

Sistema de proteção contra descargas atmosféricas em edificações

Anderson Dario Pereira¹, Fernando Vinicius Afonso Silva¹, Giovani Rosa do Carmo¹, Jan Michel Cassiano¹, Joao Murilo Goncalves dos Santos¹ e Miguel Ângelo Arnaut Vilela¹
(andersonpereiraa@outlook.com, fernando1_ete@hotmail.com, giovanic58@gmail.com, jan_michel10@hotmail.com, murilojoao1998@hotmail.com, miguelarnault2@gmail.com)

Professora orientadora: Adriana Aparecida dos Santos Izidoro
Professora coorientadora: Isabela Vasconcelos de Carvalho Motta
Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

Resumo

As descargas atmosféricas são fenômenos climáticos naturais e imprevisíveis não havendo dispositivos ou métodos capazes de modificá-los, as descargas que atingem estruturas e linhas elétricas oferecem perigos para a vida e as próprias estruturas e a instalação de um SPDA é o principal fator de minimização dos riscos. No entanto, grande parte das edificações não possuem este sistema de proteção instalado, ou as que possuem, possam estar com o mesmo atuando de forma ineficiente, podendo sofrer uma série de prejuízos, tanto na própria estrutura, como também nas pessoas que nela habitam, caso a mesma venha a ser atingida por uma eventual descarga atmosférica. Pensando nesse cenário, este trabalho tem como base desenvolver um estudo de aplicação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas em edificações, trazendo para uma abordagem clara de teorias e cálculos todas as etapas desse projeto. As principais etapas para a implementação são: análise de risco, SPDA externo, danos físicos a estruturas e perigos a vida e proteção de equipamentos eletrônicos. Os conceitos utilizados abordam temas como dimensionamento e métodos de instalação do sistema de proteção, análise de classe de SPDA, materiais utilizados, quantidade de descidas, resistividade do solo e tipo de aterramento, utilizando equipamentos de proteção internamente nas estruturas como DPSs e a equipotencialização de equipamentos e estruturas metálicas internas. Trabalho realizado para demonstrar a importância de utilizar esse método de proteção e as etapas para projetá-lo, respeitando assim a norma ABNT NBR 5419 do ano de atualização em 2015, e baseado em artigos e livros estudados. Concluindo-se que as etapas descritas nesse trabalho, e a partir de cálculos apresentados nesse artigo, a proteção contra descargas atmosféricas é eficaz em proteger uma estrutura e as vidas presentes nela.

Palavras-chave: Aterramento. SPDA. Proteção. Descarga atmosférica. Análise de riscos. NBR5419:2015. Edificações.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de proteção contra descarga atmosférica - SPDA, trata-se especificamente de conduzir um surto de corrente elétrica de forma segura, por um caminho metálico de baixa resistência, onde toda a carga elétrica é dissipada no solo, garantindo assim a proteção de pessoas, edifícios e estruturas. A norma brasileira referente a esse sistema é a (NBR 5419, 2015).

Pensando na segurança de pessoas juntamente com a preservação de materiais, equipamentos e edificações, a implantação de um sistema de aterramento e SPDA é de extrema importância.

A definição de descargas atmosféricas pode ser descrita como uma diferença de potencial entre duas massas podendo ser entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens, devido a

esta diferença ocorre a ionização do ar gerando assim o plasma que em seu processo de expansão gera a onda de choque sônica responsável pelo som audível e nesta etapa também se produz a radiação eletromagnética que é transformada em luz. Portanto, os principais danos mecânicos causados pela descarga atmosférica advêm do calor produzido durante o fenômeno de expansão do plasma (CLAMPER, 2015).

Por ano são registrados cerca de três bilhões de relâmpagos em todo mundo. O Brasil aparece no topo do ranking sendo o país onde mais se ocorre esse fenômeno natural. Estima-se que cerca de 78 milhões de relâmpagos atinjam o Brasil por ano. Devido a este número tão alto, o risco para pessoas, edifícios, indústrias e empresas é eminente. [2]

Os raios são formados por ondas eletromagnéticas que ao tocar qualquer parte metálica causa expansão do material por efeito joule, ao entrar em contato com uma estrutura condutora predial, causam picos de tensão relativamente altos que podem se espalhar para instalações vizinhas.

Compreender esses fenômenos atmosféricos ao longo dos anos foi de grande importância para o surgimento de estudos voltados ao dimensionamento e proteção contra descargas atmosféricas. A implantação de um SPDA está diretamente relacionada aos níveis de proteção de edificações e é importantíssimo que esse sistema mereça um cuidado especial, pois é ele que irá garantir os limites e níveis de segurança e a correta operação do sistema de energia elétrica do local.

Para se prevenir a ocorrência de danos maiores relacionados a acidentes com descargas atmosféricas tem-se a aplicação do SPDA podendo ser estruturado através de três métodos Gaiola de Faraday, Franklin ou Esfera Rolante ou por meio da combinação entre eles [N].

No intuito de contemplar as necessidades específicas de uma edificação, envolvendo a melhor proteção de um sistema.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal, mostrar quais os sistemas eficazes que possam contribuir na atenuação e evitar danos causados pelas descargas atmosféricas, sobre edificações, instalações, equipamentos diversos e pessoas, trazendo através de cálculos e teorias, uma abordagem clara e objetiva, soluções e alternativas para um aterramento ideal.

1.2 Objetivo geral

O objetivo desse artigo é mostrar aos interessados sobre o assunto, para que tenham conhecimento sobre descargas atmosféricas, seus efeitos, e como se proteger, adequando métodos de instalações as normas que fornecem as orientações para instalações em estruturas. Abordando de maneira completa as etapas de um projeto de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).

1.3 Objetivos específicos

- Apresentar métodos de captação e proteção do SPDA;
- Dimensionar e avaliar componentes do SPDA;
- Analisar riscos.

2. DESENVOLVIMENTO

Associação Brasileira de normas técnicas (ABNT) se responsabiliza pela normalização nacional e norma brasileira (NBR) são as normas aprovadas pela ABNT, fazendo assim uma padronização e qualificação a produção de documentos e procedimentos.

A ABNT NBR 5419 foi elaborada pelo comitê brasileiro de eletricidade junto a comissão de estudo e proteção contra descarga atmosférica, tendo sua última atualização no ano de 2015 e se dividindo em 4 partes:

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

2. 1. Proteção contra descargas atmosféricas ABNT NBR 5419-1 :2015

Princípios gerais

Descargas atmosféricas, raios, são imprevisíveis e não há dispositivos ou métodos capazes de modificar esses fenômenos climáticos naturais. Descargas atmosféricas que atingem estruturas e linhas elétricas ou atinge a terra, aproximadas, são perigosas para a vida e as próprias estruturas, logo medidas de proteção devem ser consideradas. A necessidade e a escolha do melhor método se dão junto ao gerenciamento de risco, ABNT NBR 5419-2, essas medidas de proteção citadas, na norma, são eficazes na redução dos riscos ligados a descargas.

Existindo dois tipos de descarga atmosférica, a que se inicia das nuvens para a terra e as que inicia da terra para as nuvens.

Efeitos das descargas atmosféricas sobre algumas estruturas

Em casas de moradias os efeitos podem ser danos a objetos ligados diretamente ao ponto de impacto ou onde a corrente de descarga passa, falha ou até mesmo a queima de equipamentos elétricos, eletrônicos ligados a rede e ainda podem causar incêndios e danos materiais;

Zona rural o risco de incêndio é maior e para as criações tem-se o risco da tensão de passo, que podem dizimar dezenas de cabeças, além de falhas a sistema de controle eletrônico de ventilação e suplementos alimentar;

Hospitais, além dos riscos citados acima, há também os problemas relacionados com pessoas em tratamentos intensivos e trabalhos relacionados a resgates;

Rede de transmissão de dados e rede elétricas com danos que causam interrupções de serviços ao público.

A posição do ponto de impacto relativo a estrutura são classificadas em situações de acordo com a fonte de danos, sendo:

- S1 – Descargas atmosféricas diretamente na estrutura;
- S2 – Descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- S3 – Descargas atmosféricas sobre linhas elétricas que entram em contato com a estrutura;
- S4 – Descargas atmosféricas próximas as linhas elétricas.

E as perdas classificadas como consequência de danos relevantes as estruturas:

- L1 – Perda da vida humana, incluindo danos permanentes;
- L2 – Perda de serviço ao público;
- L3 – Perdas de patrimônios;

- L4 – Perdas de valores econômicos.

Podem ser consideradas, as perdas tipo L1, L2 e L3 como perdas de valor social e tipo L4 como econômicas.

Para avaliar se uma estrutura necessita ou não de um SPDA, deve ser feita uma análise de risco, de acordo com a ABNT NBR5419-2, levando em conta os seguintes riscos:

- R1 – Risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- R2 – Risco de perdas de serviços ao público;
- R3 – Risco de perdas do patrimônio cultural.

Levando esses fatores em consideração, a proteção será necessária quando R (R1 a R3) ultrapassar o risco tolerado (R_t):

$$R > R_t$$

Devem ser adotados métodos de proteção a fim de reduzir o risco R, sendo menor ou igual ao tolerável:

$$R \leq R_t$$

Medidas adotadas para reduzir danos a pessoas, em caso de choque elétrico, fazendo a isolação adequada das partes condutoras, equipotencialização em malha de aterramento e avisos dos riscos.

Medidas adotadas para redução de danos físicos, implementação de um SPDA, que inclui a instalação de subsistema de captação, subsistema de descida, subsistema de aterramento, equipotencialização e isolação elétrica.

Medidas de proteção adotadas para reduzir falhas na rede elétricas e eletrônicas, blindagem magnética, distribuição de fiação, utilização de DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos).

Níveis de proteção (NP) contra descargas atmosféricas

A ABNT NBR 5419 considera 4 Nps, cada NP é parametrizado valores máximos e mínimos das correntes de descargas.

Os valores máximos de corrente em diferentes níveis, dados na tabela 2, usados na projeção de componentes de um SPDA.

Valores mínimos de correntes são usados para calcular o raio da esfera rolante, definindo a zona de proteção.

Zona de proteção contra raios

A zona de proteção contra descargas atmosféricas, raios, (ZPR) é determinada pelas medidas de proteção como SPDA, condutores blindados e DPS e é classificado:

- ZPR0a – Zona determinada onde há queda direta;
- ZPR0b – Zona determinada onde ameaça o campo eletromagnético;
- ZPR1 – Zona onde a corrente de surto se divide com a aplicação de um DPS ou interfaces isolantes;

- ZPR2 – Zona onde a corrente de surto se divide mais ainda com a aplicação de mais DPS ou interfaces isolantes.

Em geral, a proteção de uma estrutura deve estar em uma ZPR onde as características eletromagnéticas sejam compatíveis com a capacidade de suportar os possíveis danos.

Proteção de estruturas

A estrutura em estudo deve estar na classe ZPR 0B ou superior, conseguido através de um SPDA.

Um SPDA é formado por um subsistema externo e um subsistema interno, o subsistema externo é responsável por interceptar um raio, com a captação, conduzir a corrente de surto para o terra, com a descida e dispersar esta corrente ao longo do terra, com o aterramento. Subsistema interno tem por sua função, evitar o centelhamento na estrutura.

Componentes de um SPDA

Os SPDAs são montados com vários componentes, cada um com sua função específica dentro dos subsistemas, captação descida e aterramento.

1. Captação: composto por mastro + captor Franklin, mini captor ou terminal aéreo, cabo de cobre nu e até mesmo chapas alumínio. Um subsistema de captação possui três modelos de cálculo, método das malhas, também conhecido como gaiola de Faraday, método de ângulo de proteção, que utiliza o captor Franklin e método de esfera rolante, modelo eletrogeométrico.
2. Descidas: representa uma parte do SPDA externo com função de conduzir a corrente de descarga, captado no subsistema de captação ao subsistema de aterramento, composto por cabo de cobre nu ou chapa de alumínio, suportes para cabo.
3. Aterramento: também faz parte do sistema externo e tem a função de dispersar a corrente no solo, composto por hastes de aterramento, cabo de cobre nu e caixa para inspeção e manutenção.

Gerenciamento de risco

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), nesta divisão ABNT NBR 5419-2 verifica os riscos de uma organização em consequência às descargas atmosféricas”.

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), nesta divisão ABNT NBR 5419-2 oferece um processo de apreciação dos riscos. Visto que uma linha emitente admissível com o destino do risco selecionado, este processo libera a separação das dimensões satisfatórias optadas para restringir o risco a divisa ou sob a restrição razoável.

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), a função nesta divisão ABNT NBR 5419-2 é capaz de controlar principalmente na segurança das vidas humanas no momento firmada decorrências das descargas elétricas.

2. 2. Esclarecimento dos termos

2. 2. 1. Avarias e extravios

Avarias são os danos causados nos principais pontos de impactos através da descarga atmosférica e extravios são as consequências que essa descarga irá causar nos pontos atingidos.

2. 2. 1. 1. Fonte das avarias

De acordo com a norma NBR 5419:2 (2015), a principal fonte de dano considerada por descargas atmosféricas é a corrente elétrica. Através do ponto de impacto podemos citar as diferentes fontes:

- A) S1 – Descargas atmosféricas na estrutura;
- B) S2 – Descargas atmosféricas próximo da construção;
- C) S3 – Descargas atmosféricas na linha;
- D) S4 – Descargas atmosféricas perto da linha.

2. 2. 1. 2. Modelos de avarias

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), quando se fala em descargas elétricas podemos dizer que ela pode vir a causar avarias dependendo do modelo de segurança em que a estrutura possui. Pode-se considerar os atributos mais alentados segundo a norma ABNT NBR5419-2:(2015), são: tipos de construção, conteúdos e aplicações, tipo de serviço e medidas protetivas.

