

Edição 5 | 2021

# APOSTILA INTRODUTÓRIA

## Proteção Contra Descargas Atmosféricas (PDA)



 **Termotécnica**  
Para-raios

# Guia básico e orientativo sobre proteção contra raios

Todas as informações deste guia são fundamentadas nas  
recomendações da ABNT NBR 5419/2015.



## **Edição e Coordenação**

Nikolas Lemos Bahia de Oliveira

## **Revisão Técnica**

Carlos Alberto Lemos de Moraes  
Normando Virgílio Borges Alves

## **Projeto Gráfico e Diagramação**

Lorrayne Cristina de Souza Batista

## **Revisão e Direção de Arte**

Shayene Campos

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	<b>4</b>
<b>2. Histórico</b>	<b>4</b>
<b>3. Parâmetros de um raio</b>	<b>5</b>
<b>4. Gerenciamento de risco</b>	<b>7</b>
<b>5. Subsistemas do SPDA</b>	<b>8</b>
<b>5.1 Captação</b>	<b>8</b>
5.1.1 Método das malhas	9
5.1.2 Método da esfera rolante	9
5.1.3 Método do ângulo de proteção	10
5.1.4 Materiais permitidos para captação	11
5.1.5 Captação natural	12
<b>5.2 Descidas</b>	<b>13</b>
5.2.1 Descida natural	14
<b>5.3 Aterramento</b>	<b>14</b>
5.3.1 Aterramento estrutural	15
5.3.2 Aterramento externo	15
5.3.2.1 Cálculo do comprimento de malha externa	15
5.3.3 Conexões do aterramento	18
<b>5.4 Ligações equipotenciais</b>	<b>18</b>
5.4.1 Ligações equipotenciais internas	18
5.4.2 Ligações equipotenciais externas	19
5.4.3 Ligações equipotenciais diretas	20
5.4.4 Ligações equipotenciais indiretas	21
<b>5.5 Isolação elétrica</b>	<b>21</b>
<b>5.6 Proteção contra tensões de toque</b>	<b>23</b>
<b>5.7 Proteção contra tensões de passo</b>	<b>24</b>
<b>6. Projeto de SPDA</b>	<b>24</b>
<b>6.1 Execução de projeto</b>	<b>24</b>
<b>6.2 Inspeções e manutenções do SPDA</b>	<b>25</b>
<b>6.3 Documentos do SPDA</b>	<b>26</b>
<b>6.4 Ensaios de continuidade elétrica</b>	<b>26</b>
<b>6.5 SPDA em áreas classificadas</b>	<b>27</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo levar ao conhecimento de projetistas, engenheiros e outros interessados no assunto, algumas orientações técnicas e práticas sobre a implantação de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e Medidas de Proteção contra Surtos (MPS), baseado em nossa larga experiência de instalação, fabricação, projeto e consultoria técnica.

Foi usada uma linguagem acessível para facilitar o entendimento de leigos e pessoas sem formação técnica específica da área elétrica. As orientações aqui contidas foram embasadas na NBR 5419/2015 e IEC62305. Caso queira aprofundar mais seus conhecimentos em PDA, recomendamos a leitura de ambas as normas e também a participação em cursos de capacitação no assunto.

## 2. HISTÓRICO

O raio é um fenômeno da natureza que desde os primórdios vem intrigando o homem, tanto pelo medo provocado pelos trovões, como pelos danos causados pelo seu impacto em florestas, seres vivos e edificações.

Em algumas civilizações primitivas, o raio era uma dádiva dos deuses, pois com ele quase sempre estão acompanhadas as chuvas e a abundância na lavoura. Outras civilizações, o consideravam como um castigo e, a pessoa que morria num acidente de raio, provavelmente, estava sendo castigada por um deus. O mais famoso desses deuses é Zeus, da mitologia grega, sendo considerado o mais forte dentre todos.

Algumas culturas também glorificavam mortos por raios, como se o defunto tivesse sido escolhido entre tantos seres humanos, para uma morte digna dos deuses, com direito a funeral e honras especiais.

Após tantas civilizações, o homem acabou descobrindo que o raio é um fenômeno de natureza elétrica. Seus parâmetros são imprevisíveis e a melhor maneira de evitar seus danos é conduzi-lo o mais rápido possível para o solo, por meio de um caminho metálico seguro.

O primeiro cientista a perceber que se tratava de um fenômeno elétrico foi Benjamin Franklin



Figura 1 - Estátua com representação de Zeus.  
Fonte: Museu do Louvre/2020

(1706-1790), famoso por seus experimentos com raios e, em especial, o experimento da pipa, quando comprovou que um raio é apenas uma corrente elétrica de grandes proporções.

Na época, Franklin também afirmou que ao colocar uma ponta metálica em cima de uma



Figura 2 - Experimento de Franklin com pipa.  
Fonte: Museu WEG/2020

casa, os raios seriam atraídos para ela e a edificação estaria protegida. Essa prática então passou a ser considerada como o primeiro tipo de SPDA existente. Após alguns anos, mesmo em edificações com as pontas metálicas, foi percebido que às vezes os raios atingiam outros pontos, refutando a ideia inicial de Franklin.

Assim sendo, ele reformulou sua teoria e passou a afirmar que a ponta metálica seria, na verdade, apenas o caminho mais seguro para levar o raio até o solo, no caso de um impacto direto sobre elas. A partir daí, começaram os estudos mais avançados sobre o assunto. Hoje, graças aos avanços tecnológicos, possuímos muitas informações relevantes sobre os raios, as quais falaremos nos próximos tópicos.

### 3. PARÂMETROS DE UM RAIO

Para compreender melhor o que caracteriza uma descarga atmosférica, primeiramente, precisamos saber como elas são formadas.

As nuvens e o solo possuem cargas elétricas positivas e negativas. Estas cargas, normalmente, estão dispersas de forma aleatória na superfície e na atmosfera.

Quando ocorrem nuvens de tempestade, o atrito entre as moléculas de água e/ou gelo fazem com que ocorra uma separação entre essas cargas elétricas dentro da nuvem. O acúmulo negativo (ou positivo) na parte de baixo da nuvem faz com que ocorra no solo uma indução eletrostática com cargas opostas.



Figura 3 - Cargas embaralhadas na nuvem e no solo. Fonte: Autor/2021

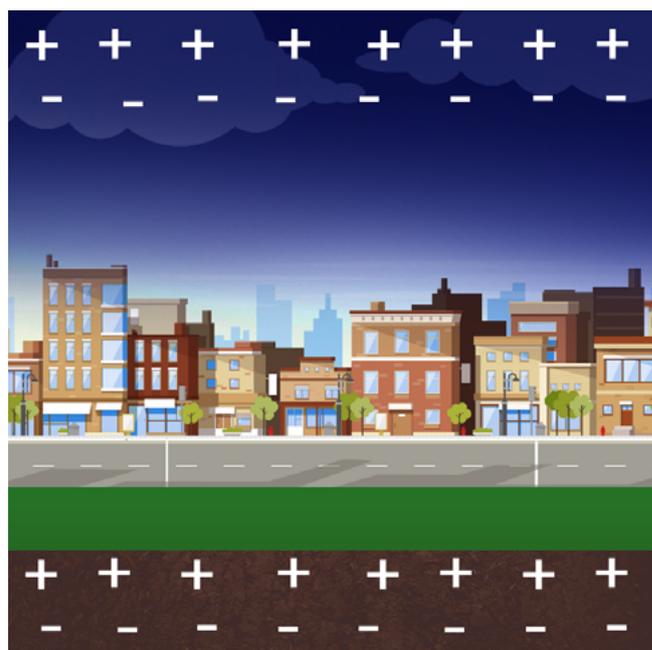


Figura 4 - Cargas organizadas na nuvem e no solo. Fonte: Autor/2021

À medida que a nuvem se expande e o mecanismo de auto produção de cargas elétricas aumenta, dá-se origem a uma primeira onda elétrica, que parte da base da nuvem em direção ao solo.

Esta descarga de energia busca locais com menor potencial elétrico, ficando sujeita a variáveis atmosféricas, tais como pressão, temperatura, etc. e, por isso, sua trajetória é ramificada e aleatória.

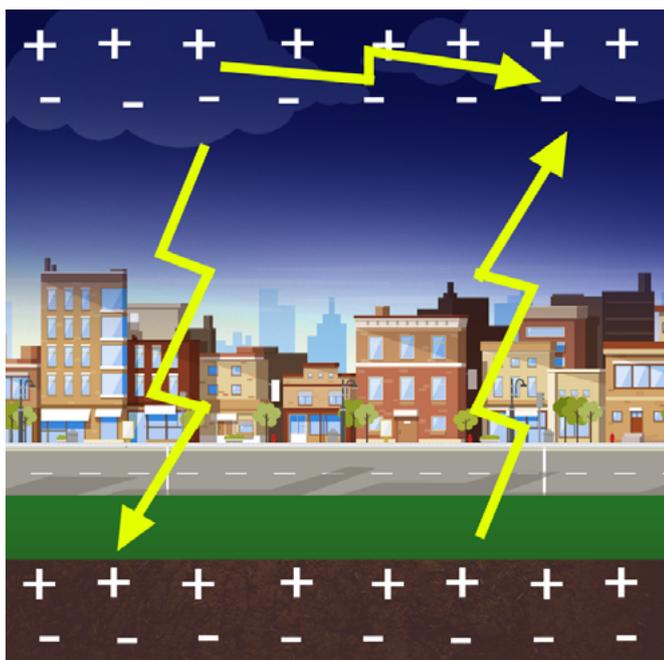


Figura 5 - Descargas atmosféricas.  
Fonte: Autor/2021

Essa primeira onda caracteriza o líder descendente (chamado também de condutor por passos) que define sua posição de queda entre 20 a 100 metros do solo. A partir deste primeiro estágio, o raio deixa um canal ionizado entre a nuvem e o solo, que permite a passagem de uma avalanche de cargas com valor médio de corrente de pico em torno de 20 kA.

Os próximos choques de cargas causam o aquecimento do ar em até 30.000 °C, o que provoca a sua expansão (trovão).

