



*Projetos de Sistema de Proteção  
Contra Descargas Atmosféricas em  
Subestações de Distribuição*

*ENERGISA/C-GTCD-NRM/Nº098/2018*

## **Norma de Distribuição Unificada**

**NDU - 052**

Revisão 1.0 Agosto/2017



## Apresentação

Esta Norma Técnica apresenta os requisitos mínimos necessários para elaboração de projetos, inspeção e manutenção em sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).

De modo a assegurar as condições técnicas, econômicas e de segurança necessárias ao adequado fornecimento de energia elétrica, observando as exigências técnicas e de segurança recomendadas pela ABNT, e em conformidade com as prescrições vigentes nos Procedimentos de Distribuição - PRODIST e nas Resoluções Normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

As cópias e/ou impressões parciais ou em sua íntegra deste documento não são controladas.

A presente revisão desta norma técnica é a **versão 1.0**, datada de agosto de 2017.

**João Pessoa - PB, agosto de 2017.**

### **GTD - Gerência Técnica de Distribuição**

Esta norma técnica, bem como as alterações, poderão ser acessadas através do código abaixo:





## Equipe de Elaboração da NDU 052 (versão 1.0)

### **André Pereira Fernandes**

Energisa Paraíba  
Energisa Borborema

### **Ronimack Trajano de Souza**

Universidade Federal de Campo Grande

## Equipe de Homologação NDU 052 (Versão 1.0)

### Alex Welter

Energisa Mato Grosso

### Allyson Figueiredo

Energisa Sergipe

### André Alves Rocha dos Santos

Energisa Paraíba  
Energisa Borborema

### Brenner Moreira Santos

Energisa Tocantins

### Cicero Fermino da Silva

Energisa Sul-Sudeste

### Claudemir Candido de Araujo

Grupo Energisa

### Danielly Formiga Peixoto de Moura

Energisa Paraíba  
Energisa Borborema

### Deyd Jackon Bezerra dos Santos

Energisa Paraíba  
Energisa Borborema

### Elger Dias Reis

Energisa Paraíba  
Energisa Borborema

### Fellype José Couras Freitas

Energisa Paraíba  
Energisa Borborema

### Leandro Mayron de Oliveira Pinto

Energisa Paraíba  
Energisa Borborema

### Marcos Colussi

Energisa Mato Grosso

### Orcino Batista de Melo Junior

Grupo Energisa

### Renato Deryck da Silva Azeredo

Energisa Mato Grosso

### Sergio Carabetti

Energisa Minas Gerais  
Energisa nova Friburgo

### Sidney Lopes de Assis

Energisa Paraíba  
Energisa Borborema

### Thiago Augusto Maciel Ribeiro

Energisa Mato Grosso do Sul

### Wanderclan Feitosa

Energisa Sergipe

## Aprovação Técnica

### Tercius Cassius Melo de Moraes

Gerente Técnico de Distribuição - GTD

Grupo Energisa

### Gioreli de Sousa Filho

Vice-Presidente de Distribuição - VPD

Grupo Energisa



## Sumário

1. OBJETIVO .....	6
2. APLICAÇÃO .....	6
3. SIGLAS E DEFINIÇÕES .....	6
4. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES .....	13
4.1. Normas técnicas brasileiras .....	13
5. CONSEQUÊNCIAS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....	14
5.1. Fontes e Tipos de Danos a uma Estrutura .....	14
5.2. Tipos de Perdas .....	16
5.3. Riscos e Componentes de Risco .....	17
5.4. Gerenciamento de Riscos .....	19
6. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - SPDA.....	21
6.1. Classe de Proteção .....	21
6.2. Subsistema de Captação.....	22
6.3. Método de Proteção.....	25
6.4. Subsistema de Descida.....	54
6.5. Subsistema de Aterramento .....	65
7. PROJETO E INSTALAÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (MPS) .....	72
7.1. Instalação de um Sistema Coordenado de DPS.....	77
8. MATERIAL .....	85
9. INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO .....	89
9.1. Aplicação das Inspeções .....	89
9.2. Ordem das Inspeções .....	89
9.3. Componentes Inspeccionados .....	90
10. NOTAS COMPLEMENTARES .....	95
11. HISTÓRICO DE VERSÕES DESTE DOCUMENTO .....	95
12. VIGÊNCIA .....	95

## 1.OBJETIVO

Esta Instrução tem por objetivo estabelecer diretrizes para elaboração de projetos, inspeção e manutenção em sistemas de proteção contra descargas atmosférica (SPDA).

## 2.APLICAÇÃO

Esta Norma é aplicada as subestações de energia elétrica em toda a área de concessão da ENERGISA no tocante ao Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Esta norma não contempla a proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra interferências eletromagnéticas causadas pelas descargas atmosféricas. Para proteção contra os efeitos de campos eletromagnéticos irradiados diretamente para os próprios equipamentos devem ser usadas medidas de proteção consistindo em blindagens espaciais e/ou condutores blindados, combinados com a blindagem dos invólucros dos equipamentos.

Esta norma não se aplica a tubulações e linhas de energia e de sinal localizados fora da estrutura a ser protegida.

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

## 3.SIGLAS E DEFINIÇÕES

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

**Barramento de equipotencialização principal BEP** - Barramento destinado a servir de via de interligação de todos os elementos que possam ser incluídos na equipotencialização principal.

**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.

**Blindagem magnética** - Tela metálica, em forma de malha ou contínua, que envolve a estrutura a ser protegida, ou parte dela, utilizada para reduzir falhas dos sistemas eletroeletrônicos.

**Captor** - Elemento metálico disposto em qualquer direção, que são projetados e posicionados para receber as descargas atmosféricas.

**Classe do SPDA** - número que denota a classificação de um SPDA de acordo com o nível de proteção para o qual ele é projetado.

**Componente de conexão** - Parte do SPDA que é usada para a conexão entre condutores ou entre um condutor do SPDA e outras instalações metálicas.

**Componente de fixação** - Parte do SPDA que é utilizado para fixar seus elementos à estrutura a ser protegida.

**Componente de risco RX** - Risco parcial que depende da fonte e do tipo de dano.

**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:

1. Captor natural (estrutura como postes, torres e telhas metálicas);
2. Descida natural (perfil metálicos configurando os pilares de sustentação) estrutura metálica das torres de sustentação dos equipamentos da subestação, armaduras do concreto armado providas de continuidade elétrica;

### 3. Eletrodo de aterramento natural (armaduras do concreto armado providas de continuidade elétrica).

**Conexão de ensaio** - Conexão instalada no subsistema de descida, projetada para possibilitar ensaios elétricos e medições em subsistemas do SPDA, que promove o isolamento elétrico entre o subsistema de captação e o subsistema de aterramento.

**Condutor de equipotencialização** - Condutor que interliga partes condutoras ao SPDA.

**Condutor de captação em anel** - Condutor formando um laço fechado ao redor do topo da estrutura e interconectando aos condutores de descida para a distribuição da corrente da descarga atmosférica entre as descidas.

**Dispositivo de proteção contra surto (DPS)** - Dispositivo destinado a limitar as sobre tensões e desviar correntes de surto. Contem pelo menos um componente não linear.

**DPS ensaiado com limp** - DPS que em ensaios suporta correntes impulsivas parciais das descargas atmosféricas limp com forma de onda típica 10/350  $\mu$ s. Para linhas elétricas de energia, uma corrente de ensaio adequada limp e definida para ensaio na classe I segundo procedimento descrito na ABNT NBR IEC 61643-1.

**DPS ensaiado com In** - DPS que suporta correntes induzidas de surto com uma forma de onda típica 8/20  $\mu$ s. No ensaio, exige-se uma corrente impulsiva correspondente a In. Para linhas de energia uma corrente de ensaio adequada In é definida para ensaio na classe 2 segundo procedimento descrito na ABNT NBR IEC 61643-1.

**DPS ensaiado com onda combinada** - DPS que suporta correntes induzidas de surto com uma forma de onda típica 8/20  $\mu$ s. No ensaio exige-se uma corrente impulsiva correspondente a Isc. Para linhas elétricas de energia uma combinação adequada de ondas é definida para ensaio na classe 3 segundo o procedimento descrito na ABNT NBR IEC 61643-1 definido a tensão de circuito aberto UOC 1,2/50  $\mu$ s e a



corrente de curto-circuito ISC 8/20  $\mu$ s de um gerador de ondas combinadas com relação-limite entre estes parâmetros de  $2\Omega$ .

**Danos físicos** - Danos a uma estrutura (ou a seu conteúdo) ou a uma linha devido aos efeitos mecânicos, térmicos, químicos ou explosivos da descarga atmosférica.

**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.

**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.

**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.

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

**Estrutura a ser protegida** - Estrutura para qual a proteção contra os efeitos das descargas atmosféricas é projetada.

**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.

**Falha de sistemas eletroeletrônicos** - Danos permanentes de sistemas eletroeletrônicos devido aos LEMP.

**Ferimentos a seres vivos** - Ferimentos, incluindo perda da vida, em pessoas ou animais devido a tensões de toque e de passo causadas pelas descargas atmosféricas. 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.

**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, armadura de aço da estrutura e peças metálicas estruturais.

**Ligação equipotencial para descargas atmosféricas EB (Equipotential Bonding)** - Ligação ao SPDA de partes metálicas separadas, por conexões condutoras diretas ou por meio de dispositivos de proteção contra surtos (DPS), para reduzir diferenças de potenciais causadas pelas correntes das descargas atmosféricas.

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


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

**Medidas de proteção** - Medidas a serem adotadas na estrutura a ser protegida, com o objetivo de reduzir os riscos.

**Medidas de proteção contra surtos (MPS)** - Medidas a serem tomadas para proteger os sistemas internos contra os efeitos dos LEMP.

**Nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP)** - Número associado a um conjunto de parâmetros da corrente da descarga atmosférica para garantir que os valores especificados em projeto não estão superdimensionados ou subdimensionados quando da ocorrência de uma descarga atmosférica.

**Nível de tensão nominal suportável de impulso  $U_w$**  - Tensão suportável de impulso definida pelo fabricante de um equipamento ou de uma parte dele,



caracterizando a capacidade de suportabilidade específica da sua isolação contra sobre tensões (transitórias). Para os efeitos da ABNT NBR 5419, somente a tensão suportável entre condutores vivos e a terra é considerada.

**Perda LX** - Quantidade média de perda (pessoas e bens) consequente a um tipo específico de dano devido a um evento perigoso, relativo a um valor (pessoas e bens) de uma estrutura a ser protegida.

**Probabilidade de dano PX** - Probabilidade de um evento perigoso causar danos na ou dentro da estrutura a ser protegida.

**Proteção contra descargas atmosféricas PDA** - Sistema completo para proteção de estruturas contra as descargas atmosféricas, incluindo seus sistemas internos e conteúdo, assim como as pessoas, em geral consistindo em um SPDA e MPS.

**Pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas (lightning electromagnetic impulse) LEMP** - Todos os efeitos eletromagnéticos causados pela corrente das descargas atmosféricas por meio de acoplamento resistivo, indutivo e capacitivo, que criam surtos e campos eletromagnéticos radiados.

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

**Risco tolerável RT** - Valor máximo do risco que pode ser tolerável para a estrutura a ser protegida.

**Sistema coordenado de DPS** - DPS adequadamente selecionados, instalados em cascata, de tal forma que estejam coordenados do ponto de vista da alimentação para formar um conjunto que visa reduzir falhas nos sistemas internos.

**Sistema de proteção contra descargas atmosféricas SPDA** - Sistema utilizado para reduzir danos físicos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura. Consiste nos sistemas externo e interno de proteção contra descargas atmosféricas.

**Sistema elétrico** - Sistema que incorpora componentes de alimentação em baixa tensão.

**Sistema eletrônico** - Sistema que incorpora os componentes de uma instalação elétrica de sinal, por exemplo, equipamentos eletrônicos de telecomunicações, controladores micro processados, sistemas de instrumentação, sistemas de rádio.

**SPDA externo** - Parte do SPDA composto pelos subsistemas de captação, descida e aterramento.

**SPDA interno** - Parte do SPDA consistindo em ligações equipotenciais e/ou isolação elétrica do SPDA externo.

**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.

**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.

**Sistemas internos** - Sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma estrutura.

**Subsistema de aterramento** - Parte de um SPDA que é destinada a conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra.

**Subsistema de captação** - Parte do SPDA que utiliza elementos metálicos, com a função de captor, dispostos em qualquer direção, que são projetados e posicionados para interceptar as descargas atmosféricas.

**Subsistema de descida** - Parte de um SPDA projetado para conduzir a corrente da descarga atmosférica desde o subsistema de captação até o subsistema de aterramento.

**Surto** - Efeitos transitórios causados por LEMP que aparecem na forma de sobre tensão e/ou sobre corrente.

**Tensão no sistema de aterramento** - Diferença de potencial entre o sistema de aterramento e o terra remoto.

**Volume de proteção** - Região definida pelo posicionamento dos captadores que está protegida contra a incidência direta de descargas atmosféricas.

**Zona de uma estrutura ZS** - Parte de uma estrutura com características homogêneas onde somente um conjunto de parâmetros está envolvido na taxa de um componente de risco.

**Zona de proteção contra descarga atmosférica (raio- ZPR)** - Zona onde o ambiente eletromagnético causado pelo raio é definido. O contorno de uma ZPR não é necessariamente dado por elementos físicos (por exemplo, paredes, piso e teto). As medidas de proteção como SPDA, condutores de blindagem, blindagens magnéticas e DPS determinam as ZPR.

## 4. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

### 4.1. Normas técnicas brasileiras

Para compreensão desta norma é necessário consultar as seguintes normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e as leis aplicáveis, levando em consideração todas as suas atualizações e/ou substituições pelas respectivas associações e poder público, quando se aplicar:

NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão

NBR 5419-1 - Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios gerais

NBR 5419-2 - Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco

NBR 5419-3 - Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos a vida

NBR 5419-4 - Proteção contra descargas atmosféricas Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura



NBR 6323 - Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido - Especificação

NBR 9518 - Equipamentos elétricos para atmosferas

NBR 13571 - Hastes de aterramento em aço cobreado e acessórios

NBR 14039 - Instalações elétricas de média tensão - 1 kV até 34,2 kV

Lei no 9.625, de 27 de dezembro de 2011, que institui o Código Estadual de Proteção Contra Incêndio, Explosão e Controle de Pânico no Estado da Paraíba.

## **5. CONSEQUÊNCIAS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**


As descargas atmosféricas são fenômenos naturais, imprevisíveis e aleatórios, tanto em relação as suas características elétricas (intensidade de corrente, tempo de duração, etc.), e não há dispositivos ou métodos capazes de impedir a sua ocorrência.

Entretanto, há dispositivos e métodos capazes de limitar os efeitos das descargas atmosféricas quando estas atingem edificações, estruturas ou linhas elétricas próximas às estruturas. Limitar os efeitos das descargas atmosféricas possibilita reduzir os riscos relacionados às pessoas, as próprias estruturas, seus conteúdos e instalações.

Para limitar os efeitos das descargas atmosféricas deve-se adotar uma proteção contra descargas atmosféricas compatível com as características da estrutura e dos seus componentes internos. Salienta-se que uma proteção contra descargas atmosféricas compatível não assegura a proteção absoluta das pessoas, da estrutura e dos bens nela contidos, entretanto, reduz de forma significativa os riscos de danos associados às descargas atmosféricas.

### **5.1. Fontes e Tipos de Danos a uma Estrutura**

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

- 
- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
  - b) S2: descargas atmosféricas próximas à estrutura;
  - c) S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
  - d) S4: descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

### **5.1.1. Descargas Atmosféricas na Estrutura - S1**

Podem causar:

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

### **5.1.2. Descargas Atmosféricas Próximas a Estrutura - S2**

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

### **5.1.3. Descargas Atmosféricas Sobre Linhas Elétricas e Tubulações Metálicas que Adentram a Estrutura - S3**

Podem causar:

- a) Fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido à sobre tensões e correntes das descargas atmosféricas transmitidas por meio das linhas elétricas e tubulações metálicas;

- b) Danos a pessoas por choque elétrico devido a tensões de toque dentro da estrutura causadas por correntes das descargas atmosféricas transmitidas pelas linhas elétricas e tubulações metálicas;
- c) Falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido à sobre tensões que aparecem nas linhas que entram na estrutura.

#### **5.1.4. Descargas Atmosféricas Próximas a Linhas Elétricas e Tubulações Metálicas que Entram na Estrutura - S4**

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

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

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

#### **5.2. Tipos de Perdas**

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

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

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

## 5.3. Riscos e Componentes de Risco

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

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

- a) R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) R2: risco de perda de serviço ao público;
- c) R3: risco de perda de patrimônio cultural;
- d) R4: risco de perda de valores econômicos.

### 5.3.1. Risco Tolerável RT

No tocante ao SPDA, é de responsabilidade da autoridade que tenha jurisdição (prefeitura ou corpo de bombeiros) identificar o valor do risco tolerável. A obrigatoriedade ou não de instalar um SPDA e em geral uma exigência de leis municipais. Quando essas leis têm como referência a ABNT NBR 5419, é possível dispensar o SPDA, desde que haja uma avaliação de risco, e este apresente um risco inferior ou igual aos limites estabelecidos.

Na falta de valores de risco tolerável por parte da autoridade competente, podem-se aplicar os valores representativos de risco tolerável RT, apresentados pela ABNT NBR 5419, para as descargas atmosféricas que envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais. Os valores de risco tolerável segundo a ABNT NBR 5419-2, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores típicos de risco tolerável  $R_T$ .

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

Cada item a ser considerado na adoção de medidas de proteção contra descargas atmosféricas estão presentes na norma ABNT NBR 5419. Cada uma das partes que

compõem a ABNT NBR 5419 tem uma finalidade específica, estando elas associadas entre si, conforme ilustrado na Figura 1.

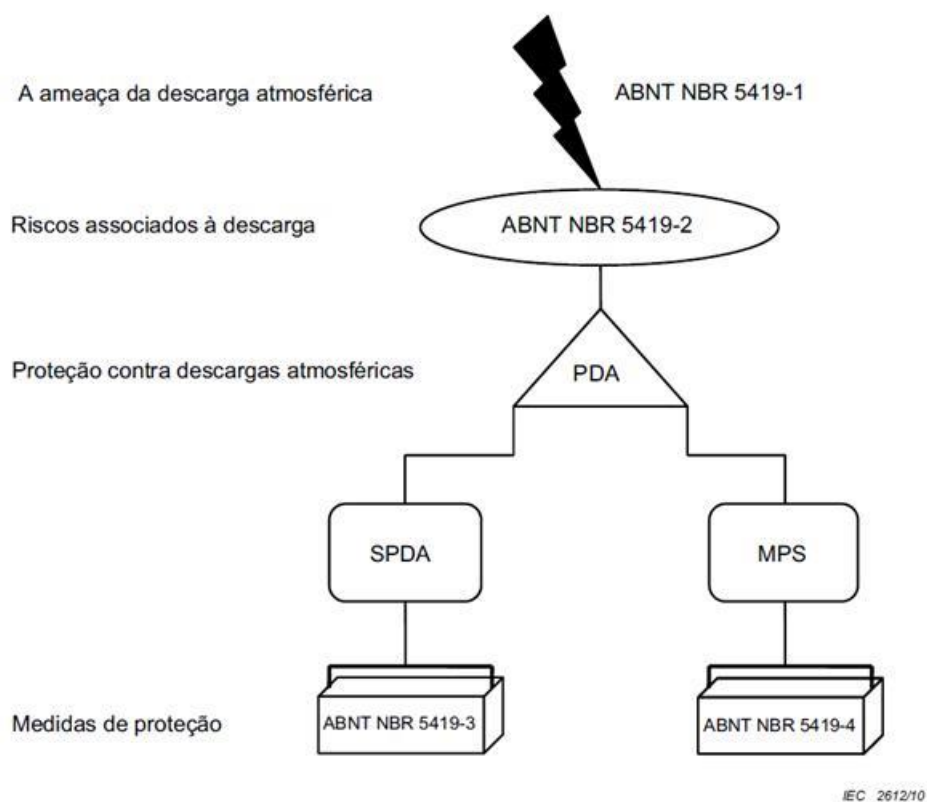


Figura 1: Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419.

Antes de iniciar um projeto de SPDA é preciso avaliar os riscos presentes na estrutura, bem como as medidas a serem adotadas que definirão um sistema compatível à necessidade da estrutura, analisando qual o impacto técnico e financeiro na adoção dessas medidas de proteção contra descargas atmosféricas, as quais devem reduzir ou mesmo eliminar as perdas relevantes à estrutura.

A metodologia de avaliação de riscos, com todas as medidas aplicáveis está presente na ABNT NBR 5419-2, que trata da Proteção contra descargas atmosféricas no tocante ao Gerenciamento de Risco.

O Gerenciamento de Risco permite a escolha das medidas de proteção apropriadas a serem adotadas para reduzir o risco ao limite ou abaixo do limite tolerável.



## 5.4. Gerenciamento de Riscos

O procedimento para a tomada de decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção mais adequadas do SPDA pode ser seguido conforme ilustração apresentada na Figura 2.

Na análise do Gerenciamento de Risco para subestações devem ser considerados pelo menos os riscos relativos à Perda de vida humana (L1) e perda de serviço ao público (L2), os quais são relevantes para este tipo de estrutura e são requisitos para avaliação da necessidade de proteção.

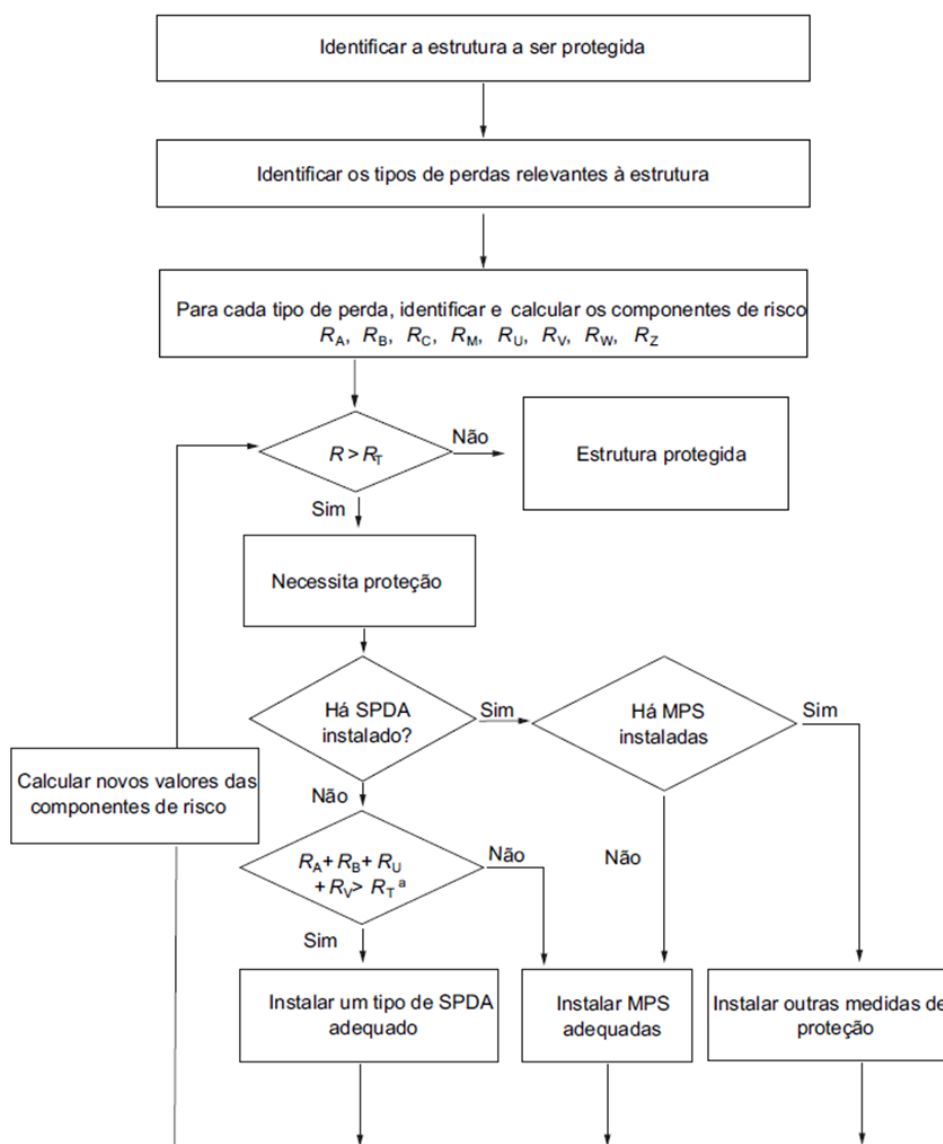



Figura 2: Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção.



Em função dos tipos de perdas considerados, implica a determinação de somente os riscos R1 e R2, sendo:

- R1 para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco RA, RB, RU e RV (de acordo com a Tabela 2 - NBR 5419-2) e para compará-los com o risco tolerável  $RT = 10^{-5}$  (de acordo com a Tabela 4 - NBR 5419-2) e,
- R2 para perda de serviço ao público (L2) com os componentes de risco RB, RC, RM, RV, RW, RZ (de acordo com a Tabela 2 - NBR 5419-2) e para compará-los com o risco tolerável  $RT = 10^{-3}$  (de acordo com a Tabela 4 - NBR 5419-2).

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

1. Identificação dos componentes RX que compõe o risco;
2. Cálculo dos componentes de risco identificados RX;
3. Cálculo do risco total R;
4. Identificação dos riscos toleráveis RT;
5. Comparação do risco total R com o valor do risco tolerável RT.