É importante ressaltar que para estar aplicações práticas especifica-se três tipos de danos que observasse como resultado das descargas. São elas:

- A) D1 – Consequências a seres vivos por choque elétrico;
- B) D2 – Danos físicos;
- C) D3 – Falhas de sistemas eletroeletrônicos.

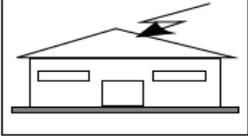
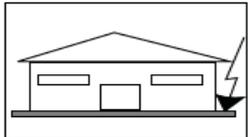
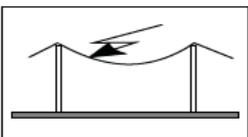
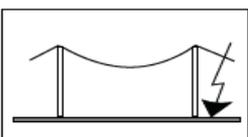
De acordo com a norma NBR 5419:2 (2015), quando há uma descarga atmosférica podem ser abordados os pontos atingidos ou até mesmo sobre toda estrutura. Considera-se também que podem atingir estruturas aos redores e até mesmo no meio ambiente.

2. 2. 1. 3. Modelos de extravios

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), possui-se modelos de extravias, como por exemplo único ou em acordo com terceiros. Devido aos aspectos da construção e de sua capacidade pode ocorrer tipos de extravios. Abaixo estão as classes de extravios que podem ser orientados com atenção, assim como mostrado na Tabela 1.

- A) L1: Perda da vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- B) L2: Perda de serviço ao público;
- C) L3: Perda de patrimônio cultural;
- D) L4: Perda de valores econômicos (estrutura conteúdo e perda de atividades).

Tabela 5 – Fontes de avarias, modelos de avaria e modelos de extravios de perdas conforme local de impacto

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4

^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.
^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.

Fonte: (ABNT, 2015, p. 15)

2. 2. 2. Risco e componentes

2. 2. 2. 1. Risco

Conforme a norma NBR 5419: (2015), abaixo estão os riscos de perda que se expõem na construção, sendo então o risco final classificado:

- A) Riscos de perda de vidas, contendo também complicações permanentes;
- B) Risco de perda ao trabalho comunitário;
- C) Risco de perda de patrimônio cultural;
- D) Risco de perda de bens financeiros (construção interior e perda de atividades).

De acordo com a norma NBR 5419:2 (2015), os elementos de risco são determinados e previstos. Pode-se dizer que cada um dos riscos é o conjunto de todos os elementos. Os elementos podem ser ligados compreendendo as fontes de avarias e os modelos de avarias.

2. 2. 2. 2. Elementos de risco para uma construção em virtude das descargas atmosféricas na construção

- A) RA – Elemento próprio para consequências a serem vivos por uma descarga na construção;
- B) RB – Elemento próprio de avarias físicas na construção por uma descarga na mesma;
- C) RC – Elemento próprio por falha em grupos internos por uma descarga na construção.

2. 2. 2. 3. Elementos de risco para uma construção em virtude das descargas atmosféricas perto de construção

- A) RM – Elemento próprio a defeitos em grupos internos por uma descarga perto da construção.

2. 2. 2. 4. Elementos de risco para uma construção em virtude das descargas atmosféricas em uma rede operante na construção

- A) RU – Elemento próprio para consequências a seres vivos provocados por choques elétricos no interior da construção;
- B) RV – Elemento próprio de avarias físicas na estrutura por conta da corrente referente a descargas atmosféricas;
- C) RW – Elemento próprio a defeitos em grupos internos provocados por tensões superiores nas linhas passam pela construção conduzidas a esta.

2. 2. 2. 5. Elementos de risco para uma construção em virtude das descargas atmosféricas próximo a uma rede operante na construção.

- A) RZ – Elemento próprio por defeitos em grupos internos por uma descarga próximo a rede.

2. 2. 2. 6. Formação dos elementos de risco.

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), os elementos de risco considerados são especificados abaixo:

A) R1: Risco de perda de vida humana:

$$R1 = RA_1 + RB_1 + RC_1^1 + RM_1^1 + RU_1 + RV_1 + RW_1^1 + RZ_1^1 \quad (1)$$

Construções com risco de explosão e instrumentos utilizados para salvar vidas ou em construções com defeitos em grupos internos ameaçando diretamente vidas humanas.

B) R2: Risco de perdas de serviço ao público:

$$R2 = RB_2 + RC_2 + RM_2 + RV_2 + RW_2 + RZ_2 \quad (2)$$

C) R3: Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R3 = RB_3 + RV_3 \quad (3)$$

D) R4: Risco de perdas de valor econômico:

$$R4 = RA_4^2 + RB_4 + RC_4 + RM_4 + RU_4^2 + RV_4 + RW_4 + RZ_4 \quad (4)$$

Patrimônios onde animais sejam ameaçados.

Na Tabela 6 os elementos de risco para cada classe de extravio são agregados.

Tabela 6 – Elementos de risco a ser classificado para cada classe de perda numa construção

Fonte de danos	Descarga na estrutura S1			Descarga perto da estrutura S2	Descarga em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga perto de uma linha conectada à estrutura S4
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Componente de risco	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* b	*	*	*	* b	*	*	*
<p>^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.</p> <p>^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.</p>								

Fonte: (ABNT, 2015, p. 18)

De acordo com a norma NBR 5419:2 (2015), exclusividades da construção e de prováveis capacidades proteção que levem os elementos de risco para uma construção. Na Tabela 7 podemos descrever os elementos de risco.

Tabela 7 – Fatores que influenciam os componentes de risco

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X ^c	X ^c	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistema de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X
^a Somente para SPDA tipo malha externa. ^b Devido a ligações equipotenciais. ^c Somente se eles pertencem ao equipamento.								

Tabela 8 - Valores típicos de risco tolerável R_T

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

Valor econômico (L4), o hábito consecutivo é a comparação de custo ou benefício. Se as informações necessárias para esta observação não podem ser vistas, utilizamos um valor característico de risco tolerável $RT = 10^{-3}$.

2.3.4. Sistema único para classificar as utilidades da segurança

“De acordo com a ABNT NBR 5419-1, os riscos R1, R2 e R3 devem ser considerados na avaliação da necessidade da proteção contra as descargas atmosféricas” (NBR 5419:2, 2015, p.20).

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), para cada tipo de risco a ser considerado, os seguintes passos devem ser tomados:

- A) identificação dos componentes RX que compõe o risco;
- B) cálculo dos componentes de risco identificados RX;
- C) cálculo do risco total R (ver 4.3);
- D) identificação dos riscos toleráveis RT;
- E) comparação do risco R com o valor do risco tolerável RT.

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), na condição de $R \leq RT$, a segurança em contradição a descarga atmosférica não é fundamental. Na condição de $R > RT$, os critérios de segurança precisam ser abrigadas para diminuir $R \leq RT$ todos os riscos em que a construção esteja exposta. O processo para classificar a imposição de segurança está registrado na Figura 01. Quando o risco não pode ser diminuído a um nível aceitável, o possuente deve ser comunicado assim instalando um nível alto de segurança.

Onde a proteção contra descargas atmosféricas for exigida pela autoridade que tenha jurisdição para estruturas com risco de explosão, pelo menos um SPDA classe II deve ser adotada. Exceções ao uso de proteção contra descargas atmosféricas nível II pode ser permitido quando tecnicamente justificadas e autorizadas pela autoridade que tenha jurisdição. Por exemplo, o uso de uma proteção contra descargas atmosféricas nível I é permitida em todos os casos, especialmente nos casos em que o meio ambiente ou o conteúdo dentro da estrutura são excepcionalmente sensíveis aos efeitos das descargas atmosféricas. Em complemento, as autoridades que tenham jurisdição podem permitir SPDA nível III onde houver uma baixa frequência de atividade atmosférica e/ou a baixa sensibilidade dos conteúdos da estrutura garanta isto (NBR 5419:2, 2015, p. 21)

2.3.5. Processo para classificar o valor da competência da segurança

De acordo com a norma NBR 5419:2 (2015), este tipo de processo pode ser muito eficaz para averiguação dos privilégios de segurança em diminuir os extravios.

Listamos a seguir o método para analisar o custo da competência:

- A) Identificação dos componentes RX que compõem o risco R4;
- B) Cálculo dos componentes de risco identificados RX na ausência de novas/adicionais medidas de proteção;
- C) Cálculo do custo anual de perdas devido a cada componente de risco RX;
- D) Cálculo do custo anual CL da perda total na ausência das medidas de proteção;
- E) Adoção das medidas de proteção selecionadas;
- F) Cálculo dos componentes de risco RX com a presença das medidas de proteção selecionadas;

- G) Cálculo do custo anual das perdas residuais devido a cada componente de risco RX na estrutura protegida;
- H) Cálculo do custo anual total CRL das perdas residuais com a presença das medidas de proteção selecionadas;
- I) Cálculo do custo anual CPM das medidas de proteção selecionadas;
- J) Comparação dos custos.

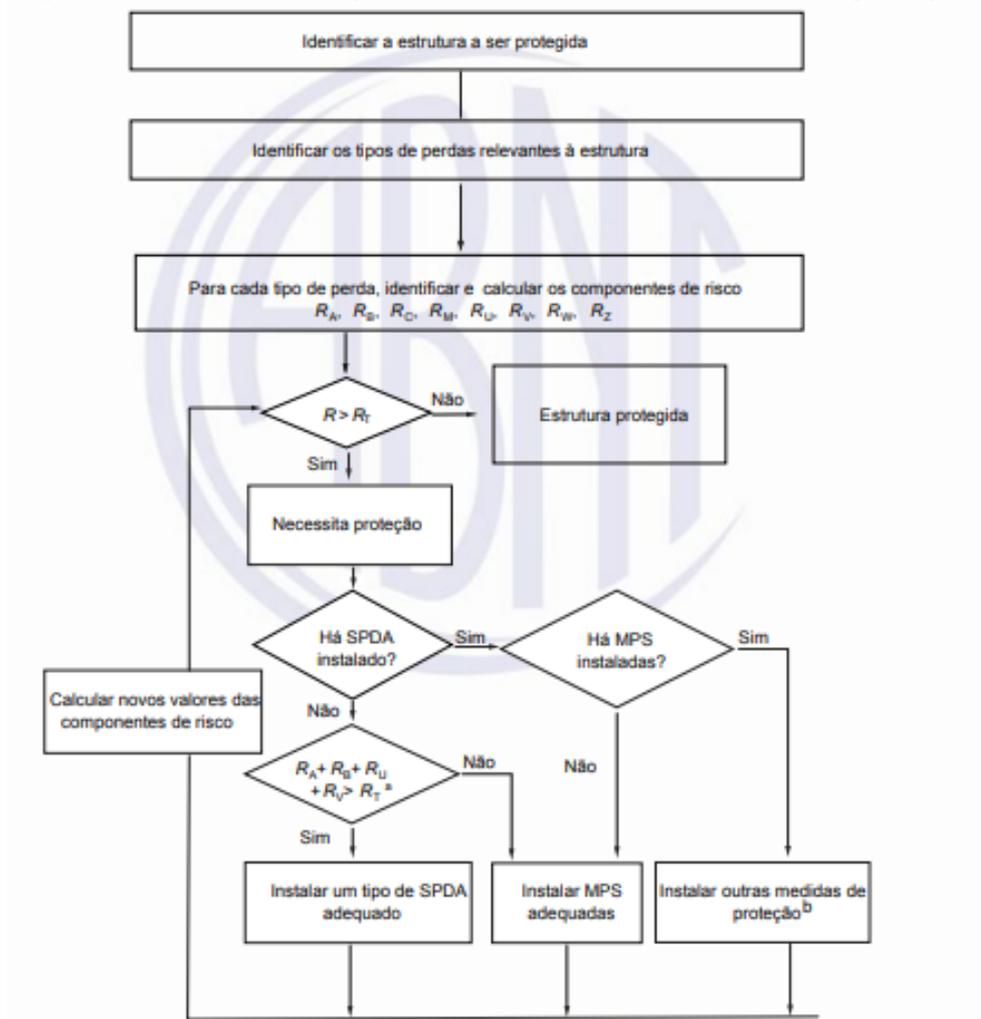
De acordo com a norma NBR 5419:2 (2015):

Se $CL < CRL + CPM$, a proteção contra descargas atmosféricas pode ser julgada não tendo custo eficiente;

Se $CL \geq CRL + CPM$, as medidas de proteção podem provar a economia monetária durante a vida da estrutura;

O procedimento para avaliar a eficiência do custo da proteção está mostrado na Figura 2. Pode ser útil avaliar algumas variações da combinação das medidas de proteção para achar a solução ótima em relação à eficiência do custo.

Figura 2 - Procedimento para avaliar a eficiência do custo da proteção.



Fonte: (ABNT, 2015, p. 22)

2. 4. Observação dos elementos de risco

2. 4. 1. Equação fundamental

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), nos elementos de risco RA, RB, RC, RM, RU, RV, RW e RZ como relatado em 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 pode ser identificada pelo seguinte cálculo abaixo:

$$RX = NX * PX * LX$$

Segundo a norma ABNT NBR 5419-2, sendo:

NX - É o número de eventos perigosos por ano;

PX - É a probabilidade de dano à estrutura;

LX - É a perda consequente.

NX é agravado pela consistência de descargas atmosféricas e pelas peculiaridades da construção a ser segura.

A expectativa de avaria PX é tocada pela propriedade a ser segura, das redes instaladas e das dimensões preservadas.

A ausência consecutiva de avaria LX é sofrida a fim da aplicação em que planejada.