Neste processo, os elétrons retirados das moléculas de ar retornam, fazendo com que a energia absorvida por eles na emissão, seja devolvida sob a forma de luz (relâmpago). Na maioria dos casos, este mecanismo se repete diversas vezes na mesma descarga elétrica.

De um modo geral, além desse tipo de formação do raio, que pode ser categorizado como nuvem-solo, também podem ocorrer descargas nuvem-nuvem e solo-nuvem, sendo esta última a mais rara (ocorre, normalmente no topo de montanhas, edifícios muito altos ou geradores eólicos).

Após anos de estudos e estatísticas, os comitês normativos, em especial o comitê da IEC, chegaram em uma conclusão sobre os parâmetros que caracterizam uma descarga atmosférica. O máximo valor de corrente esperado por um raio é 200 kA. Esse valor não representa uma impossibilidade para raios de maiores intensidades (que inclusive já foram registrados), mas a probabilidade de que esses eventos ocorram é praticamente nula (menor que 1%).

Outros parâmetros, como carga, energia específica, duração da onda, etc. também foram definidos com base em dados históricos, coletados em estações de pesquisa de vários países. Ou seja, hoje possuímos bastante informação sobre as características dos raios, o que facilita bastante na hora de planejar o sistema de proteção.

Se em teoria, um raio possui 200 kA, no máximo, o mais lógico seria projetar um sistema com a capacidade de absorver, exatamente, esse valor de corrente. Contudo, sistemas com essa capacidade de proteção tendem a ser muito mais caros e, falando em dados estatísticos, é mais comum que um raio tenha valor de corrente entre 30 e 40 kA.

Para facilitar o gerenciamento de risco dos diferentes tipos de edificações em função de parâmetros como materiais construtivos, tamanho, importância social, conteúdo e localização, os comitês normativos estabeleceram os chamados níveis de proteção.

Eles são uma espécie de classificação baseada em informações científicas sobre os raios e servem de referência para o dimensionamento do sistema de proteção (SPDA e MPS). Esses níveis variam de I a IV e definem os valores máximo e mínimo esperados para a corrente, sendo o nível I o mais rigoroso.

Nível de Proteção	I	II	III	IV
Corrente máxima esperada	200 kA	150 kA	100 kA	100 kA
Corrente mínima esperada	3 kA	5 kA	10 kA	16 kA
Eficiência	98%	95%	86%	80%

Tabela 1 - Limitações das correntes do raio em acordo com os níveis de proteção. Fonte: NBR 5419-1:2015

A eficiência dos níveis de proteção está relacionada à corrente máxima esperada. Ou seja, considerando todos os raios já registrados até hoje, qual porcentagem seria suportada pelo sistema, sem causar qualquer tipo de dano severo. Com base nessas informações, podemos

por exemplo, dimensionar a proteção de um hospital e também de uma casa, utilizando a mesma metodologia, mas com parâmetros diferentes e custos compatíveis com cada aplicação.

## 4. GERENCIAMENTO DE RISCO

O primeiro passo para projetar um sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas é realizar os cálculos do Gerenciamento de Risco, conforme NBR 5419-2:2015. São utilizados parâmetros como área da edificação, localização, número de raios da região, finalidade, número de ocupantes e etc. Com estes dados é possível calcular os riscos aos quais a edificação está exposta. Pela norma, existem 4 tipos possíveis:

**R1 - Perda da vida humana:** risco de um dano permanente ou morte de ocupantes da edificação.

**R2 - Perda de serviços essenciais:** risco dos danos interromperem o fornecimento de serviços essenciais para a sociedade, como energia elétrica, telefonia, saneamento e etc.

**R3 - Perda de valores culturais:** risco de um raio causar dano a um patrimônio histórico.

**R4 - Perda de valores econômicos:** risco de um raio causar um incêndio em infraestrutura ou a queima de equipamentos eletroeletrônicos.

É importante ressaltar que R1 deve ser, obrigatoriamente calculado, sempre que existir a presença de pessoas. R2 e R3 dependem das particularidades da edificação e R4 é uma decisão financeira que deve partir do cliente, pois está diretamente relacionada a investir na proteção ou arcar com os prejuízos.

Os valores calculados para cada um desses riscos devem estar dentro das faixas toleráveis, caso contrário, deverão ser adotadas mais medidas de proteção. Essa ação pode levar a edificação a ter seu nível de proteção inicial aumentado ou diminuído. Alguns softwares, como por exemplo o DEHNsupport, auxiliam imensamente os profissionais na hora de fazer os cálculos do Gerenciamento de Risco.

## 5. SUBSISTEMAS DO SPDA

Se o gerenciamento de risco indicar a necessidade de um SPDA, também indicará seu nível de proteção.

É através dele que são definidas as dimensões mínimas de condutores, ângulos para cálculo de volumes de proteção, espaçamentos necessários e demais parâmetros para cada um dos subsistemas. Estes são reconhecidos como: captação, descidas, aterramento e ligações equipotenciais.

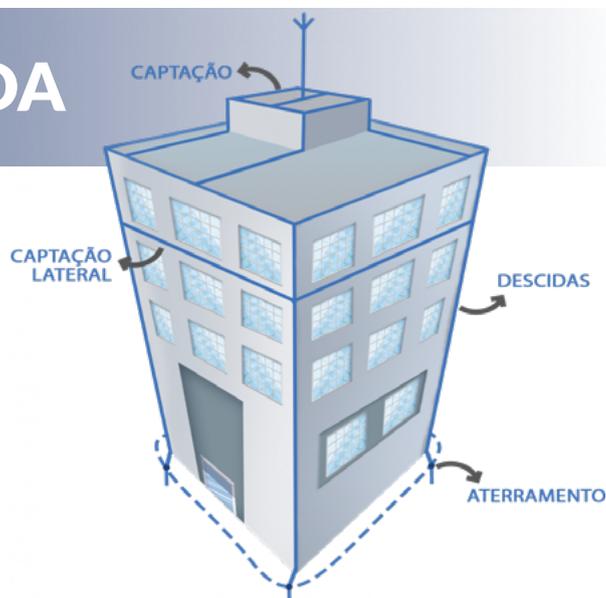


Figura 6 - Visualização externa de edificação com SPDA. Fonte: Autor/2020

### 5.1 CAPTAÇÃO

O acoplamento galvânico ocorre quando o raio se conecta e passa a ser conduzido por algum elemento metálico. No trajeto para o solo, se elementos isolantes estiverem no caminho, estes poderão ser destruídos. Por isso, é comum ver blocos de concreto serem projetados com o impacto da descarga atmosférica sobre edificações de concreto armado, já que a ferragem estrutural é o elemento metálico que irá conduzir a corrente.

A captação do SPDA existe, justamente, para evitar que o raio cause danos na estrutura. Ela é composta de elementos que ficam expostos à atmosfera esperando a conexão com a descarga direta. Uma consequência dessa exposição será sua corrosão natural, exigindo que sejam construídos a partir de materiais, adequadamente, resistentes contra a ação do tempo.

É importante ressaltar que a função dos captadores não é atrair o raio e sim garantir um ponto seguro para sua conexão com a estrutura. Ainda não existe nenhuma tecnologia que, comprovadamente, tenha essa capacidade e, portanto, desconfie de soluções milagrosas que aparecem no mercado.

Existem 3 maneiras de projetar um sistema de captação segundo a NBR 5419-3:2015, sendo

elas o método das malhas, o método da esfera rolante e o ângulo de proteção. Todos podem ser aplicados separadamente ou em conjunto.

A escolha do método de captação fica a critério do projetista, porém deverão ser consideradas condições como: Arquitetura e impacto visual do SPDA sobre a edificação; existência de volumes sobre a cobertura; necessidade de manutenção; existência de elementos metálicos naturais como telhas metálicas.

Elementos metálicos existentes sobre a cobertura podem ser aproveitados para compor um sistema de captação natural, desde que atendam às recomendações normativas.



Figura 7 - Captação com minicaptadores, barras chatas, aderibase e conectores multigrampo. Fonte: Autor/2020

## 5.1.1 Método das malhas

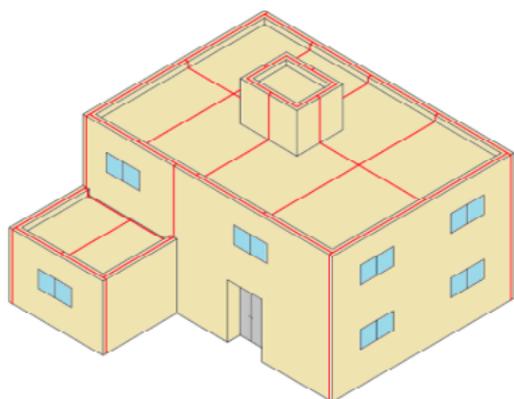


Figura 8 - Exemplo de edificação com captação projetada pelo método das malhas.

Fonte: Autor/2020

O método das malhas é aplicável a todo tipo de edificação e consiste em traçar uma malha “quadriculada” de condutores sobre toda a

área da cobertura. Essa malha será responsável por receber, conduzir e dividir as correntes das descargas atmosféricas pela cobertura, minimizando os riscos à estrutura.

Os espaçamentos entre condutores são definidos em função do nível de proteção obtido no cálculo do gerenciamento de risco, como pode ser visto na tabela 2.

Embora seja um método simples e fácil de ser aplicado, caso existam objetos sobressalentes na cobertura (antenas, equipamentos de ar condicionado, painéis fotovoltaicos, etc) deverão ser adotados outros métodos de captação para contemplá-los, já que estes estarão sujeitos ao impacto direto do raio.

