
- [7] IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*
- [8] IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
- [9] IEC 61400-24, *Wind turbines – Part 24: Lightning protection*
- [10] 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*
- [11] IEC 61643-12, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles*
- [12] IEC 61643-21, *Low-voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*
- [13] IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*
- [14] IEC 62561(all parts), *Lightning protection system components (LPSC)*
- [15] IEEE working group report, Estimating lightning performance of transmission lines-Analytical models. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993
- [16] ITU-T Recommendation K.67, Expected surges on telecommunications and signalling networks due to lightning
- [17] BERGER K., ANDERSON R.B., KRÖNINGER H., Parameters of lightning flashes. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37
- [18] ANDERSON R.B., ERIKSSON A.J., Lightning parameters for engineering application. CIGRE Electra No 69 (1980), p. 65 – 102