2.4.2. Observação dos elementos de risco em virtude as descargas atmosféricas na construção-SI

De acordo com a norma NBR 5419:2 (2015), para considerar os elementos, utilizamos os cálculos abaixo para o risco adequado às descargas atmosféricas na construção:

A) Elemento conforme danos a indivíduos vivos (D1)

$$RA = ND * PA * LA$$

B) Elemento conforme a avaria física (D2)

$$RB = ND * PB * LB$$

C) Elemento conforme à perda de grupos internos (D3)

$$RC = ND * PC * LC$$

2.4.3. Observação dos elementos de risco em virtude as descargas atmosféricas próximo a construção-S2

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), para considerar os elementos, utilizamos o cálculo abaixo para o risco adequado às descargas atmosféricas próximo a construção:

$$RM = NM * PM * LM$$

2.4.4. Observação dos elementos de risco em virtude as descargas atmosféricas em uma rede ligada a construção-S3

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), para considerar os elementos, utilizamos os cálculos abaixo para o risco adequado às descargas atmosféricas na rede junto à construção:

A) Elemento conforme danos a indivíduos vivos (D1)

$$RU = (NL+NDJ) * PU * LU$$

B) Elemento conforme a avaria física (D2)

$$RV = (NL+NDJ) * PV * LV$$

C) Elemento conforme à perda de grupos internos (D3)

$$RW = (NL+NDJ) * PW * LW$$

Observações: Em algumas situações o NDJ pode ser ignorado.

2. 4. 5. Observação dos elementos de risco em virtude as descargas atmosféricas próximo a uma rede ligada a construção-S4

Segunda a norma NBR 5419:2 (2015), para considerar os elementos, utilizamos os cálculos abaixo para o risco adequado às descargas atmosféricas próximo a rede junto à construção:

$$RZ = NI * PZ * LZ$$

Critérios para análise destes elementos expostos na Tabela 9.

Tabela 9 – Métodos importantes para classificação dos elementos de risco

Símbolo	Denominação	Valor de acordo com a Seção
Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas		
ND	- À construção	A.2
NM	- Perto da construção	A.3
NL	- Em uma rede junto à construção	A.4
NI	- Próximo a uma rede junto à construção	A.5
NDJ	- A uma construção próxima	A.2
Probabilidade que uma descarga atmosférica na construção pode provocar		
PA	- Consequências a indivíduos	B.2
PB	- Avarias físicas	B.3
PC	- Danos em grupos internos	B.4
Probabilidade que uma descarga atmosférica próximo construção pode provocar		
PM	- Danos em grupos internos	B.5
Probabilidade que uma descarga atmosférica na rede pode provocar		
PU	- Consequências a indivíduos	B.6
PV	- Avarias físicas	B.7
PW	- Danos em grupos internos	B.8
Probabilidade que uma descarga atmosférica próximo a rede pode provocar		
PZ	- Danos em grupos internos	B.9
Dano devido a		
LA = LU	- Consequências a indivíduos	C.3
LB = LV	- Avarias físicas	C.3, C.4, C.5, C.6
LC = LM = LW = LZ	- Danos em grupos internos	C.3, C.4, C.6

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a norma NBR 5419:2 (2015), em uma construção com mais de uma rede instalada com roteamento, realiza-se os cálculos para cada rede.

Em uma construção com mais de uma rede instalada com o mesmo roteamento, realiza-se o cálculo somente para a rede de aspectos ruins.

2.4.6. Sumário dos componentes de risco

Conforme a norma NBR 5419:2 (2015), os elementos de risco para construções estão indicados na Tabela 10 conforme vários modelos de avarias e diversificados fontes de avarias.

Tabela 10 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos

Danos	Fonte de danos			
	S1 Descarga atmosférica na estrutura	S2 Descarga atmosférica perto da estrutura	S3 Descarga atmosférica na linha conectada	S4 Descarga atmosférica perto da linha conectada
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D2 Danos físicos	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Fonte: (ABNT, 2015, p. 27)

Subsistema de captação

Os terminais aéreos, popularmente chamados de para-raios, são hastes feitas de metal com uma agulha pontiaguda, a qual é capaz de captar as descargas atmosféricas que incidem direto nas edificações, por isso, o material precisa ter uma alta capacidade térmica capaz de suportar picos de tensões relativamente altos.

Tanto o método Gaiola de Faraday, quanto os métodos Esfera rolante e Franklin são os mais utilizados, dependendo das particularidades de cada projeto, assim como a altura, a qual impacta diretamente no modelo a ser escolhido, a figura 3 abaixo mostra um exemplo desse subsistema.

Figura 3 – Captor tipo Franklin



Fonte: HR engenharia.

Instalação do subsistema de captação

A NBR 5419:3 (2015) determina alguns detalhes construtivos referentes à instalação de SPDA não isolados na estrutura:

Os condutores podem ser instalados na superfície, desde que seja feito de material incombustível (alvenaria/concreto).

Para materiais prontamente combustíveis, deve ser exigido:

- Cobertura de palha ou palha que não usa vergalhões, a distância do condutor até a cobertura deve ser maior que 15cm.
- Para qualquer outro material combustível analisar a distância mínima de 10cm.

Partes facilmente combustíveis da área a ser protegida não poderão tocar qualquer elemento do SPDA, assim como qualquer componente metálico, pois este sofrerá derretimento ao ser atingido por uma descarga atmosférica.

Sendo utilizado água na cobertura plana, o sistema captor deve ser instalado acima da superfície máxima presumido.

Posicionamento do subsistema de captação

Costumam ser posicionados nos lugares mais elevados dos edifícios, a fim de garantir os melhores níveis de proteção a toda estrutura. Independentemente da composição do subsistema de captação, todos os elementos de captadores devem atender integralmente aos requisitos da norma, além do posicionamento correto desses elementos que compõem o subsistema de captação, os quais determinam o volume protegido da área diretamente afetada por raios. Caso forem usados captadores individuais, estes devem ser interconectados no telhado para garantir que a corrente seja dividida em pelo menos dois caminhos.

Os componentes do subsistema do captor devem ser posicionados logo abaixo (NBR5419:3, 2015).

- Nas partes mais elevadas das estruturas.
- Nos cantos mais visíveis ao longo de toda a cobertura.
- Nas pontas expostas e beiradas.

Captores naturais e não naturais

Os projetos de um sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas podem ser definidos, conforme sua instalação e construção, ou seja:

- **Captores naturais:** São aqueles dispositivos condutores pertencentes a sua própria estrutura, instalados e posicionados sobre um edifício, com um propósito de utilização como um elemento captor no sistema. Exemplos: coberturas metálicas das estruturas, mastros ou quaisquer elementos condutores expostos acima da superfície.
- **Captores não naturais:** São aqueles dispositivos condutores não pertencentes a sua própria estrutura, projetado de forma independente dela, geralmente são instalados sobre a cobertura ou na lateral das edificações, sendo utilizado como um elemento captor no sistema. Exemplos: os condutores de cobre nu em forma de malha e os captores do tipo Franklin.

Materiais e dimensões para o subsistema Captor e descida

Como a descarga atmosférica produz aquecimento no cabo de descida e captação, os limites térmicos do cabo devem ser garantidos pelo dimensionamento adequado, a norma NBR 5419:3 (2015) estabelece a área da seção mínima desses condutores.

Tabela 11 – Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação e condutores de descidas.

Material	Configuração	Área da seção mínima mm ²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30 % ^e	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64 %	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente ^a	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável ^c	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm

^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 [1].

^b Aplicável somente a minicaptadores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.

^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.

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

^e A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).

NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.

NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

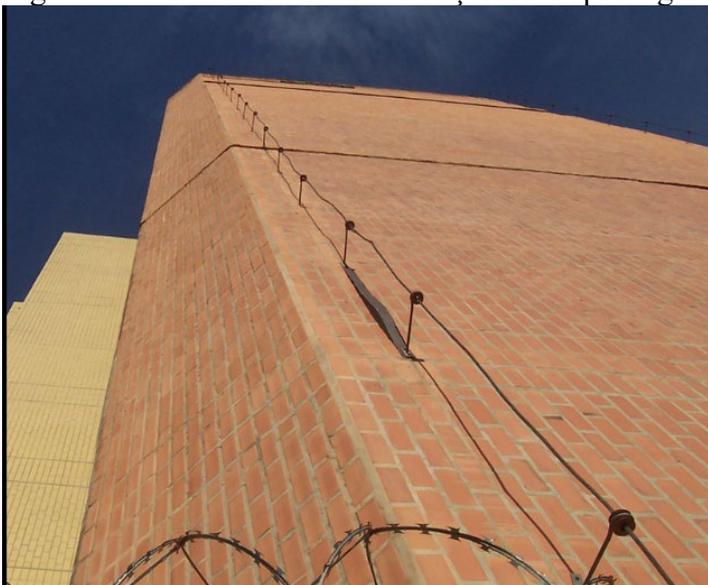
Fonte: (ABNT, 2015, p. 21)

A tabela acima detalha minuciosamente as dimensões mínimas de cada material utilizando elementos não naturais do sistema. O eletrodo de cobre que é o condutor mais utilizado e comum nos subsistemas de captor e descidas, tem uma área de seção transversal de 35mm² e uma espessura mínima de 1,75mm, desde que não utilize a configuração de arredondado maciço, fatores como concreto armado ou onde exista ferragens poderá ter problemas de perdas de elétrons.

Subsistema de descida

Os condutores de descida que geralmente são feitos de cobre, conduzem todo o raio contido nos captadores, até a malha de aterramento, atravessando toda a sua dimensão, a figura 4 abaixo mostra um exemplo desse subsistema.

Figura 4 – Descidas com cabo de aço com suporte guia simples



Fonte: Termotécnica para-raios.

Instalação do subsistema de descidas

Segundo a NBR 5419:3 (2015), estabelece alguns detalhes construtivos quanto a instalação dos condutores de descidas de um SPDA:

- A instalação precisa conter a continuidade entre a captação e o aterramento.
- Devem ser instaladas em linha reta verticalmente.
- As descidas não podem ser instaladas dentro das calhas ou tubulações
- Podem ser instalados sobre ou dentro em paredes não combustíveis
- Para paredes de material combustível o condutor deve ser instalado sobre elas, desde que não ofereça riscos ao material ao passar corrente elétrica sobre o cabo.
- Em paredes prontamente combustíveis, sendo a elevação de temperatura um risco, os condutores devem estar instalados à, pelo menos, 10 cm desta, sendo que os suportes podem estar em contato;

Posicionamento do subsistema de descidas

A NBR 5419 (2015) estabelece alguns requisitos para fixação dos condutores de descida (que devem ser espaçados em função do tipo de condutor flexível ou rígido), da posição em que estes são instalados (vertical ou horizontal), além das condições corretas para realização das conexões, garantindo que a continuidade entre as várias partes seja feita de forma durável.

Os condutores de descida, deverão unir dois pontos distintos e utilizar um espaçamento o mais uniforme possível, formando vários caminhos em paralelo ao longo de toda a estrutura, para escoar toda a corrente de descarga (NBR5419:3, 2015).

A norma estabelece uma tabela entre os condutores de descidas e entre os anéis condutores de acordo com a classe SPDA, como mostra a tabela 12 abaixo.

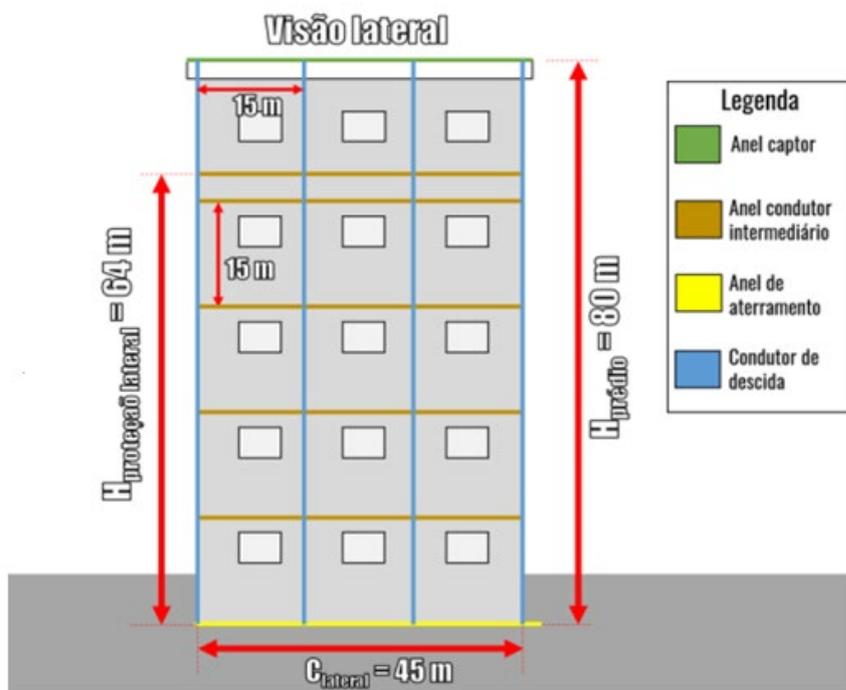
Tabela 12 – Relação entre as descidas e anéis de equipotencialização.

SPDA	Distâncias (m) (descidas e anéis de equipotencialização)
I e II	10
III	15
IV	20
<p>É aceitável, para descidas, um acréscimo máximo de 20% sobre os espaçamentos definidos acima.</p>	

Fonte: (ABNT, 2015)

O número de descidas é uma relação entre o perímetro externo das construções a serem protegidas e o espaçamento médio definido na tabela, ambos determinados pelo nível de proteção que é calculado de acordo com a avaliação do risco de exposição, a figura abaixo relata um exemplo da utilização da tabela 12 descrita acima. A figura abaixo é uma exemplificação de condutores descendo.

Figura 5 – Exemplo dos condutores de descidas.