Segundo a ABNT NBR 5419-2, a necessidade ou não de proteção contra descargas atmosféricas deve seguir a análise quantitativa dos riscos, assim, tem-se:

Se  $R \leq RT$ , a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária;

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

Não é objetivo desta norma abordar o estudo do gerenciamento de riscos, tendo em vista a quantidade de variáveis envolvidas. Para o gerenciamento de riscos podem ser adotados programas computacionais específicos ou o cálculo dos parâmetros em função da consulta a ABNT NBR 5419-2 - Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco.

## 6. SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - SPDA

Em função do gerenciamento de riscos da subestação é determinado o projeto de Proteção contra Descargas Atmosféricas mais adequado para a estrutura, de modo a reduzir os riscos. O projeto do PDA inclui o projeto do SPDA ou MPS, ou somente um deles, visto que cada um possui parâmetros específicos que contribuem para redução do risco total. As características do PDA a ser instalado são determinadas pelas características da estrutura e da rede elétrica a ser protegida.

Para a redução dos riscos pela instalação do SPDA, a ABNT NBR 5419 estabelece quatro classes de SPDA (I a IV) e que correspondem aos níveis de proteção para descargas atmosféricas definidos na ABNT NBR 5419-1:2015, Tabela 1.

### 6.1. Classe de Proteção

A classe do SPDA denota a classificação de um SPDA de acordo com o nível de proteção para o qual ele é projetado. Para cada classe do SPDA são definidos parâmetros específicos quanto à descarga atmosférica, volume de proteção dos eletrodos de captação, distâncias entre condutores, distância de segurança contra centelhamento perigoso e comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

No tocante as subestações de energia elétrica, por se tratar de uma estrutura em que uma falha no sistema elétrico devido à descarga atmosférica pode provocar interrupções inaceitáveis de serviços ao público, deve ser adotado SPDA, com proteção contra sobre tensão por meio de DPS em todas as linhas de serviços (linha de energia, linha de sinal, cabo de antenas, etc.) que entram na subestação.

Uma vez tomada essa decisão de instalação da Proteção contra Descargas Atmosféricas, o primeiro passo consiste em enquadrar a subestação em uma das quatro classes de proteção.

Em função dos valores apresentados no Gerenciamento de Riscos, as seguintes decisões devem assim ser tomadas:

- Se  $R \leq RT$ , deve ser adotado SPDA com classe de proteção IV, com proteção contra sobre tensão por meio de DPS em todas as linhas de serviços (linha de energia, linha de sinal, cabo de antenas, etc.) que entram na subestação.
- Se  $R > RT$ , medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir  $R \leq RT$ , para nível, de risco tolerável, avaliando todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita, devendo ser adotado o mais adequado SPDA (Classe I ou II ou III ou IV), com proteção contra sobre tensão por meio de DPS em todas as linhas de serviços (linha de energia, linha de sinal, cabo de antenas, etc.) que entram na subestação.

**NOTA:**

1. No caso em que o risco não possa ser reduzido a um nível tolerável, a Energisa deverá ser informada e o mais alto nível de proteção deve ser projetado para a subestação. Neste caso, deve ser adotado SPDA com classe de proteção I, com proteção contra sobre tensão por meio de DPS em todas as linhas de serviços (linha de energia, linha de sinal, cabo de antenas, etc.) que entram na subestação.

Em função da classe de proteção do SPDA define-se a configuração do subsistema de captação.

## 6.2. Subsistema de Captação

O subsistema de captação é parte do SPDA externo que utiliza elementos metálicos dispostos em qualquer direção, que são projetados e posicionados para interceptar as descargas atmosféricas. O subsistema de captação deve ser composto pelos seguintes elementos:

- Hastes (incluindo mastros);
- Combinação de hastes e condutores suspensos;
- Malha de condutores.

O correto posicionamento dos elementos captores e do subsistema de captação é que determina o volume de proteção. Preferencialmente, devem ser instaladas hastes do tipo cantoneira como captores. As hastes podem ser instaladas diretamente nos postes de concreto, conforme detalhes apresentados na Figura 3.

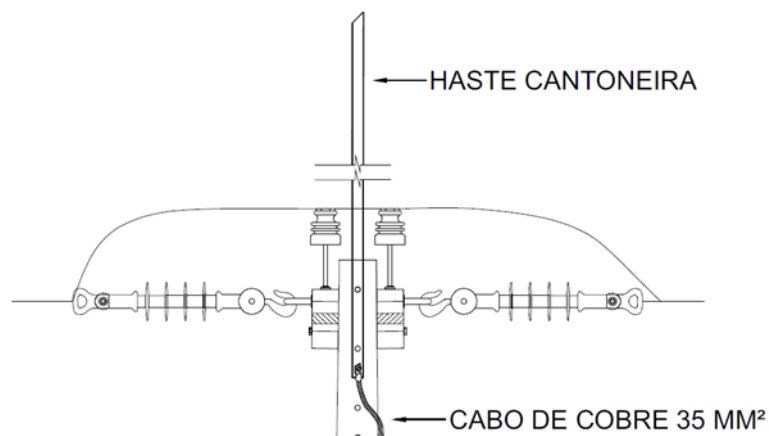


Figura 3: Instalação de haste cantoneira como captor fixado em poste DT.

Na impossibilidade ou inviabilidade de instalação da haste diretamente nos postes de concreto, uma sugestão é instalar a haste cantoneira conectada a um espaçador. O espaçador utilizado pode ser o mesmo adotado em redes de distribuição em baixa tensão, conforme detalhes apresentados na Figura 4.

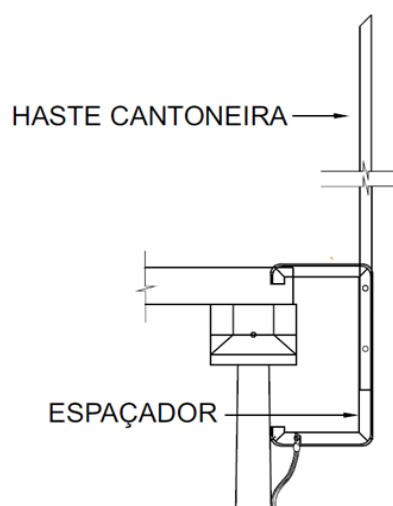


Figura 4: Instalação de haste cantoneira como captor fixado em espaçador de rede de baixa tensão.



O comprimento da haste cantoneira deve ser limitado a 4 metros (para comprimentos maiores, um estudo a parte deverá ser realizado para fins de comprovação de resistência e modo de fixação da haste). Os detalhes e dimensões da haste cantoneira estão apresentados na Figura 5. O posicionamento e o comprimento das hastes deve garantir que todos os equipamentos da subestação estejam dentro do volume de proteção.

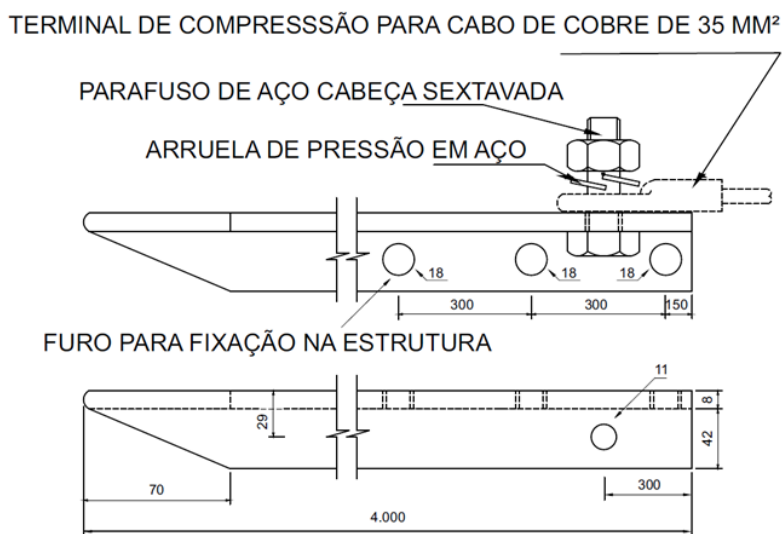


Figura 5: Detalhe construtivo da haste cantoneira para o sistema de captação do SPDA.

Quando a distância entre postes for elevada e a instalação de haste cantoneira não proporcionar o volume de proteção necessária, uma opção é a instalação de cabos suspensos, paralelos à rede elétrica, conforme ilustrado na Figura 6.

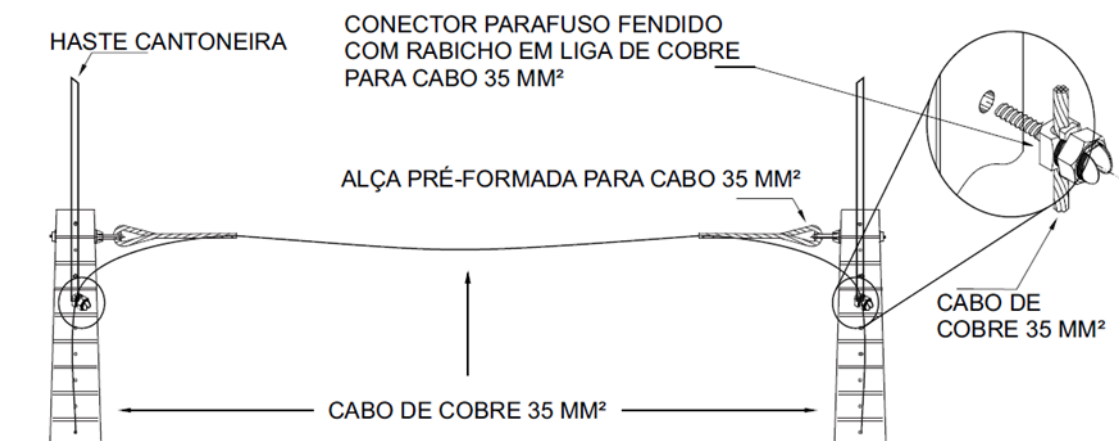



Figura 6: Instalação de cabo como captor fixado em poste com alça pré-formada.



A ABNT NBR 5419 estabelece que os 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 métodos de proteção padronizados.

### 6.3. Método de Proteção

Para os projetos de SPDA, os métodos padronizados pela ABNT NBR 5419 na determinação do posicionamento do subsistema de captação incluem:

- Método do ângulo de proteção
- Método da esfera rolante
- Método das malhas

#### 6.3.1. Método dos Ângulos

No método dos ângulos, o volume de proteção é calculado em função da altura do captor e do ângulo de proteção desse captor ( $\alpha$ ), conforme ilustrado na Figura 7. O volume de proteção é definido pela geratriz de um mastro, que forma um cone circular, cujo vértice está posicionado no eixo do mastro. A estrutura estará protegida somente se ela estiver totalmente inserida dentro do volume de proteção delimitado pelo cone fictício, representado pela área hachurada da Figura 7.

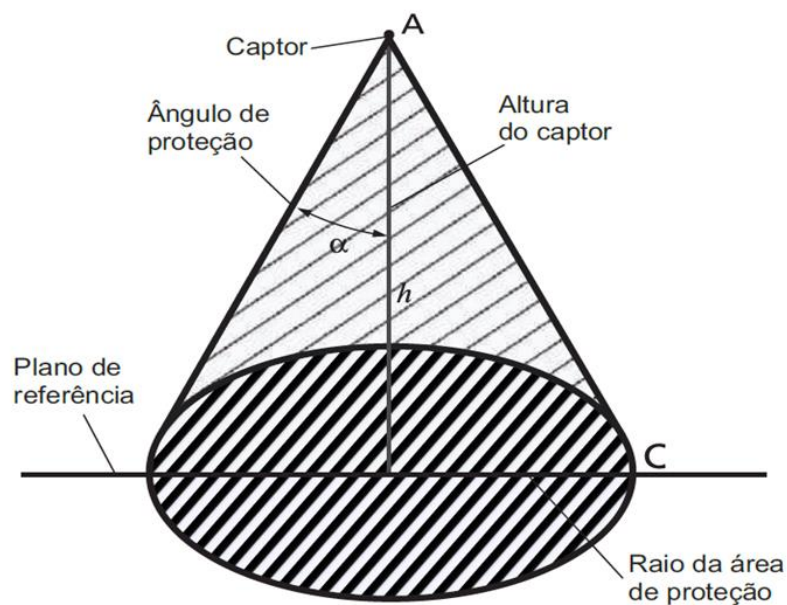


Figura 7: Volume de proteção provido por um mastro.

O ângulo ( $\alpha$ ) é definido em função da altura e da classe de proteção do SPDA. Na Figura 8 é apresentado o gráfico para determinação do ângulo ( $\alpha$ ), em que H representa a altura da ponta do captor ao plano de referência da área a ser protegida.

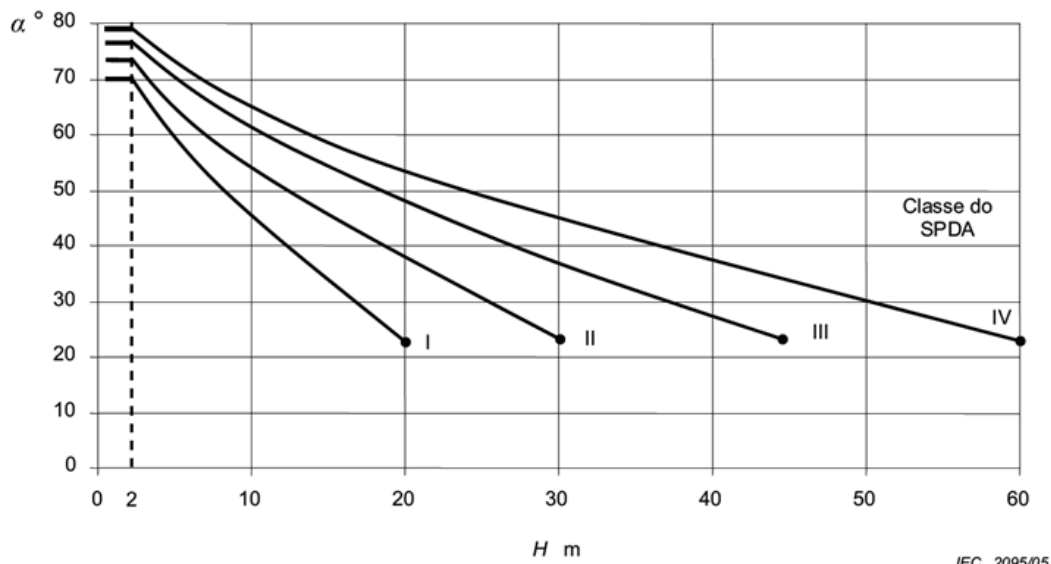


Figura 8: Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.

Dependendo da localização do captor, como é o caso de captores verticais instalados na periferia da estrutura, pode haver dois ou mais planos de referência para definição da altura H, conforme ilustrado na Figura 9.

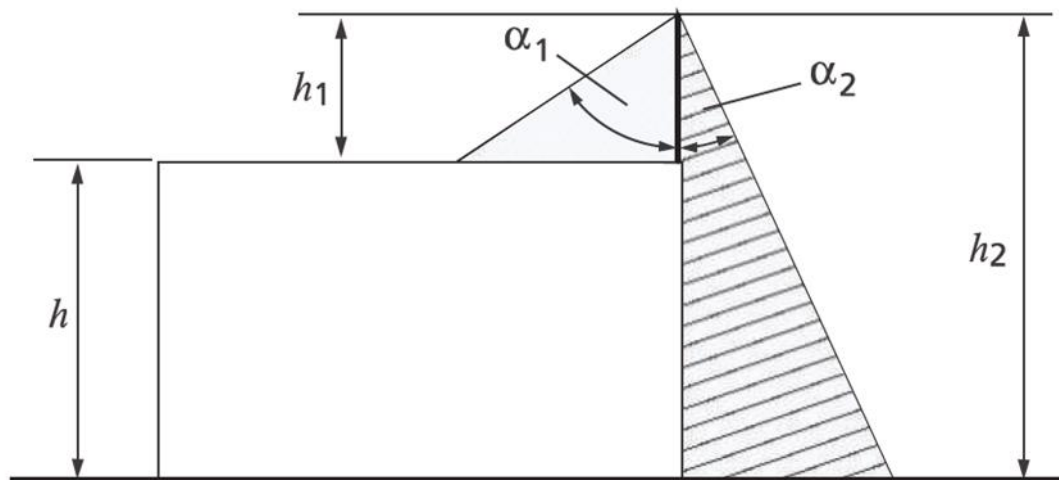


Figura 9: Volume de proteção provido por um mastro para duas alturas diferentes.

No caso da Figura 9, o ângulo  $\alpha_1$  é definido em função da altura  $h_1$ , que tem como referência a ponta do captor e o topo da edificação, enquanto o ângulo  $\alpha_2$  é definido em função da altura  $h_2$ , que tem como referência a ponta do captor e a base da edificação.

O método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples, mas está sujeito aos limites de altura dos captores indicados na Figura 8.

### Área de proteção em função de um captor

Inicialmente define-se o tamanho do captor e ponto de instalação do mesmo, bem como a classe do SPDA. Estas informações são essenciais para o cálculo do volume de proteção. No caso das subestações de energia elétrica, os captores devem ser instalados preferencialmente nos postes de concreto ou torres metálicas.

Definido o ponto de instalação do captor, se faz necessário então definir o volume de proteção delimitado pelo respectivo captor em função da altura e da classe de proteção do SPDA.

O procedimento para se obter o volume de proteção delimitado pelo captor ilustrado na Figura 10, considerando um SPDA classe III, será apresentado a seguir:

- Passo 1: Determina-se o comprimento do captor e o ponto de instalação do mesmo. No caso a ser analisado, a seguir, o tamanho do captor é de 4 metros e o mesmo está instalado em um poste com altura de 12 metros. Considerando que o ponto de fixação do captor se localiza a 50 cm abaixo do topo do poste, o comprimento útil do captor será de 3,50 m, conseqüentemente, o captor está a uma altura de 15,50 m, conforme ilustrado na Figura 10.

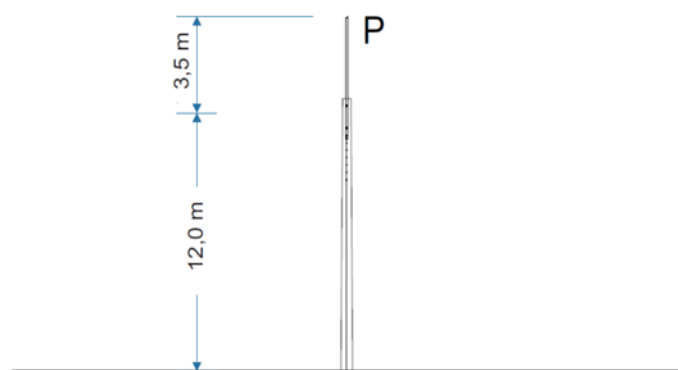


Figura 10: Captor instalado no topo de um poste DT.

- Passo 2: Determina-se o ângulo de proteção delimitado pelo respectivo captor, em função da classe de proteção (classe III) e altura do captor (15,50 m). Para o exemplo apresentado tem-se um ângulo correspondente a 54, conforme ilustrado na Figura 11.

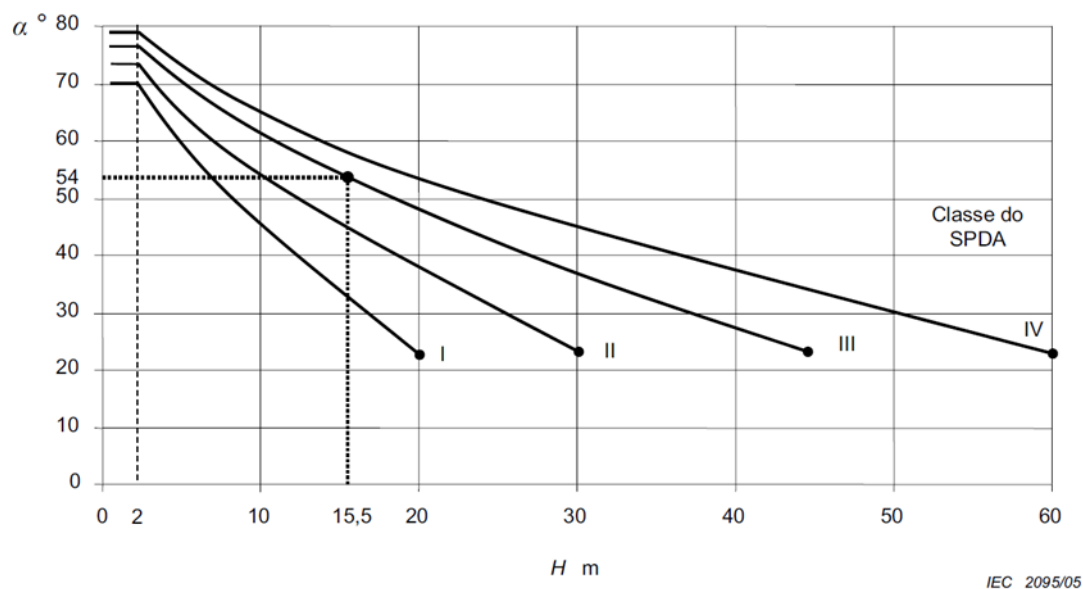


Figura 11: Passo 2 - Determinação dos ângulos de proteção para um SPDA classe III em função da altura dos captores.



- Passo 3: Traçam-se duas linhas com origem na ponta do captor e perfazendo um ângulo de  $54^\circ$  com o captor, conforme ilustrado na Figura 12.

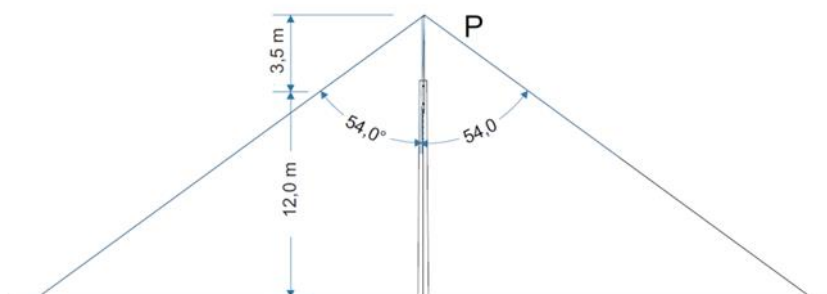


Figura 12: Passo 3 - Traçando linhas com os ângulos de proteção correspondentes.

- Passo 4: A área abaixo das duas linhas representa a área de proteção delimitada pelo captor P, conforme ilustrado na Figura 13. O volume de proteção é delimitado pela rotação da área em torno do captor.

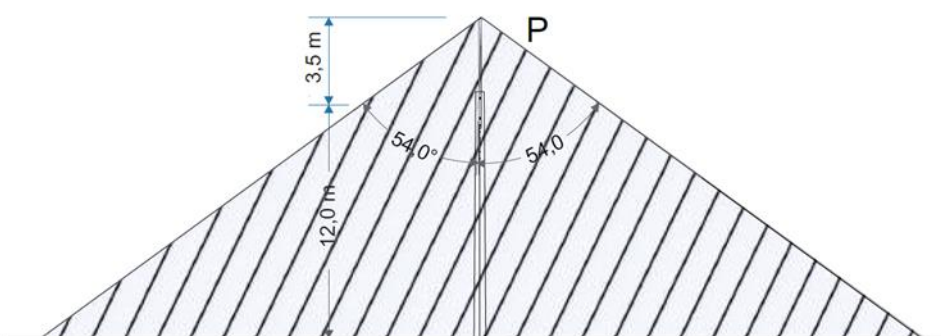


Figura 13: Passo 4 - Definindo a área de proteção formada pelo captor P.

### Área de proteção em função de dois captores

Inicialmente define-se o tamanho do captor e ponto de instalação do mesmo, bem como a classe do SPDA.

Definidos os pontos de instalação dos captores, se faz necessário então definir o volume de proteção delimitado pelos respectivos captores em função da altura e da classe de proteção do SPDA. O procedimento para se obter o volume de proteção delimitado pelo captor ilustrado na Figura 14, considerando um SPDA classe III, será apresentado a seguir:

- Passo 1: Considerando-se os captosres com as mesmas características e pontos de fixação do exemplo anterior, os captosres estarão instalados a uma altura de 15,50 m, conforme ilustrado na Figura 14.



Figura 14: Captor instalado no topo de um poste DT.

- Passo 2: Determinam-se os ângulos de proteção delimitados pelos respectivos captosres, em função da classe de proteção (classe III) e altura do captor (15,50m). Neste caso, como os captosres possuem a mesma altura e somente um plano de referência, os ângulos  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são iguais para ambos os captosres, conforme ilustrado na Figura 15. Para o exemplo apresentado tem-se um ângulo  $\alpha_1 = \alpha_2 = 540$ , conforme determinado pelo gráfico da Figura 11.

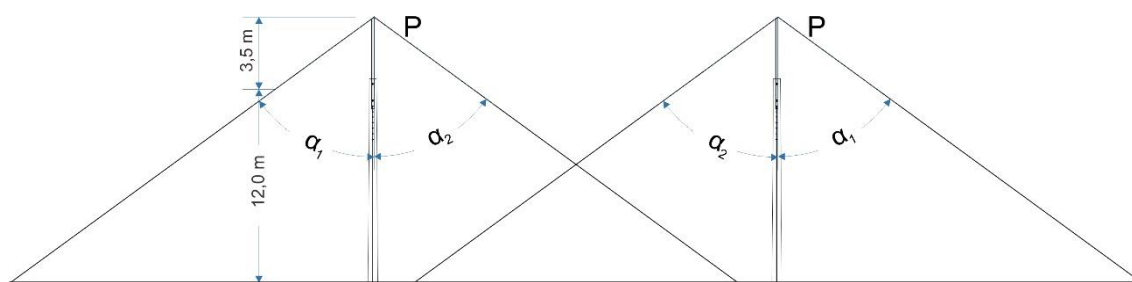


Figura 15: Passo 2 - Ângulos de proteção correspondente à classe de SPDA e altura dos captosres.