Nível de Proteção	I	II	III	IV
Dimensões mínimas da malha (m)	5 x 5	10 x 10	15 x 15	20 x 20

Tabela 2 - Afastamento máximo dos condutores da malha de captação. Fonte: NBR 5419-3:2015

## 5.1.2 Método da esfera rolante

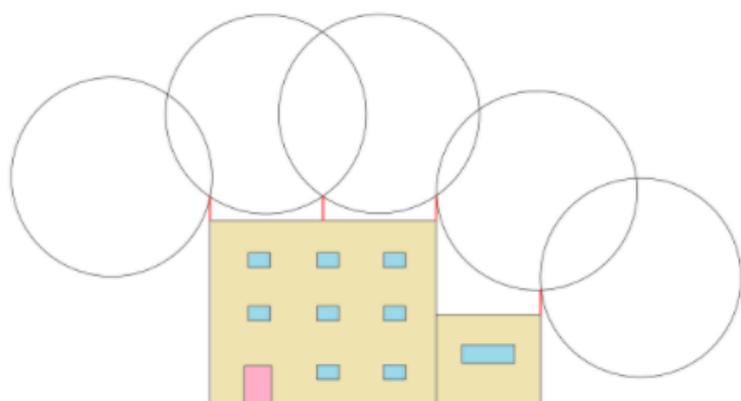


Figura 9 - Exemplo de edificação com captação projetada pelo método da esfera rolante.

Fonte: Autor/2020

O método da esfera rolante, é aplicável a todo tipo de estrutura, assim como o das malhas. Ele consiste em simular uma grande esfera imaginária rolando sobre a edificação. Todo ponto em que a esfera tocar é um provável ponto de impacto do raio e necessitará ser protegido por malhas ou captosres para estar dentro do volume de proteção.

A esfera deverá “rolar” em todas as direções, de modo a considerar 100% da estrutura em seu volume de proteção. Sempre que captosres ou condutores forem adicionados, a simulação da esfera deve ser refeita para checar se todo o volume foi protegido. Caso sejam utilizados captosres verticais, fica a critério do projetista

a altura ideal, mas de modo geral, aqueles que possuem até 3 m apresentam melhor custo x benefício. A distância entre eles será definida durante as simulações (rolagem da esfera).

Podem ser utilizados quantos captosres forem necessários e é recomendado que eles possuam ao menos dois caminhos possíveis de interligação, direta ou indiretamente (através de outro captor).

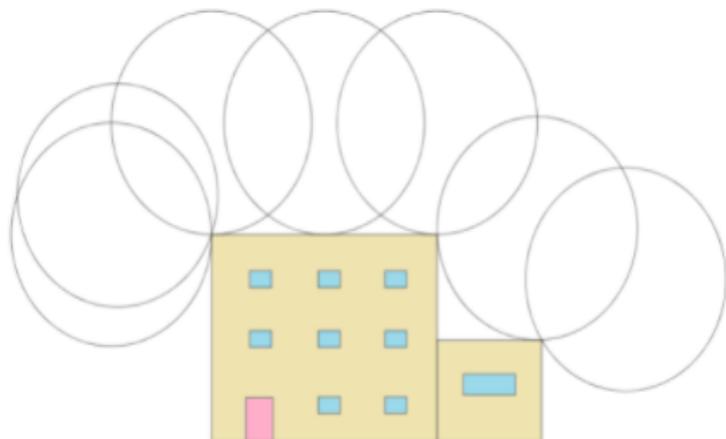


Figura 10 - Simulação das esferas sobre a edificação. Fonte: Autor/2020

O raio geométrico da esfera rolante, em metros, é definido em função do nível de proteção calculado e é dado conforme a tabela a seguir. Estruturas que possuam mais de 60 m de altura podem receber descargas laterais e, por isso, uma captação com condutores também nesta área deve ser prevista em projeto. Ela deverá ser instalada em 20% da altura total, a partir do topo para baixo.

É importante destacar que a captação lateral deve ser dimensionada com base nos parâmetros mínimos do nível IV do SPDA, preferencialmente, em quinas e cantos.

Nível de Proteção	I	II	III	IV
Raio da esfera (m)	20	30	45	60

Tabela 3 - Raio da esfera rolante em função do nível de proteção. Fonte: NBR 5419-3:2015

### 5.1.3 Método do ângulo de proteção

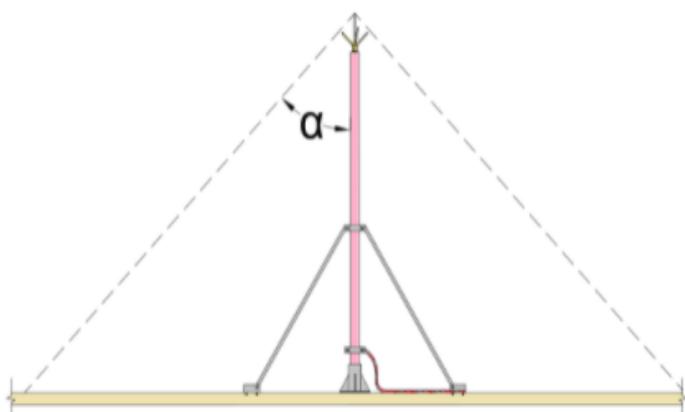


Figura 11 - Exemplo de captação projetada pelo método do ângulo de proteção. Fonte: Autor/2020

O método do ângulo de proteção talvez seja o mais conhecido entre os iniciantes em SPDA. É chamado também de cone de proteção e recebe esse nome, justamente, pela forma que é dimensionado. Consiste em considerar uma projeção do captor, com base em um ângulo alfa ( $\alpha$ ) predefinido pelo nível de proteção (figura 1 da NBR 5419 parte 3), em que todos os elementos internos ao cone são considerados protegidos.

De todos os métodos, esse é o mais restritivo, pois quanto mais alta a edificação menor será sua efetividade. Ele também não poderá ser aplicado em edificações com altura maior do

que o definido pela figura 1 da NBR 5419 parte 3. Por exemplo, para edificações nível I, a altura máxima em relação ao plano de referência para aplicação desse método em toda a edificação é de 20 m. Entretanto, quando já existe uma

captação em malha, podemos utilizar o método dos ângulos para a proteção de elementos que sobressaem a cobertura, considerando a altura do captor em relação ao plano da malha, ao invés do solo.

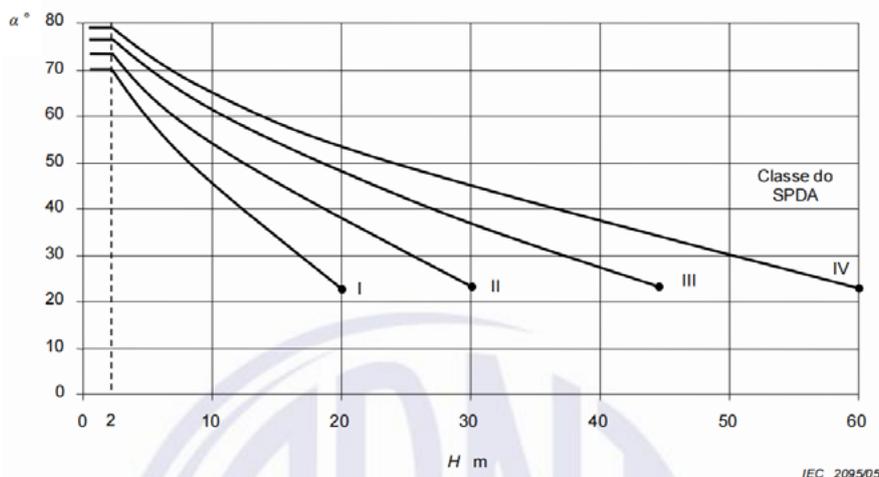


Figura 12 - Figura 1 da ANBT NBR 5419-3:2015.

Fonte: ABNT/2015

## 5.1.4 Materiais permitidos para captação

Tão importante quanto posicionar os captores é escolher o material adequado para essa aplicação. Os raios ultravioletas, o vento e a atmosfera são agentes constantes para a oxidação e degradação dos componentes da captação.

Junto a estes agentes, também é necessário considerar os efeitos provocados por uma descarga atmosférica, que além de causar um grande deslocamento de ar, provoca o aquecimento dos condutores e esforços mecânicos, devido ao seu campo eletromagnético.

Por essa razão, os elementos utilizados na captação devem ser os mais resistentes possíveis. Suas dimensões são dadas pela NBR 5419 na tabela 6.

No geral, a norma cita vários materiais possíveis, entretanto, os mais comuns para aplicação na captação do SPDA são: cobre, alumínio, aço cobreado e aço galvanizado a fogo.

Outros elementos deverão ser consultados através da normativa.

Material	Área de seção transversal mínima	Outras especificações exigidas
Cabo de cobre nu	35 mm <sup>2</sup>	Cada fio com diâmetro mínimo de 2,5 mm (7 fios)
Fita de cobre nu	35 mm <sup>2</sup>	Espessura mínima de 1,7 mm
Cabo de alumínio nu	70 mm <sup>2</sup>	Cada fio com diâmetro mínimo de 3,5 mm (7 fios)
Fita de alumínio nu	70 mm <sup>2</sup>	Espessura mínima de 3,0 mm
Cabo de aço cobreado nu	50 mm <sup>2</sup>	Condutividade mínima de 30% IACS e cada fio com diâmetro mínimo de 3,0 mm (7 fios)
Cabo de aço G.F.	50 mm <sup>2</sup>	Cada fio com diâmetro mínimo de 1,7 mm
Fita de aço G.F.	50 mm <sup>2</sup>	Espessura mínima de 2,5 mm
Vergalhão de aço G.F.	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro mínimo de 8 mm. Para captores com mais d 1 m de altura o diâmetro mínimo será de 16 mm.

Tabela 4 - Dimensões mínimas para captação e descidas. Fonte: NBR 5419-3:2015

## 5.1.5 Captação natural

O termo natural, em referência a algum subsistema do SPDA, representa aqueles elementos fixos da estrutura ou edificação, que não foram projetados/instalados com a função de pertencer ao SPDA, mas que podem ser utilizados para tal aplicação.

Um exemplo clássico disso é o uso de telhados metálicos como captadores naturais. A sua função não é receber as descargas atmosféricas, entretanto, caso as dimensões de seus perfis e telhas sejam compatíveis com o exigido pela norma, é possível aproveitá-lo reduzindo os custos de implantação.

É importante destacar que somente podem ser considerados componentes naturais de um SPDA os elementos permanentes, ou seja, aqueles que não serão removidos após algum tempo.