Fonte: (CABRAL, 2021, p. 70)

A figura 5 mostra um exemplo de um prédio com o espaçamento entre as descidas e os anéis de equipotencialização, além disso, a característica e quantidade dos condutores mudam caso o sistema de SPDA seja isolado ou não isolado. O SPDA é considerado isolado caso os subsistemas de descida, dê mais de um captor, não estejam conectados entre si, dessa forma

deverão manter um espaçamento mínimo entre eles respeitando os parâmetros acima, para uma classe 3 de proteção será usado uma distância de 15m. (NBR5419:3, 2015)

Anéis de equipotencialização

Os anéis de cintamento geralmente são utilizados em estruturas metálicas onde a condutividade elétrica será perceptível, sendo assim, possuem exclusivamente algumas funções:

- Equalizar os potenciais das descidas, evitando assim descargas elétricas indesejáveis.
- Receber as descargas elétricas laterais funcionando como um elemento captor.

Tipos de Descidas

Os projetos de um sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas podem ser definidos, de forma geral, por dois diferentes tipos de construção, ou seja:

- Descidas naturais: Os componentes naturais são aqueles constituídos de condutores metálicos de cobre comercial, apropriado para utilização como condutor elétrico. Podem ser assim chamadas qualquer elemento condutor pertencente a sua própria estrutura, que utiliza a captação os raios e conduz as correntes de descarga até o aterramento. Exemplos: coberturas metálicas das edificações, tubos e tanques metálicos, pilares metálicos, armações de aço interligadas das estruturas de concreto e das fundações;
- Descidas não naturais: São os elementos condutores não pertencentes a sua própria estrutura, que utiliza a captação os raios e conduz as correntes de descargas até o aterramento. Exemplos: cabos de cobre, barras e eletrodos verticais.

Aterramento

Um aterramento consiste em conduzir e dispersar a energia do raio diretamente para o solo, de forma proposital, através de um caminho de baixa resistência utilizando os chamados eletrodo de aterramento. Quanto menor a resistência do subsistema de aterramento, melhor é a proteção oferecida pelo SPDA. A atual NBR 5419:2015 não estabelece um valor máximo para a resistência do subsistema, apenas estabelecendo que devesse “obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local” (NBR5419:3, 2015, p. 17). A figura 6 mostra um exemplo desse subsistema.

Figura 6 – Subsistema de aterramento



Fonte: Impacto raio soluções em sistemas de proteção.

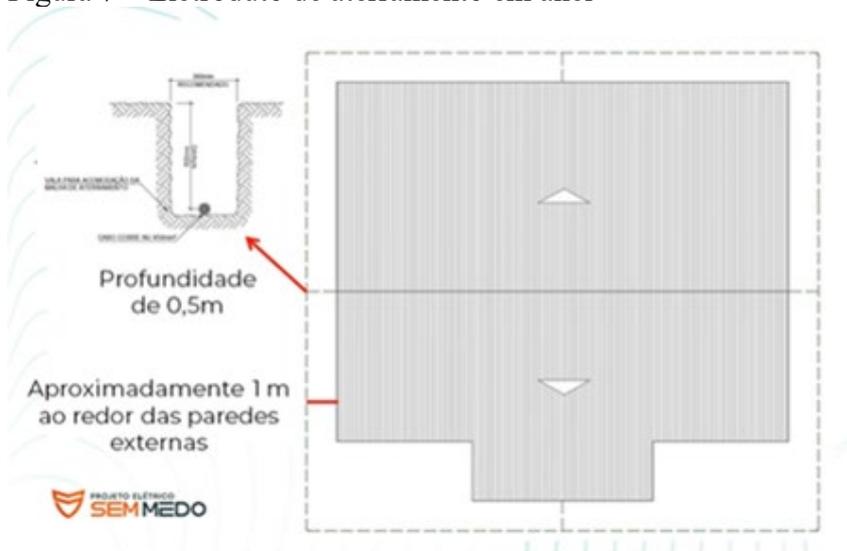
Dessa forma, qualquer elemento vinculado a essa estrutura estará devidamente protegido contra as correntes de descarga, além disso as armaduras de aço e estruturas metálicas são usadas como elementos naturais do sistema.

Posicionamento do subsistema de aterramento configurado em anel

Segundo a norma NBR 5419:3 (2015), a configuração mais utilizada para o aterramento é o eletrodo em anel que consiste em formar um anel fechado ao redor da estrutura, podendo estar em contato com a superfície ou abaixo do solo, além disso, condições gerais nos arranjos de aterramento são descritas pela norma.

- Eletrodo em anel deverá manter 80% do seu comprimento em contato com o solo.
- Eletrodo em anel com profundidade mínima de 0,5m do solo e deverá manter o espaçamento de 1m ao redor das paredes.

Figura 7 – Eletroduto de aterramento em anel



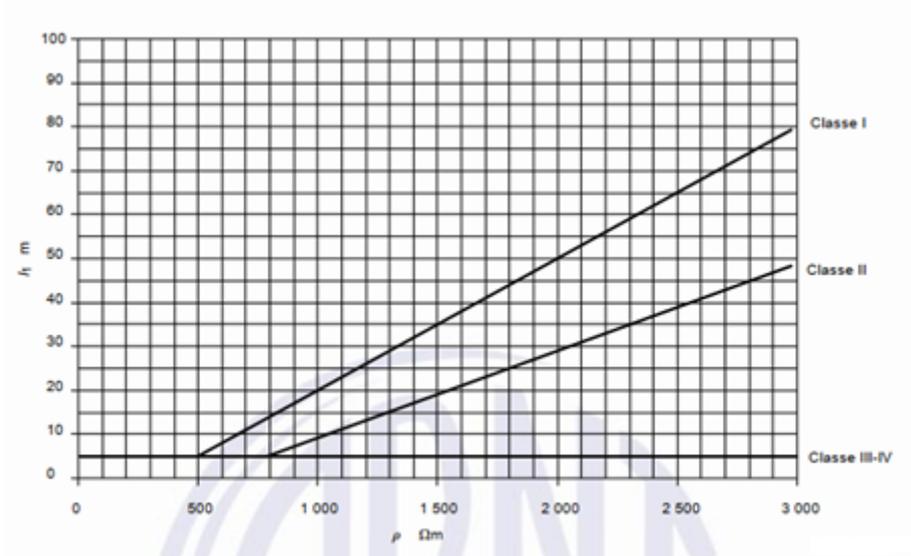
Fonte: UNICEUB CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA

Embora 20 % do eletrodo convencional possa não estar em contato direto com o solo, a continuidade elétrica do anel deve ser garantida ao longo de todo o seu comprimento. Para o eletrodo de aterramento em anel ou interligando a fundação descontínua, o raio médio re da área abrangida pelos eletrodos não pode ser inferior ao valor $I1$ (NBR5419:3, 2015, p.17)

$$r_{1e} \geq 1 \quad (1)$$

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

Figura 8 – Relação entre I1 e condutividade do solo de acordo com a classe SPDA.



Fonte: (ABNT, 2015, p. 18)

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

NOTA 2 Para solos com resistividades maiores que 3 000 Ω.m, prolongar as curvas por meio das equações. (ABNT, 2015, p. 18)

$$I_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (para classe I) (1a)}$$

$$I_1 = 0,02\rho - 11 \text{ (para a classe II) (1b)}$$

Materiais e dimensões do subsistema de aterramento

A influência do material tem relação com a sua resistência, quanto maior a sua resistência, maior seu impacto negativo no subsistema de aterramento.

Os materiais que constituem um sistema de SDPA além de suportar esforços mecânicos, deve suportar todos os efeitos térmicos, e eletromagnéticos, a norma NBR 5419:3 (2015) estabelece as dimensões mínimas de eletrodos de aterramento.

Tabela 13 – Material, configuração e dimensões do eletrodo de aterramento.

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários
		Eletrodo cravado (diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado ^c	-	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	-	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	-	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	-	
	Tubo	20 mm	-	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço ^{a,b}	16 mm	Diâmetro 10 mm	-
	Tubo ^{a,b}	25 mm	-	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça ^a	-	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordoado	-	70 mm ²	-
Aço cobreado	Arredondado Maciço ^d	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
	Encordoado ^e			
Aço inoxidável ^e	Arredondado maciço		Diâmetro 10 mm	
	Fita maciça	15 mm	100 mm ²	Espessura mínima 2 mm

a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323.
b Aplicável somente a mini captos. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.
c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16%, níquel 8%, carbono 0,07%.
d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2%.
e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela.
f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30% IACS (*International Annealed Copper Standard*).
g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: (ABNT, 2015, p. 22)

A tabela acima detalha minuciosamente as dimensões mínimas de cada material, utilizando elementos não naturais do sistema. O eletrodo de cobre que é o condutor mais utilizado e comum no subsistema de aterramento poderá ser cravado a terra e tem uma área de seção transversal mínima de 15mm, já para o eletrodo não cravado a terra possui uma área de seção transversal de 50mm² e uma espessura mínima de 2mm, porém, uma tolerância de até 5% será admitido pela norma.

O valor dessa resistência de aterramento varia de acordo com os seguintes parâmetros: resistividade do solo, locais com muita umidade, temperatura, regiões ricas em minerais, comprimento e do diâmetro da haste.

Resistividade elétrica do solo

Segundo Kindermann e Campagnolo (1995), o conhecimento das características do solo, principalmente de sua resistividade elétrica, são dados importantes na criação de um projeto de aterramento. A resistividade é uma propriedade que define a resistência de um material (solo) ao fluxo de corrente elétrica. Deste modo, para a eficácia de um sistema de aterramento, ele deve ser projetado para suportar as condições mais desfavoráveis.

De acordo com Kindermann e Campagnolo (1995), umidade, temperatura, compactação e pressão, diluição de sais, além de outros fatores como a mistura de vários tipos de solo, interferem na resistividade de cada região.

A tabela 14 mostra a mudança da resistividade em solos com diferentes propriedades.

Tabela 14 – Tipos de solos e suas respectivas resistividades

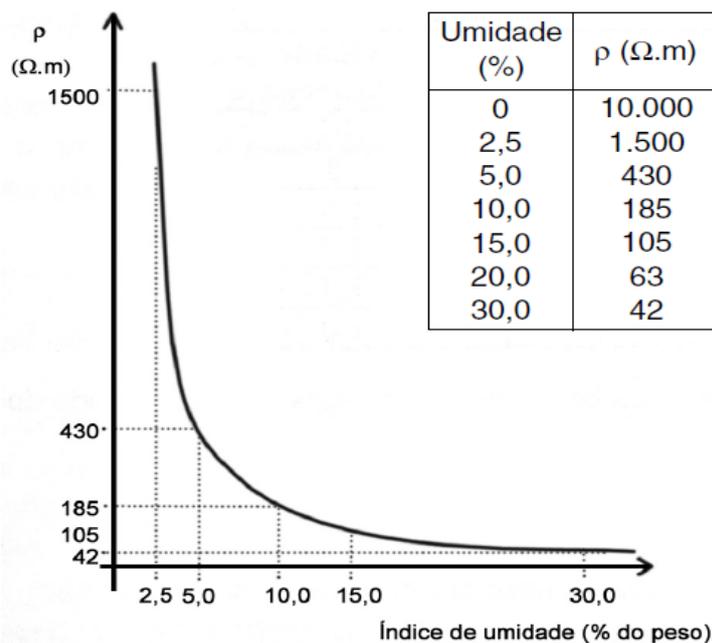
Tipo de Solo	Resistividade ($\Omega.m$)
Lama	5 a 100
Húmus	10 a 150
Limo	20 a 100
Argilas	80 a 330
Terra de jardim	140 a 480
Calcário fissurado	500 a 1.000
Calcário compacto	1.000 a 5.000
Granito	1.500 a 10.000
Areia comum	3.000 a 8.000
Basalto	10.000 a 20.000

Fonte: (VISACRO FILHO, 2002, p. 27)

Influência da umidade

Segundo Visacro Filho (2002), a água é o principal fator de condução de corrente no solo e isso pode ser comprovado através do comportamento da condutividade quando a concentração de minerais no solo é alterada. Isso ocorre porque existem vários íons dissolvidos na água, proporcionando assim um ambiente favorável para a condução da corrente elétrica. Deste modo, a resistividade de cada tipo de solo pode variar conforme o local. A figura abaixo relata o gráfico de umidade, nos informando sobre a resistividade presente.

Figura 9 – Interferência da umidade na resistividade do solo



Fonte: (VISACRO FILHO, 2002, p. 29)

Concentração de sais dissolvidos na água

A resistividade do solo depende da água contida nele e, portanto, dos sais dissolvidos no solvente para formar o meio condutor de corrente elétrica (VISACRO FILHO, 2002). Nesse caso, a quantidade e o tipo de sal influenciam diretamente na resistividade do solo.

A areia geralmente é desprovida de sais minerais. Assim, quando uma amostra de areia é molhada com água destilada, geralmente verifica-se que sua resistividade muda relativamente pouco, embora haja uma mudança na umidade na areia, o fato de a água destilada não conter sais, limita-se as condições para que aconteça a eletrólise.