- Passo 3: Traçam-se duas linhas com origem na ponta do captor P e perfazendo um ângulo de 540 com este captor, conforme ilustrado na Figura 16. O mesmo procedimento é realizado para o captor P', conforme ilustrado na Figura 16.

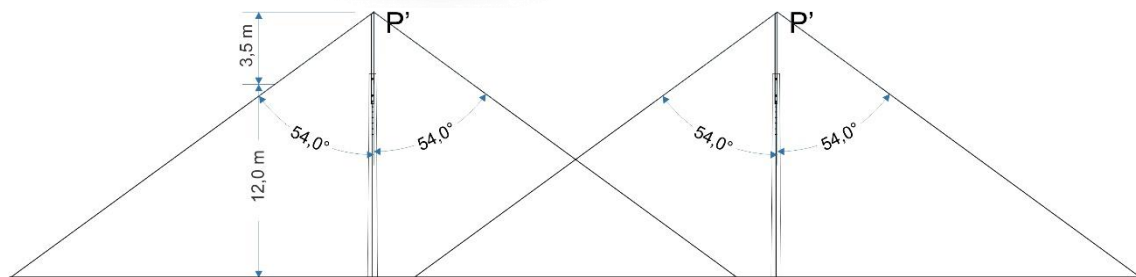


Figura 16: Passo 3 - Traçando linhas com os ângulos de proteção correspondentes.

- Passo 4: A área abaixo das duas linhas representa a área de proteção delimitada pelos captadores P e P', conforme ilustrado na Figura 17, o volume de proteção é delimitado pela rotação da área em torno do captor.

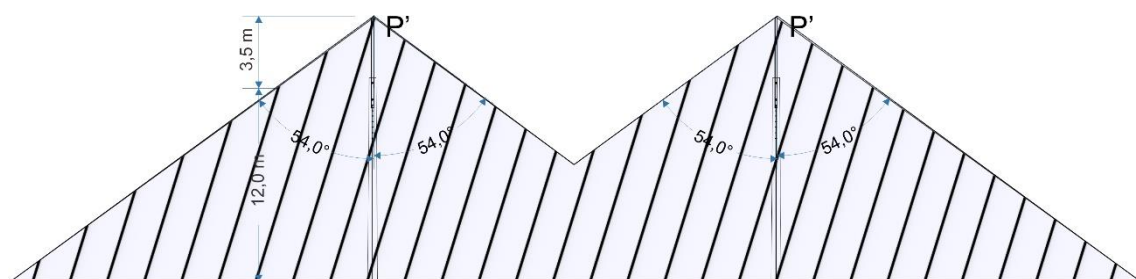


Figura 17: Passo 4 - Definindo a área de proteção formada pelos captadores P e P'.

### Área de proteção em função de dois captores em uma subestação

Para avaliação da área/volume de proteção de captores será adotado o projeto do SPDA de uma subestação de energia elétrica, com 4 captores (P, P', P1, P1'), conforme ilustrado na Figura 18.

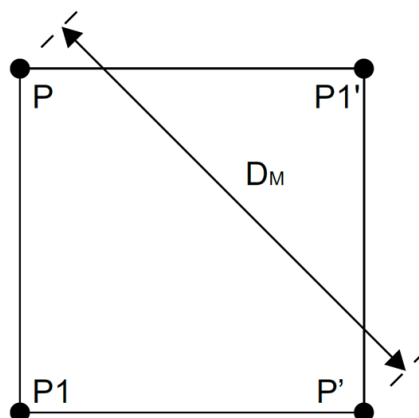


Figura 18: SPDA composto por 4 captores.

A subestação estará protegida somente se todos os equipamentos estiverem dentro do volume de proteção delimitado pelos captores (P, P', P1, P1'). Para avaliação do volume de proteção pelo método dos ângulos vamos analisar o volume de proteção definido por dois dos quatro captores. Em função da distribuição dos captores temos as seguintes possibilidades: P - P1, P - P1', P - P', P' - P1', P' - P1 e P1 - P1'. Como a diagonal DM representa a maior dimensão da subestação, a área de proteção definida pelos captores (P e P') e (P1 e P1') será suficiente para envolver toda a área da subestação.

Definidos os pontos de instalação dos captores, se faz necessário então definir o volume de proteção delimitado pelos respectivos captores em função da altura e da classe de proteção do SPDA. O procedimento para se obter o volume de proteção delimitado pelos captores ilustrados na Figura 18, considerando um SPDA classe III, será apresentado a seguir:

- Passo 1: Considerando-se os captores com as mesmas características e pontos de fixação dos exemplos anteriores, os captores estarão instalados a uma altura de 15,50 m, conforme ilustrado na Figura 19.

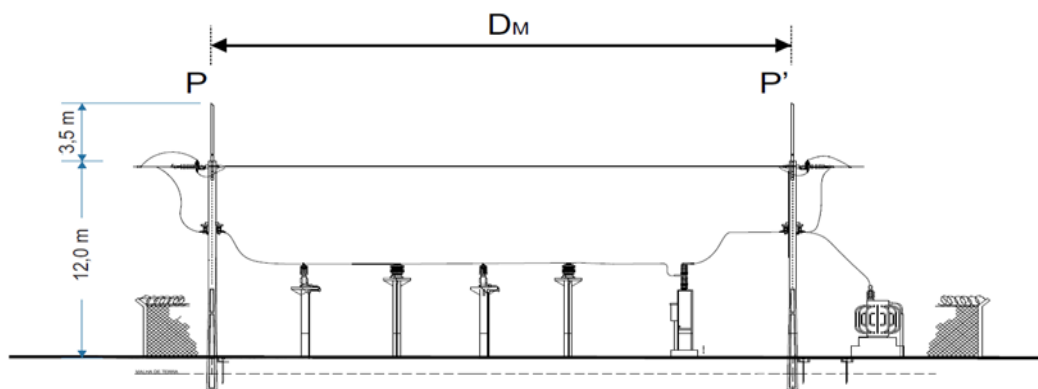
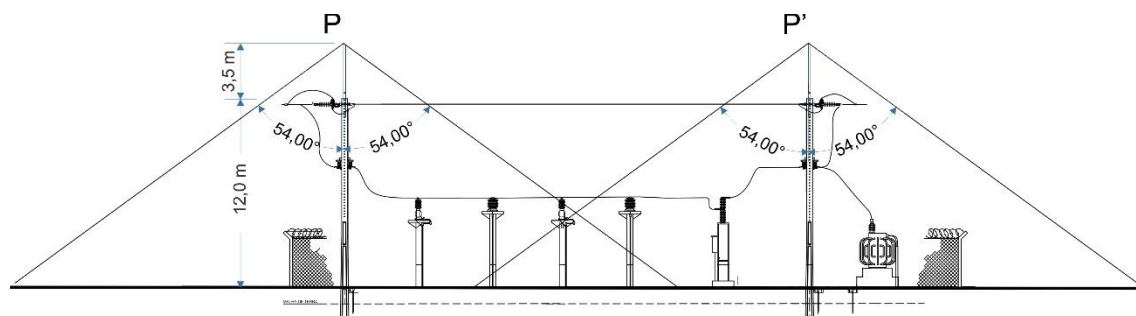


Figura 19: Captadores instalados no topo de postes DT.

- Passo 2: Determinam-se os ângulos de proteção delimitados pelos respectivos captores, em função da classe de proteção (classe III) e altura do captor (15,50 m). Neste caso, como há mais de um captor instalado, a determinação dos ângulos de proteção dos captores segue o procedimento ilustrado na Figura 14. Assim, os captores formam os ângulos  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ . Sendo  $\alpha_1 = 540$  e  $\alpha_2 = 540$ , conforme determinado pelo gráfico da Figura 11.

- Passo 3: Traçam-se duas linhas com origem na ponta do captor P e perfazendo um ângulo de 54,00 com este captor, conforme ilustrado na Figura 20. O mesmo procedimento é realizado para o captor P', conforme ilustrado na Figura 20.



Figura

20: Passo 3 - Traçando linhas com os ângulos de proteção correspondentes.

- Passo 4: A área abaixo das duas linhas representa a área de proteção delimitada pelo captor P, conforme ilustrado na Figura 21. O volume de proteção é delimitado pela rotação da área em torno do captor.

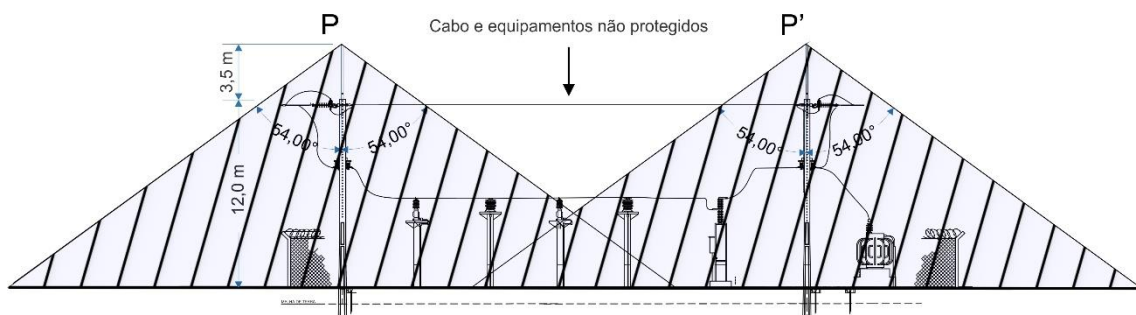


Figura 21: Passo 4 - Definindo a área de proteção formada pelos captores P e P'.

Analisando a Figura 21 observa-se que há elementos da instalação (cabo da rede elétrica e equipamentos) fora do volume de proteção.

Para inclusão do cabo da rede elétrica dentro do volume de proteção temos as seguintes opções:

- Instalar captores mais altos de forma que o cabo da rede elétrica fique dentro do volume de proteção. Entretanto, esta norma limita a altura dos captores a 4 metros;



- Alterar a classe de proteção do SPDA para classe IV, aumentando-se assim os ângulos de proteção, conforme determinado pelo gráfico da Figura 22;
- Instalar postes auxiliares entre os Postes P e P', para servir de suporte de fixação para novos captosres, possibilitando que todos os equipamentos fiquem dentro do volume de proteção. Solução não muito simples.

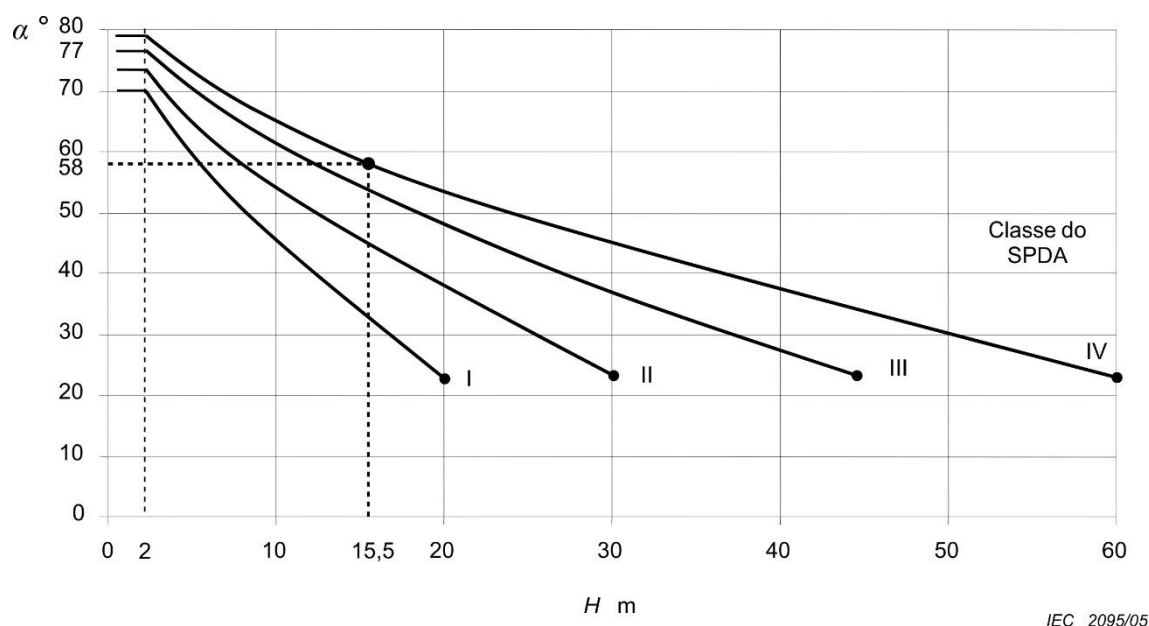


Figura 22: Determinação dos ângulos de proteção para um SPDA classe IV em função da altura dos captosres.

- Com a alteração da classe de proteção os captosres formarão ângulos de 58,00°, conforme ilustrado na Figura 23. Entretanto, ainda haverá equipamentos fora do volume de proteção.

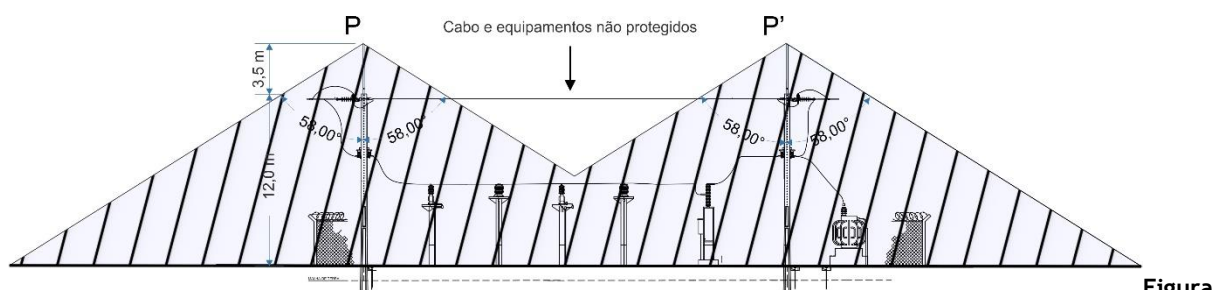


Figura 23: Área de proteção delimitada pelos captosres P e P' com SPDA classe IV.



Salienta-se que a alteração da classe de proteção do SPDA deve ser precedida de uma análise técnica, tendo em vista que esta alteração demandará também a análise das demais medidas de proteção, como os DPS, por exemplo.

- Com a instalação de outros dois captosres entre P e P', mantendo-se a classe III, a subestação estará totalmente protegida, conforme ilustrado na Figura 24. Entretanto, esta não é uma solução simples, tão pouco econômica.

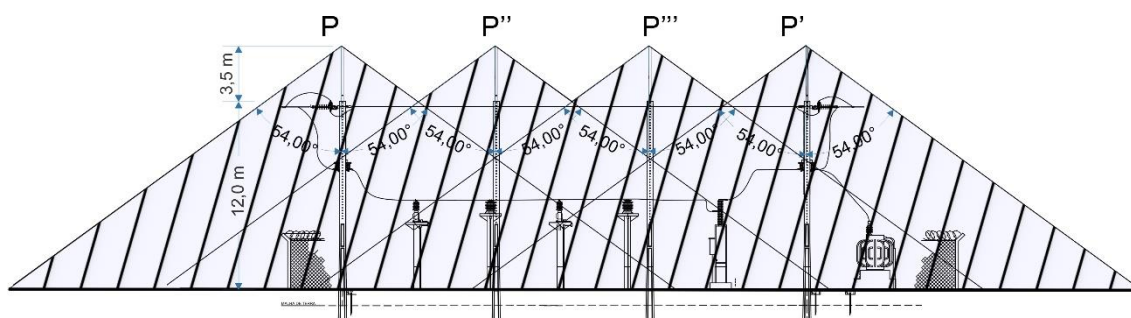


Figura 24: Área de proteção delimitada pelos captosres P, P'', P''' e P' com SPDA classe III.

### 6.3.2. Método da Esfera Rolante

No método da esfera rolante a área de proteção é calculada em função de uma esfera fictícia, cujo raio da esfera é definido em função da classe de proteção do SPDA. Na Tabela 2 é apresentado o raio da esfera em função da classe do SPDA.

Classe de Proteção	Raio da Esfera (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Tabela 2: Raio da esfera rolante em função da classe de proteção.

A metodologia para definição da área de proteção consiste em fazer rolar uma esfera fictícia, por toda a edificação, conforme apresentado a seguir.

#### Área de proteção em função de um captor - $h \leq R$

Inicialmente define-se o ponto de instalação do captor. No caso das subestações de energia elétrica, os captosres devem ser instalados preferencialmente nos postes de concreto ou torres metálicas. No caso a ser analisado, a seguir, a ponta do captor

está localizada a uma altura igual ou inferior a  $R$ , sendo  $R$  o raio da esfera rolante definido em função da classe de proteção do SPDA.

Definido o ponto de instalação do captor, se faz necessário então definir o volume de proteção delimitado pelo respectivo captor. Na Figura 25 é apresentado um poste com um captor instalado no topo.

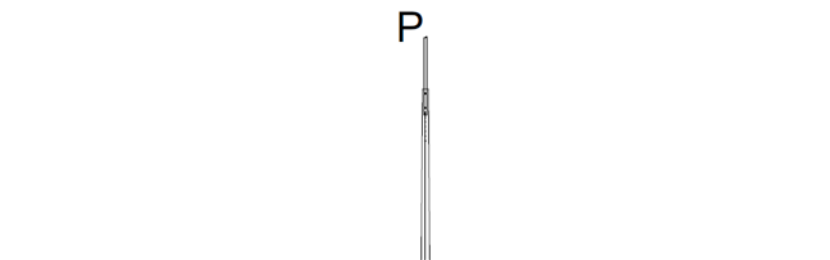


Figura 25: Captor instalado no topo de um poste DT.

O procedimento para se obter o volume de proteção delimitado pelo captor ilustrado na Figura 25, será apresentado a seguir:

- Passo 1: Traça-se uma linha paralela ao solo, conforme ilustrado na Figura 26, com uma distância  $R$  do solo, sendo  $R$  o raio da esfera rolante definido em função da classe de proteção do SPDA.

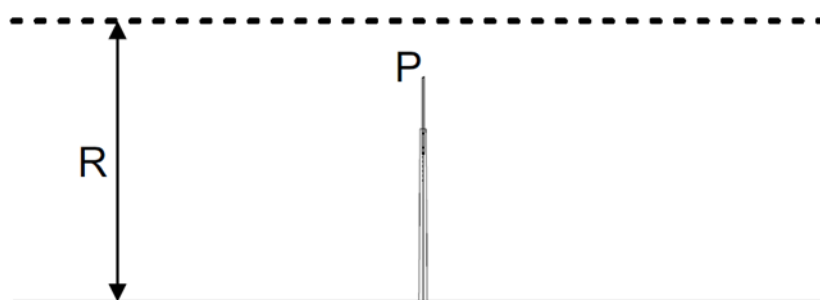


Figura 26: Passo 1 - Traçando linha paralela ao solo.

- Passo 2: Traça-se um arco de circunferência de raio  $R$ , com centro no ponto  $P$ , localizado no topo do captor, conforme ilustrado na Figura 27, sendo  $R$  o raio da esfera rolante definido em função da classe de proteção do SPDA. Na interseção da linha paralela ao solo e o arco define-se os pontos  $P1$ .

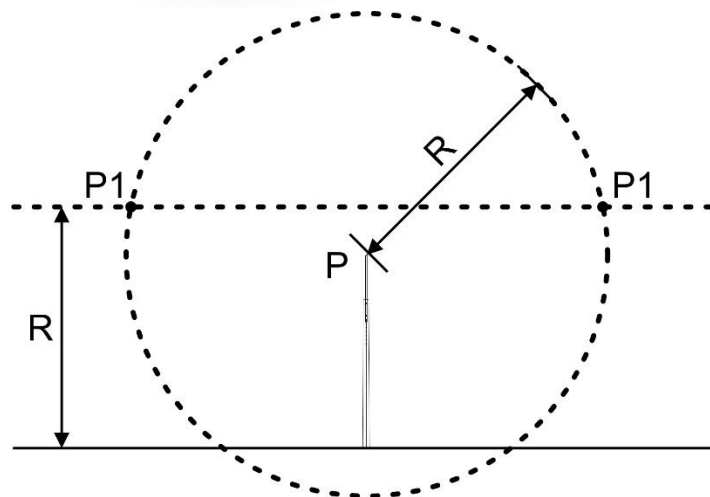


Figura 27: Passo 2 - Traçando arco com centro na ponta do captor.

- Passo 3: Para simplificar graficamente o desenho ilustram-se apenas os pontos P e P1, que serão as referências para delimitação da área de proteção, conforme ilustrado na Figura 28.

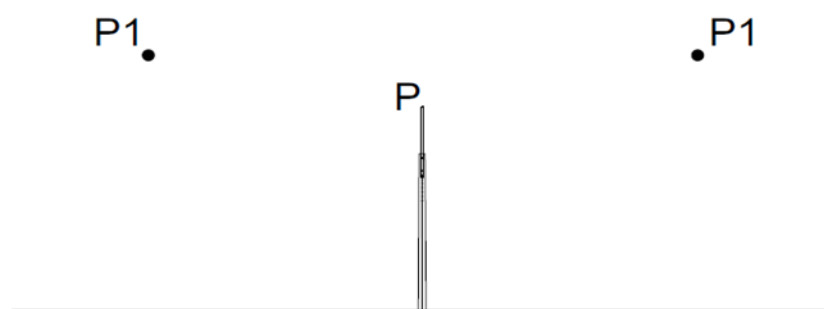


Figura 28: Passo 3 - Definindo os pontos P e P1.

- Passo 4: Em seguida, com centro nos pontos de interseção P1, traçam-se dois arcos de circunferência com raio R, um em cada ponto P1. Observa-se que os arcos de P1 atingem o topo do captor e o plano do solo, conforme ilustrado na Figura 29.

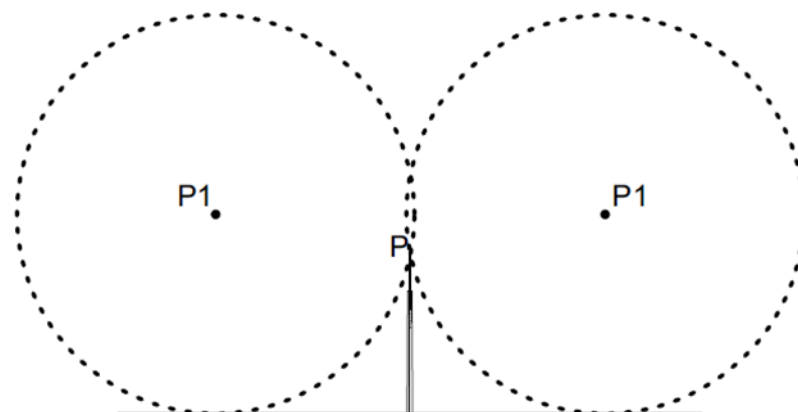


Figura 29: Passo 4 - Definindo a área de proteção delimitada pelo captor em P.

A área abaixo do ponto de intersecção das duas circunferências representa a área de proteção delimitada pelo captor P, conforme ilustrado nas Figuras 30 e 31. O volume de proteção é delimitado pela rotação da área A em torno do captor.

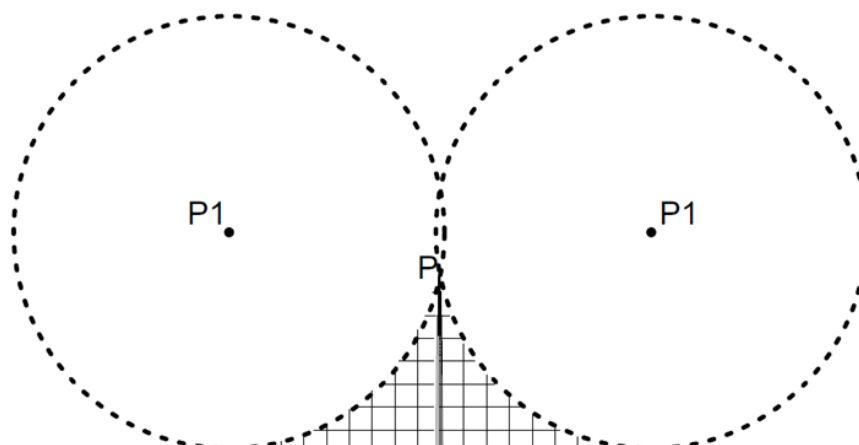


Figura 30: Passo 4 - Definindo a área de proteção delimitada pelo captor em P.

Na Figura 31 é apresentada área de proteção efetiva determinada pelo captor instalado.

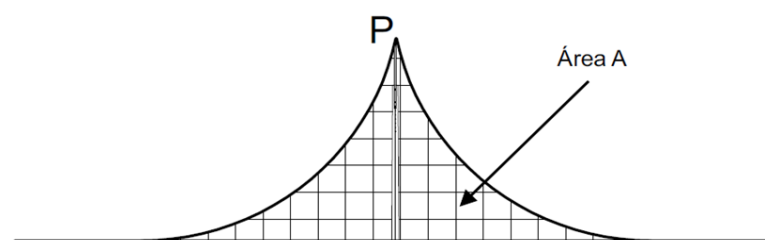


Figura 31: Área de proteção delimitada pelo captor em P.

## Área de proteção em função de dois captores - $h \leq R$

Definidos os pontos de instalação dos captores, se faz necessário então definir o volume de proteção delimitado pelos respectivos captores. Na Figura 32 são apresentados dois postes com um captor instalado no topo de cada um deles.