Para se utilizar estruturas metálicas como captadores naturais do SPDA, independente do nível de proteção, é preciso que telhas, chapas ou tubulações metálicas possuam espessura conforme a tabela a seguir:

Material	Espessura $t'$ mínima	Espessura $t$ recomendada
Chumbo	2,0 mm	-
Aço (inoxidável ou galvanizado a fogo)	0,5 mm	4 mm
Titânio	0,5 mm	4 mm
Cobre	0,5 mm	5 mm
Alumínio	0,65 mm	7 mm
Zinco	0,7 mm	-

Tabela 5 - Espessuras mínimas recomendadas de componentes metálicos para captação natural.

Fonte: NBR 5419-3:2015

A espessura mínima ( $t'$ ) indica que o componente poderá receber a descarga atmosférica, entretanto, estará sujeito a pontos quentes de ignição e/ou perfurações. Esse valor pode ser aplicado somente a chapas e telhas metálicas. Já a espessura recomendada ( $t$ ) é o valor ideal para os componentes naturais, pois indica que não sofrerão danos em decorrência do impacto do raio. As tubulações apenas podem ser aplicadas se atenderem a

espessura recomendada. É preciso garantir também a continuidade elétrica entre esses elementos.

Outros componentes, como tanques, grades, parapeitos e etc. também podem ser utilizados, desde que possuam a espessura recomendada ( $t$ ), não contenham em seu interior misturas explosivas ou estejam em uma área com risco de explosão.

## 5.2 DESCIDAS

O subsistema de descidas será o responsável por conduzir a corrente da descarga atmosférica da captação para o aterramento.

Seu correto dimensionamento é crucial para evitar acidentes e danos na instalação, especialmente, quando este estiver próximo a locais com aglomeração de pessoas e elementos metálicos.

Diferente da captação, as descidas podem ser projetadas no interior da estrutura (descidas estruturais) ou embutidas na alvenaria. Em alguns casos, isso representa uma significativa redução nos custos de projeto (o alumínio não pode ser aplicado nesta situação).

Os mesmos materiais utilizados no sistema de captação podem ser aplicados nas descidas (ver

Tabela 4), inclusive, é recomendável que sejam utilizados os mesmos tipos de condutores nestes subsistemas, a fim de evitar incompatibilidades galvânicas. Caso a escolha do projetista seja por um sistema de descidas externas, com cabos ou cordoalhas, estas deverão ser contínuas do início ao fim (sem emendas), exceto as conexões obrigatórias para medição de continuidade, normalmente, instaladas em caixas de inspeção a 1,5 m do solo.

Preferencialmente, as descidas deverão ser posicionadas nas extremidades da edificação (cantos salientes) e serem o mais curtas e retilíneas possível.

Seu espaçamento é feito ao longo do perímetro, com valores máximos definidos conforme tabela a seguir:

Nível de proteção do SPDA	Espaçamento máximo entre descidas (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Tabela 6 - Espaçamento máximo entre descidas do SPDA.

Fonte: NBR 5419-3:2015

De modo a atender às particularidades de cada edificação, a norma permite uma variação de 20% em relação a esse valor.

Para uma melhor distribuição das correntes do raio ao longo das fachadas, é necessário instalar anéis intermediários de condutores circundando a edificação no sentido horizontal, interligando todas as descidas. Esses anéis devem ser posicionados a cada 10 ou 20 m de

altura, dependendo do nível de proteção (ver Tabela 6).

Além disto, as descidas posicionadas em locais com aglomeração de pessoas, devem ser protegidas contra tensão de toque.

Isso pode ser feita por meio de condutores específicos, sinalizações de segurança ou barreiras físicas de restrição.

## 5.2.1 Descida natural

Alguns elementos preexistentes na estrutura podem ser utilizados como condutores naturais de descida, como pilares ou paredes metálicas. Para isso, eles deverão atender às seguintes exigências: Serem itens permanentes da

estrutura (que não serão removidos no futuro, salvo para manutenções ou substituições); terem continuidade elétrica garantida em todo seu percurso; suas dimensões deverão atender ao especificado na Tabela 4.

## 5.3 ATERRAMENTO

O subsistema de aterramento será responsável por dissipar a energia da descarga atmosférica no solo de forma segura aos ocupantes da edificação.

Por essa razão, o aterramento do SPDA sempre deverá, no mínimo, ser construído na forma de um anel contínuo, que poderá ser do tipo externo (com condutores como cabos de cobre nu) ou estrutural (utilizando as ferragens das vigas baldrame, quando existentes). Para otimizar os sistemas de aterramento próximos

(em até 20 m de distância), é recomendável que todos sejam interligados ao aterramento do SPDA diretamente ou por meio do BEP, de modo a evitar que surjam diferenças de potenciais entre as malhas, causando danos a equipamentos e ocupantes.

Os materiais permitidos no aterramento são listados na tabela 7 da NBR 5419-3:2015. A seguir, apresentamos um resumo com os itens mais comuns de encontrarmos nesse subsistema.

Material	Dimensão mínima	Outras especificações exigidas ou informações adicionais
Cabo de cobre nu	50 mm <sup>2</sup>	Cada fio com diâmetro mínimo de 3,0 mm (7 fios)
Cabo de aço galvanizado a quente	70 mm <sup>2</sup>	-
Haste redonda de aço galvanizado a quente	Diâmetro de 16 mm	Valor exigido apenas para instalações em contato direto com o solo
Barra redonda de aço galvanizado a quente	Diâmetro de 10 mm	Pode ser aplicado em instalações revestidas por concreto.
Cabo de aço cobreado nu	70 mm <sup>2</sup>	Condutividade mínima de 30% IACS e cada fio com diâmetro mínimo de 3,45 mm (7 fios)
Haste de aço cobreado	Diâmetro de 12,7 mm	Camada mínima de cobre de 254 µm

Tabela 7 - Materiais permitidos no aterramento do SPDA.

Fonte: NBR 5419-3:2015

## 5.3.1 Aterramento estrutural

A norma recomenda, sempre que possível, que sejam utilizadas as ferragens estruturais da fundação como eletrodo de aterramento. Para isso, é preciso que exista a continuidade elétrica em todo o conjunto.

Normalmente, quando a edificação possui vigas baldrames, elas devem ser aproveitadas como elemento condutor em anel. O uso de condutores adicionais com função exclusiva de servir ao SPDA, dentro de vigas e pilares, como rebars e clips, é recomendado para garantir a continuidade elétrica do sistema ainda na fase de construção.

As estacas das fundações também podem ser aproveitadas como componentes naturais, como se fossem hastes de aterramento. Para isso é preciso que as mesmas possuam continuidade elétrica e estejam interligadas entre si e ao sistema de aterramento.

Quando não existirem vigas baldrames ou estas não forem eletricamente contínuas, as estacas deverão ser interligadas por meio de

um condutor adicional, seguindo as mesmas premissas do aterramento externo.

O aterramento estrutural é mais econômico quando aplicado na fase inicial de projeto ou construção. Seu uso é permitido em edificações já construídas, entretanto, será preciso realizar ensaios de continuidade elétrica para validar sua utilização (anexo F da NBR5419-3).



Figura 13 - Utilização de barras chatas de aço e rebar no aterramento estrutural.

Fonte: DEHN/2021

## 5.3.2 Aterramento externo

O sistema externo deve ser aplicado quando não existe continuidade elétrica entre as armaduras das fundações ou quando esta não puder ser testada.

Consiste em instalar o eletrodo de aterramento sob a forma de um anel externo à edificação, a uma distância aproximada de 1 m e enterrado a pelo menos 50 cm de profundidade.

Este valor somente poderá ser diferente, caso exista uma impossibilidade no terreno, como uma rocha que precisa ser dinamitada, por exemplo.

Nessas situações, é permitido que até 20% do anel seja instalado na superfície, desde que sejam adotadas medidas de proteção contra tensões de toque e passo. É importante ressaltar que a dificuldade de quebrar o piso ou o alto

custo desta operação não são consideradas impossibilidades.

Outra forma de solucionar esta questão é aumentar a profundidade da malha. Em alguns casos, essa alternativa é até mais rentável.

Em alguns locais, pode não ser possível instalar a malha externa afastada na distância recomendada, como em edificações de grandes centros urbanos que, normalmente, estão bem próximas umas das outras.

Nestas situações específicas, é permitido instalar a malha de aterramento com um afastamento menor ou até mesmo dentro da edificação (o mais próximo possível das paredes externas). Para realizar esta instalação, deverão ser adotadas medidas de proteção contra as tensões de passo.

### 5.3.2.1 Cálculo do comprimento de malha externa

Para a malha de aterramento externo será preciso definir qual a quantidade, em metros, de eletrodo a ser enterrado no solo.

Para isto, antes é preciso entender o conceito de raio equivalente (Re) de uma edificação, que será o parâmetro utilizado para comparação nesta definição. Este termo equivale ao raio de um círculo com a mesma área da malha de aterramento externo.

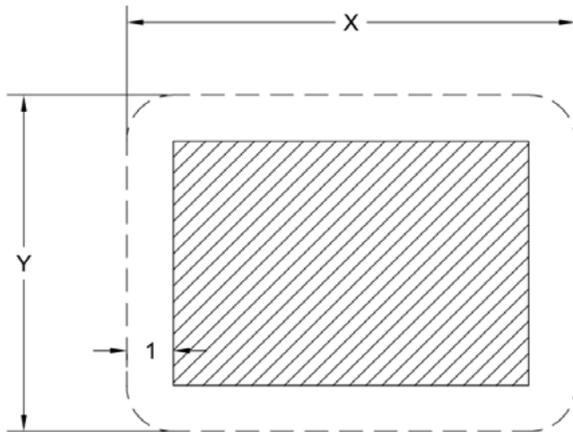


Figura 14 - Malha de aterramento externo de uma edificação. Fonte: Autor/2021

Na Figura 14, a região com hachuras representa a área da base de uma edificação e a linha tracejada simboliza sua respectiva malha de aterramento, em anel externo.

Logicamente, a área total abrangida pela malha de aterramento, neste caso, é dada pela equação  $A = X \cdot Y$ .

É importante notar que neste cálculo deve ser considerado, obrigatoriamente, a projeção da malha no entorno da estrutura e não somente a sua área da base. Este valor de área calculado será utilizado para dimensionar um círculo cujo raio será o raio equivalente (Re).