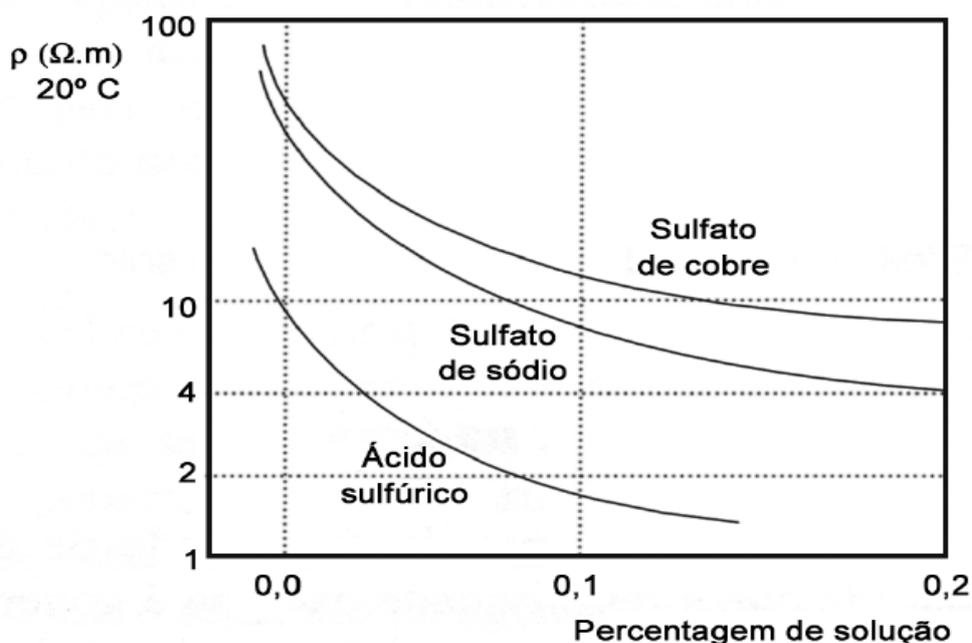
A tabela 15 relaciona a quantidade de sal adicionado com umidade de 15% e temperatura de 17°C, e sua resistividade em um solo arenoso

Tabela 15 – Interferência do sal na resistividade do solo

Sal adicionado (% em peso)	Resistividade ($\Omega.m$) Solo arenoso
0	107
0,1	18
1,0	1,6
5,0	1,9
10,0	1,3
20,0	1,0

Fonte: (VISACRO FILHO, 2002, p. 30)

Figura 10 – Efeito da concentração de sais na resistividade do solo



Fonte: (VISACRO FILHO, 2002, p. 30)

Influência da temperatura

Segundo Visacro Filho (2002), para entender o efeito da temperatura na resistividade do solo, seu efeito deve ser interpretado de duas maneiras diferentes. Em pressões atmosféricas acima de 0°C e próximo ao nível do mar, o aumento da temperatura leva a uma maior evaporação, tornando o solo mais seco diminuindo sua resistividade. Neste caso, abaixo de 0 °C, a umidade do solo está no estado sólido e, portanto, apresenta diferentes propriedades físico-químicas, como um coeficiente de temperatura negativo. Desta forma, pode-se concluir que a resistividade do solo aumenta com a diminuição da temperatura.

Tabela 16 – Interferência da temperatura na resistividade do solo

Temperatura (°C)	Resistividade (Ω.m) Solo
+ 20	72
+ 10	33
0 (água)	138
0 (gelo)	300
- 5	790
- 15	3.300

Fonte: (VISACRO FILHO, 2002, p. 33)

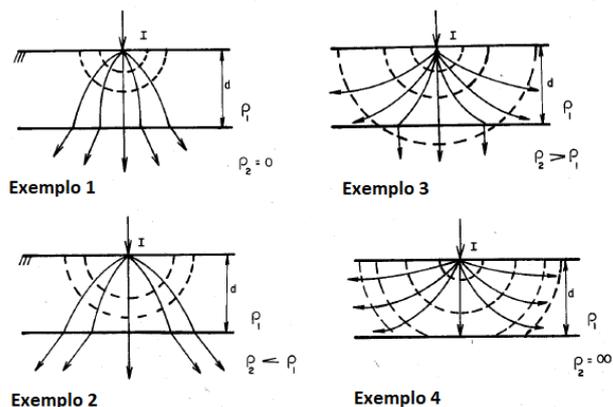
Estratificação

Os solos não são homogêneos em sua grande maioria, mas composto por diferentes camadas de resistividade e profundidade (KINDERMANN, CAMPAGNOLLO, 1995, p.5).

Há casos em que, devido a falha geológica do local, as camadas se mostram inclinadas e verticais. No entanto, os estudos propostos para pesquisa de perfil de solo os consideram aproximadamente horizontais, pois outras situações são menos típicas.

Devido a formação geológica de cada região é onde ocorre a estratificação de várias camadas, ocasionando assim o fluxo das correntes de falta. A dispersão dessas correntes no solo é representada por linhas cheias e as linhas tracejadas são as superfícies equipotenciais.

Figura 11 – Exemplos



Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p.18)

Segundo Kindermann e Campagnolo (1995), quando a corrente elétrica atinge meios mais resistivos, é possível prever seu comportamento. No (exemplo 1), caso a corrente consiga se propagar de um meio resistivo para um condutivo, o número de linhas de corrente que consegue atravessar para próxima camada do solo será máxima. Entretanto, em um meio pouco resistivo (exemplo 2) as linhas de corrente sofrem pouca dispersão ao atravessar parcialmente o meio 2.

Ao atingir locais mais resistivos (exemplo 3) apenas algumas linhas de corrente atingem a outra camada e quando a corrente elétrica encontra um meio que possui uma resistividade elevada (exemplo 4), a dispersão da corrente elétrica é praticamente nula.

Segundo a norma NBR 7117-1 (2020), os valores de resistividade do solo são categorizados da seguinte maneira:

- Solo de baixa-resistividade - $\rho < 250 \Omega\text{m}$;
- Solo de média-resistividade - $250 \Omega\text{m} < \rho < 1000 \Omega\text{m}$;
- Solo de alta-resistividade - $\rho > 1000 \Omega\text{m}$.

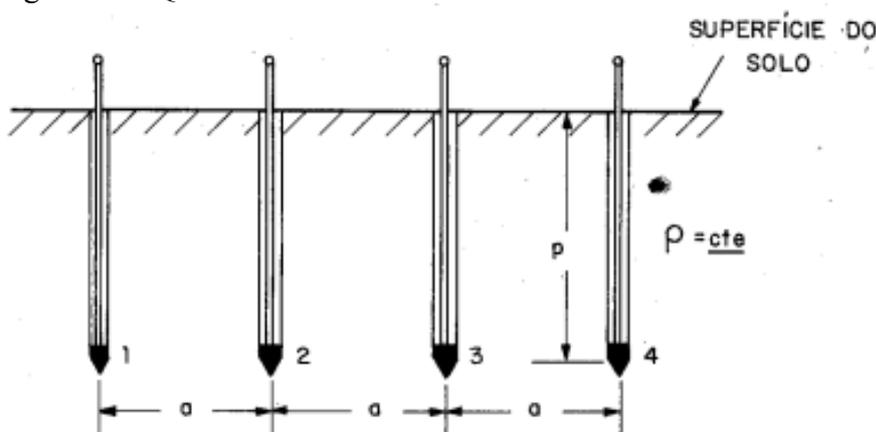
Método de Wenner

É fundamental encontrar a resistividade do solo em um sistema de aterramento, onde os valores são adquiridos através de medições em campo usando métodos de exploração geométrica, tais como:

- Método de Wenner;
- Método de Lee;
- Método de Schlumberger – Palmer.

Segundo Kindermann e Campagnolo (1995), o método Wenner é o mais utilizado, onde se usa quatro pontos alinhados, igualmente espaçados (a) e cravados a uma mesma profundidade (p).

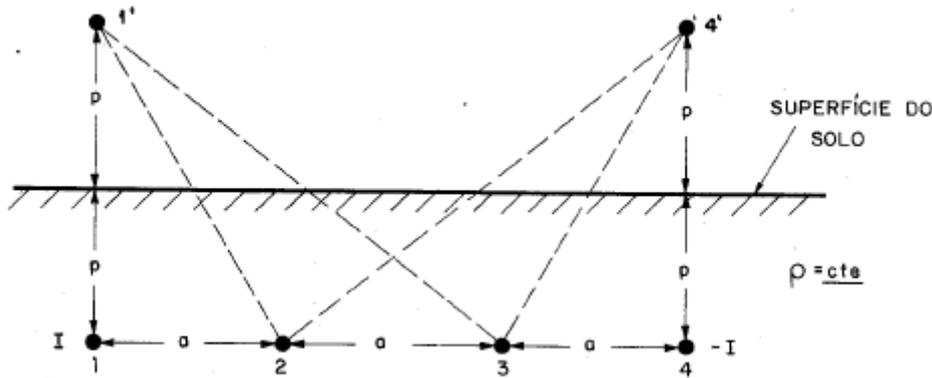
Figura 12 – Quatro Hastes Cravadas no Solo



Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p.18)

Segundo Kindermann e Campagnolo (1995), uma corrente elétrica I é injetada na haste 1 e coletada na haste 4. Esta corrente flui através do solo entre os pontos 1 e 4, criando uma diferença de potencial nas hastes 2 e 3.

Figura 13 – Imagem mostrando o Ponto 1 e 4



Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p.19)

No método Wenner, usa-se uma expressão conhecida como Fórmula de Palmer, que é usada no cálculo de resistividade do solo. Recomenda-se diâmetro da haste $\leq 0,1$ a. A Expressão de Palmer é dada da seguinte maneira:

Figura 14 – Expressão de Palmer

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + (2p)^2}} - \frac{2a}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}}} \quad [\Omega.m]$$

Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p.19)

Segundo Kindermann e Campagnolo (1995), se o afastamento entre as hastes for $a > 20p$, então usa-se a fórmula reduzida a seguir:

Figura 15 – Fórmula reduzida

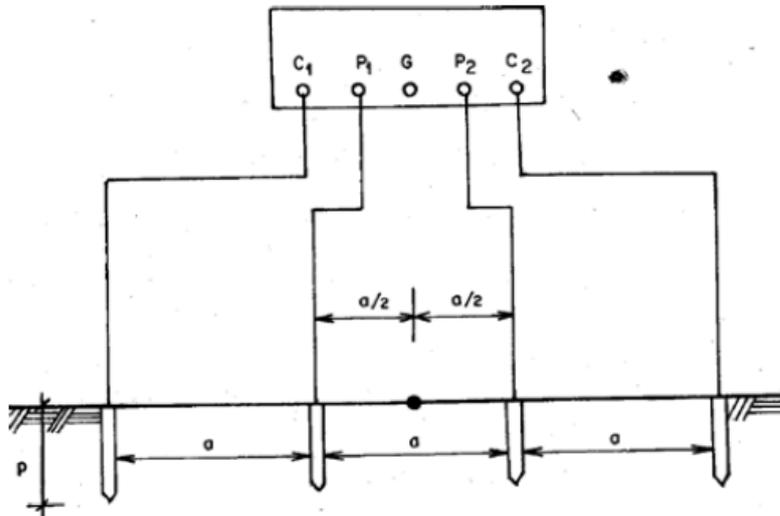
$$\rho = 2\pi aR \quad [\Omega.m]$$

Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p. 20)

Medição usando o Método de Wenner

O método utiliza um instrumento de medir resistência (terrômetro) que possui quatro terminais de saída, sendo que os terminais C1 e C2 são de corrente e P1 e P2 de potencial.

Figura 15 – Método Wenner



Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p. 20)

Onde:

R = Leitura da resistência dada em Ω pelo instrumento, para uma profundidade “a”

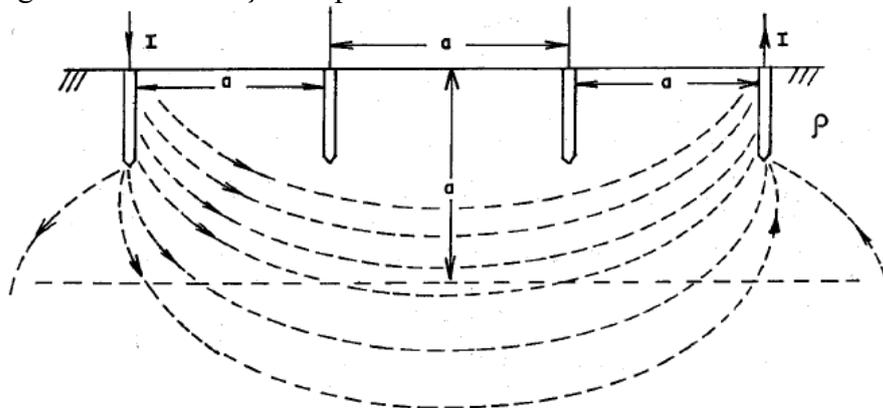
a = Distância entre as hastes no solo

p = Profundidade no solo das hastes

Através de uma fonte interna, o instrumento faz liberar uma corrente elétrica I nas hastes externas que estão ligadas nos terminais C1 e C2. As hastes internas são conectadas nos terminais P1 e P2. Dessa forma, o instrumento processa de forma interna e entrega na leitura o resultado da resistência elétrica. Usando o valor da resistência encontrado no instrumento de medição, na expressão de Palmer, é possível encontrar o valor da resistividade do solo do local.

“O método considera que praticamente 58% da distribuição de corrente que passa entre as hastes externas ocorre a uma profundidade igual ao espaçamento entre as hastes” (KINDERMANN, CAMPAGNOLO, 1995, P. 21).

Figura 16 – Penetração na profundidade “a”



Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p.21)

De acordo com Kindermann e Campagnolo (1995), para resultado usando Método de Wenner, tem-se que o valor de resistência elétrica obtido pelo instrumento é proporcional a uma profundidade determinada no solo.

Para esse método, aconselha-se que o comprimento das hastes tenha por volta de 50cm e diâmetro de 10 a 15mm, além de ser bom condutor de eletricidade, ser inativo a ações de ácidos e sais dissolvidos no solo, sofrer a menor ação possível de corrosão galvânica e resistência mecânica conciliável com a perfuração e movimentação do solo.

Cuidados na medição

Segundo Kindermann e Campagnolo (1995), alguns fatores devem ser observados durante a medição, como:

- Alinhamento correto das hastes;
- Espaçamento entre as hastes devem ser iguais;
- A profundidade das hastes cravadas no solo deve ser igual, seguindo como recomendação de 20 a 30cm;
- O equipamento deve estar simetricamente posicionado entre as hastes;
- Para proporcionar um bom contato com o solo, a limpeza das hastes de óxidos e gordura é fundamental;
- O estado do solo (úmido, seco etc.) deve ser anotado durante a medição;
- Medições sob condições atmosféricas adversas e com possibilidade de ocorrência de raios não devem ser feitas;
- Restringir a presença de animais e pessoas desconhecidas no local das medições;
- Para executar as medições, é imprescindível o uso de luvas e calçados de isolamento;
- Verificar a carga da bateria e o estado do aparelho antes do processo de medição.