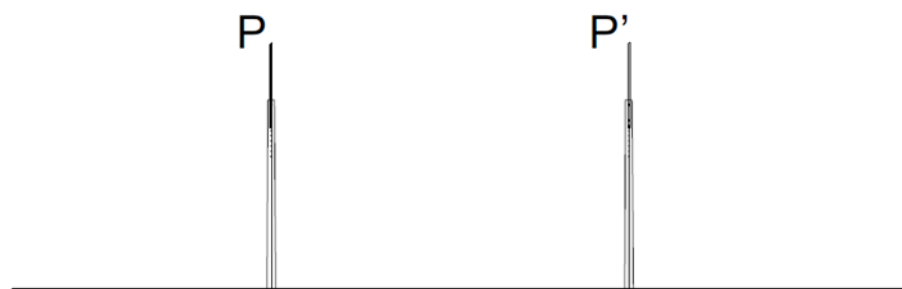


Figura 32: Captor instalado no topo de um poste DT.

O procedimento para se obter o volume de proteção delimitado pelos captores ilustrados na Figura 32, será apresentado a seguir:

- Passo 1: Traça-se uma linha paralela ao solo, conforme ilustrado na Figura 33, com uma distância  $R$  do solo, sendo  $R$  o raio da esfera rolante definido em função da classe de proteção do SPDA.



Figura 33: Passo 1 - Traçando linha paralela ao solo.

- Passo 2: Traça-se um arco de circunferência de raio  $R$ , com centro nos pontos  $P$  e  $P'$ , localizados no topo dos captores, conforme ilustrado na Figura 34. Na interseção da linha paralela ao solo e o arco define-se os pontos  $P1$ ,  $P2$  e  $P12$ . O ponto  $P12$  somente é definido se houver intersecção entre os arcos de circunferência definidos por  $P$  e  $P'$ .

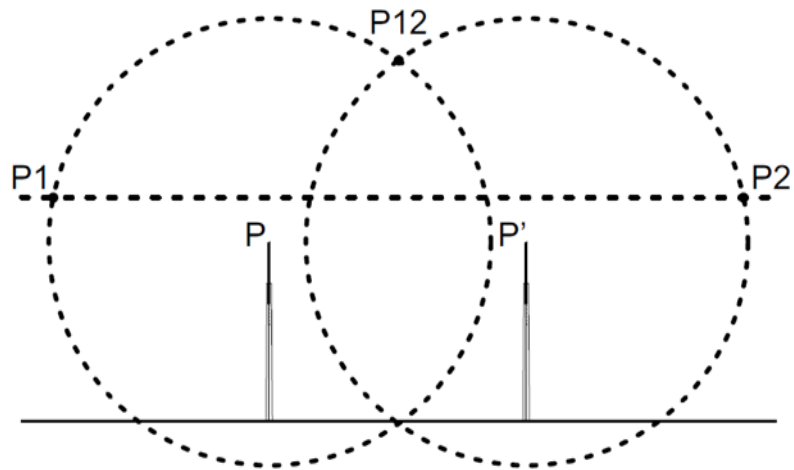


Figura 34: Passo 2 - Traçando arco com centro na ponta dos captores.

- Passo 3: Para simplificar graficamente o desenho ilustram-se apenas os pontos P, P', P1, P2 e P12, que serão as referências para delimitação da área de proteção, conforme ilustrado na Figura 35.

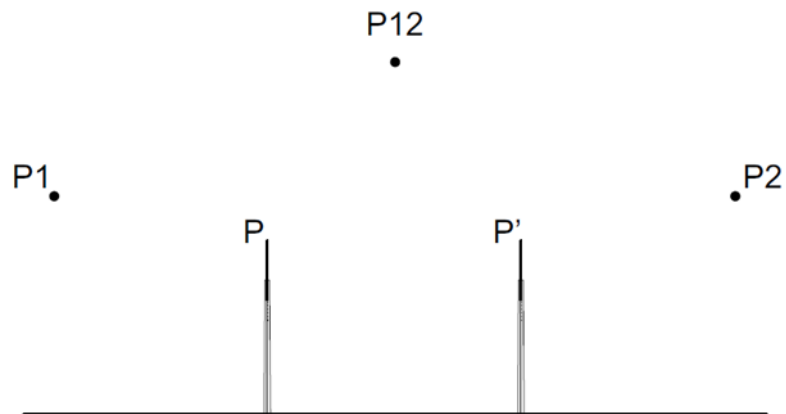


Figura 35: Passo 3 - Definindo os pontos P, P', P1, P2 e P12.

- Passo 4: Em seguida, com centro nos pontos de interseção P1, P2 e P12, traçam-se três arcos de circunferência com raio R, um em cada um dos pontos P1, P2 e P12. Observe que os arcos com centro em P1 e P2 atingem o topo dos captores e o plano do solo, enquanto o arco com centro em P12 atinge o topo dos captores P e P', conforme ilustrado na Figura 45.



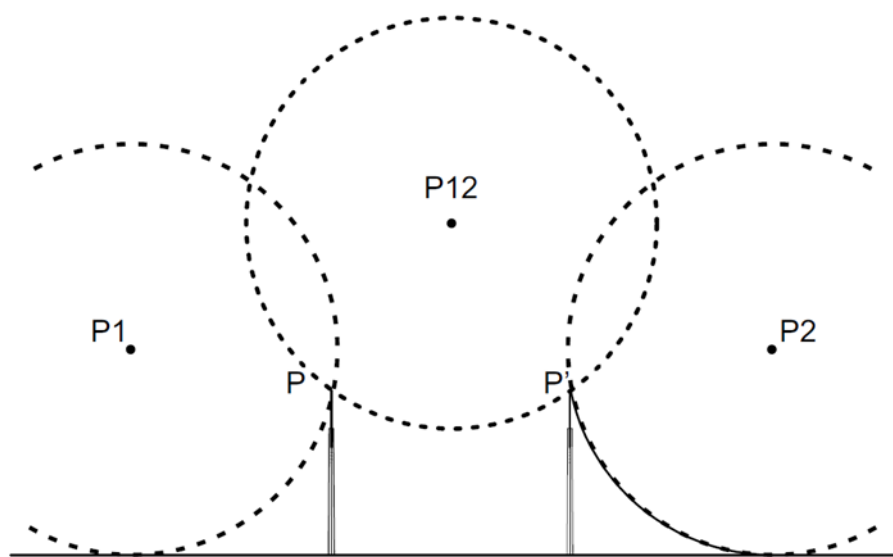


Figura 36: Passo 4 - Definindo a área de proteção delimitada pelos captores P e P'.

A área abaixo das três circunferências representa a área de proteção delimitada pelos captores P e P', conforme ilustrado nas Figuras 37 e 38. O volume de proteção é delimitado pelo somatório dos volumes de proteção dos captores P e P'.

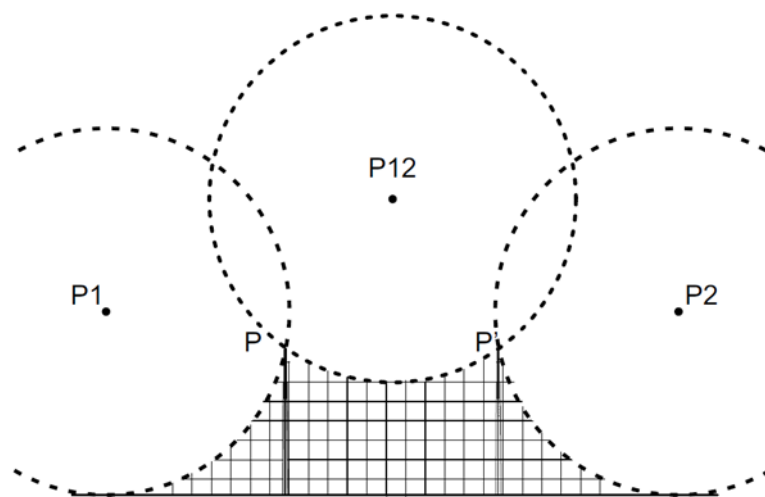


Figura 37: Passo 4 - Definindo a área de proteção delimitada pelos captores P e P'.

Na Figura 38 é apresentada área de proteção efetiva determinada pelos captores instalados.

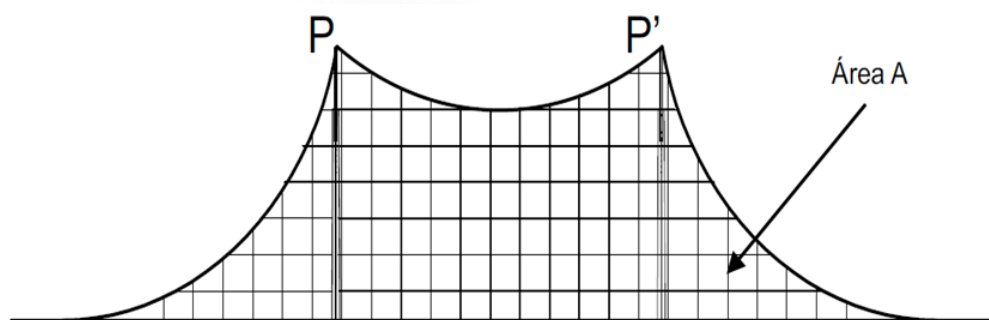


Figura 38: Área de proteção delimitada pelos captadores P e P'.

### Área de proteção em função de dois captadores em uma subestação - $h > R$

Para avaliação da área/volume de proteção de captadores para a condição  $h > R$ , será adotado o projeto do SPDA de uma subestação de energia elétrica ao tempo, com 4 captadores (P, P', P1, P1'), conforme ilustrado na Figura 39.

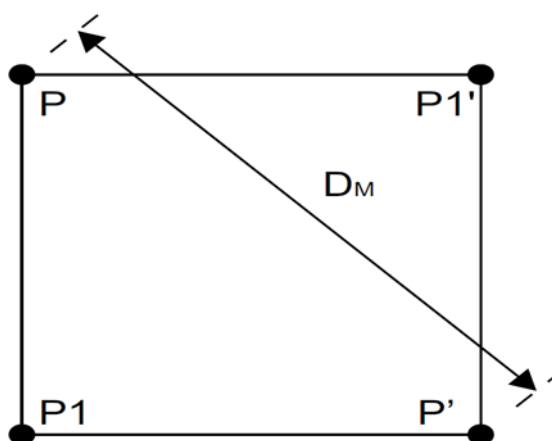


Figura 39: SPDA composto por 4 captadores.

Definidos os pontos de instalação dos captadores, se faz necessário então definir o volume de proteção delimitado pelos respectivos captadores. Na Figura 40 são apresentados dois postes com um captador instalado no topo de cada poste, correspondendo a um corte diagonal da subestação.

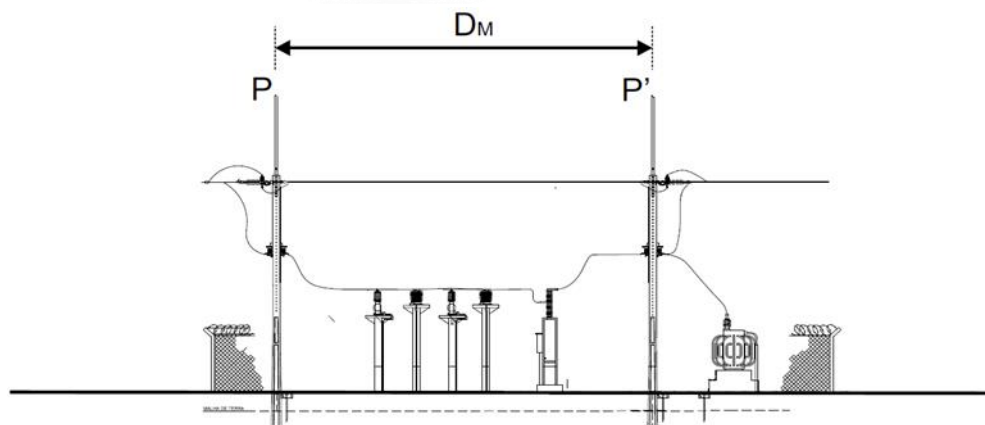


Figura 40: Captores instalados no topo de postes DT.

A subestação estará protegida somente se todos os equipamentos estiverem dentro do volume de proteção delimitado pelos captores (P, P', P1, P1'). Para avaliação do volume de proteção pelo método dos ângulos vamos analisar o volume de proteção definido por dois dos quatro captores. Em função da distribuição dos captores temos as seguintes possibilidades: P - P1, P - P1', P - P', P' - P1', P' - P1 e P1 - P1'. Como a diagonal DM representa a maior dimensão da subestação, a área de proteção definida pelos captores (P e P') e (P1 e P1') será suficiente para envolver toda a área da subestação.

O procedimento para se obter o volume de proteção delimitado pelos captores ilustrados na Figura 40, será apresentado a seguir:

- Passo 1: Traçam-se duas linhas (L2 e L1) paralelas ao solo. Com L1 distante R metros do solo e L2 distante h metros do solo. Sendo R o raio da esfera rolante definido em função da classe de proteção do SPDA e h a altura entre a ponta do captor e o plano de referência. Na Figura 41 é apresentada uma ilustração do posicionamento das linhas L1 e L2 em relação ao plano de referência.

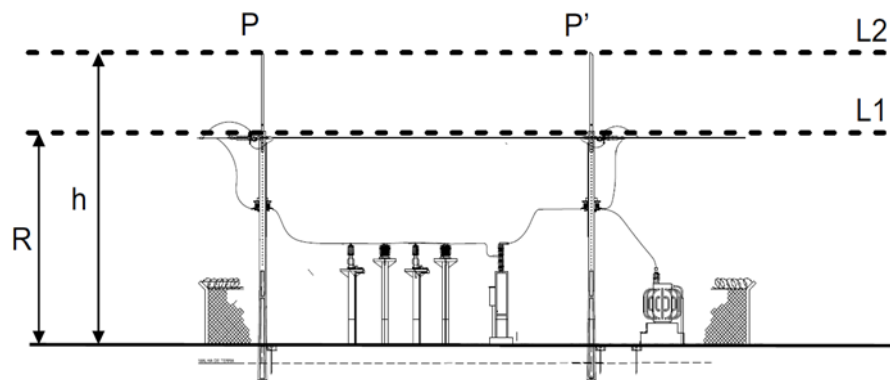


Figura 41: Passo 1 - Traçando linhas paralelas ao solo.

- Passo 2: Traçam-se duas linhas paralelas ao poste de fixação dos captores, conforme ilustrado na Figura 42, com uma distância  $R$  do poste, sendo  $R$  o raio da esfera rolante definido em função da classe de proteção do SPDA.

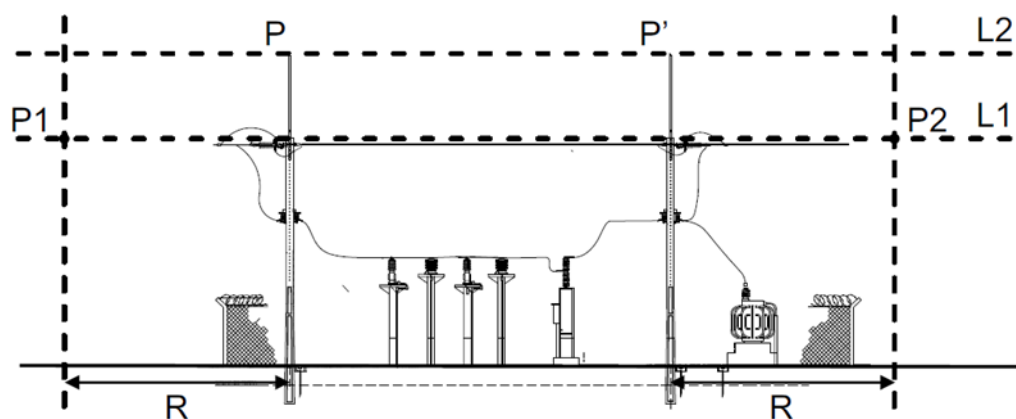


Figura 42: Passo 2 - Traçando linhas paralelas ao poste.

- Passo 3: Traçam-se dois arcos de circunferência de raio  $R$ , com centro nos pontos  $P$  e  $P'$ , localizados no topo dos captores, conforme ilustrado na Figura 43. Na interseção das linhas paralelas ao solo e os arcos definem-se os pontos  $P1$ ,  $P2$  e  $P12$ . O ponto  $P12$  somente é definido se houver intersecção entre os arcos de circunferência definidos por  $P$  e  $P'$ .

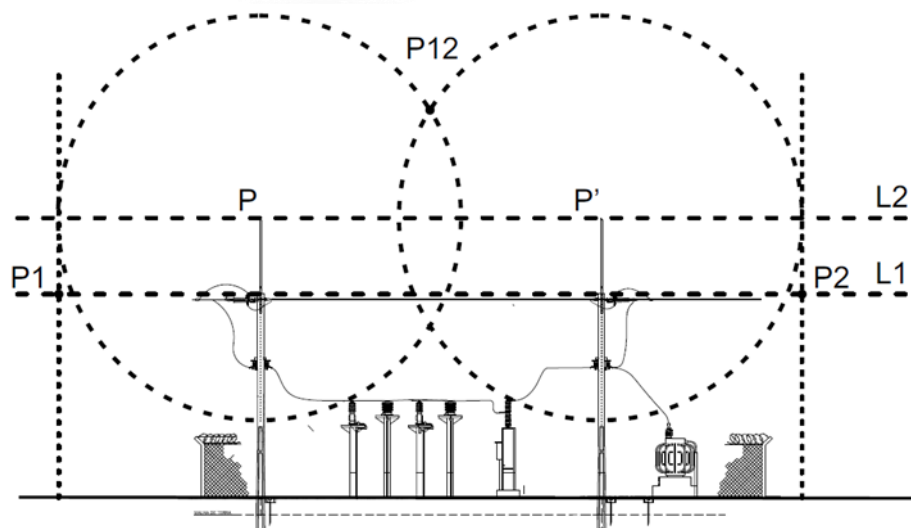


Figura 43: Passo 3 - Traçando arco com centro na ponta dos captores.

- Passo 4: Para simplificar graficamente o desenho ilustram-se apenas os pontos P, P', P1, P2 e P12, que serão as referências para delimitação da área de proteção, conforme ilustrado na Figura 44.

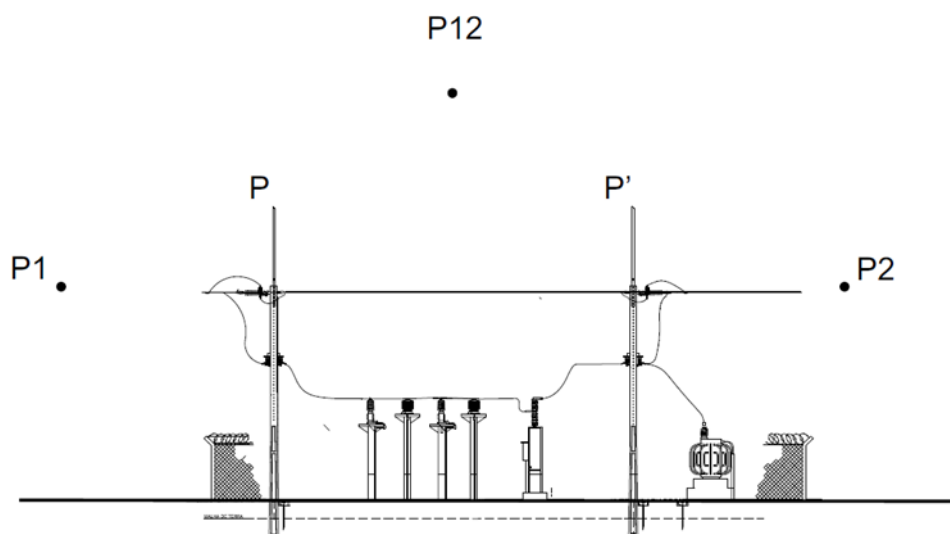


Figura 44: Passo 4 - Definindo os pontos P, P', P1, P2 e P12.

- Passo 5: Em seguida, com centro nos pontos de interseção P1, P2 e P12, traçam-se três arcos de circunferência com raio R, um em cada um dos pontos P1, P2 e P12. Observe que os arcos com centro em P1 e P2 atingem o topo dos captores e o plano do solo, enquanto o arco com centro em P12 atinge o topo dos captores P e P', conforme ilustrado na Figura 45.

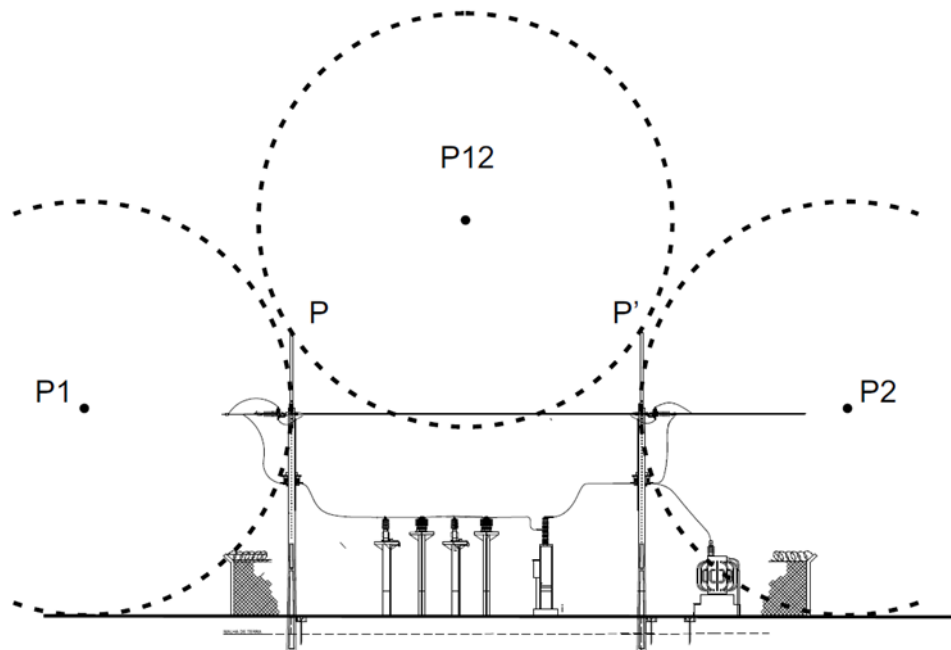


Figura 45: Passo 5 - Definindo a área de proteção delimitada pelos captores P e P'.

A área abaixo das três circunferências representa a área de proteção delimitada pelos captores P e P', conforme ilustrado nas Figuras 46 e 47. O volume de proteção é delimitado pelo somatório dos volumes de proteção dos captores P e P'.

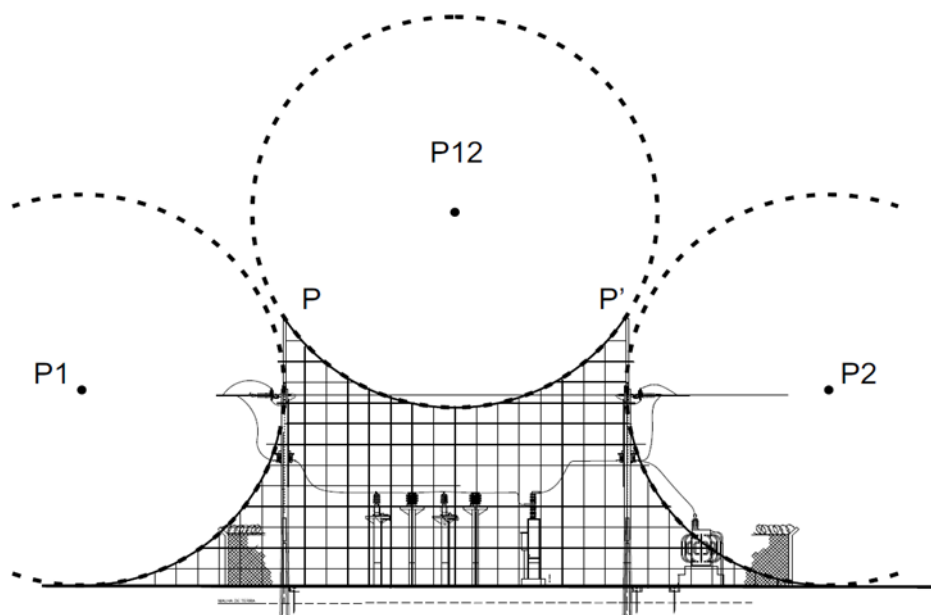


Figura 46: Passo 5 - Definindo a área de proteção delimitada pelos captores P e P'.

Na Figura 47 é apresentada área de proteção efetiva determinada pelos captores instalados.



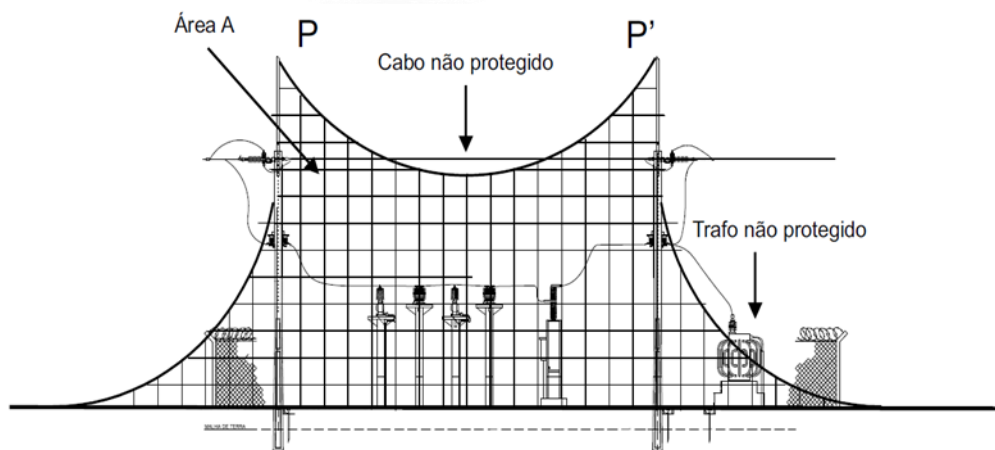


Figura 47: Área de proteção delimitada pelos captores P e P'.