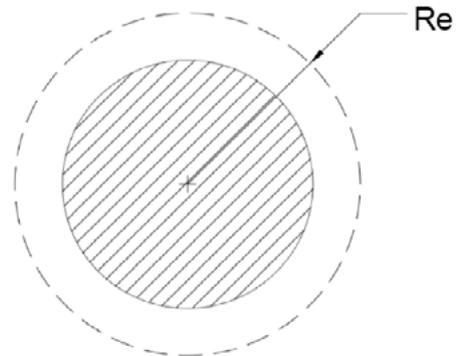


Figura 15 - Círculo equivalente de uma malha externa. Fonte: Autor/2021.

Sendo assim, a equação do raio equivalente (Re) será a inversa da área deste círculo ( $A = \pi r^2$ ), conforme demonstrado abaixo:

$$Re = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Onde:

Re = raio equivalente, em metros.

A = área total abrangida pela malha de aterramento, em metros.

O valor encontrado deverá ser comparado com o comprimento mínimo l1 dado pela Figura 16.

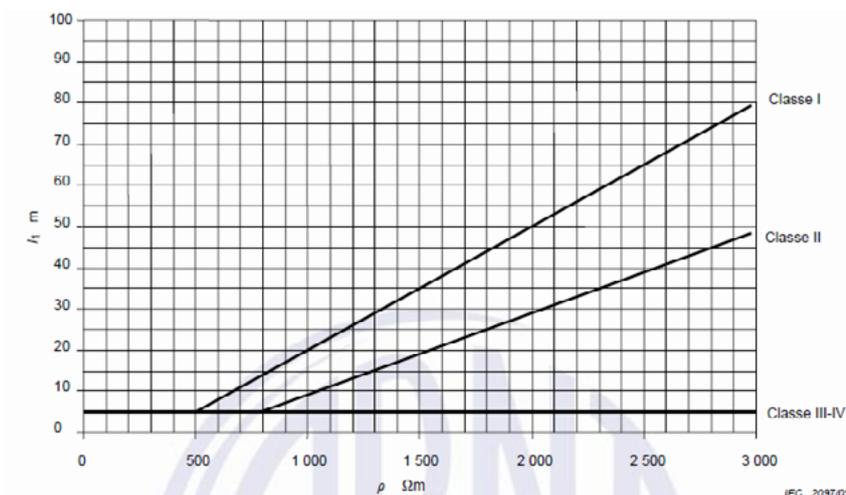


Figura 16 - Figura 3 da NBR 5419-3:2015. Fonte: ABNT/2015

Sempre que o valor do raio equivalente ( $R_e$ ) for maior ou igual a  $l_1$ , a malha de aterramento em anel, afastada a 1 metro das paredes externas, será suficiente para garantir o comprimento mínimo de eletrodo exigido e a segurança das pessoas no interior da edificação.

Entretanto, quando o valor for menor que  $l_1$ , além da malha em anel, será preciso adicionar eletrodos a cada descida do sistema, sendo que o comprimento destes, deverá ser igual a diferença entre  $R_e$  e  $l_1$ . Estes eletrodos adicionais podem ser posicionados de duas maneiras:

- Instalados na horizontal, com comprimento igual ou maior que a diferença entre  $R_e$  e  $l_1$ .
- Instalados na vertical, com comprimento igual ou maior que a metade da diferença entre  $R_e$  e  $l_1$ .

Para facilitar o entendimento, acompanhe os exemplos a seguir.

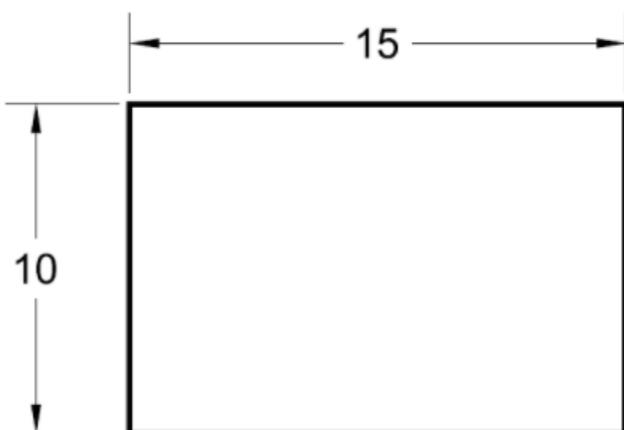


Figura 17 - Exemplo para cálculo do raio equivalente. Fonte: Autor/2021

Suponha que a edificação da Figura 17, nas medidas de 10 x 15 m requeira um SPDA Nível IV. O primeiro passo será calcular o raio equivalente ( $R_e$ ) e, para isto, precisamos conhecer a área da malha de aterramento em anel.

Se fizermos uma simples projeção desta malha, considerando um afastamento de 1 m das paredes externas, teremos o seguinte resultado.

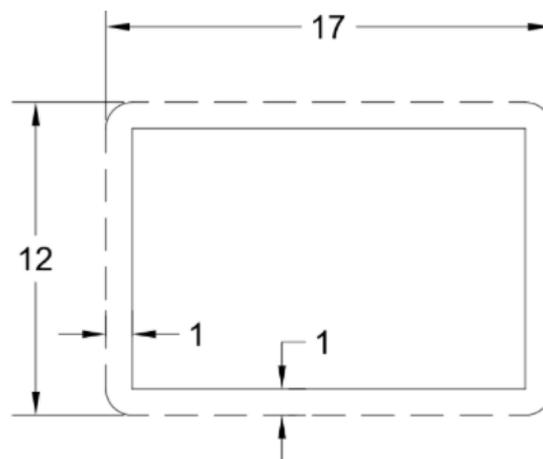


Figura 18 - Projeção da malha de aterramento do exemplo. Fonte: ABNT/2015.

A área da malha de aterramento será dada por:

$$A = 12 \times 17 = 204 \text{ m}^2$$

Jogando esse valor na equação para cálculo do raio equivalente, encontramos o seguinte resultado:

$$R_e = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{204}{\pi}} = 8,05 \text{ m}$$

Este valor deverá ser comparado com  $l_1$ , que é encontrado a partir da figura 3 da NBR 5419-3:2015. Um SPDA nível III e IV possuem um valor fixo para  $l_1$ , independentemente da resistividade do solo, que é de 5 m. Comparando  $R_e$  com  $l_1$  temos que  $8,05 > 5$ , logo, apenas o eletrodo de aterramento em anel, afastado 1 m das paredes externas e enterrado a 50 cm de profundidade, será suficiente para garantir a proteção dos ocupantes internos.

Considerando a mesma edificação, porém agora para um SPDA NP II e solo com resistividade igual a  $1300 \Omega \cdot \text{m}$ , o valor de  $l_1$  muda de 5 m para aproximadamente 15 m. Em uma nova comparação com  $R_e$  temos que  $8,05 < 15$  e, portanto, será preciso instalar eletrodos adicionais em cada descida. O comprimento desses eletrodos será dado pela diferença entre  $R_e$  e  $l_1$ , que:

$$R_e - l_1 = 15 - 8,05 = 6,95 \text{ m}$$

Ou seja, além do anel externo, será preciso adicionar a cada descida um eletrodo horizontal de 6,95 m ou vertical de 3,475 m.

### 5.3.3 Conexões do aterramento

Ao executar uma conexão no subsistema de aterramento é necessário atentar-se ao tipo de conector utilizado.

Conexões de compressão ou soldas exotérmicas são consideradas permanentes e, por essa razão, podem ser instaladas, diretamente, no solo.

Já as conexões de pressão, como conectores com parafusos e/ou porcas, podem se oxidar ou afrouxar com o passar dos anos.

Por essa razão, toda vez que forem aplicadas no aterramento precisam ser instaladas dentro de caixas de inspeção.

## 5.4 LIGAÇÕES EQUIPOTENCIAIS

Arcos ou correntes elétricas podem surgir entre elementos metálicos com diferentes potenciais elétricos. A maneira correta de evitar este efeito é realizando ligações equipotenciais, também chamadas de equalizações, dentro ou fora da edificação. Elas podem ocorrer de forma

direta ou indireta, dependendo das condições da estrutura metálica (se é energizada ou não). Todas as estruturas metálicas de uma edificação devem ser equipotencializadas ao SPDA, de acordo com os pré-requisitos definidos no subitem 5.5: isolação elétrica.

### 5.4.1 Ligações equipotenciais internas

No geral, quando tratamos das ligações equipotenciais internas, os elementos metálicos e condutores de energia não estarão expostos ao impacto direto das descargas atmosféricas, exceto aqueles que tenham alguma parte no exterior da edificação.

Sempre deverá existir em cada entrada de energia um Barramento de Equipotencialização Principal (BEP). Nele deverão ser conectadas as estruturas metálicas próximas, as malhas de aterramento do SPDA, sistemas elétricos e telecomunicações e os condutores PE dos DPS.