Tratamento químico do solo e suas características

Se o sistema já estiver fisicamente pronto e instalado e que, por algum motivo, como a impossibilidade de troca do local e tendo a resistividade do terreno elevada, o tratamento químico do solo deve ser feito, pois, além de ser uma solução que visa a diminuição da sua resistividade, ajuda também na resistência de aterramento.

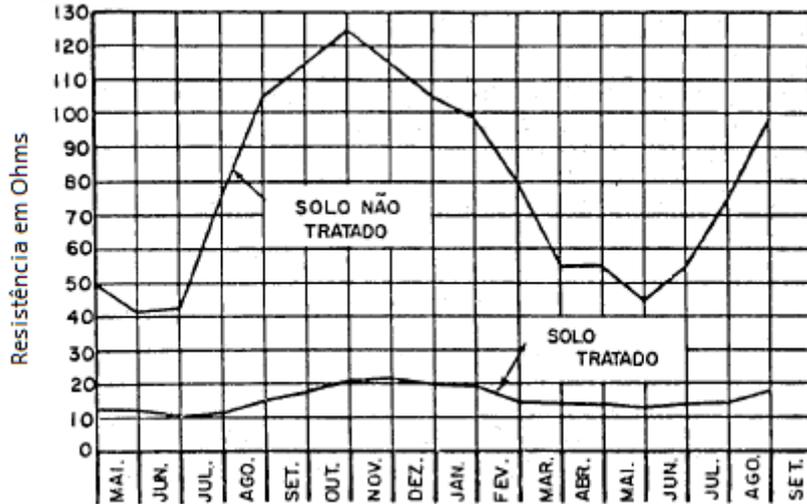
De acordo com Kindermann e Campagnolo (1995), ter baixa resistividade elétrica, não ser corrosivo, não ser tóxico e não causar danos a natureza, além de outros fatores, são características que os materiais para um bom tratamento químico devem possuir.

Bentonita, Earthron e Gel são alguns dos produtos utilizados no tratamento químico do solo.

Variação da resistência de terra devido ao tratamento químico

Na figura 17 é possível observar as variações mensais da resistência do solo após tratamento químico.

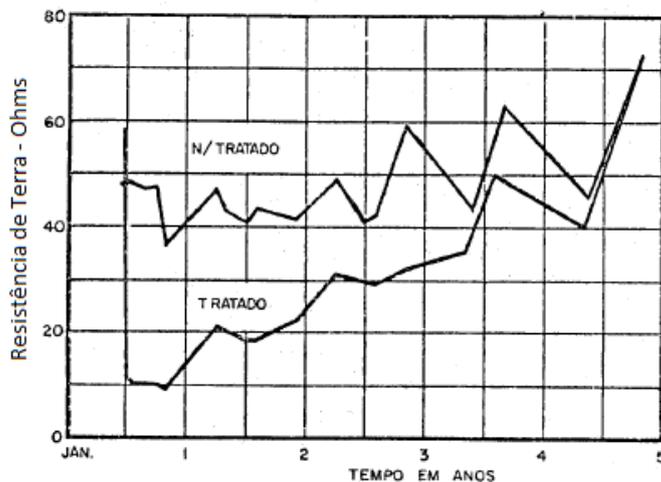
Figura 17 – Variações mensais da resistência



Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p. 97)

Na figura 18, nota-se que o tratamento químico no solo possui uma vida útil, com variações da resistência de terra no decorrer do tempo.

Figura 18 – Variação da resistência de terra em função do tempo, de hastes em solos tratados e não tratados adjacente



Fonte: (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995, p. 98)

Como o tratamento químico do solo é realizado na correção de aterramento já existente, deve-se então, após a aplicação do material, fazer acompanhamentos com medições periódicas para verificar a estabilidade e efeito do tratamento realizado.

A importância de se criar e executar projetos de sistema de aterramento eficientes, deve-se ao fato de que não haja a necessidade de usar tratamento químico.

De acordo com Kindermann e Campagnolo (1995), a eficácia do tratamento químico, deve ao fato do produto químico possuir uma boa absorção da umidade do ar, fazendo manter retida a água por bastante tempo. Portanto, em regiões que tenha o período de seca bem definido, recomenda-se molhar a terra onde tenha um sistema de aterramento já implantado, para que tenha o mesmo efeito de um tratamento químico. Já em terreno extremamente seco,

uma camada de concreto em cima de um aterramento é o ideal, pois além de manter a umidade, sua resistividade está entre 30 e 90 Ωm .

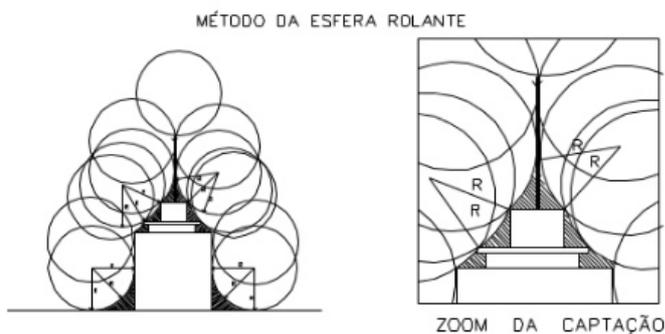
Captor esfera rolante

Zona de proteção

O método da esfera rolante consiste em rolar uma esfera fictícia ao redor dos captores. Caso nenhum ponto da estrutura toque nessa esfera, confirma-se que a área estará protegida.

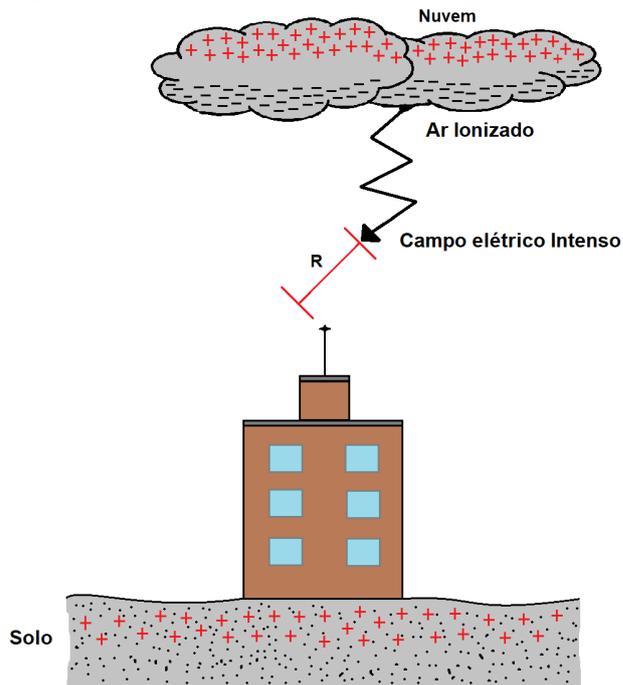
De acordo com a Figura 19, as regiões hachuradas são as regiões protegidas. Porém percebe-se que edificações com altura igual ou maior que o raio da esfera, referente ao nível de proteção as fachadas e quinas da edificação estão desprotegidos. A região central da esfera fictícia conterà os próximos saltos do canal descendente líder, que poderá seguir qualquer direção em toda a sua extremidade, com um comprimento de raio igual ao último salto feito anteriormente. O ponto de maior intensidade de campo elétrico é aquele ponto mais próximo do canal descendente líder, onde geralmente as descargas atmosféricas atingem as estruturas, portanto, o método da esfera rolante, será mais utilizado em instalações no intuito de proteção individual como antenas, sistemas de energia solar (FRANÇA, 2013).

Figura 19 - Método de proteção do tipo eletrogeométrico.



Fonte: (GUIMARÃES, 2021)

Figura 20 – Modelo eletrogeométrico e a distância de atração R.



Fonte: Elaborado pelos autores.

As nuvens possuem um campo elétrico ao seu redor devido a quantidade de cargas armazenadas, quando esse valor é muito alto rompe um pequeno canal entre a nuvem e a atmosfera chamado de líder descendente.

Isso explica-se pelo fato de o ar entre a nuvem e a terra não ser uniforme, pois contém bastante impurezas, umidade e ar ionizado tornando-se um caminho de resistência muito fraca, já é o suficiente para que as descargas atmosféricas perfurem o ar em direção ao solo. Primeiramente pequenos túneis de ar ionizado se formam pelas extremidades da nuvem, nessa hora o campo elétrico ao redor desse ponto aumenta muito sendo carregado novamente e assim vai rompendo para outro ponto sucessivamente, que aos poucos vai furando a atmosfera para descarregar toda a energia na terra (CORRÊA, 2013).

O comprimento R mostrado na figura 20, mostra a distância do líder descendente até o início do outro ponto chamado líder ascendente, sendo que essa distância pode ser calculada, pela seguinte fórmula:

$$D = KxI^p$$

Onde:

k: coeficiente que leva em consideração as diferentes distâncias de incidência de raios a um mastro.

I: corrente de pico mínima em kA.

p: probabilidade de exceder o valor da corrente de pico mínima.

Esta equação foi desenvolvida pelo GT-33 da CIGRÉ – Conferência Internacional de Grandes Redes Elétricas de Alta Tensão.

Essa equação tem uma nova versão na NBR 5419 (2015) que utiliza:

$k = 10$ e $p = 0,65$ $I = 3ka$ então:

$$R = 10x3^{0,65}$$

R=20m

A equação demonstra que a distância de atração R é função da intensidade de Imáx, o próximo salto do líder descendente depende exclusivamente da corrente I, uma vez que esse valor é estipulado, sabe-se o ponto mais próximo de onde a descarga atmosférica irá atingir, como mostra a tabela 17 abaixo.

Tabela 17 – Valores mínimos dos parâmetros das descargas atmosféricas e respectivos raios da esfera rolante seguindo os níveis de proteção (NP) (fazer a tabela sem imprimir)

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

Fonte: (ANBT, 2015, p. 18).

Segundo a norma NBR 5419:3 (2015), estabelece os raios das esferas bem como os valores mínimos de amplitudes das correntes de descarga (corrente de pico mínima em kA), de acordo com o nível de proteção utilizado.

Esse método da Esfera rolante pode ser aplicado em todos os casos, mas é recomendado em estruturas de altura elevada com arquitetura simples, onde a melhor proteção se dá na parte superior da estrutura ou nas coberturas (NBR 5419:3, 2015).

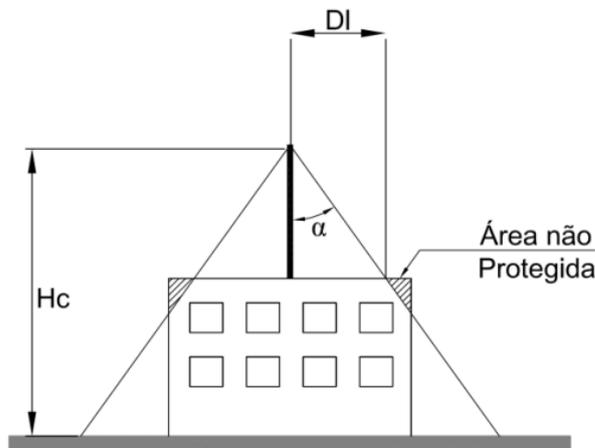
O objeto que se encontrar a uma distância menor que a distância de atração *r*, vai ser o objeto que sofrerá a descarga. Ou seja, quanto menor o raio *r* da esfera rolante, maior será o nível de proteção oferecido pelo SPDA.

Captor Franklin

Zona de proteção:

O captor tipo Franklin possui uma agulha pontiaguda no topo conhecido como um tridente. A área espacial de proteção é a zona protegida pelo para-raios, isto é, consiste em proteger uma estrutura em formato de um Cone, cujo vértice da extremidade superior do captor faz um ângulo alfa com a vertical através do raio da base. A sua abrangência de proteção se dá em torno do eixo vertical de um triângulo retângulo com a hipotenusa (FERREIRA,2010).

Figura 21 – Método de proteção em formato de um cone.

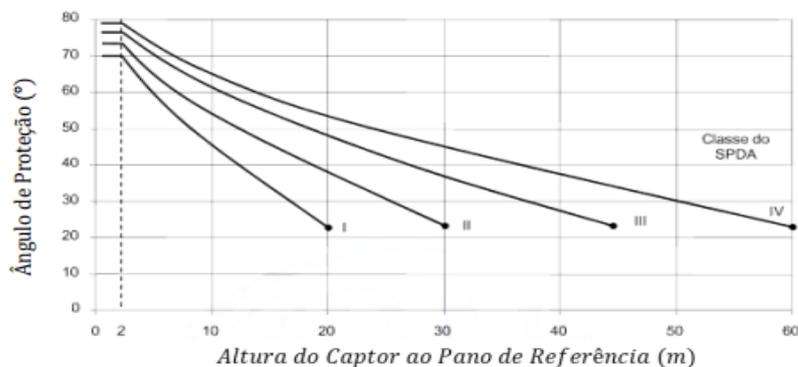


Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a Figura 21, as regiões hachuradas são as regiões que ficaram desprotegidas. Porém percebe-se que toda a parte restante da edificação está protegida, a região que estiver dentro do cone de proteção ilustrado acima, faz parte de toda área abrangente pelo ângulo α .

O ângulo (α) é obtido a partir da altura da ponta do captor ao plano de referência da área a ser protegida e da classe de proteção do SPDA. Na tabela 18 é apresentado o gráfico para determinação do ângulo (α).

Tabela 18– Curva ângulo de proteção x altura da base de referência de acordo com a Classe do SPDA.