Analisando a Figura 47 observa-se que há equipamentos da instalação (cabo da rede elétrica e transformador) fora do volume de proteção.

Para inclusão dos elementos (cabo da rede elétrica e transformador) dentro do volume de proteção temos as seguintes opções:

- Instalar captores mais altos de forma que o cabo da rede elétrica fique dentro do volume de proteção. Entretanto, esta norma limita a altura dos captores a 4 metros.
  - Observação: Na impossibilidade de instalar captores mais altos, pode-se instalar um cabo aéreo, acima da rede elétrica, conectado entre um poste e outro, conforme ilustrado na Figura 48. A função do cabo aéreo é servir de captor, de modo a proporcionar um volume de proteção suficiente para incluir dentro da área de proteção o cabo de energia elétrica anteriormente não protegido.
- Instalar uma estrutura próxima ao transformador, um poste auxiliar, por exemplo, de forma que o transformador esteja dentro do volume de proteção. A função do captor instalado no poste adicional é proporcionar um volume de proteção suficiente para incluir dentro da área de proteção o transformador anteriormente não protegido, conforme ilustrado na Figura 48.

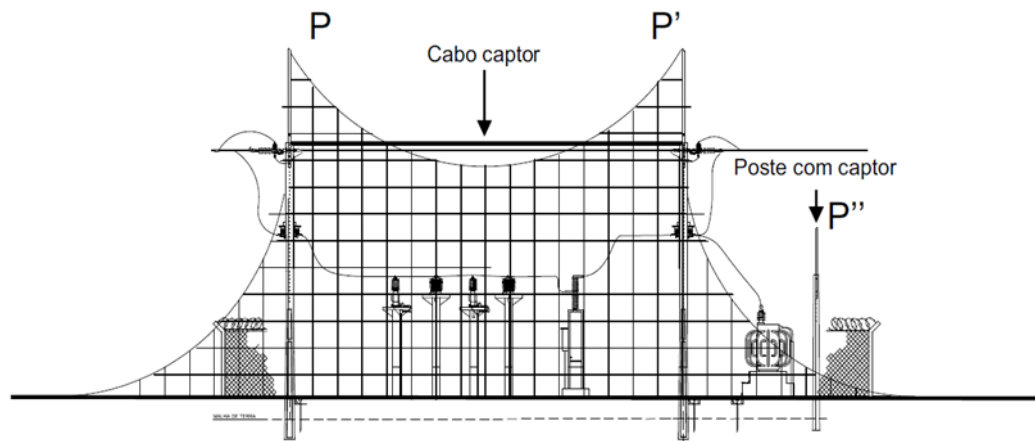


Figura 48: Instalação de cabo aéreo entre dois postes e instalação de um poste auxiliar com captor para aumentar o volume de proteção.

Com a instalação do cabo captor a base da esfera anteriormente centralizada em P12 será deslocada para o cabo captor, conseqüentemente, qualquer equipamento abaixo do cabo captor estará dentro do volume de proteção. No caso do captor P'', o procedimento para definição da área de proteção é o mesmo apresentado para P e P'. Na Figura 49 é apresentada área de proteção efetiva determinada pelos captores instalados.

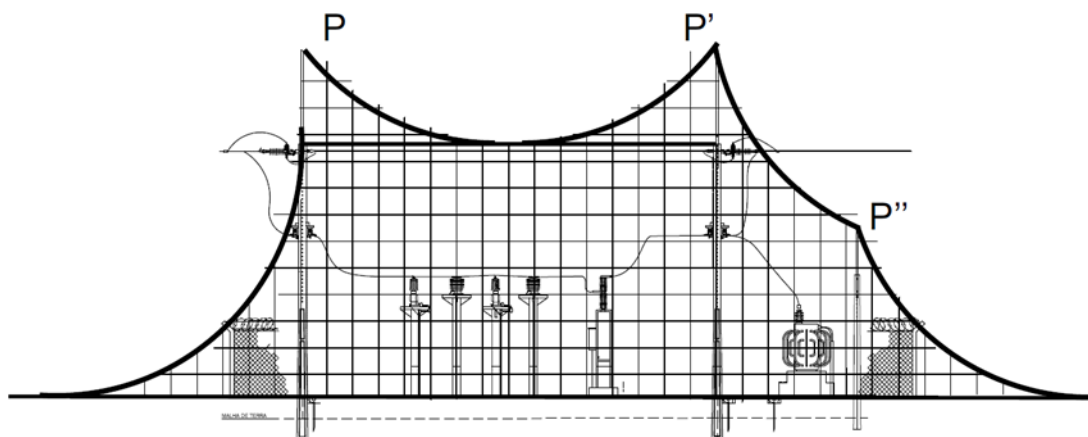


Figura 49: Área de proteção delimitada pelos captores P, P' e P''.

### 6.3.3. Método das Malhas

O método das malhas consiste em instalar um sistema de captores formado por condutores horizontais interligados em forma de malha. A malha de captação tem as dimensões definidas em função da classe de proteção, conforme Tabela 3. Os

valores apresentados na Tabela 3 se referem aos valores máximos permitidos, podendo ser reduzidos em função das dimensões ou características da edificação.

Classe de Proteção	Máximas Dimensões da Malha (m)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

Tabela 3: Dimensões da malha de captação em função da classe de proteção.

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);

b) As dimensões de malha não podem ser maiores que os valores encontrados na Tabela 3;

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.

#### **Posicionamento do subsistema de captação utilizando o método das malhas**

Inicialmente define-se a área do topo da estrutura a ser protegida, onde serão instalados os condutores da malha de captação.

No caso a ser analisado, a seguir, a malha de captação está instalada no telhado da edificação. As dimensões da malha serão definidas em função da classe de proteção do SPDA, conforme apresentado na Tabela 3.

Definido o ponto de instalação dos captadores em forma de malha, se faz necessário então definir o volume de proteção delimitado pelos respectivos captadores. Na Figura 50 é apresentada uma vista superior da cobertura de uma edificação com dimensões 15 x 20 m, onde serão instalados os captadores.

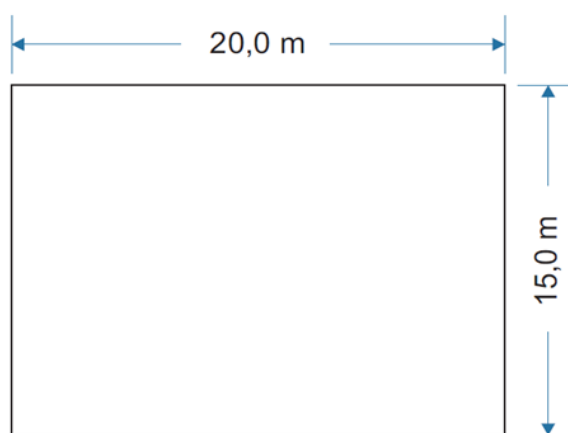


Figura 50: Cobertura de uma edificação.

Conforme apresentado na Tabela 3, a ABNT NBR 5419 estabelece a formação de malhas de captação em forma de quadrados. Entretanto, em função da configuração da cobertura, há situações em que essa configuração não será possível. Nestes casos, um dos lados do quadrado pode ser reduzindo, contudo, essa redução não poderá ser acrescida ao outro lado do quadrado.

O procedimento para se obter o volume de proteção delimitado pelos captadores ilustrados na Figura 50, será apresentado a seguir:

- Passo 1: Define-se a área onde serão instalados os condutores da malha de captação e a classe do SPDA. Para a Figura 50, com dimensões 15 x 20 m, será adotado um SPDA classe I, cuja malha de captação deve formar quadrados com 5 metros. Assim, em toda a cobertura da edificação deverá ser posicionados condutores formando quadrados com 5 metros.

- Passo 2: Traça-se uma linha paralela a cada um dos lados do quadrado, conforme ilustrado na Figura 51. Essa linha deve distanciar no máximo 20 cm da borda da edificação, formando assim um anel superior no topo da edificação.



Figura 51: Passo 2 - Formação do anel superior.

- Passo 3: Traçam-se linhas paralelas a um dos lados do quadrado, distanciadas entre si de 5 metros (em função da classe do SPDA), conforme ilustrado na Figura 52.

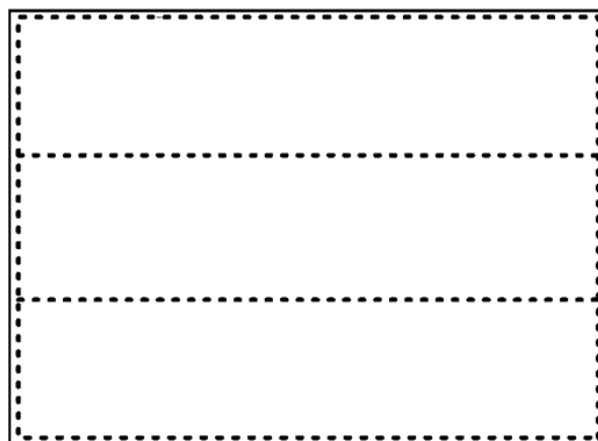


Figura 52: Passo 3 - Formação da malha de captação.

- Passo 4: Traçam-se linhas paralelas a um dos lados restantes do quadrado, distanciadas entre si de 5 metros (em função da classe do SPDA), conforme ilustrado na Figura 53. Nos pontos de cruzamento dos condutores deve ser executada uma conexão entre eles.

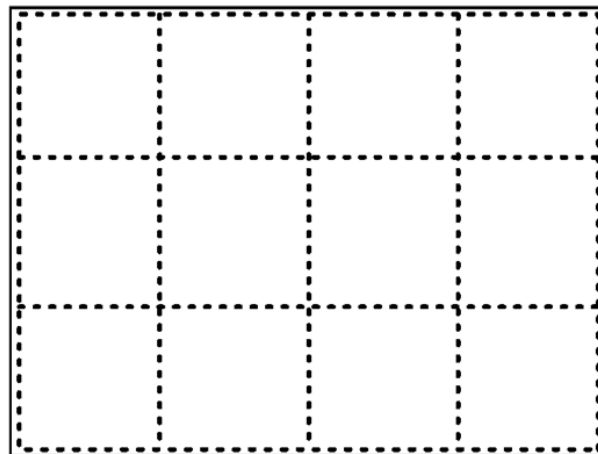


Figura 53: Passo 4 - Formação da malha de captura.

Nas Figuras 54(a), 54(b), 54(c) e 54(d) são apresentados o posicionamento dos condutores para a edificação ilustrada na Figura 50 em função da classe do SPDA.

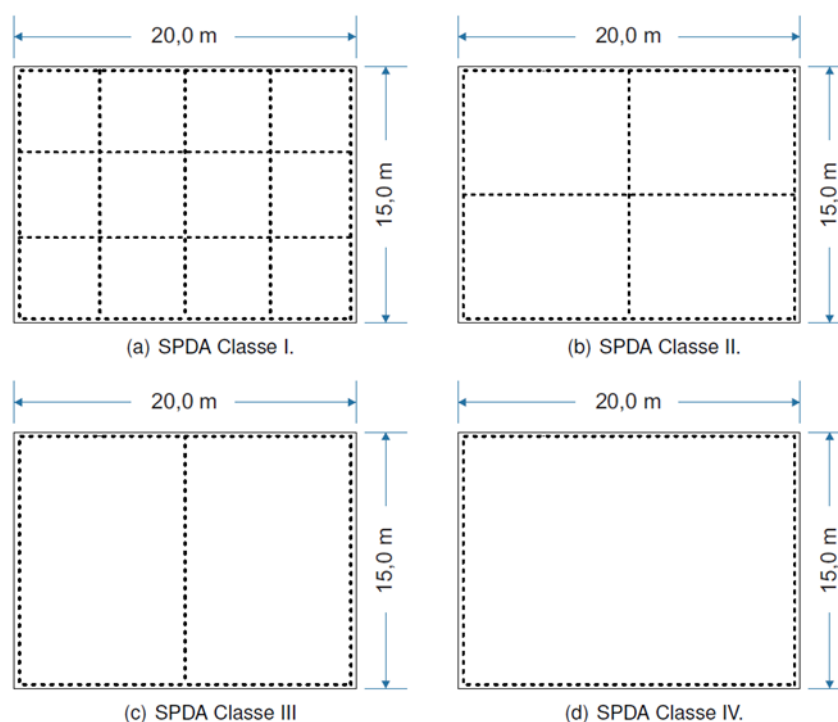


Figura 54: Posicionamento dos condutores em função da Classe do SPDA

Conforme posicionamento dos condutores representados nas Figuras 54(a), 54(b), 54(c) e 54(d), tem-se:

- SPDA classe I, ilustrado na Figura 54(a), dimensões máximas permitida da malha 5 x 5 m, dimensões adotadas de 5 x 5 m;



- SPDA classe II, ilustrado na Figura 54(b), dimensões máximas permitida da malha 10 x 10 m, dimensões adotadas de 7,5 x 10 m;
- SPDA classe III, ilustrado na Figura 54(c), dimensões máximas permitida da malha 15 x 15 m, dimensões adotadas de 10 x 15 m;
- SPDA classe IV, ilustrado na Figura 54(d), dimensões máximas permitidas da malha 20 x 20 m, dimensões adotadas de 15 x 20 m;

Embora o método das malhas seja o mais adotado para instalações prediais, ele não é o mais indicado para proteção dos equipamentos do pátio da subestação, e só deve ser adotado em situações específicas, tendo em vista que requer a instalação de condutores em forma de tela acima das linhas elétricas. Neste caso, caso ocorra o rompimento ou desconexão de algum dos condutores da malha, este poderia atingir a rede elétrica provocando um curto circuito nas instalações.

O método das malhas é o mais adequado para o SPDA da sala de comando da subestação.

Nas instalações com SPDA dimensionado pelo método das malhas, uma prática comum para minimizar a probabilidade de uma descarga direta sobre a estrutura, é a instalação de pequenos captosres verticais, com 30 a 50 cm de altura, na periferia do condutor de captação em anel, nos vértices/cruzamentos dos captosres formados por condutores horizontais, conforme ilustrado na Figura 55.

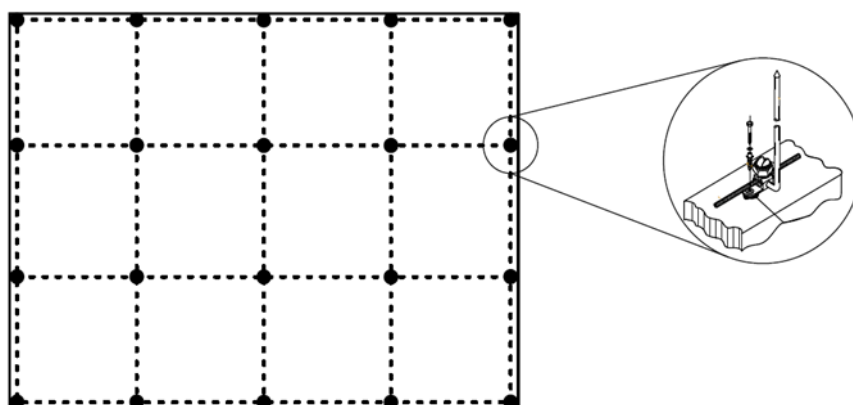


Figura 55: Posicionamento da malha captora com instalação de captosres verticais.

Nos pontos de cruzamento dos cabos devem ser realizadas emendas nos condutores. Essas emendas podem ser realizadas utilizando conectores conforme detalhes ilustrados nas Figuras 56 e 57.



Figura 56: Detalhe de emenda em cruzamento com cabo de cobre na malha captora

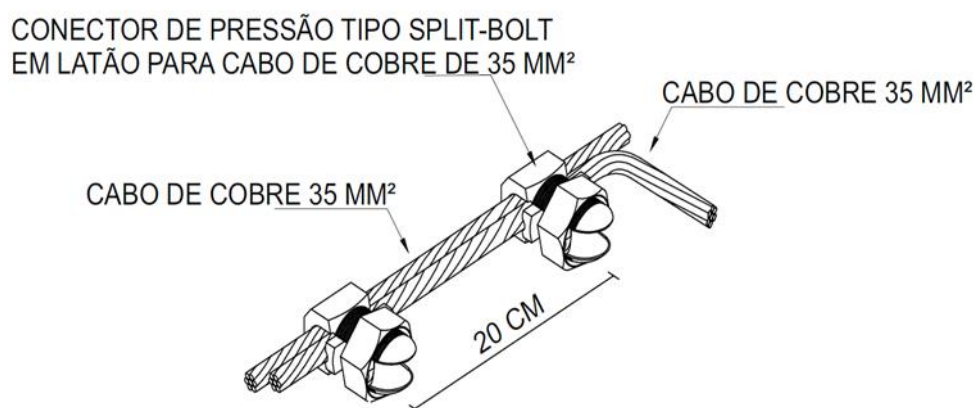


Figura 57: Detalhe de derivação/emenda do cabo de cobre na malha captora.

#### 6.4. Subsystema de Descida

O subsystema de descida é parte de um SPDA projetado para conduzir a corrente da descarga atmosférica desde o subsystema de captação até o subsystema de aterramento. Para que um SPDA funcione adequadamente, reduzir a probabilidade de danos devido a corrente da descarga atmosférica fluindo pelo SPDA, os condutores de descida devem ser arranjados a fim de proverem:

- Diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- O menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica;
- Equipotencialização com as partes condutoras da estrutura quando necessário, seguindo os requisitos do item 6.2 da ABNT NBR 5419-3.

### 6.4.1. Posicionamento das descidas para um SPDA isolado

O SPDA isolado se caracteriza como um 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. Neste caso, 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 as armaduras, é necessário para cada mastro pelo menos um condutor de descida. Não há necessidade de condutor de descida para mastros metálicos ou interconectados as armaduras, desde que estes estejam solidamente aterrados à malha de aterramento;
- b) Se os captosres consistem em condutores suspensos em catenária, pelo menos um condutor de descida é necessário em cada suporte ou ponto de fixação dos captosres na 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.

### 6.4.2. Posicionamento das Descidas para um SPDA não Isolado

O SPDA não isolado se caracteriza como um 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.

Para cada SPDA não isolado, o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois, mesmo se o cálculo deste 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.

Tabela 4: Valores típicos de distância dos condutores de descida, de acordo com a classe de SPDA.

Classe de Proteção	Distâncias (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

**NOTA:**

1. **É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas apresentados na Tabela 4 sejam acrescidos em no máximo 20% dos valores acima. Entretanto, a possibilidade de acréscimo no espaçamento não deve ser adotada para o cálculo do número de condutores de descida.**

O acréscimo no espaçamento entre condutores deve ser utilizado para uma melhor localização das descidas, principalmente quando há a possibilidade de instalação dos condutores nas quinas, bordas e saliências significativas da estrutura.

Os condutores de descida devem ser posicionados de forma que a distância de segurança de acordo com o item 6.3 da ABNT NRB 5419-3 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 for 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.

Os condutores de descidas no que se refere à seção e tipo de material devem estar em conformidade como item 5.5 da ABNT NBR 5419-3 (item 8 desta norma), devendo os mesmos ser contínuos desde a captação até o aterramento.

### 6.4.3. Número de Condutores de Descida

O número de condutores de descida de um SPDA externo é dado pela Equação 1.

$$N_{CD} = \frac{P_{ED}}{D_{CD}} \quad (1)$$

Sendo:

NCD - Número de condutores de descida;

PED - Perímetro da edificação em metros;

DCD - Distância entre os condutores de descida, que depende da classe do SPDA conforme apresentado na Tabela 4.

Para determinação dos números de condutores de descida será avaliada a edificação ilustrada na Figura 58.

Para a edificação ilustrada na Figura 58 tem-se um perímetro da edificação igual a 70 m. Considerando a edificação com um SPDA classe I, o número de condutores de descida será estabelecido conforme apresentado na Equação 2. Considerando a mesma edificação ilustrada na Figura 58 sendo instalado um SPDA classe II ou III ou IV, o número de condutores de descida será estabelecido conforme apresentado nas Equações 4, 6 e 8, respectivamente.

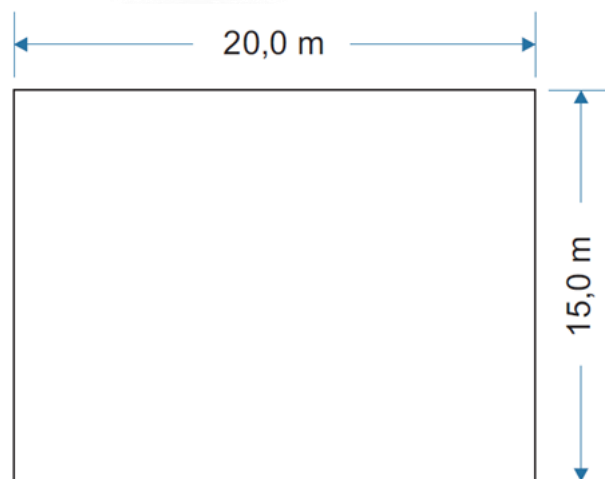


Figura 58: Cobertura de uma edificação.

- SPDA classe I:

$$N_{CD} = \frac{P_{ED}}{D_{CD}} = \frac{70}{10} = 7 \quad (2)$$

- Distância entre descidas:

$$D_{CD} = \frac{P_{ED}}{N_{CD}} = \frac{70}{7} = 10 \text{ m} \quad (3)$$

- SPDA classe II:

$$N_{CD} = \frac{P_{ED}}{D_{CD}} = \frac{70}{10} = 7 \quad (4)$$

- Distância entre descidas:

$$D_{CD} = \frac{P_{ED}}{N_{CD}} = \frac{70}{7} = 10 \text{ m} \quad (5)$$

- SPDA classe III:

$$N_{CD} = \frac{P_{ED}}{D_{CD}} = \frac{70}{15} = 4,67 \rightarrow 5 \quad (6)$$

- Distância entre descidas:

$$D_{CD} = \frac{P_{ED}}{N_{CD}} = \frac{70}{5} = 14 \text{ m} \quad (7)$$

- SPDA classe IV:

$$N_{CD} = \frac{P_{ED}}{D_{CD}} = \frac{70}{20} = 3,50 \rightarrow 4 \quad (8)$$



- Distância entre descidas:

$$D_{CD} = \frac{P_{ED}}{N_{CD}} = \frac{70}{4} = 17,5 \text{ m} \quad (9)$$

Observe que caso o resultado do número de descida não seja um número inteiro, o número de descidas final deve ser arredondado para o próximo número diretamente superior ao resultado.

As regras para o posicionamento do subsistema de captação lateral na parte superior de uma estrutura devem atender pelo menos aos requisitos para a classe de proteção IV, com ênfase na localização dos elementos da captação em cantos, quinas, bordas e saliências significativas. Para a distribuição das descidas ao longo do perímetro da estrutura para os casos analisados acima se tem a seguinte distribuição:

- SPDA classe I e II: 7 condutores de descidas com distribuição equidistante, conforme ilustrado na Figura 59.

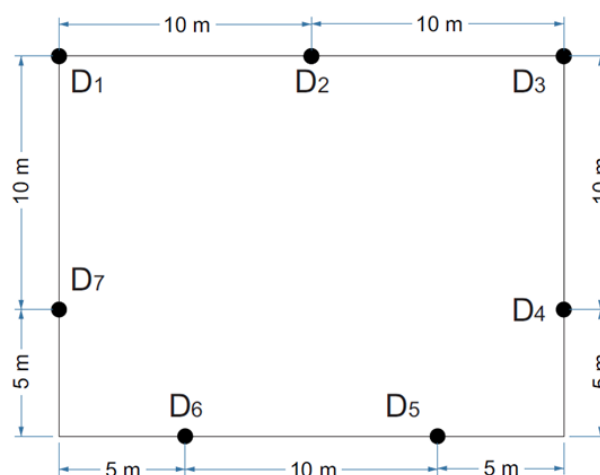


Figura 59: Distribuição equidistante das 7 descidas ao longo do perímetro da edificação.

Analisando a Figura 59 observa-se que as quinas entre D4-D5 e D6-D7 não possuem condutores de descida. Uma opção para contornar esse problema é a adoção de 8 descidas ao invés de 7 descidas como foi determinado nas Equações 2 e 4. Na Figura 60 é apresentada a nova configuração das descidas ao longo da edificação.

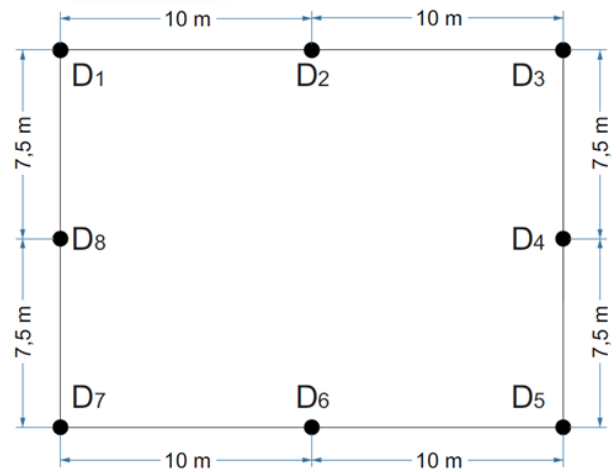


Figura 60: Distribuição das 8 descidas ao longo do perímetro da edificação.

- SPDA classe III: 5 condutores de descidas com distribuição equidistante, conforme ilustrado na Figura 61.