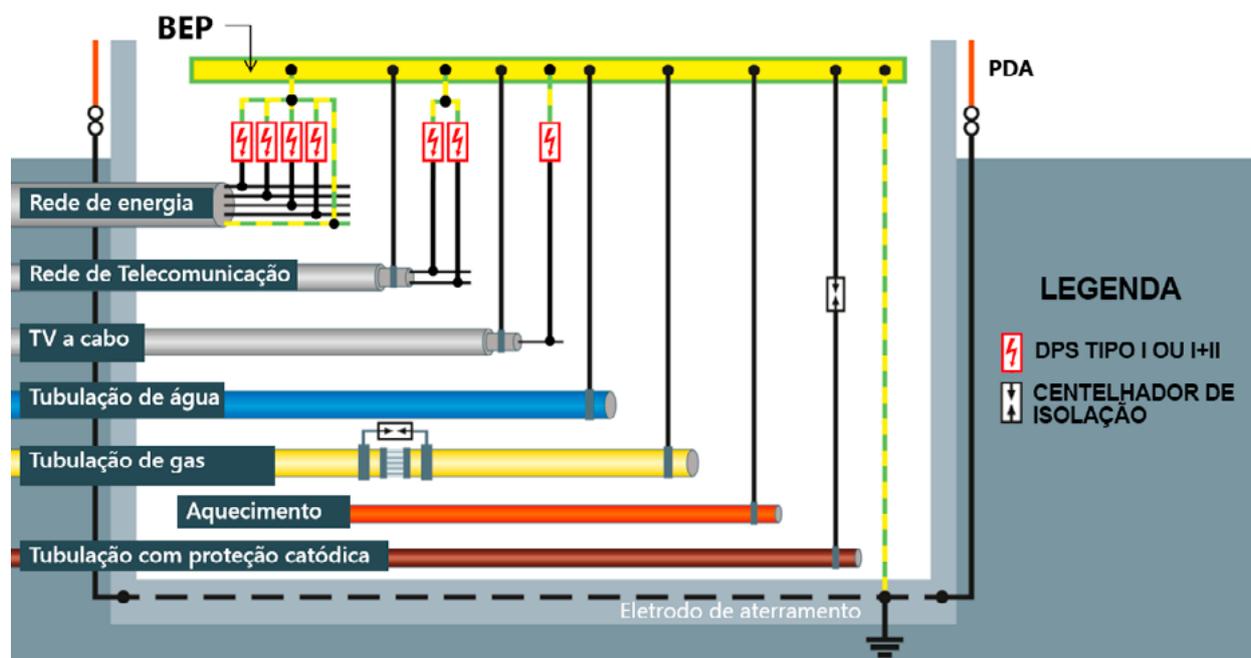


Figura 19 - Conexões do BEP. Fonte: DEHN/2021

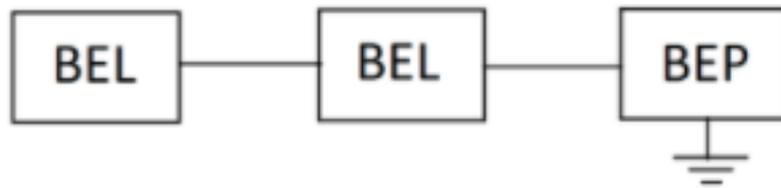


Figura 20 - Interligação do BEL.  
Fonte: Autor/2021

O BEP será a referência das instalações internas e, por essa razão, normalmente, cada edificação possuirá apenas uma unidade (quando houver mais de uma entrada de energia e/ou sinal podem ser instalados mais BEP's).

Este barramento deverá ser, obrigatoriamente, interligado à malha de aterramento por meio de um condutor com seção conforme Tabela 8.

A cada 20 m de distância é obrigatório a instalação de um Barramento de Equipotencialização Local (BEL), na horizontal ou vertical, pois as ondas eletromagnéticas do raio são capazes de induzir correntes elétricas nas massas metálicas do interior da edificação.

Ele recebe esse nome por ser interligado de forma indireta à malha de aterramento, por meio do BEP ou outro BEL que já esteja conectado ao barramento principal (BEP).

Os BEL's serão a referência de terra dos locais em que estão instalados, devendo ser utilizados para ligação equipotencial de quadros secundários e massas metálicas próximas.

As dimensões mínimas dos condutores que interligam os barramentos entre si ou ao

sistema de aterramento independem do nível do SPDA e são dadas na Tabela 8.

A seção transversal mínima que esses barramentos poderão ter é dada na tabela 1 da parte 4 da NBR 5419/2015.

Independente de serem construídos a partir de cobre, aço cobreado ou aço galvanizado à fogo, a área de seção mínima dos barramentos deverá ser igual ou superior a 50 mm<sup>2</sup>.

Modo de instalação	Material	Área de seção mínima
Não enterrado	Cobre	16 mm <sup>2</sup>
	Alumínio	25 mm <sup>2</sup>
	Aço galvanizado à fogo	50 mm <sup>2</sup>
Enterrado	Cobre	50 mm <sup>2</sup>
	Aço galvanizado à fogo	80 mm <sup>2</sup>

Tabela 8 - Dimensões mínimas para condutores que interligam barramentos do SPDA. Fonte: NBR 5419-3:2015

## 5.4.2 Ligações equipotenciais externas

Em áreas externas, as estruturas e equipamentos estão expostos ao impacto direto do raio. Portanto, mesmo que estejam contemplados pela PDA, será preciso garantir suas ligações equipotenciais.

Elementos que respeitem a distância de segurança calculada 's' devem ser interligados no BEP/BEL ou na malha de aterramento, dando prioridade para o que estiver mais próximo.

Já estruturas metálicas próximas o bastante dos componentes da PDA (distância menor que 's') ou que não estejam incluídas nos volumes de proteção do sistema, devem ser interligadas às descidas ou captação (o que estiver mais próximo).

Essa ação, entretanto, gera a necessidade de medidas de proteção adicionais, já que permitirá a condução de uma parcela significativa da

corrente do raio pelas estruturas. Nesse caso, é preciso considerar o uso de sinalizações de alerta e a proteção dos circuitos elétricos com DPS Tipo I (quando aplicável) interligado ao BEP/BEL mais próximo.

Ademais, no caso de condutores externos que adentrem a edificação, as ligações equipotenciais devem ser realizadas nos pontos mais próximos das entradas na estrutura.

### 5.4.3 Ligações equipotenciais diretas

As ligações equipotenciais diretas evitam arcos elétricos (centelhamentos) entre elementos metálicos próximos que não estejam energizados. Por meio destas ligações, é criado um caminho predefinido para o qual a corrente da descarga atmosférica ou surto elétrico deverá fluir.

Somente podem ser executadas em elementos metálicos não energizados e consistem em unir, através de uma conexão elétrica direta, o componente ou estrutura ao SPDA.

No interior da edificação, a dimensão mínima dos condutores de interligação entre estrutura e barramento, independe do nível de proteção. Em linhas gerais, a área de seção mínima deverá atender a Tabela 9.

Se for preciso realizar essas ligações em componentes externos ou que não respeitem a distância de segurança 's', as dimensões mínimas dos condutores deverão respeitar os valores exigidos para o subsistema de captação e descida da PDA (ver Tabela 4).

Material	Área de seção mínima
Cobre	6 mm <sup>2</sup>
Alumínio	10 mm <sup>2</sup>
Aço galvanizado à fogo	16 mm <sup>2</sup>

Tabela 9 - Dimensões mínimas para condutores de equipotencialização interna da PDA.  
Fonte: NBR 5419-3:2015



Figura 21 - Exemplo de ligação equipotencial direta.  
Fonte: Autor/2021

## 5.4.4 Ligações equipotenciais indiretas

As ligações equipotenciais entre elementos metálicos energizados, como cabos de energia ou tubulações com proteção catódica, não pode ser feita de forma direta, pois esta causaria um curto circuito no sistema. Entretanto, é preciso garantir que essas linhas também sejam protegidas dos efeitos provocados pelas descargas atmosféricas e, para isso, é preciso equipotencializá-las por meio da utilização de dispositivos de proteção contra surtos (DPS).

Estes devem ser dimensionados de acordo com as recomendações da parte 4 da NBR 5419. É preciso que os DPS sejam escolhidos tendo em vista parâmetros como: nível de proteção, durabilidade, classe ou tipo, suportabilidade a sobretensões, necessidade de fusíveis de backup, perda por inserção (para linhas de sinal), tamanho e possibilidade de monitoramento.

É importante ressaltar que dispositivos com custo muito abaixo do mercado tendem a ter características inferiores e podem acabar prejudicando o sistema elétrico.

De um modo geral, todas as linhas de energia e sinal que adentram uma estrutura sempre deverão ser protegidas por DPS do Tipo I (ou I+II), preferencialmente construídos a partir da tecnologia de centelhadores. As linhas internas, normalmente, requerem DPS do Tipo II e/ou III, dependendo dos requisitos dos equipamentos e outros parâmetros do dispositivo. Os DPS devem ser interligados no BEP ou BEL (aquele que estiver mais próximo).

Um curso de MPS (medidas de proteção contra surtos) é essencial para projetistas que desejam aprofundar nesse assunto.

## 5.5 ISOLAÇÃO ELÉTRICA

Um componente metálico pode ser considerado isolado eletricamente do SPDA quando seu afastamento for igual ou superior à distância de segurança 's' calculada no trecho em estudo.

Caso a distância seja inferior, será preciso interligá-lo ao componente da PDA mais próximo.

Para calcular a distância de segurança 's' devemos utilizar a seguinte equação:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l$$

Onde:

$k_i$  = coeficiente em função do nível de proteção do SPDA, conforme Tabela 10.

$k_m$  = coeficiente em função do material isolante entre o elemento metálico e o SPDA, conforme Tabela 11.

$k_c$  = coeficiente em função da divisão da corrente do raio, que pode ser simplificado conforme Tabela 12.

Nível de proteção	$k_i$
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Tabela 10 - Coeficiente em função do nível de proteção do SPDA. Fonte: NBR 5419-3:2015

Material	$k_m$
Ar	1
DEHNiso	0,7
Concreto, tijolo	0,5

Tabela 11 - Coeficiente em função do material isolante entre o elemento metálico e o SPDA. Fonte: NBR 5419-3:2015 e DEHN (Alemanha).

Número de descidas do PDA	$k_c$
1	1
2	0,66
3 ou mais	0,44

Tabela 12 - Coeficiente em função da divisão da corrente do raio. Fonte: NBR 5419-3:2015

Esta simplificação é bastante conservadora e, em algumas situações, pode ser necessário fazer os cálculos da divisão exata da corrente do raio no trecho, conforme anexo C da parte 3 da NBR 5419.

$l$  = comprimento em metros desde o ponto onde a distância de segurança deverá ser considerada até a ligação equipotencial mais próxima.

Na imagem a seguir é demonstrado um exemplo de como definir o valor do comprimento  $l$ .