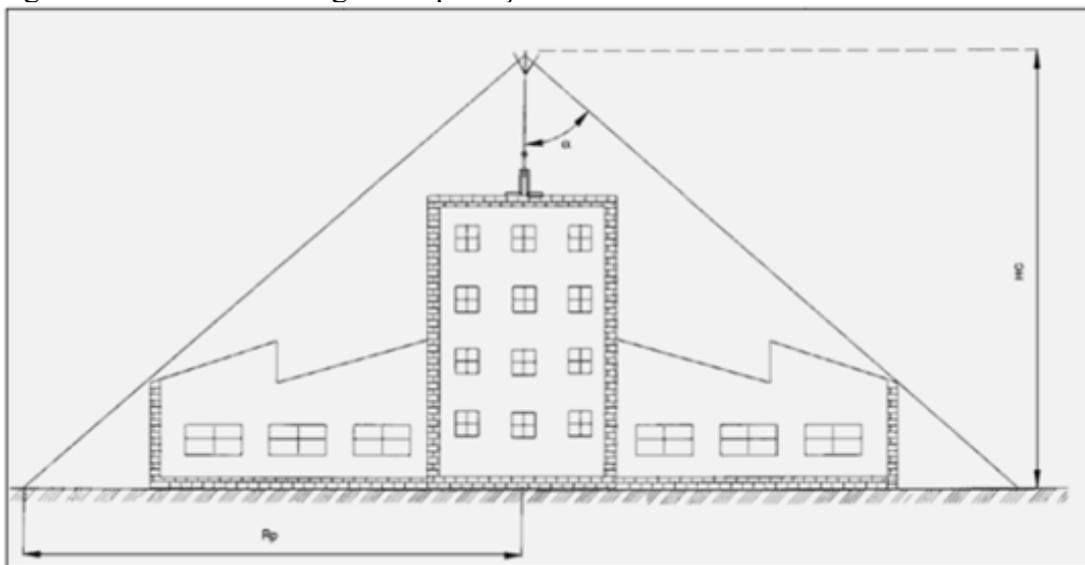
Fonte: (ABNT, 2015)

- Para valores de H (m) acima dos valores finais de cada curva (classes I a IV) são aplicáveis apenas os métodos eletrogeométrico e das malhas;
- H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida;
- O ângulo não será modificado para valores de H abaixo de 2 m.

Segundo a norma NBR5419:3 (2015), esse método de Franklin é recomendado em estruturas simples, onde se necessita de uma quantidade mínima de captores e áreas não muito elevadas.

O conceito de ângulo de proteção fundamenta-se de que qualquer descarga atmosférica designada a atingir as estruturas protegidas por um captor tipo Franklin, seja desviada imediatamente para esse SPDA e dissipada no solo por seus subsistemas. Ao utilizar um cone como zona de proteção é necessário o dimensionamento correto da altura do mastro de Franklin e do raio da base, de modo que toda a estrutura a ser protegida fique dentro do volume de proteção como visto na figura 22 logo abaixo.

Figura 22 – Método do ângulo de proteção e suas características



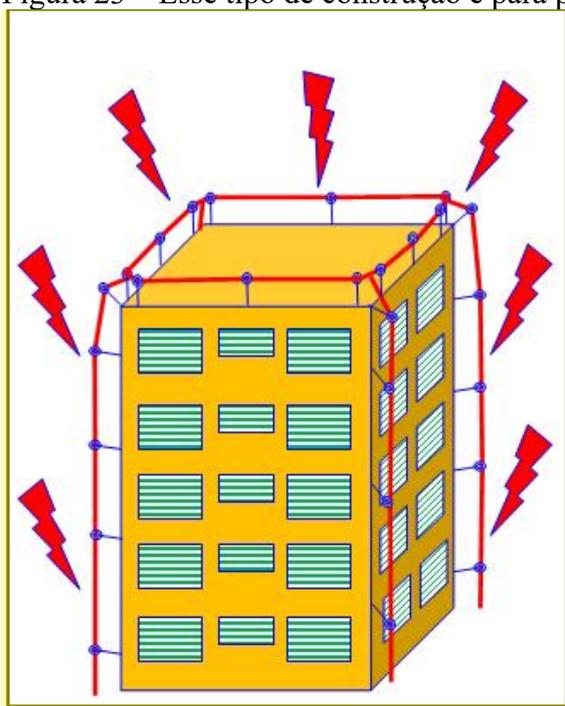
Fonte: (FERREIRA, 2010, p. 28)

Captor Gaiola de Faraday

Zona de proteção

O método Gaiola de Faraday consiste em espalhar uma malha de condutores horizontais feitas de Cobre Nu, envolvendo todo o perímetro da estrutura a ser protegida em formato de gaiola, “Esse método utiliza como base a característica das correntes se distribuírem igualmente pelos condutores externos, culminando em campo elétrico nulo na parte interior do sistema” (CABRAL, 2021, p.62). Portanto, pelos fenômenos físicos da repulsão dos elétrons todo o interior da estrutura ficará protegido.

Figura 23 – Esse tipo de construção é para proteger uma estrutura em formato de gaiola.

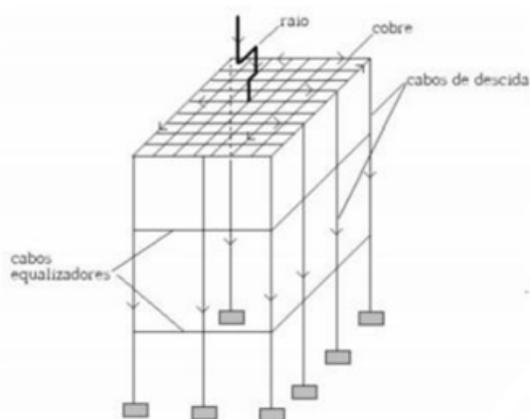


Fonte: (Ebanataw, 2011)

O princípio básico para a proteção do tipo gaiola de Faraday é a Blindagem eletrostática, que parte da premissa que cargas de mesma natureza se repelem, em materiais de boa condutividade elétrica o excesso de cargas se distribui em suas superfícies externas e no momento em que atingir o equilíbrio eletrostático o campo no interior da estrutura se torna nulo.

Longe de um modelo ideal, as descargas atmosféricas ao atingir a estrutura produzem dissipação não uniforme, com indução interna devido a mudanças no campo magnético presente no interior da gaiola. Essencialmente, o funcionamento da proteção da gaiola de Faraday é bem-sucedida porque a corrente induzida na rede cria um campo magnético oposto que empurra o raio para a borda da rede e o força a fluir pelo cabo (KINDERMANN,1997), como ilustrado na Figura 24.

Figura 24 – Condução da corrente de descarga atmosférica para o subsistema de descida e aterramento.



Fonte: (KINDERMANN, 1997)

Segundo a norma NBR 5419:3 (2015), a instalação será recomendada em grandes áreas horizontais sem curvatura e que necessitam grande quantidade de captores, a norma estabelece uma tabela de afastamento das malhas entre esses condutores e a classe do SPDA a ser seguida:

A tabela abaixo indica os valores do espaçamento dos condutores da malha e a distância entre as descidas para cada classe de proteção.

Tabela 19 – Valores do espaçamento

Classe do SPDA	Distâncias (m) (descidas e anéis de equipotencialização)	Máx. afastamento dos condutores da malha (m)
I	1 0	5x5
II	1 0	10x10
III	1 5	15x15
IV	2 0	20x20

Nota 1-É aceitável, para descidas, um acréscimo máximo de 20% sobre os espaçamentos definidos acima.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A tabela 19 mostrada acima consiste em enumerar um SPDA de acordo com o nível de proteção de um projeto, são determinados através de uma análise de riscos descritos pela norma NBR5419-2015:2, um projeto de classe 3 necessita de um espaçamento máximo entre esses condutores de 15x15 m.

O método das malhas não obriga a utilização de mini captores, mas as recomenda. Na malha superior de estruturas extensas deverão ser complementados com pequenos captores de 30 a 50 cm, distanciados 1 ou 2 m, e sua instalação deverá seguir alguns requisitos (NBR5419:3, 2015).

- Nas Saliências da cobertura.
- No topo dos telhados, se o declive exceder 1/10 (um de desnível por 10 de comprimento).
- O subsistema captor deverá ser instalado, no mínimo, a 2 pontos diferentes do subsistema de descidas.
- Instalações metálicas que não sirvam como captor, deverá estar dentro de toda a dimensão a ser protegida pelo captor.

2. 6. Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura

2. 6. 1. Introdução

Milijoules já são suficientes para afetar e causar danos em todos nos equipamentos eletrônicos e sistemas elétricos na estrutura, nesta parte da norma, é relatado medidas de proteção que reduzem ou inibem danos que podem ser permanentes nos sistemas eletroeletrônicos que compõem a estrutura. Tais danos causados muitas vezes pelo impulso eletromagnético da descarga atmosférica (LEMP), como:

- Surtos induzidos ou conduzidos por cabos de sinais e/ou energia;
- Campos eletromagnéticos emitidos diretamente nos equipamentos;
- Danos nos seres humanos causados por choques elétricos.

Contudo, essa norma não cobre interferências eletromagnéticas causadas por descargas atmosféricas nem sobre detalhes de projetos elétrico e eletrônicos.

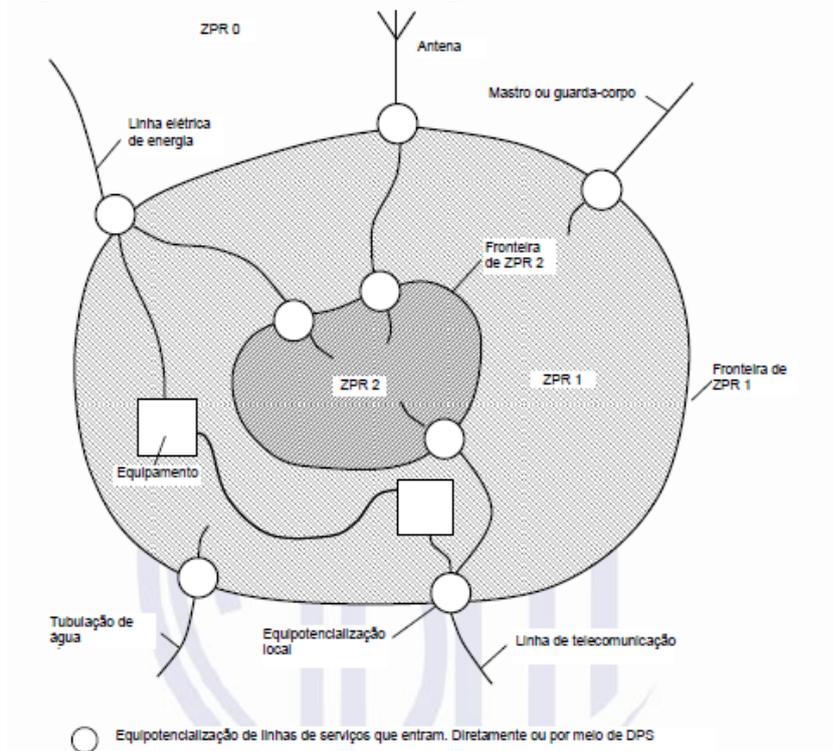
2. 6. 2. MPS (proteção contra surtos)

Com o intuito de evitar danos nos sistemas internos, a adoção de Medidas de proteção contra surtos (MPS) é totalmente necessária.

Para LEMP a proteção se baseia no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR). Essas zonas são associadas na parte do espaço onde há compatibilidade severa no LEMP e suportabilidade, em que os sistemas internos estão integrados. As fronteiras de uma ZPR são determinadas por medidas de proteção empregadas.

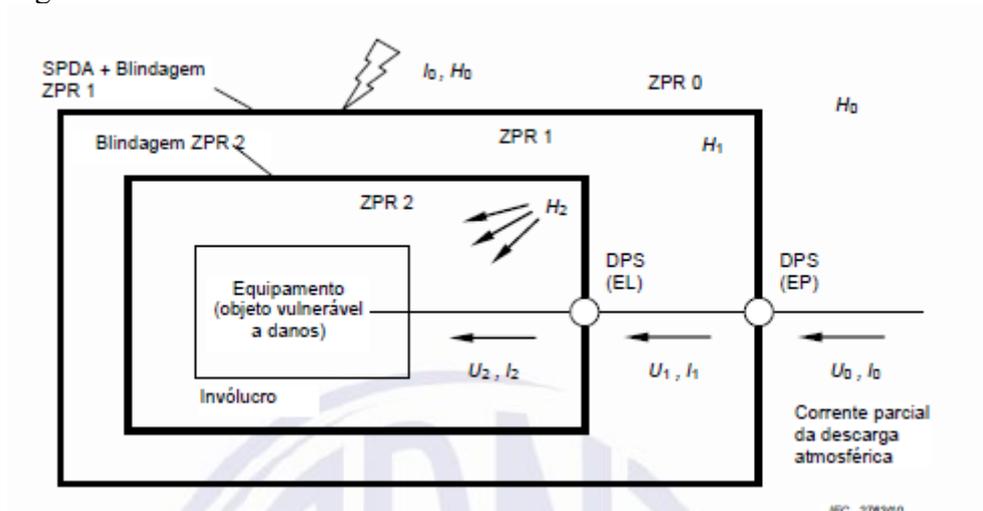
A Figura 29 mostra um exemplo de divisão de uma estrutura dentro de ZPR internas. Todos os serviços entrando na estrutura são equipotencializados por meio de barras de equipotencialização na fronteira de ZPR 1. Ainda, os serviços por meio de partes condutoras entrando em ZPR 2 (por exemplo, salas de computadores) são equipotencializados por meio de barras de equipotencialização em ZPR 2.