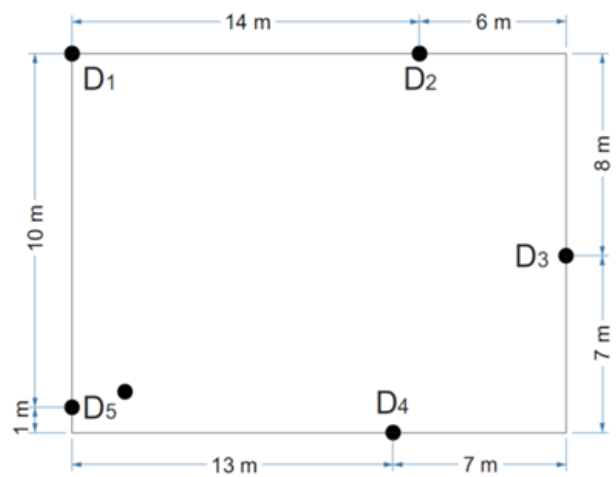


Figura 61: Distribuição equidistante das 5 descidas ao longo do perímetro da edificação.

Analisando a Figura 61 observa-se que as quinas entre D2-D3, D3-D4 e D4-D5 não possuem condutores de descida. Uma opção para contornar esse problema é a adoção de 6 descidas ao invés de 5 descidas como foi determinado na Equação 6. Na Figura 62 é apresentada a nova configuração das descidas ao longo da edificação.

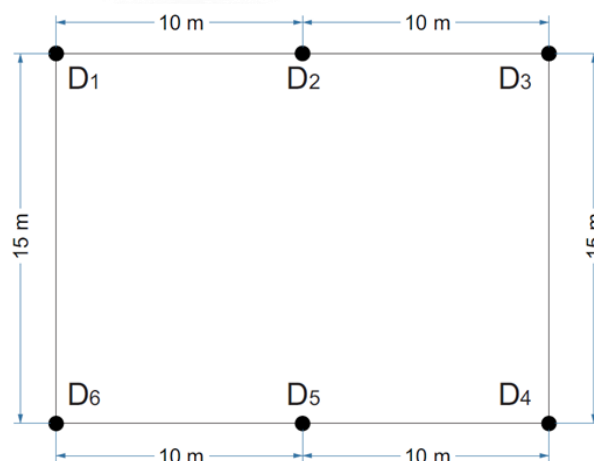


Figura 62: Distribuição das 6 descidas ao longo do perímetro da edificação.

- SPDA classe IV: 4 condutores de descidas com distribuição equidistante, conforme ilustrado na Figura 63.

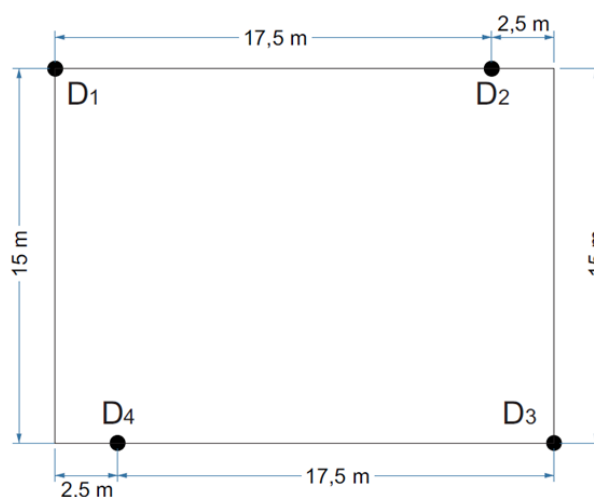


Figura 63: Distribuição equidistante das 4 descidas ao longo do perímetro da edificação.

Analisando a Figura 63 observa-se que as quinas entre D2-D3 e D4-D1 não possuem condutores de descida. Uma opção para contornar esse problema é a relocação das 4 descidas, instalando-as preferencialmente nas quinas, mantendo-se assim o mesmo número de descidas como foi determinado na Equação 8. Na Figura 64 é apresentada a nova configuração das descidas ao longo da edificação.

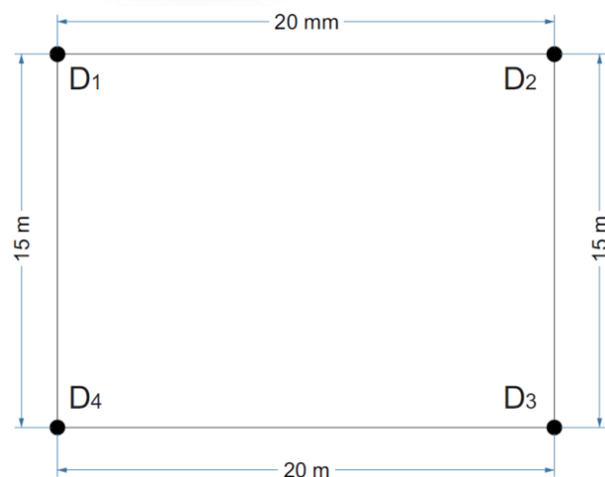


Figura 64: Distribuição das 6 descidas ao longo do perímetro da edificação.

#### 6.4.4. Fixação dos Condutores

Os elementos captadores e condutores de descidas e anel do SPDA devem ser firmemente fixados à estrutura a ser protegida, de forma que as forças eletrodinâmicas ou mecânicas acidentais (por exemplo, vibrações, expansão térmica etc.) não causem afrouxamento ou quebra de condutores do SPDA.

Ao longo das descidas, os condutores devem ser fixados a cada 1,5 metros. Para condutores de descidas em postes de concreto, a fixação deve estar conforme detalhe apresentado na Figura 65.

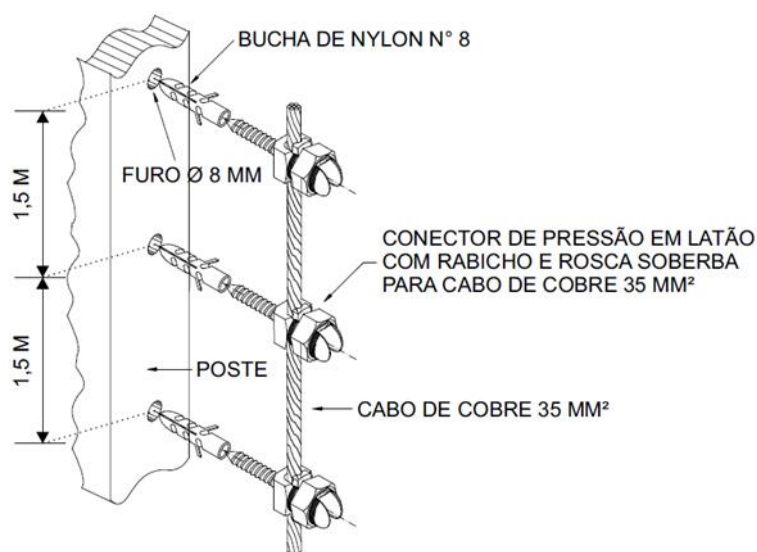


Figura 65: Fixação dos condutores de descida no poste de concreto.

**NOTA:**

1. Outras formas de fixação (fita metálica, eletroduto embutido no poste, etc.) podem ser utilizadas em substituição ao conector de pressão com bucha.

Para condutores de descidas em paredes de alvenaria, como na sala de comando, por exemplo, a fixação deve estar conforme detalhe apresentado na Figura 66.

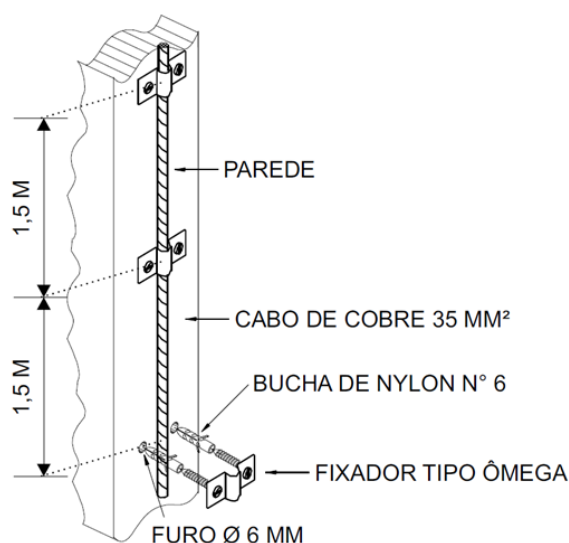


Figura 66: Fixação dos condutores de descida na parede de alvenaria.

Ao longo do anel, os condutores devem ser fixados a cada 1 metro, conforme detalhe apresentado na Figura 67.

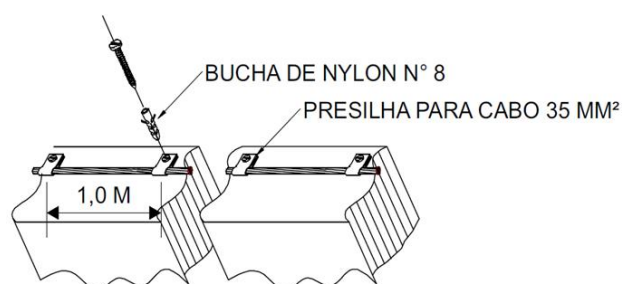


Figura 67: Fixação dos condutores em anel na parede em alvenaria.

Nas junções entre cabos de descida e eletrodos de aterramento, uma conexão de ensaio deve ser fixada em cada condutor de descida, conforme detalhes apresentados nas Figuras 68 e 69.

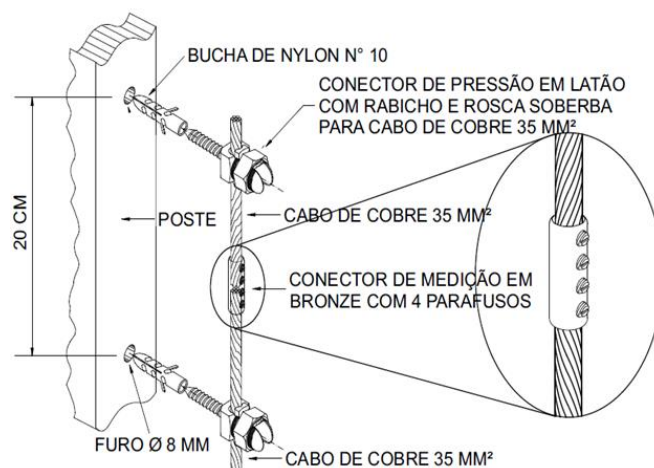


Figura 68: Detalhe da instalação da conexão de ensaio para condutores de descida no poste de concreto.

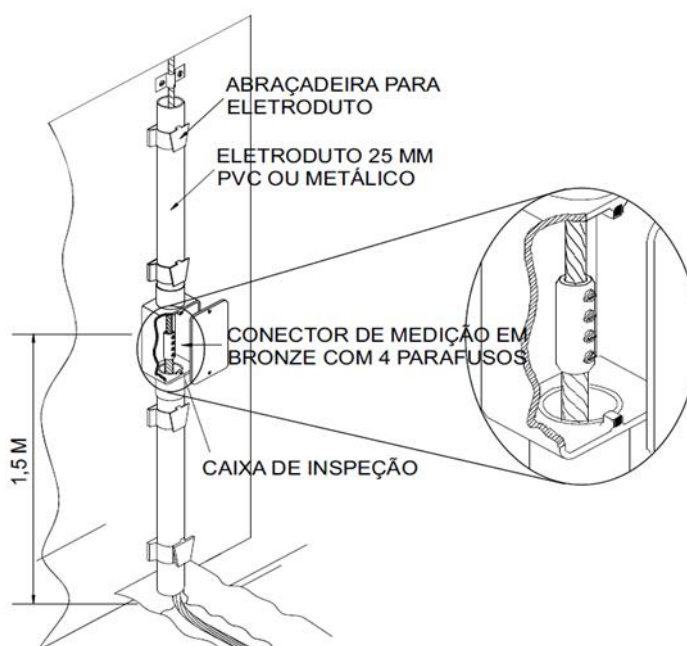



Figura 69: Detalhe da instalação da conexão de ensaio para condutores de descida na parede de alvenaria.

O objetivo da conexão de ensaio é proporcionar a separação galvânica entre o subsistema de aterramento e os subsistemas de captação e de descida, de modo a permitir ensaios elétricos e medições nos subsistemas do SPDA separadamente.

Os elementos da conexão de ensaio (terminais e/ou conectores) devem ser capazes de serem abertos apenas com o auxílio de ferramenta. Em uso normal ele deve





permanecer fechado e não pode manter contato com o solo. Sugere-se que a conexão de ensaio seja instalada a uma altura de 1,5 metros do solo.

## 6.5. Subsistema de Aterramento

Para proporcionar uma melhor dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, 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 a proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal (telecomunicações, dados, etc.).

Portanto, todos os pontos de aterramento da subestação devem estar conectados entre si, de forma direta ou indiretamente (por meio de DPS), envolvendo massas metálicas de equipamentos, condutores de proteção, malhas de condutores instaladas sob ou sobre equipamentos sensíveis, blindagens de cabos e condutos metálicos, elementos metálicos estruturais, tubulações metálicas entre outros.

Para o subsistema de aterramento, o arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo a estrutura a ser protegida. O comprimento mínimo do eletrodo de aterramento deve estar acordo com a classe do SPDA, conforme apresentado na Figura 69 A:

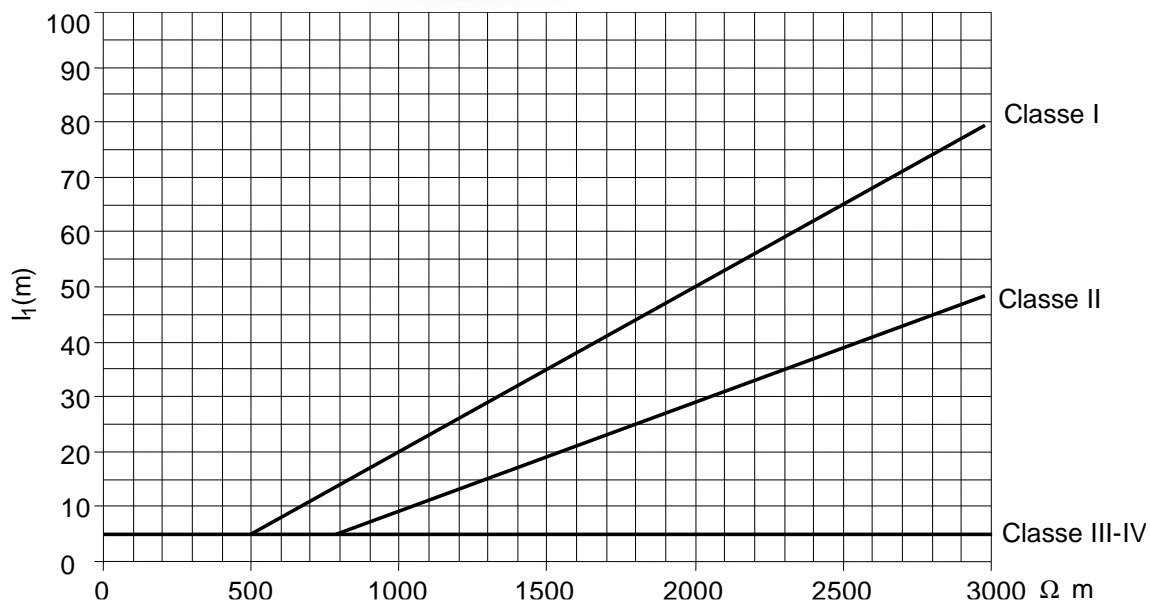


Figura 69 A: Comprimento mínimo do eletrodo de aterramento

Salienta-se que para o SPDA classes I e II se faz necessária uma medição da resistividade do solo para definição do comprimento mínimo do eletrodo de aterramento.

O anel de aterramento deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 m e ficar posicionado externamente a distância aproximada de 1 m ao redor das descidas. Na Figura 69 B é apresentado um detalhe da vala para acomodação do cabo de aterramento.

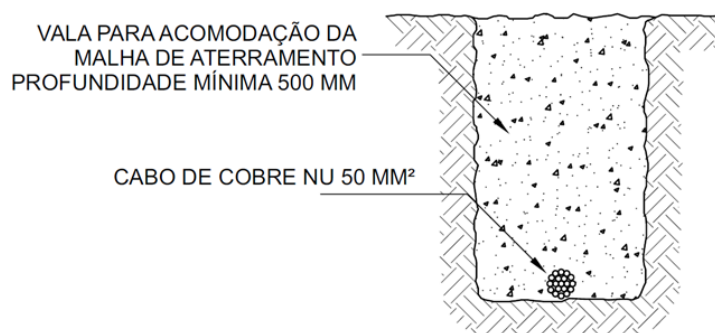


Figura 69 B: Detalhe da vala para acomodação do cabo de aterramento.

O aterramento do SPDA deve ser formado por um anel fechado externo a estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80% do seu comprimento total, conforme detalhes apresentado na Figura 69 C:

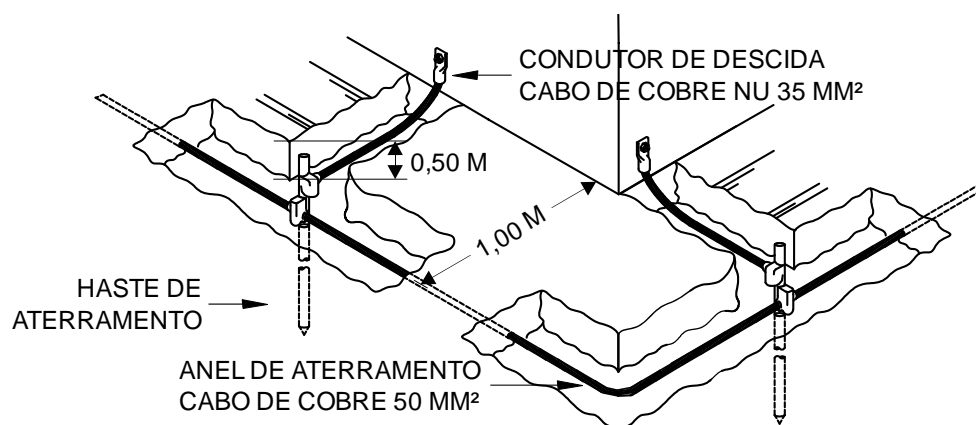


Figura 69 C: Detalhe do anel de aterramento

O anel de aterramento pode ser substituído pela malha de aterramento da subestação, caso a subestação seja dotada de malha de aterramento, formada por condutores de cobre com seção mínima de 50 mm<sup>2</sup> que compreenda toda a área a ser protegida, incluindo a área externa aos condutores de descida. Neste caso, os condutores de descida devem ser conectados a malha de aterramento.

A conexão entre os condutores de descida e a malha ou anel de aterramento deve ser realizada através de solda exotérmica, conforme detalhes apresentados na Figura 70.

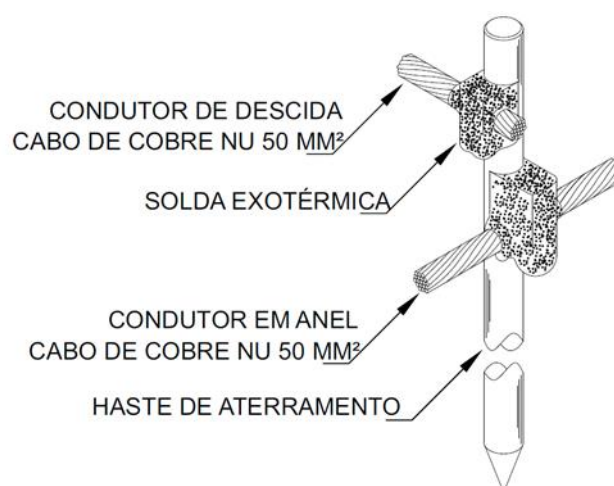


Figura 70: Detalhe de conexão dos condutores de descida e aterramento.

Nas Figuras 71 e 72 são exemplificadas a distribuição dos elementos típicos dos subsistemas de captação, descida e aterramento que compõem um SPDA de uma Subestação.

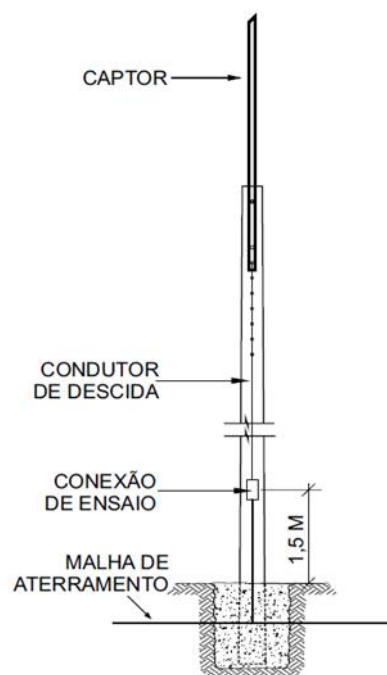


Figura 71: Condutor de descida conectado exclusivamente a uma haste de captação do SPDA.

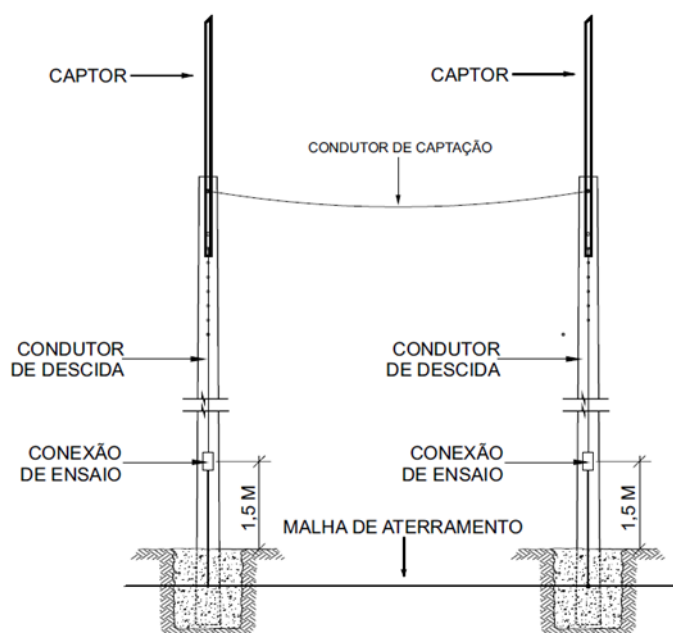


Figura 72: Condutor de descida conectado a mais de um elemento de captação do SPDA.

Em quaisquer das situações apresentadas nas Figuras 66, 67, 71 ou 72, não são permitidas emendas em cabos de descida, exceto no ponto de instalação do conector para ensaios elétricos dos subsistemas do SPDA.

Os pontos de aterramento (SPDA, sistemas de energia elétrica e sinal, telecomunicações, dados, etc.) podem ser conectados entre si de forma direta, através de um ponto de conexão em comum. Esse ponto de conexão pode ser uma caixa de equalização de potenciais, conforme ilustrado na Figura 72 A.

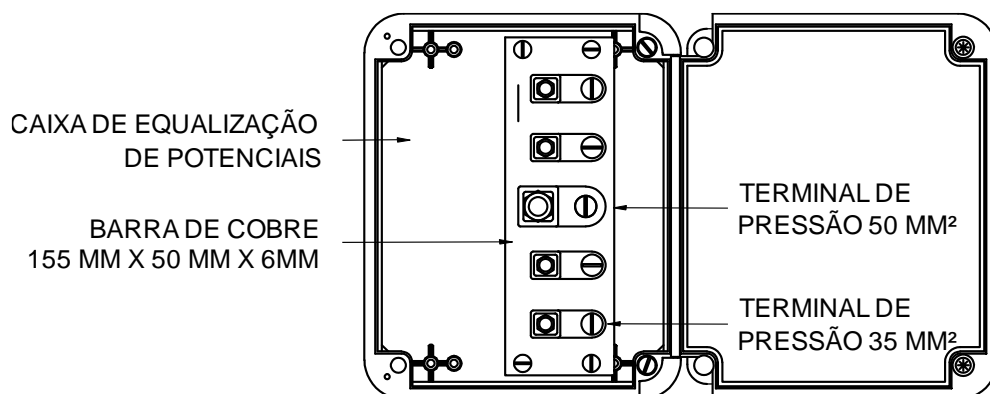


Figura 72 A: Detalhe da caixa de equalização de potenciais.

### 6.5.1. Medição da Resistividade do Solo - Método de Wenner

A Resistividade do Solo é necessária ao determinar o projeto do sistema de aterramento para novas instalações de SPDA, de modo a atender aos requisitos de resistência de aterramento quando a malha de aterramento estiver construída.

A composição do solo, o valor de umidade e temperatura afeta a resistividade do solo. O solo raramente é homogêneo e a resistência do solo varia geograficamente e em profundidades diferentes. Como o solo e a água geralmente são mais estáveis em estratos geológicos mais profundos recomenda-se que as hastes de aterramento sejam colocadas o mais profundamente possível.

Para que um sistema de aterramento seja eficaz, ele deve ser projetado para resistir as piores condições possíveis.

Para a medição da resistividade do solo utiliza-se um terrômetro, com Certificado de Calibração válido. O terrômetro injeta no solo uma corrente elétrica com o objetivo de gerar potenciais na superfície do solo. Em função da corrente injetada e dos potenciais medidos, a resistência elétrica é calculada pelo terrômetro.

#### Procedimento para medição da resistividade do solo

1. Crave no terreno quatro estacas, bem alinhadas e com separação constante D, conforme ilustrado na Figura 73, adotando preferencialmente D muito maior que P. Nesta medição, a distância entre as estacas é crítica, já que interfere no cálculo da resistividade do solo.