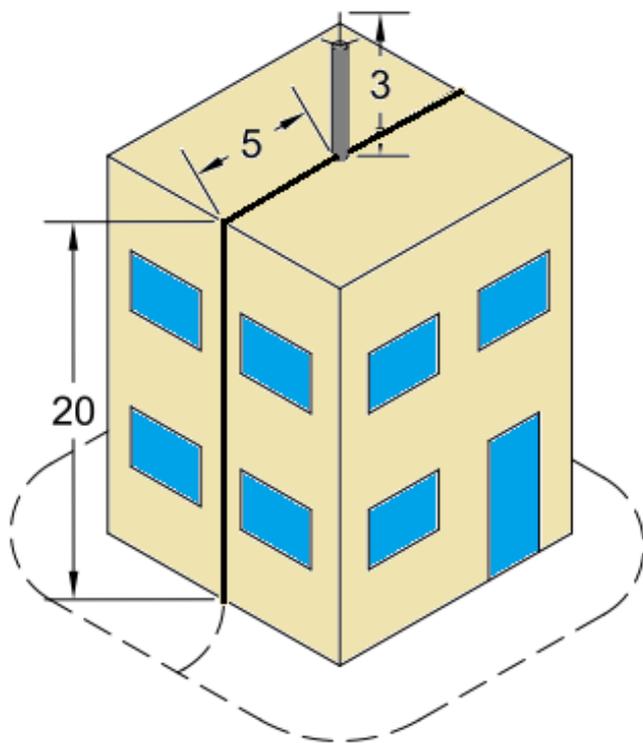


Figura 22 - Imagem de referência para entendimento do conceito do comprimento  $l$ .  
Fonte: Autor/2021

Na edificação referência, que possui SPDA externo não isolado, o comprimento máximo

$l$ , será 28 m. Este representa a situação mais abrangente de proteção, já que é o valor entre o ponto mais distante em que poderá ocorrer o impacto do raio, que é o topo do captor franklin, e a ligação equipotencial mais próxima, que neste caso ocorrerá no aterramento.

Em teoria, podemos aferir que a distância de segurança a ser calculada ao analisar este valor, também será a maior possível e, conseqüentemente, poderá ser adotada em todos os pontos do sistema.

Esta prática, no entanto, poderá causar uma maior dificuldade em afastar objetos dos elementos do SPDA. O ideal é que a distância seja sempre calculada para cada ponto.

Em nosso exemplo da Figura 22, a real zona segura contra centelhamentos, com base em todas as distâncias de segurança para cada ponto do sistema, seria algo próximo ao representado pela linha tracejada da imagem abaixo.

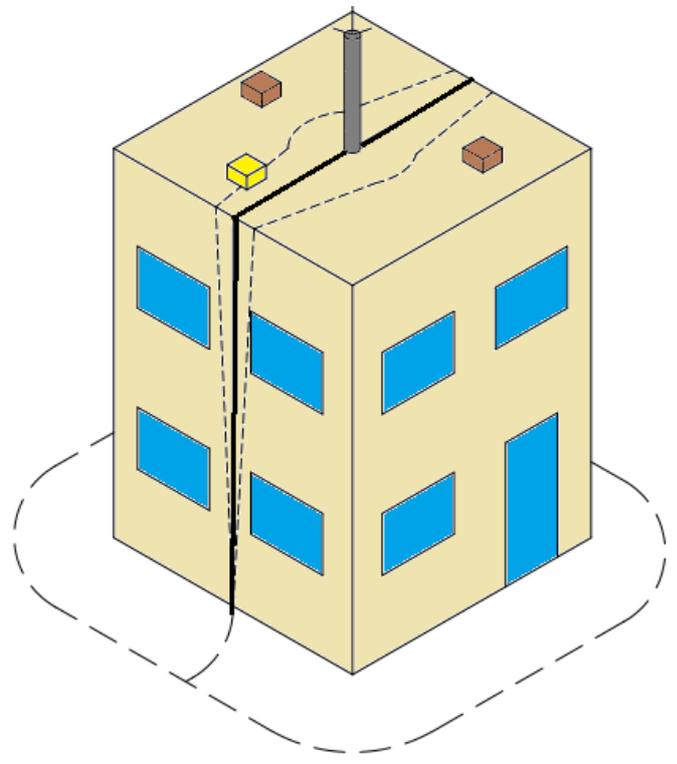


Figura 23 - Projeção das distâncias de segurança ao longo dos condutores do SPDA.  
Fonte: Autor/2021

Podemos notar que, à medida em que se aproxima da ligação equipotencial, esse limite

tende a ser menor, ou seja, os elementos passam a poder ficar mais próximos dos condutores do SPDA sem a necessidade de interligação. Os objetos acima do telhado, considerando que estão dentro do volume de proteção, podem ser analisados da seguinte maneira:

- Os objetos na cor marrom, que estão a uma distância de afastamento superior ao mínimo calculado para 's', apenas precisarão da ligação equipotencial ao BEP/BEL.
- O objeto amarelo, que invade a zona segura pré-determinada pelos cálculos de 's', terá 3 alternativas para evitar centelhamentos:
  - Mover o objeto para que ele fique afastado e fazer sua ligação equipotencial ao BEP/BEL
  - Equipotencializar diretamente o objeto com o condutor do SPDA
  - Mover o condutor do SPDA de modo que o objeto fique afastado a uma distância

maior que o 's' calculado para o ponto, equipotencializando-o ao BEP/BEL.

Cada projeto exigirá uma alternativa diferente e algumas podem não ser aplicáveis. É bom lembrar que, toda vez que realizamos uma ligação equipotencial de um objeto metálico ao SPDA, este passará a conduzir uma parcela da corrente do raio e isto implicará na obrigatoriedade de instalar DPS tipo I em suas linhas de alimentação de energia e dados, caso existam.

Sistemas naturais ou estruturais são extremamente vantajosos neste ponto, pois é comum que a ligação equipotencial mais próxima esteja no nível da captação. Isso faz com que as distâncias de segurança obtenham valores muito baixos. Por fim, quando um SPDA externo é instalado, as ferragens estruturais da edificação também devem ser consideradas para as distâncias de segurança, cabendo ao projetista interligá-las ou isolá-las dos condutores.

## 5.6 PROTEÇÃO CONTRA TENSÕES DE TOQUE

Ao conduzir a corrente do raio para o solo, os condutores do SPDA podem causar tensões perigosas aos seres vivos.

Para todos os locais onde exista probabilidade de permanência de pessoas e animais próximos aos condutores de descidas do SPDA, os riscos somente serão considerados toleráveis se o subsistema de descida for constituído por pelo menos dez caminhos naturais (não são consideradas descidas externas) interconectados ou; a resistividade da camada superficial do solo, em até 3 m de distância dos condutores de descidas, for maior que 100 k $\Omega$ .m.

Caso nenhum destes requisitos sejam possíveis de ser alcançados, é necessário adotar uma das três medidas disponíveis abaixo para garantir a segurança dos ocupantes da edificação:

- Instalar um condutor isolado contra tensão de toque nas descidas, que suporte uma tensão

de 100 kV, testado na onda 1,2/50  $\mu$ s, com uma camada de no mínimo 3 mm de polietileno reticulado ou;

- Aumentar a resistividade da camada superficial do solo, por meio da aplicação de uma camada de 20 cm de brita ou 5 cm de asfalto em até 3 m de distância dos condutores de descidas ou;
- Aplicar restrições físicas, como barreiras respeitando a distância de segurança calculada no projeto e sinalizações de alerta.

É importante ressaltar que apesar de ser permitida a utilização apenas da sinalização de alerta, esta ação somente é indicada para locais onde os ocupantes tenham um certo grau de instrução e/ou sejam, constantemente, monitorados, como por exemplo áreas industriais. Seu uso em locais públicos ou escolas, por exemplo, pode não ser efetivo, uma vez que a sinalização pode acabar não sendo respeitada.

## 5.7 PROTEÇÃO CONTRA TENSÕES DE PASSO

Sempre que a corrente da descarga atmosférica é injetada no solo, ocorre um aumento significativo da tensão superficial nas áreas próximas ao seu ponto de penetração.

Esse aumento na tensão superficial do solo pode alcançar vários metros, dependendo das condições de condutividade do local e, quanto maior a distância do ponto de impacto, teoricamente, menores serão seus valores.

Isso pode acontecer nas proximidades das descidas do SPDA, pilares de estruturas metálicas, condutores metálicos enterrados, árvores ou até mesmo no ponto de impacto direto do raio com a terra.

Quando a elevação de potencial ocorre entre 2 pontos do solo afastados em 1 m, recebe o nome de tensão de passo. Esse fenômeno ocorrerá com maior intensidade em locais com probabilidade de permanência de pessoas e

animais próximos aos condutores de descida do SPDA, em que as condições descritas no tópico 5.6 não forem atendidas.

Para evitar acidentes nestas condições é preciso adotar uma das duas medidas a seguir:

- Aplicar restrições físicas, como barreiras e sinalizações de alerta para que as pessoas se afastem a, no mínimo, 3 m destes locais ou;
- Construir um eletrodo de aterramento reticulado complementar no entorno do condutor de descida.

De um modo geral, quando o objetivo for a proteção de animais, a segunda alternativa acaba sendo a única possível e, especialmente para proteção de quadrúpedes (bovinos, equinos, etc), é recomendado que a malha de aterramento seja feita a partir de reticulados.

## 6. PROJETO DE SPDA

### 6.1 EXECUÇÃO DE PROJETO

É recomendável que o projetista tenha pleno conhecimento do local onde será executado o SPDA e, se possível, que faça visitas presenciais a fim de verificar as particularidades da edificação ou terreno.

O primeiro passo de um projeto de SPDA é executar o gerenciamento de risco, conforme as recomendações da parte 2 da NBR 5419. É a partir desta etapa que será definida a necessidade ou não do sistema e o nível em que a proteção será categorizada, quando aplicável.

É importante ressaltar que, caso o SPDA seja de nível I ou II, é preciso realizar a estratificação do solo para conhecer sua resistividade. Esse serviço pode ser incluído no escopo ou contratado a parte pelo cliente.

Em estruturas existentes o trabalho será um pouco mais complexo. O primeiro passo será verificar se as armaduras da edificação podem ser aproveitadas como componentes estruturais do SPDA (aterramento e descidas) e, para isto, será preciso realizar os ensaios de continuidade elétrica.

Tendo a continuidade garantida entre fundações e pilares, basta realizar o dimensionamento dos subsistemas de captação e equipotencialização.

Caso apenas um dos dois apresente continuidade, será preciso instalar, externamente, os componentes do SPDA, seja de aterramento ou descidas, junto a captação e equipotencialização.

Caso a fundação e os pilares não apresentem continuidade elétrica ou o cliente opte por não realizar este ensaio, todos os subsistemas deverão ser executados de forma externa.