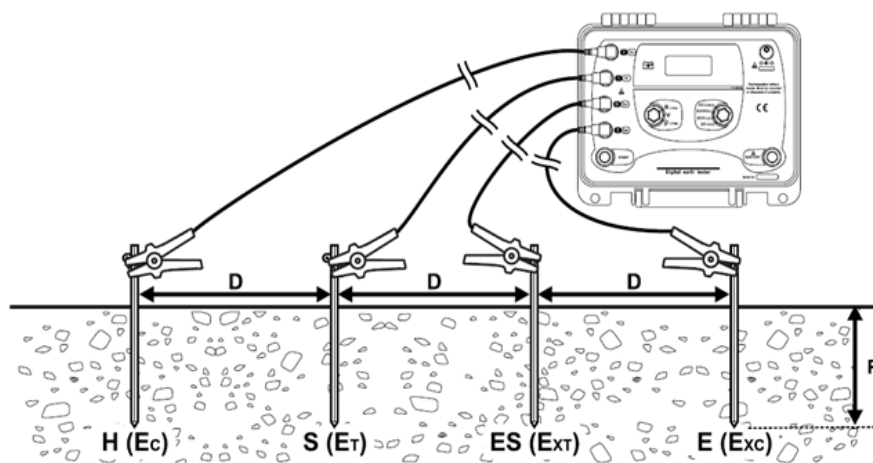


Figura 73: Arranjo para medição da resistividade do solo.

2. Selecione no terrômetro a posição de medição de resistividade  $\rho(4 \text{ pole})$  na chave de função e conecte as estacas como está indicado na Figura 73.
3. Pressione a tecla medição (conforme modelo do equipamento) e encontre a escala mais adequada, iniciando a medição pela maior escala.
4. Para obter o valor da resistividade média do terreno deve-se aplicar a equação de Wenner que, em sua forma simplificada, é:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot D \quad (19)$$

Onde:

$\rho$  = valor da resistividade média do terreno.

$\pi = 3,14159$ .

R = valor indicado no display.

D = distância entre as estacas, expressada em metros.

A equação 19 resulta na resistividade média do terreno desde a superfície até uma profundidade igual à distância D entre as estacas. Realizando diversas medições com diferentes distâncias entre as estacas, obtém-se a informação requerida para determinar a estratificação do terreno por métodos gráficos ou mediante a



utilização de um software adequado. As distâncias (D) geralmente adotadas são 1 m, 2 m, 4 m, 8 m, 16 m.

5. Para avaliar adequadamente a resistividade de um terreno, as medições devem cobrir toda a área a ser ocupada e influenciada pelo sistema de tomada de terra. A norma NBR 7117 recomenda que se efetuem medições de resistividade em, pelos menos, cinco pontos para uma área de até 10.000 m<sup>2</sup>, conforme disposição apresentada na Figura 74.

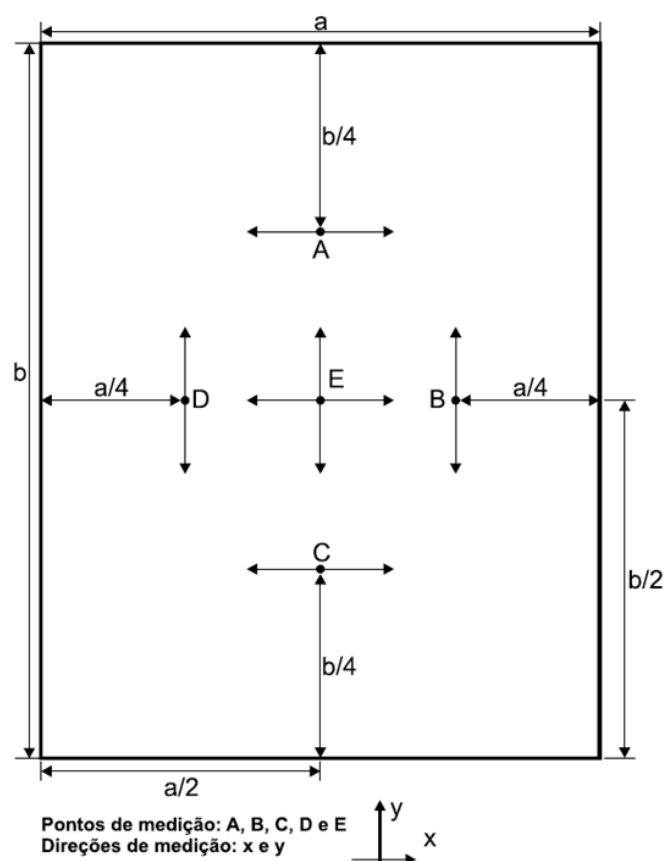


Figura 74: Localização dos pontos de medição de resistividade para grandes áreas.

Em síntese um sistema de proteção contra descargas atmosféricas é dotado de pelo menos os subsistemas de captação, descida e aterramento, conforme ilustrado na Figura 75.

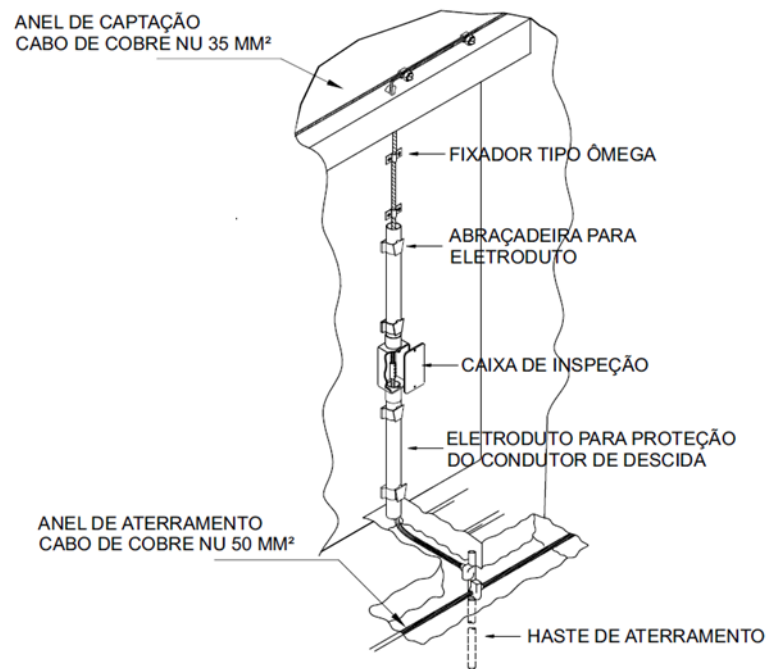


Figura 75: Sistema de proteção contra descargas Atmosféricas.

As instalações providas de um SPDA apresentam grande probabilidade de redução de falhas em equipamentos eletroeletrônicos. Entretanto, como visto, mesmo com a instalação de um SPDA as descargas atmosféricas podem ainda provocar danos à estrutura e aos equipamentos, tendo em vista que as descargas atmosféricas como fontes de danos são fenômenos de altíssima energia.

As descargas atmosféricas liberam centenas de megajoules de energia. Quando comparadas com os milijoules que podem ser suficientes para causar danos aos equipamentos eletrônicos sensíveis em sistemas eletroeletrônicos existentes nas estruturas, deste modo, fica claro que medidas adicionais de proteção são necessárias para proteger alguns destes equipamentos. As medidas adicionais de proteção podem ser implantadas pela instalação de protetores de surto.

## 7.PROJETO E INSTALAÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (MPS)

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

Segundo a ABNT NBR 5419-4 a proteção contra LEMP é baseada no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR). Os volumes contendo cada sistema devem ser divididos em ZPR para que sejam definidos os tipos de proteção mais adequados para cada zona.

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

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

Estas zonas são teoricamente associadas à parte do espaço (ou de um sistema interno) onde a severidade do LEMP é compatível com a suportabilidade dos sistemas internos existentes, ver ilustração apresentada na Figura 76. As sucessivas zonas são caracterizadas por significativas mudanças na severidade no LEMP. A fronteira de uma ZPR é definida pelas medidas de proteção empregadas.

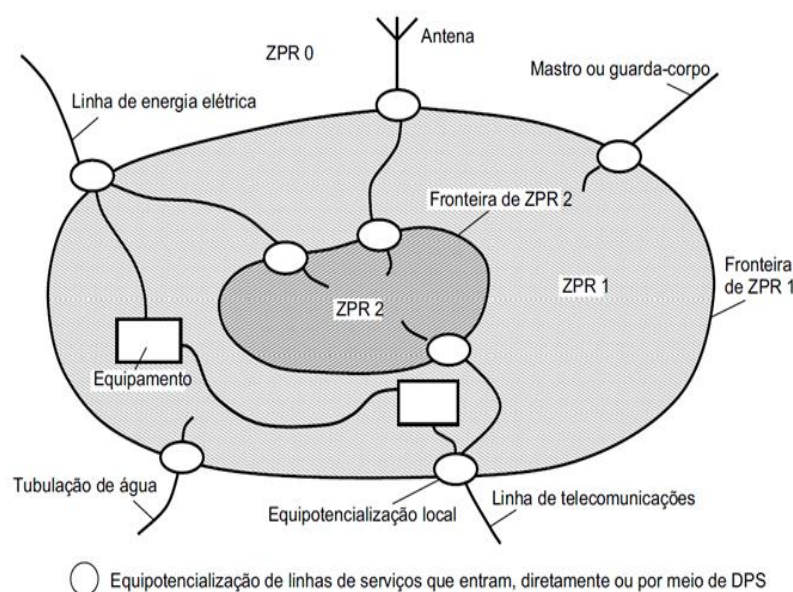


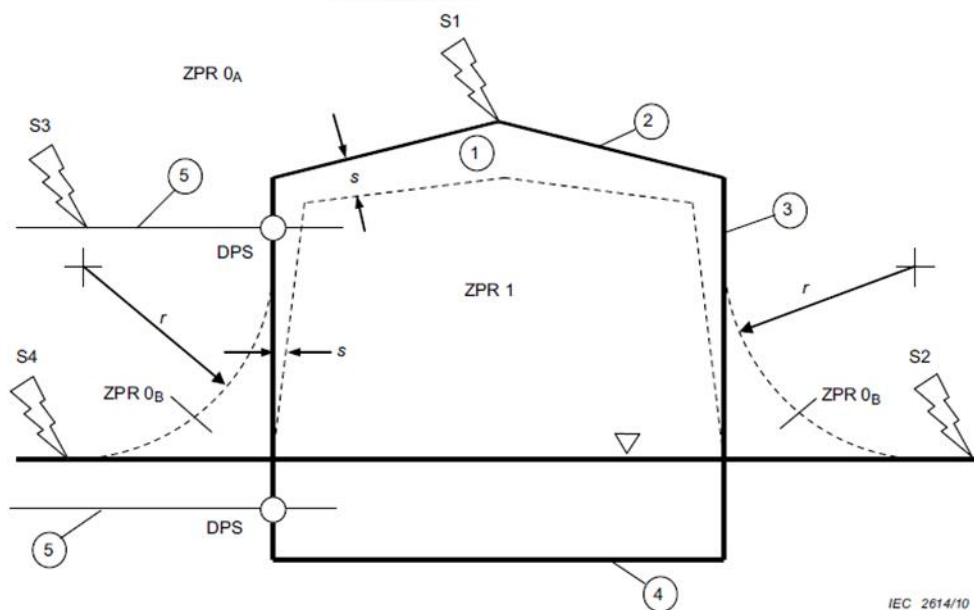
Figura 76: Princípios gerais para a divisão de diferentes ZPR.



A respeito da ameaça de descarga atmosférica, as seguintes ZPR são definidas:

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

Nas Figuras 77 e 78 são apresentadas ilustrações com exemplos típicos de ZPR definidas por SPDA e MPS, respectivamente.



- |   |   |    |  |
|---|---|----|--|
| 1 | estrutura                                     | S1 | descarga atmosférica na estrutura  |
| 2 | subsistema de captação                        | S2 | descarga atmosférica perto da estrutura                                      |
| 3 | subsistema de descida                         | S3 | descarga atmosférica em linhas ou tubulações que adentram na estrutura       |
| 4 | subsistema de aterramento                     | S4 | descarga atmosférica perto de linhas ou tubulações que adentram na estrutura |
| 5 | linhas e tubulações que adentram na estrutura | r  | raio da esfera rolante   |
|   |   | s  | distância de segurança contra centelhamento perigoso                         |

▽ nível do piso

○ ligação equipotencial por meio de DPS

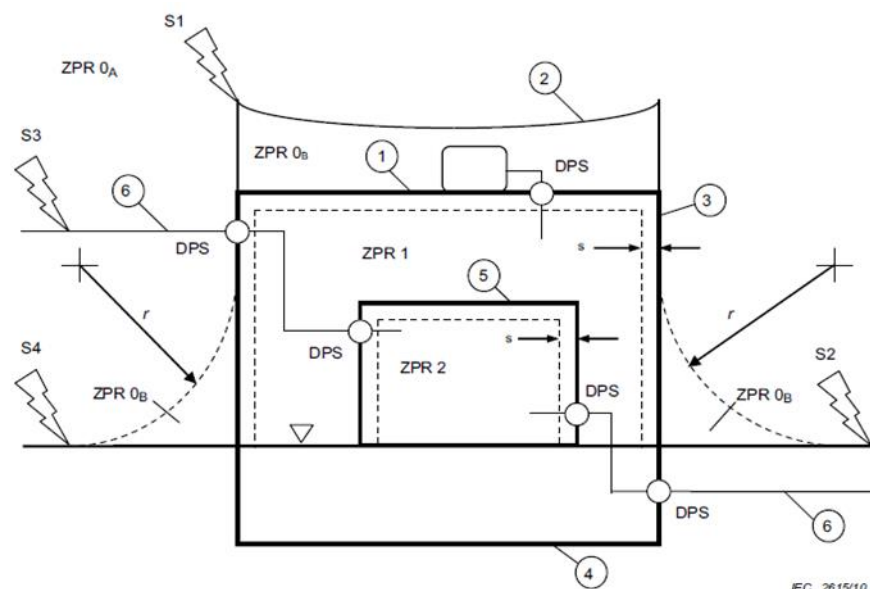
ZPR 0<sub>A</sub> descarga atmosférica direta, corrente total

ZPR 0<sub>B</sub> é pouco provável a ocorrência de descarga atmosférica direta, corrente parcial da descarga atmosférica ou corrente induzida

ZPR 1 não há descarga atmosférica direta, corrente limitada da descarga atmosférica ou corrente induzida

Figura 77: ZPR definidas por um SPDA (ABNT NBR 5419-3).





1	estrutura (blindagem da ZPR 1)	S1	descarga atmosférica na estrutura
2	subsistema de captação	S2	descarga atmosférica perto da estrutura
3	subsistema de descida	S3	descarga atmosférica em linhas ou tubulações que adentram na estrutura
4	subsistema de aterramento	S4	descarga atmosférica perto de linhas ou tubulações que adentram na estrutura
5	recinto (blindagem da ZPR 2)	$r$	raio da esfera rolante
6	linhas e tubulações que adentram na estrutura	$s$	distância de segurança contra campo magnético muito elevado
	▽ nível do piso		
	○ ligação equipotencial para descargas atmosféricas, por meio de DPS		
ZPR 0A	descarga atmosférica direta, corrente total da descarga atmosférica, campo magnético total		
ZPR 0B	é pouco provável a ocorrência de descarga atmosférica, direta, corrente parcial da descarga atmosférica, ou corrente induzida, campo magnético total		
ZPR 1	não há descarga atmosférica direta, corrente limitada da descarga atmosférica, ou corrente induzida, campo magnético atenuado		
ZPR 2	não há descarga atmosférica direta, correntes induzidas, campo magnético ainda mais atenuado		


Figura 78: ZPR definidas por MPS (ABNT NBR 5419-4).

Na proteção dos sistemas elétricos e eletrônicos podem ser adotadas medidas de proteção como SPDA, blindagens eletromagnéticas e a coordenação de DPS.

Nas subestações devem ser projetadas MPS para a proteção de equipamentos contra surtos e campos eletromagnéticos. Na proteção contra surtos devem ser adotados DPS coordenados. Para redução dos campos eletromagnéticos devem ser adotadas redes de equipotencialização de modo a reduzir o campo magnético e minimizar as diferenças de potencial entre os diversos pontos de aterramento da instalação.

As MPS são específicas para cada instalação, devendo ser adotada a ABNT NBR 5419-4, que trata especificamente da Proteção contra descargas atmosféricas, no





tocante aos sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura a ser protegida, de modo a elaborar um projeto adequado, de acordo com as necessidades e características da subestação.

## **7.1. Instalação de um Sistema Coordenado de DPS**

Um sistema coordenado de DPS se caracteriza como DPS adequadamente selecionados, instalados em cascata, de tal forma que estejam coordenados do ponto de vista da alimentação para formar um conjunto que visa reduzir falhas nos sistemas internos.

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

- a) Localização do DPS;
- b) Execução das conexões.

### **7.1.1. Local De Instalação dos DPS**


A localização dos DPS é afetada inicialmente pela:

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

O primeiro critério a ser considerado é: quanto mais próximo estiver o DPS do ponto de entrega da linha elétrica, maior será a quantidade de equipamentos protegidos por este DPS (vantagem econômica).

O segundo critério a ser verificado é: quanto mais próximo estiver um DPS do equipamento a ser protegido, mais efetiva será a proteção (vantagem técnica).

Desse modo, os DPS devem suportar a corrente da descarga atmosférica esperada nos pontos onde estão instalados, conforme a ABNT NBR 5419-1:2015, Anexo E. A



utilização de DPS depende de suas capacidades classificadas na IEC 61643-1 para redes elétricas de energia e na IEC 61643-21 para sistemas de telecomunicações.

Para escolher o tipo de DPS que deve instalado em um sistema, é necessário especificar corretamente as seguintes características elétricas:

- Tensão nominal ( $U_n$ ): tensão nominal do sistema de alimentação;
- Tensão máxima contínua ( $U_c$ ): é o valor da tensão abaixo do qual o DPS certamente não será acionado, e deve ser pelo menos igual a 110% da tensão nominal do sistema ( $U_n$ ).
- Nível de tensão de proteção ( $U_p$ ): representa o valor máximo de tensão que permanece nos terminais do DPS durante a sua operação.
- Tensão sem carga ( $U_{oc}$ ): este parâmetro é característico dos DPS de Classe III e corresponde ao valor de pico da tensão sem carga do gerador de teste do tipo combinado, tendo uma forma de onda de 1,2/50  $\mu s$ , para classificar o desempenho dos DPS Classe III.
- Corrente nominal de descarga ( $I_n$ ): este é o valor de pico da corrente que atravessa o DPS quando testado com uma forma de onda de 8/20  $\mu s$ . As normas da série EN 62305 prescrevem esta forma de onda para simular as correntes induzidas por raios em linhas de energia, sendo o teste característico para os DPS Classe II.
- Corrente máxima de descarga ( $I_{max}$ ): valor de pico da corrente máxima com forma de onda de 8/20  $\mu s$  que o DPS pode descarregar pelo menos uma vez sem apresentar avarias.
- Corrente de impulso ( $I_{imp}$ ): corresponde ao valor de pico do impulso com forma de onda de 10/350  $\mu s$ , com o qual o DPS de Classe I é testado. Esta forma de onda e usada para simular o primeiro impacto de um raio.

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

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

- DPS ensaiado com limp (forma de onda de corrente típica 10/350 s), DPS ensaiado de acordo com a classe I;
- O impulso de corrente requerido limp para DPS deve atender a corrente de descarga atmosférica (parcial) esperada neste ponto da instalação, com base no NP escolhido de acordo com E.2 (fonte de dano S1) e/ou E.3.1 (fonte de dano S3) da ABNT NBR 5419-1.

- DPS ensaiado com In (forma de onda de corrente típica 8/20  $\mu$ s), DPS ensaiado de acordo com a classe II;
- Este tipo de DPS pode ser utilizado quando as linhas que adentram a edificação estão inteiramente dentro ZPR 0B ou quando a probabilidade de danos do DPS devido a fontes de danos S1 e S3 podem ser desprezadas. A corrente nominal de surto In do DPS deve atender ao nível de surto esperado no ponto da sua instalação baseado no NP escolhido e relacionado às sobre correntes, de acordo com a ABNT NBR 5419-1:2015, E.3.2.

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

- DPS ensaiado com In (forma de onda de corrente típica 8/20  $\mu$ s), DPS ensaiado de acordo com a classe II;
- O impulso de corrente requerido In para o DPS deve atender a corrente esperada neste ponto da instalação, com base no NP escolhido e com as sobre correntes relacionadas de acordo com a ABNT NBR 5419-1:2015, E.4.

- Observação: Um DPS que tenha as características de classe 1 e classe 2 (Classe I/II) pode ser usado neste local.

- DPS ensaiado com a onda combinada com corrente de curto-circuito ISC (corrente típica forma de onda de corrente 8/20  $\mu$ s) e tensão em circuito aberto UOC (tensão típica forma de onda de corrente 1,2/50  $\mu$ s), ensaiado de acordo com a classe III.
- Este tipo de DPS pode ser usado quando as linhas que adentram a edificação estão totalmente localizadas na ZPR 0B ou quando o risco de falhas do DPS devido às fontes de danos S1 e S3 puderem ser desprezados. A tensão em circuito aberto UOC

do DPS (na qual a corrente de curto-circuito ISC pode ser determinada, pois o ensaio classe 3 é realizado usando-se um gerador de onda combinada com impedância interna de  $2 \Omega$ ), deve atender ao nível do surto esperado no ponto da instalação, com base no NP escolhido e com as sobre correntes especificadas conforme a ABNT NBR 5419-1:2015, E.4.

A nomenclatura da especificação da Classe do DPS pode variar em função da norma a qual o DPS foi ensaiado. As equivalências de nomenclatura são indicadas na Tabela 5.

Norma	Nomenclatura		
IEC/ABNT	Classe I	Classe II	Classe III
Europa	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
VDE	B	C	D

Tabela 5: Equivalências de nomenclatura da especificação da Classe do DPS.

No texto, utilizaremos o termo classe para especificarmos os DPS. Como já apresentado, dependendo do tipo de proteção oferecida, os DPS são agrupados em classes. A classe identifica o teste ao qual o DPS foi submetido em termos de corrente de descarga.

Na Figura 79 é apresentado o esquema de instalação dos DPS nos quadros elétricos a serem instalados para adequação do SPDA com sistema de aterramento TN-S.

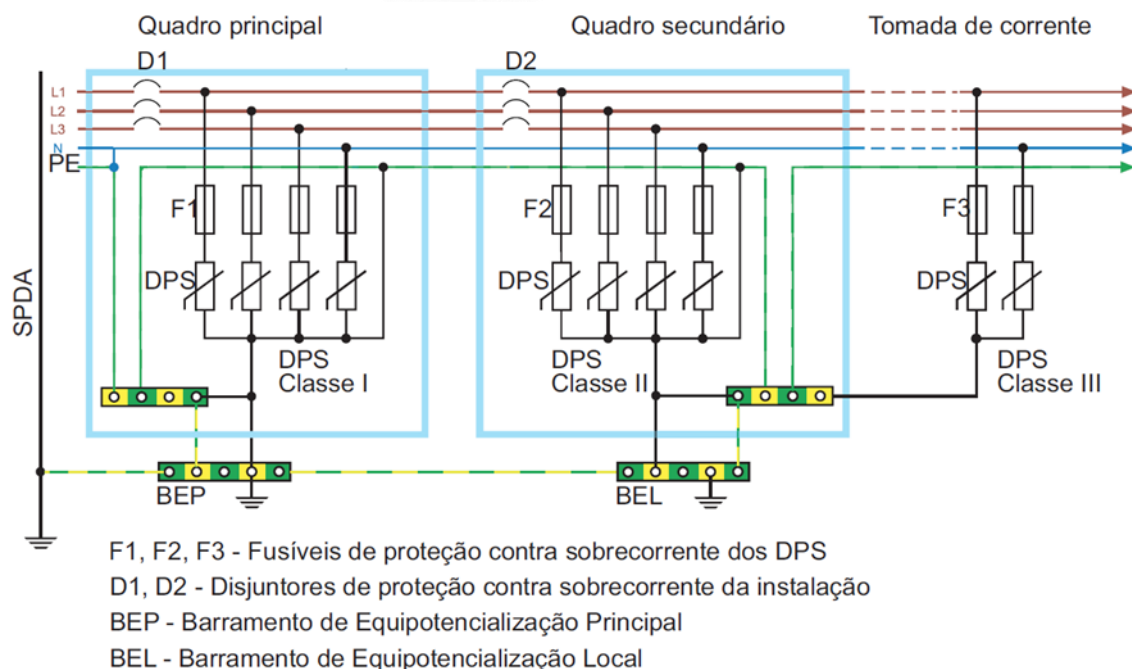


Figura 79: Esquema de instalação dos DPS nos quadros elétricos - Sistema TN-S.

Para especificação das correntes limpa dos DPS a serem utilizados no SPDA e MPS, deve-se considerar inicialmente a Classe de proteção do SPDA. Quatro classes de SPDA (I, II, III e IV) são definidas como um conjunto de regras de construção, baseadas nos correspondentes níveis de proteção (NP), ou seja, O NP I corresponde à classe de proteção I, NP II corresponde à classe de proteção II, e assim para as demais classes. Adicionalmente, segundo a ABNT NBR 5419-4, cada NP está sujeito a uma corrente de descarga atmosférica máxima, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Valores máximos da corrente de descarga atmosférica correspondentes aos níveis de proteção (NP).

Classe de Proteção	Nível de Proteção Correspondente	Corrente de Pico (kA)
I	I	200
II	II	150
III	III	100
IV	IV	100

Conhecida a classe do SPDA, se faz necessário dimensionar a corrente máxima que poderá ser conduzida pelos DPS. Para o dimensionamento da corrente, diversos fatores da instalação podem afetar na distribuição de corrente. Quando nenhum cálculo específico da divisão da corrente é realizado (ver ABNT NBR 5419-1:2015, E.2), uma suposição geral é de que 50% desta corrente é conduzida ao subsistema de aterramento, e 50% retorna por meio dos DPS de equipotencialização, conforme ilustrado na Figura 80.