Tratando-se de uma edificação a ser construída, o trabalho do projetista é muito mais simples, já que ele poderá incluir no próprio projeto estrutural os elementos de aterramento e descidas. Com isso, os custos podem ser reduzidos em até 40%. Ao final da obra será preciso realizar o ensaio de continuidade elétrica para validar essa aplicação.

Como o projeto será repassado ao cliente e instalador é recomendável que todas as conexões e fixações sejam muito bem detalhadas e, para isso, a Termotécnica Para-raios disponibiliza, gratuitamente, uma ampla biblioteca de detalhes em CAD e PDF, para facilitar essa etapa.

Após a instalação é preciso realizar uma inspeção para verificar se a mesma atendeu as especificações do projeto e, se sim, deverá ser emitido um documento confirmando esta etapa, chamado *“as built”*.

## 6.2 INSPEÇÕES E MANUTENÇÕES DO SPDA

As inspeções do SPDA são essenciais para garantir que o sistema esteja sempre apto a receber e dissipar as correntes do raio com segurança. Essas inspeções devem ocorrer:

- Durante a construção da estrutura;
- Após a instalação do SPDA (para emissão do documento *“as built”*);
- Após qualquer alteração ou reparo no sistema;
- Sempre que o mesmo for atingido por uma descarga atmosférica;
- A cada semestre de forma visual;
- Anualmente, para áreas classificadas, fornecedores de serviços essenciais ou que possuam uma atmosfera agressiva, como regiões litorâneas;
- A cada 3 anos para as demais edificações.

Durante as inspeções, os seguintes itens devem ser verificados:

- Conformidade do SPDA com a versão mais atual da NBR 5419;
- Se houveram reformas ou instalações novas na edificação (antenas de TV, caixas de água, etc);
- Integridade física de todos os captosres,

condutores e conectores (se estão bem apertados e não apresentam sinais de oxidação);

- Continuidade elétrica dos eletrodos de aterramento não naturais.

Esta última etapa deve ser realizada por meio da mesma metodologia utilizada para medir a continuidade elétrica das armaduras de aço, porém os valores encontrados para resistência elétrica deverão ser compatíveis com as respectivas resistências dos materiais e seus comprimentos. Por exemplo: a resistência elétrica do cabo de cobre nu 50 mm<sup>2</sup> e 7 fios é de 0,000375 ohm/m (a 20°C). Para uma malha de 20 m composta apenas por esse condutor, a resistência medida deverá ser próxima a 0,0075 ohm (20 x 0,000375). Qualquer valor diferente desse resultado, especialmente quando superior, pode representar um rompimento ou degradação do condutor.

Caso sejam detectadas não conformidades, elas deverão ser anotadas em relatório de inspeção, bem como suas sugestões de reparos e prazo para execução por parte do cliente (pode ser imediato, para itens críticos, ou a médio prazo, para itens comuns).

Caberá ao cliente providenciar as manutenções, através da análise do relatório emitido pelo inspetor. Após esta etapa, deverá ser emitido um documento relatando todas as alterações e correções que ocorreram no sistema.

## 6.3 DOCUMENTOS DO SPDA

O proprietário ou responsável pela manutenção da edificação ou SPDA deverá manter em sua posse os seguintes documentos:

- Cálculos do gerenciamento de risco, que indiquem a necessidade ou não da instalação de um SPDA, fornecidos pelo projetista;
- Projetos com detalhamento dos componentes e suas posições no SPDA, fornecidos pelo projetista;
- Ensaios de resistividade do solo, quando necessários, fornecidos pela empresa contratada pelo cliente (pode ser o próprio projetista);
- Demais ensaios requeridos para realização do projeto, como por exemplo a continuidade

elétrica das armaduras de aço da edificação, fornecidos pela empresa contratada pelo cliente (pode ser o próprio projetista).

É imprescindível que todos os serviços relativos ao SPDA (projetos, instalações, inspeções ou manutenções), sejam acompanhados de uma ART junto ao CREA.



Figura 24 - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia. Fonte: CREA/2021

## 6.4 ENSAIOS DE CONTINUIDADE ELÉTRICA

O ensaio de continuidade consiste em injetar uma corrente elétrica entre os dois pontos mais distantes da estrutura a ser medida. Caso exista um trecho rompido ou com falha de conexão, o medidor acusará que a corrente não está sendo estabelecida ou que o valor da resistência elétrica encontrada, está muito alto.

Todos os ensaios devem ser feitos por um equipamento capaz de injetar correntes de 1 a 10 A, com frequência diferente de 60 Hz e seus múltiplos. Também é necessário que ele seja capaz de medir a queda de tensão entre pontos distantes, sem que o comprimento dos fios interfira na medição, ou seja, precisa utilizar a configuração de 4 fios.

Existem dois equipamentos que se encaixam nestas especificações para realizar os ensaios de continuidade: os Miliohmímetros e os Microhmímetros.

É importante destacar que os multímetros convencionais e alicates terrômetro não podem ser utilizados para esta finalidade.

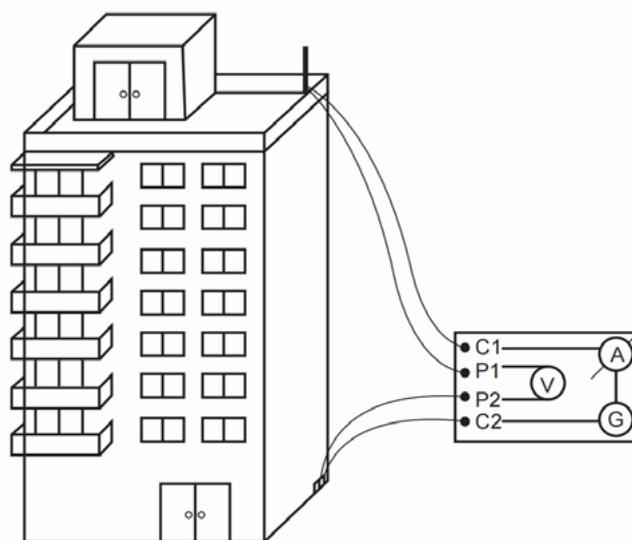


Figura 25 - Método de medição. Fonte: NBR 5914-3:2015

No geral, o ensaio obrigatório do SPDA estrutural consiste em 2 etapas. A primeira, verifica os pilares de descidas, individualmente, para saber se há falhas nos trechos.

Já a segunda, leva em consideração a edificação como um todo, medindo o valor da resistência

do conjunto interligado, desde o topo até o barramento de equipotencialização principal. Além destas etapas, é necessário ensaiar os elementos estruturais do aterramento, como por exemplo as vigas baldrames.

É importante ressaltar que, para edificações que possuem perímetro menor que 200 m, obrigatoriamente, deve-se ensaiar todos os pilares que fazem parte do SPDA. Caso seja uma edificação maior, apenas 50% dos pilares precisarão ser ensaiados, desde que apresentem valores de resistência na mesma ordem de grandeza e estejam dentro dos limites toleráveis.

Via de regra, se a resistência individual de cada pilar for inferior a 1 ohm, podemos considerá-lo contínuo eletricamente. Caso seja maior que esse valor, devemos descartá-lo como componente natural do sistema e buscar outro pilar contínuo nas proximidades ou partir para a execução do SPDA externo no local.

Também é necessário realizar medições

cruzadas entre pilares e em trechos intermediários, onde conseguimos verificar se estão interligados. Após ensaiar todos os pilares necessários e obtermos resultados satisfatórios, é necessário realizar a medição final entre a parte mais alta da captação e o subsistema de aterramento. Caso ele também seja do tipo estrutural, deve ser utilizado o BEP para a conexão do equipamento.

Nesta segunda etapa, se o valor da resistência medida for inferior a 0,2 ohms, podemos considerar que toda a estrutura está apta para ser utilizada como componente natural do SPDA. Caso contrário, será preciso adotar o sistema externo de proteção.

Nos ensaios de continuidade, é comum que a oxidação existente nos componentes, especialmente naqueles expostos, interfira nos resultados. Por esse motivo, é recomendável que antes de conectar as garras do equipamento medidor, esta camada de oxidação seja, levemente, desbastada com o auxílio de uma lixa por exemplo.

## 6.5 SPDA EM ÁREAS CLASSIFICADAS

As áreas classificadas são locais onde existe uma atmosfera, permanente ou temporária, sujeita a condições de elevação de temperatura e concentração de gases. Estas áreas, são classificadas em zonas, de acordo com características do composto presente no ar e sua duração.

**Zonas 0, 1 e 2:** misturas de ar com substâncias inflamáveis na forma de vapores, gases ou névoas, como a atmosfera encontrada em tanques de combustível, por exemplo.

**Zonas 20, 21 e 22:** misturas de ar com sólidos combustíveis em suspensão. Um exemplo de locais com essas zonas são as áreas de armazenamento de explosivos.

**Zonas 0 e 20:** locais onde a atmosfera explosiva será permanente ou presente por longos períodos, como por exemplo no interior de um paiol de explosivos.

**Zonas 1 e 21:** locais com possibilidade de ocorrer uma atmosfera explosiva em condições normais de operação, como por exemplo nas proximidades do bico de uma bomba de combustível.

**Zonas 2 e 22:** locais que possuem baixa probabilidade de ocorrer uma atmosfera explosiva, mas que podem ser afetadas caso ela ocorra por uma curta duração, como áreas mais afastadas de áreas de abastecimento.

Dentre essas zonas, as de número 1 e 21 são, normalmente, as mais perigosas, já que possuem boa proporção entre ar e combustível, o que faz necessário uma pequena centelha para causar uma explosão. É por isso que, devem ser tomadas medidas especiais de proteção contra raios nestas áreas. Basicamente, o sistema deverá ser formatado para atender aos requisitos prescritos no Anexo D da parte 3 da NBR 5419.

A reprodução deste documento está autorizada desde que publicado integralmente e sua origem seja reconhecida.



Rua Zito Soares, 46 - Jardimópolis  
Belo Horizonte - MG | CEP: 30.532-260  
Telefone: (31) 3308-7000 | Whatsapp: (31) 9 8511-1264

[www.tel.com.br](http://www.tel.com.br)