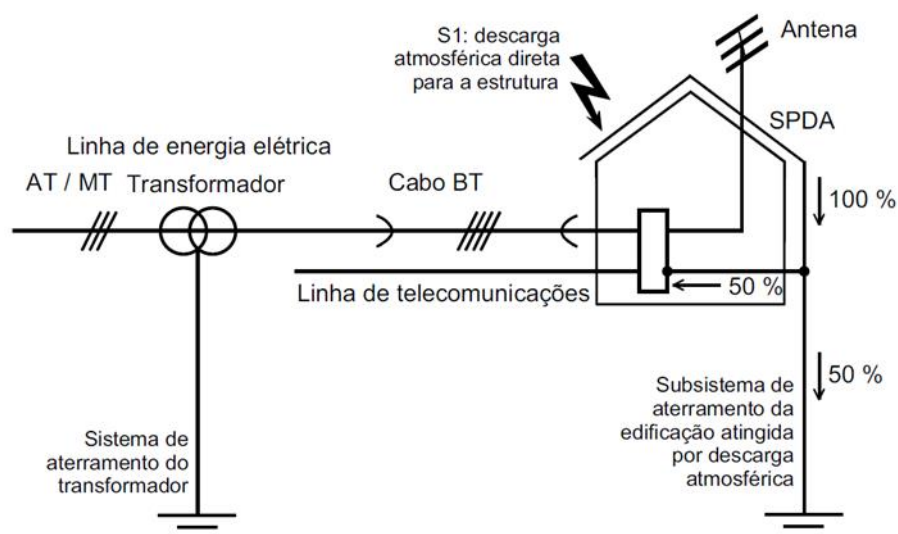


Figura 80: Exemplo básico de distribuição da corrente de descarga atmosférica.

A parcela da corrente de descarga atmosférica que retorna por meio dos DPS de equipotencialização (50%) é então subdividida entre os sistemas que compõem a estrutura. Para a edificação apresentada na Figura 85, temos os seguintes serviços que adentram a estrutura por meio de condutores metálicos:

- 1) Linha de energia elétrica trifásica;
- 2) Linha de telecomunicações;
- 3) Cabo da Antena.

Os três serviços listados podem ser atingidos por uma descarga atmosférica direta, conseqüentemente, a fonte de danos para estes serviços são S1 e S3, conforme definido no item 5.1, podendo causar os danos apresentados no item 5.1.3. A fonte



de danos é essencial para dimensionamento e localização dos DPS, conforme apresentado no item 7.1.1.

Como foi apresentada no parágrafo anterior, uma suposição geral é que 50% da corrente retorna por meio dos DPS de equipotencialização. Desse modo, esta parcela de 50% da corrente será subdividida dentre os três serviços que adentram a estrutura (elétrica, telecomunicações e antena).

Admitindo que a instalação ilustrada na Figura 85 foi projetada com um SPDA Classe I, com conseqüente NP I, com corrente de pico máxima ( $I_{imp}$ ) de 200 kA, conforme Tabela 6, considerando que 50% (100 kA) será subdividida dentre os três serviços que alimentam a estrutura por meio de condutores metálicos, isso implica que cada sistema estará sujeito a conduzir uma corrente máxima de aproximadamente 33,33 kA. Sendo a rede elétrica dotada de quatro condutores, sendo três fases e um neutro, a parcela da corrente de descarga (33,33 kA) será dividida entre os quatro três. Assim, a corrente da cada fase e do neutro será de 8,33 kA.

Para as correntes dos DPS Classe II e III não há uma previsão segundo a ABNT NBR 5419. Para estes casos, uma recomendação dos projetistas é que sejam adotados os critérios conforme apresentado na Tabela 7. Sendo  $N_g$  a densidade de descargas atmosféricas prevista para o local onde a estrutura se localiza, podendo se obtido através do link na internet: [http://www.inpe.br/webelat/ABNT\\_NBR5419\\_Ng](http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng).

Tabela 7: Especificação das correntes dos DPS Classe II e Classe III.

Otimização do $I_{máx}$ para protetores de surto tipo 2 ou classe 2				
$N_g$	< 2	2 < $N_g$ < 3	$3 < N_g < 4$	4 < $N_g$
$I_n$ (kA)	5	20	30	60
$I_{máx}$ (kA)	15	40	70	120

Quanto à tensão dos DPS, estes devem ser assim dimensionados:

- DPS para os condutores fase:

$$U_C \geq 1,1 \times V_{FN}$$

- DPS para o condutor neutro:

$$U_C \geq V_{FN}$$

Sendo  $U_C$  a tensão nominal máxima de operação do DPS.

Deste modo, considerando uma instalação com tensão de alimentação 220 V, entre fase e neutro, definem-se os seguintes DPS:

- Linha de energia elétrica trifásica
  - Instalar DPS, classe I, tensão nominal máxima de operação ( $U_C$ ) de 255 V, com capacidade dos surtos unipolar ( $I_{imp} = 10 \text{ kA} - 10/350 \mu\text{s}$ ) no quadro principal, conforme ilustrado na Figura 79.
  - Instalar DPS, classe II, tensão nominal máxima de operação ( $U_C$ ) de 255 V, com capacidade dos surtos unipolar ( $I_n = 5 \text{ kA} - 8/20 \mu\text{s}$ ) no quadro secundário, conforme ilustrado na Figura 79.
- Linha de telecomunicações;
  - Instalar DPS, classe II, tensão nominal máxima de operação ( $U_C$ ) de 175 V, com capacidade dos surtos unipolar ( $I_n = 5 \text{ kA} - 8/20 \mu\text{s}$ ) cabo da rede telefônica, conforme ilustrado na Figura 81.

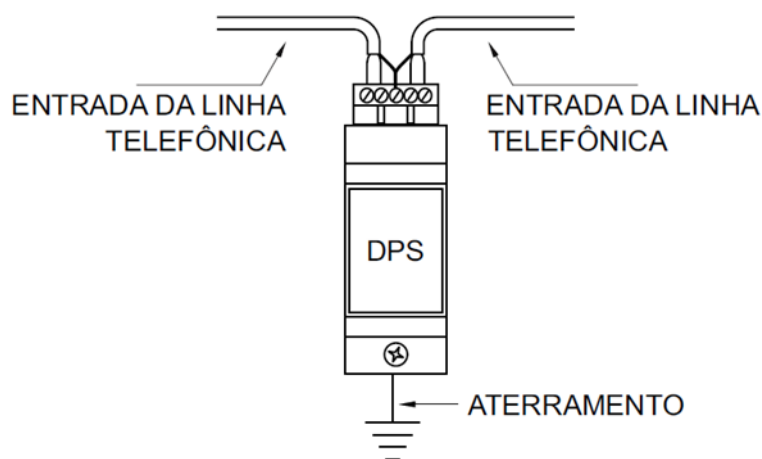


Figura 81: Detalhe da instalação do DPS no cabo da rede telefônica.

- Instalar DPS, classe III, tensão nominal máxima de operação ( $U_c$ ) de 255 V, com capacidade dos surtos unipolar ( $I_n = 5 \text{ kA} - 8/20 \mu\text{s}$ ) no painel de alimentação dos equipamentos conectados à rede telefônica.

- Cabo da Antena.

- Instalar DPS, classe III, tensão nominal máxima de operação ( $U_c$ ) de 50 V, com capacidade dos surtos unipolar ( $I_n = 2 \text{ kA} - 8/20 \mu\text{s}$ ) no cabo coaxial da antena, conforme ilustrado na Figura 82.

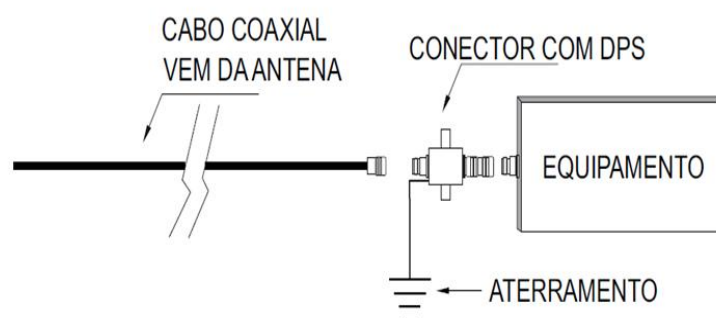



Figura 82: Detalhe da instalação do DPS no cabo coaxial proveniente da antena externa.

- Instalar DPS, classe III, tensão nominal máxima de operação ( $U_c$ ) de 255 V, com capacidade dos surtos unipolar ( $I_n = 5 \text{ kA} - 8/20 \mu\text{s}$ ) no painel de alimentação dos equipamentos conectados a antena telefônica.

Alternativamente, os parâmetros dos DPS podem ser dimensionados conforme Tabelas E.2 e E.3 da ABNT NBR 5419-1.

## 8.MATERIAL

Os 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 8 da ABNT NBR 5419-3 ou com outros tipos de materiais com características de



comportamento mecânico, elétrico e químico (relacionado à corrosão) equivalente. Preferencialmente, os seguintes materiais deverão ser utilizados no projeto do SPDA:

- Malha de captação:
  - Haste tipo cantoneira em aço carbono zincada por imersão a quente, com face de 50 mm, comprimento máximo de 4.000 mm e chapa de 8 mm, conforme ilustrado na Figura 5.
  - Cabo de cobre eletrolítico com seção mínima de 35 mm<sup>2</sup>, encordado com formação concêntrica, têmpera meio dura, classe 2A, formação a 7 fios, diâmetro de cada fio 2,5 mm.
- Condutores de descida:
  - Cabo de cobre eletrolítico com seção mínima de 35 mm<sup>2</sup>, encordado com formação concêntrica, têmpera meio dura, classe 2A, formação a 7 fios, diâmetro de cada fio 2,5 mm.
- Fixação:
  - Para descidas em condutores de cobre de 35 mm<sup>2</sup>, utilizar conector parafuso fendido em latão, tipo (split-bolt), acabamento estanhado, rabicho rosca soberba, para cabos de 35 mm<sup>2</sup>, conforme detalhes apresentados nas Figuras 65 a 69.
- Conexão de ensaio:
  - Conector de medição em bronze com 4 parafusos para cabos de cobre 16- 70 mm<sup>2</sup>, conforme ilustrado nas Figuras 68 e 69.
- Sistema de aterramento:
  - Cabo de cobre eletrolítico com seção mínima de 50 mm<sup>2</sup>, encordado com formação concêntrica, têmpera meio dura, classe 2A, formação a 7 fios, diâmetro de cada fio 3 mm.
  - Haste de aterramento em aço cobreado, tipo “Copperweid”, com diâmetro de 16 mm e comprimento mínimo de 2.400 mm, com IACS International Annealed Copper Standard 30%, com revestimento em cobre em alta camada de 254 µΩ.

Tabela 8: Material para SPDA e condições de utilização, com respectiva seção mínima.

Material	Utilização				Corrosão			Seção do condutor	
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumenta do por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico	Captação e Descida	Aterramento
Cobre	Maciço	Maciço	Maciço	Não permitido	Boa em muitos ambientes	Compostos sulfurados	-	35 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>
	Encordoado	Encordoado	Encordoado			Materiais orgânicos		Para mini captores (200 mm <sup>2</sup> )	
	Como abertura	Como abertura	Como abertura			Altos conteúdos de cloreto			
Aço galvanizado a quente	Maciço	Maciço	Maciço	Maciço	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloreto	Cobre	50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>
	Encordoado	Encordoado	Encordoado	Encordoado				Para mini captores (200 mm <sup>2</sup> )	
Aço	Maciço	Maciço	Maciço	Maciço	Boa em	Altos	-	70 mm <sup>2</sup>	100 mm <sup>2</sup>

Material	Utilização				Corrosão			Seção do condutor	
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumenta do por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico	Captção e Descida	Aterramento
inoxidável				Encordado	muitos ambientes	conteúdos de cloreto		Para mini captosres (200 mm <sup>2</sup> )	
	Encordado	Encordado	Encordado						
Aço cobreado	Maciço	-	-	-	-	-	-	50 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>
	Encordado								
Alumínio	Maciço Encordado	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Bom em atmosferas contendo baixas concentrações de sulfuretos e cloretos	Soluções alcalinas	Cobre	70 mm <sup>2</sup>	Não permitido
								Para mini captosres (200 mm <sup>2</sup> )	

**NOTAS:**

1. Esta tabela fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.
2. Condutores encordados são mais vulneráveis à corrosão do que condutores sólidos. Condutores encordados são também vulneráveis quando eles entram ou saem nas posições concreto/terra.
3. Aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.
4. Aço revestido por cobre pode ser utilizado em concreto armado, desde que esteja inserido em um eletroduto embutido ou externo.
5. Consulte a norma ABNT NBR 5419-3 para consultar outros materiais.



## 9.INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

A eficácia de um SPDA depende da sua instalação, manutenção e inspeções periódicas, com métodos adequados de avaliação dos componentes do SPDA.

### 9.1. Aplicação das Inspeções

O objetivo das inspeções e assegurar que:

- i) O SPDA esteja de acordo com projeto baseado na Norma ABNT NBR 5419;
- ii) 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;
- iii) Qualquer nova construção ou reforma que altere as condições previstas em projeto inicial, 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 na Norma NBR 5419.

A inspeção do SPDA deve contemplar todos os componentes e estado de conservação dos mesmos, método de instalação e estado das conexões entre o SPDA e os subsistemas de aterramento.

### 9.2. Ordem das Inspeções

As inspeções em subestações de energia elétrica devem ser feitas de acordo com o item 7.2 da NBR 5419-3, como a seguir:

- i) Após a instalação do SPDA, no momento da emissão do documento "as built";
- ii) Após alterações ou reparos, ou quando houver suspeita de que a estrutura foi atingida por uma descarga atmosférica;
- iii) Inspeção visual semestral apontando eventuais pontos deteriorados no sistema;

iv) Periodicamente, a cada um ano, visto a subestação de energia elétrica se trata de fornecedores de serviços considerados essenciais. Esta inspeção anual deve ser realizada por profissional habilitado e capacitado a exercer esta atividade, com emissão de documentação pertinente.

### 9.3. Componentes Inspeccionados

Durante as inspeções periódicas e particularmente importantes, checar os seguintes itens:

- Deterioração e corrosão dos captores, condutores de descida e conexões;
- Condição das equipotencializações;
- Corrosão dos eletrodos de aterramento;
- Verificação da integridade física dos condutores do eletrodo de aterramento para os subsistemas de aterramento não naturais;
- Teste de continuidade elétrica dos condutores de descidas, com microohmímetro ou miliohmímetro, com aplicação de corrente mínima de 1 A;
- Teste de continuidade elétrica entre os condutores de descida e o sistema de aterramento, com microohmímetro ou miliohmímetro, com aplicação de corrente mínima de 1 A.
- Medição da resistência de aterramento.

#### 9.3.1. Teste de Continuidade entre Cabos do SPDA

As medições de continuidade elétrica são aplicadas aos condutores de descida e aos condutores do subsistema de aterramento e do SPDA a fim de comprovar a continuidade elétrica dos trechos sob ensaio, o que fornece parâmetros para determinar se as malhas de aterramento estão conectadas entre si, como também serve de parâmetro para avaliação da integridade física do eletrodo de aterramento e suas conexões.

Nas medições de continuidade dos cabos deve ser utilizado um miliohmímetro ou microohmímetro. Nos ensaios de continuidade é utilizado o método de medição a quatro fios, visto que o valor usualmente obtido da resistência e da ordem de  $m\Omega$ .

Na medição de continuidade dos cabos de equipotencialização, descida e aterramento das subestações é seguido o esquema ilustrado na Figura 83, sendo RX a resistência do cabo sob teste. Neste teste são escolhidos dois pontos, um em cada extremidade do cabo sob teste.

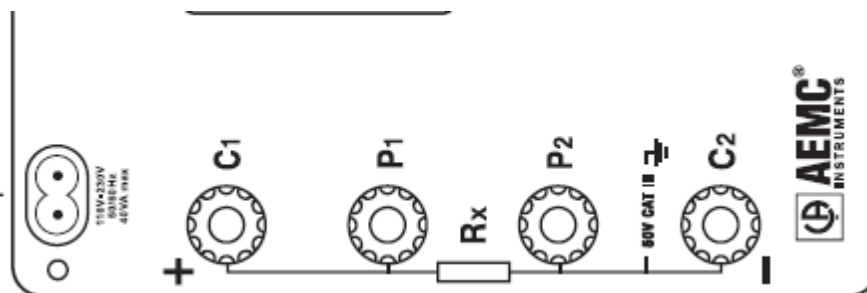


Figura 83: Medição de continuidade com miliohmímetro ou microohmímetro.

Inicialmente, conecta-se uma das extremidades do cabo sob análise aos bornes C1 e P1 (geralmente o ponto de conexão no captor). A outra extremidade do cabo de descida, que vai para o aterramento, conecta-se aos bornes C2 e P2 (geralmente o ponto de conexão no aterramento ou na conexão de inspeção/medição).

Com as conexões realizadas, por meio do miliohmímetro ou microohmímetro é injetada uma corrente de teste na faixa de 1 a 10 A, no cabo sob teste. Internamente, o miliohmímetro ou microohmímetro mede a tensão e a corrente injetada entre as duas extremidades do cabo, indicando no painel o valor da resistência medida.

Os valores de resistência medidos (continuidade elétrica entre malhas de aterramento ou nos cabos de descida) devem ser comparados com valores padrões de cabos elétricos que apresentam a mesma seção. Para efeitos comparativos, segundo a Prysmian, condutor de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup>, adotados para o subsistema de aterramento apresenta uma resistência média de 0,386 Ω/km. Enquanto o condutor de cobre nu de 35 mm<sup>2</sup>, adotados para os condutores de descida apresenta uma resistência média de 0,554 Ω/km. Portanto, os valores de continuidade obtidos devem ser compatíveis com a configuração das instalações e as seções dos condutores adotados.

### 9.3.2. Medição da Resistência do Sistema de Aterramento

A medição da resistência da malha geral de aterramento deve ser efetuada utilizando-se um terrômetro, com Certificado de Calibração válido, de acordo com o esquema na Figura 84.

O procedimento de medição da resistência de aterramento é seguido tendo-se como referência a Figura 84.

1. Inicialmente, crava-se no terreno duas estacas auxiliares, a estaca de corrente E3 e a estaca de tensão E2, conectando-as através dos cabos fornecidos, aos bornes H(EC) e S(ET) respectivamente. O borne E(EXC) sendo conectado a tomada de terra cuja resistência se quer medir (E1) com o cabo de 5 m (ver Figura 84).

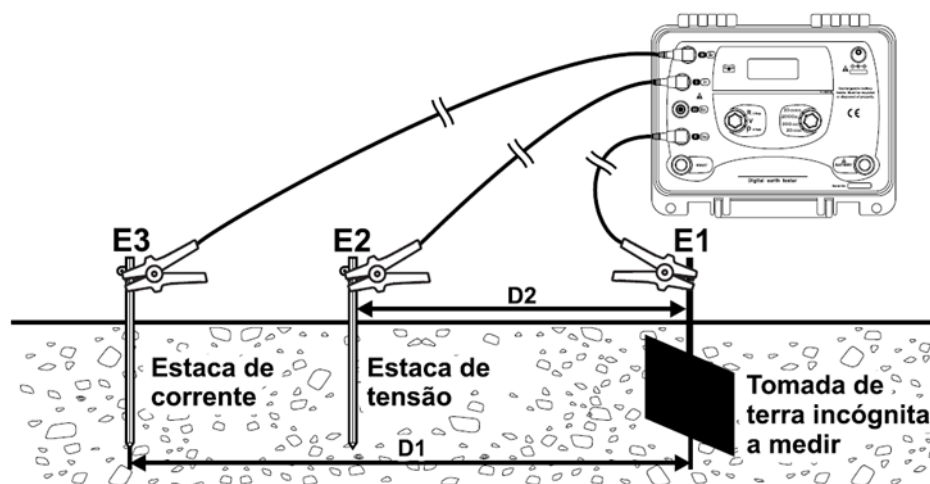



Figura 84: Medição de resistência de aterramento com terrômetro.

O terrômetro injeta no solo uma corrente  $I$  através da estaca E3, que circula também pela haste E1. A corrente gera potenciais na superfície do solo. O potencial correspondente à distância D2 é calculado pelo aparelho, que indicará no painel o valor da resistência correspondente ao primeiro ponto de localização da estaca E2.



2. Para obtenção da resistência de aterramento desloca-se a haste E2 em todo percurso entre a malha de aterramento e a haste E3, com isso, medindo-se o valor da resistência para cada ponto da estaca E2, tem-se a curva da resistência de terra em relação ao aterramento principal. Sugere-se realizar a medição da resistência de aterramento em 20 pontos, igualmente distribuídos entre as estacas E1 e E3.

A resistência (R) da malha de aterramento é obtida no ponto (P), assim representado pela Equação 20:

$$P = 0,618 \times D1 \quad (20)$$

Para obter uma medição válida da resistência de aterramento ou tomada de terra (TDT) é necessário afastar a estaca auxiliar de corrente o suficiente para que se cumpra a condição de não sobreposição das zonas de influência, e a estaca de tensão (sonda) deve estar cravada na zona do patamar de potencial. Como referência é possível adotar o critério de considerar que o raio de cada zona de influência é da ordem de 3 vezes a maior dimensão do eletrodo (haste de aterramento).

Na Figura 85 está representado de forma gráfica o perfil de potencial com relação à zona compreendida entre esta e o eletrodo de corrente, assumindo que a distância entre esses pontos seja suficiente para que suas respectivas “zonas de influência” não apresentem sobreposição. Denomina-se “zona de influência” a área próxima de cada eletrodo na qual se observa um gradiente de potencial significativo. Fora desta zona o potencial é constante (patamar de potencial entre os pontos A e B da Figura 85).

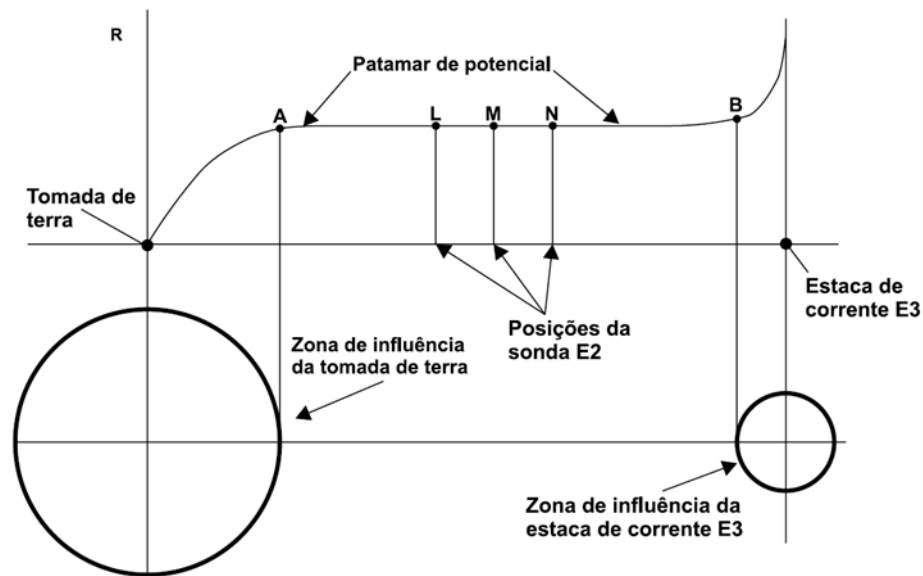


Figura 85: Perfil de potencial com relação à TDT.

O cumprimento adequado desta condição deve ser verificado realizando-se três medições sucessivas da resistência de TDT mantendo a posição da estaca de corrente, porém deslocando a estaca de tensão  $\pm 2$  metros entre as medições (pontos L, M, e N). Se as três medições apresentarem o mesmo resultado (dentro do erro especificado do terrômetro) a medição deve ser considerada correta. Do contrário, deve-se aumentar significativamente a distância até a estaca de corrente e repetir o processo.

Deve-se considerar que quando se mede a resistência de TDT de sistemas de grande tamanho (ex. malhas extensas de subestações) são requeridas distâncias que podem chegar a centenas de metros para cumprir a condição. A literatura técnica descreve métodos aproximados que permitem reduzir estas distâncias com resultados válidos.

### 9.3.3. Laudo Técnico

Após a realização da inspeção periódica, realizada por um profissional capacitado e habilitado, um laudo técnico deve ser emitido.

O laudo técnico deve apresentar todas as inconformidades diagnosticadas nas inspeções do SPDA, bem como as recomendações pertinentes para solução das inconformidades encontradas.



Cabe ainda ao profissional emitente do laudo técnico, recomendar, baseado nos danos encontrados, o prazo de manutenção no sistema, que pode variar desde “imediatos” a “item de manutenção preventiva”.

Periodicamente e sempre que diagnosticado oxidação nas conexões, sugere-se efetuar a limpeza da área da conexão e/ou substituição dos conectores e/ou parafusos oxidados.

## 10. NOTAS COMPLEMENTARES

Em qualquer tempo e sem necessidade de aviso prévio, esta Norma poderá sofrer alterações, no seu todo ou em parte, por motivo de ordem técnica e/ou devido às modificações na legislação vigente, de forma a que os interessados deverão, periodicamente, consultar a Concessionária.

Os casos não previstos nesta norma, ou aqueles que pelas características exijam tratamento à parte, deverão ser previamente encaminhados à concessionária, através de seus escritórios locais, para apreciação conjunta da área de projetos / área de estudos.

É parte integrante desta norma a NDU-021 (Adendo as Normas de Distribuição Unificadas da ENERGISA à Norma Regulamentadora nº 010).

## 11. HISTÓRICO DE VERSÕES DESTE DOCUMENTO

Data	Versão	Descrição das Alterações Realizadas
18/08/2017	1.0	Elaboração da Norma

## 12. VIGÊNCIA

Esta Norma entra em vigor na data de 02/10/2017.