Figura 29 – Sistemas internos integrados



Fonte: (ABNT, 2015)

Figura 30 – Divisão de diferentes ZPR

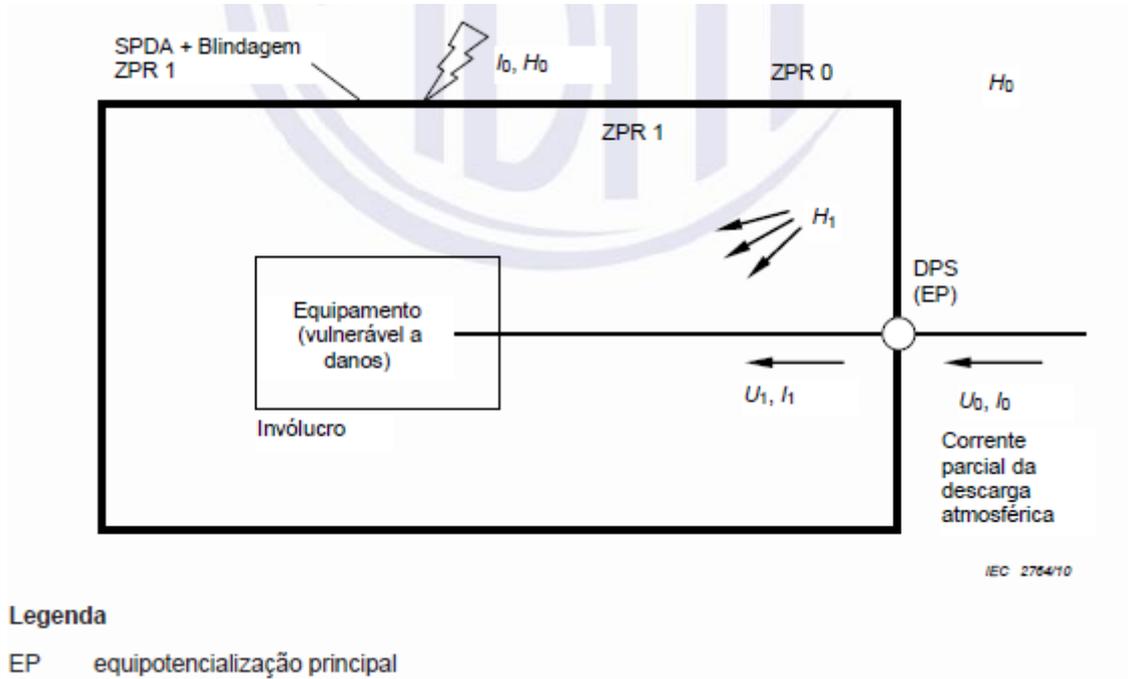


Fonte: (ABNT, 2015)

EP equipotencialização principal
EL equipotencialização local

A) MPS usando Blindagem espacial e um sistema coordenado de DPS; Equipamentos bem protegidos

Figura 31 - MPS usando Blindagem espacial e um sistema coordenado de DPS



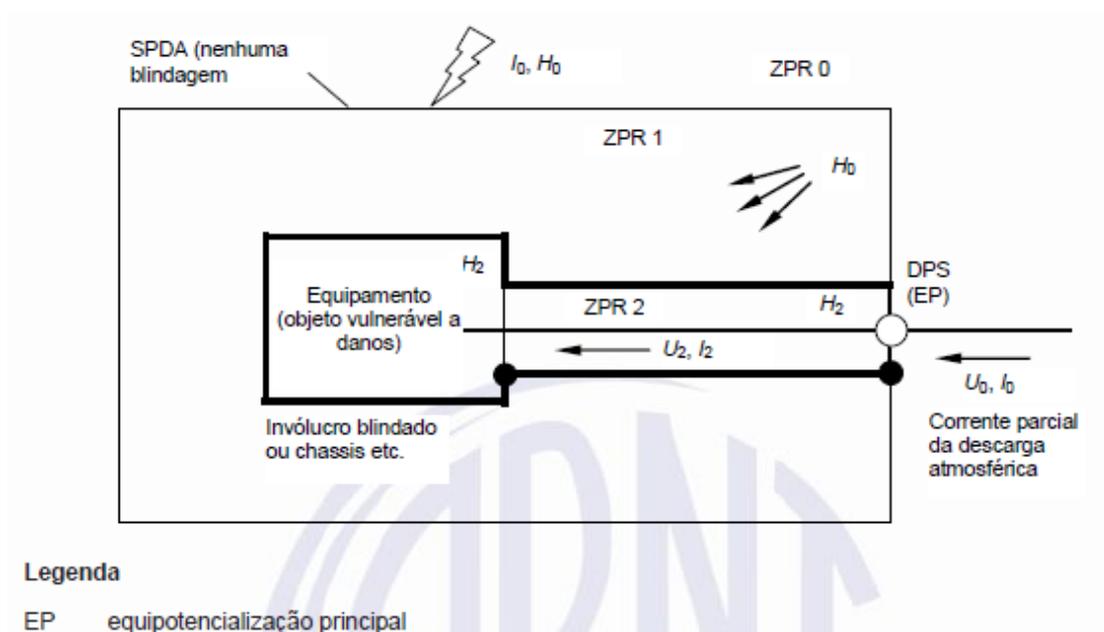
Legenda

EP equipotencialização principal

Fonte: (ABNT, 2015)

B) MPS usando blindagem espacial em ZPR e DPS na entrada. Equipamentos protegidos contra surtos conduzidos

Figura 32 - MPS usando blindagem espacial em ZPR e DPS na entrada



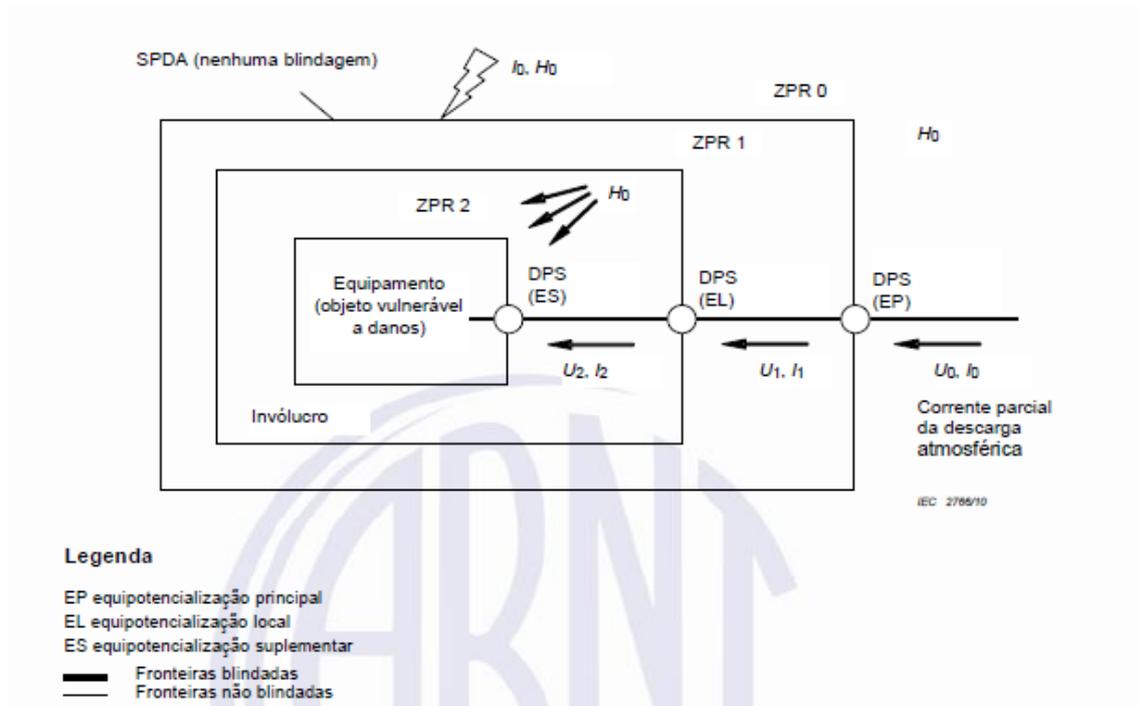
Legenda

EP equipotencialização principal

Fonte: (ABNT, 2015)

- C) MPS usando linhas internas blindadas e proteção por meio de DPS na entrada de ZPR1. Equipamentos protegidos contra surto conduzidos e contra os campos eletromagnéticos irradiados

Figura 33 - MPS usando linhas internas blindadas e proteção por meio de DPS na entrada de ZPR1



Fonte: (ABNT, 2015)

- D) MPS usando apenas um sistema coordenado de DPS. Equipamento protegido contra surtos conduzidos, mas não contra os campos magnéticos

Os DPS podem ser instalados em:

- QDP (quadro de distribuição principal) – fronteira ZPR1;
- QDS (quadro de distribuição secundária) – fronteira ZPR2;
- Mais próximo dos equipamentos.

2. 6. 3. MPS em projetos.

MPS geralmente são projetadas para proteger os equipamentos dos campos eletromagnéticos e contra surtos, onde empregam blindagem espaciais na forma de grade e coordenação de DPS reduzindo a um nível baixo as ameaças. Já MPS na blindagem espacial no formato de grade na ZPR1 e DPS na entrada da ZPR2 protegem contra surtos conduzidos e campos magnéticos irradiados.

Porém a proteção não será suficiente se o campo magnético for alto (por conta da blindagem em ZPR1) ou se insistir muito alta a intensidade do surto (indução nos cabos do DPS)

2. 6. 4. ZPR (Zonas de proteção contra raios)

As zonas são divididas em duas partes:

2. 6. 4. 1. Zonas externas

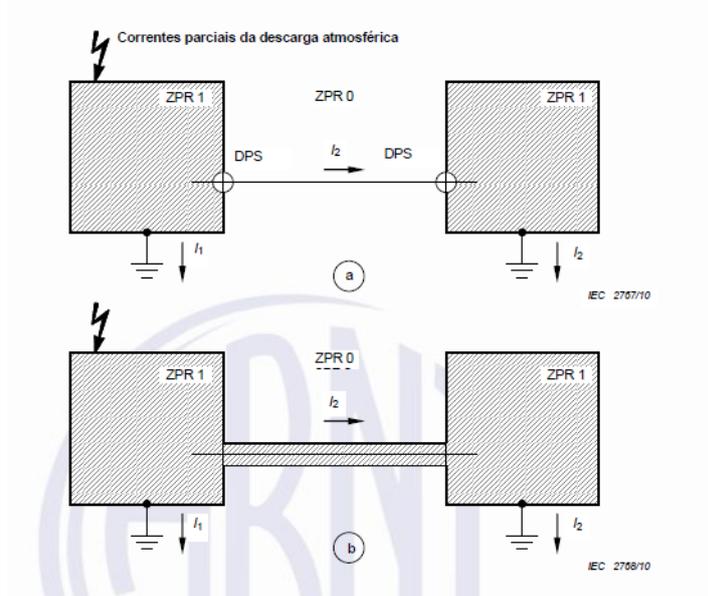
ZPR0, onde a ameaça é recorrente a não diminuição do campo eletromagnético da descarga e os sistemas internos podem sofrer as correntes de surtos parciais e até totais. Na zona ZPR O_A a descarga é de forma direta e os sistemas internos podem sofrer a tonalidade da corrente. Já na ZPR O_b , apesar da descarga direta os sistemas internos podem sofrer parcialmente o surto,

2. 6. 4. 2. Zonas internas

- A) ZPR1. A corrente de surto é limitada pela distribuição de correntes e as conexões isolantes ou blindagem espacial fixados nas fronteiras das zonas que amenizam o campo eletromagnético.
- B) ZPR2. A corrente nessa zona é ainda mais limitada e as blindagens adicionais atenuam ainda mais as descargas.

Em certos casos, ZPR's podem ser adicionadas, contendo menores zonas internas (carcaças metálicas dos equipamentos). Se duas estruturas estiverem conectadas por linhas elétricas ou linhas de sinais pode haver uma interconexão entre ZPR de mesma ordem.

Figura 34 – Correntes parciais de descarga atmosférica

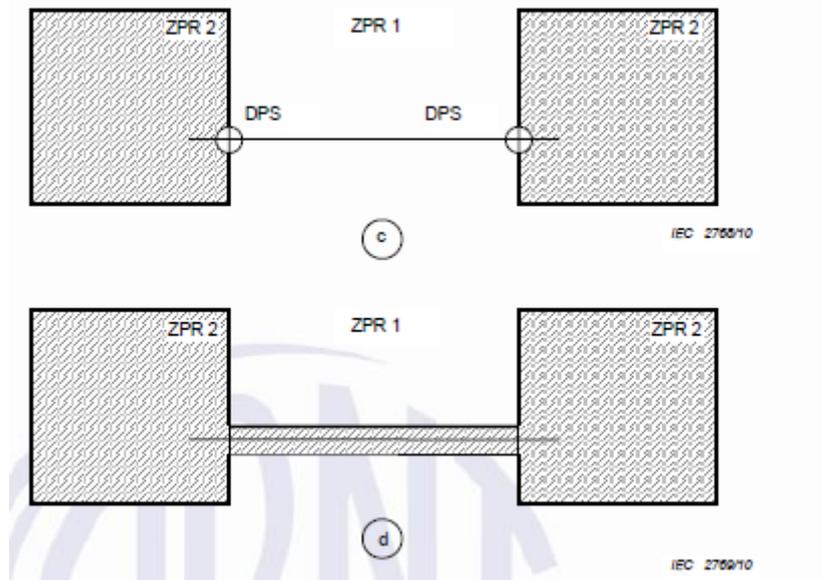


Fonte: (ABNT, 2015)

Figura 3a – Linhas elétricas e/ou de sinais ligando duas ZPR1. A descarga pode escoar pelas linhas não protegidas.

Figura 3b - tais problemas podem ser resolvidos se for usado cabos blindados ou dutos conectando ZPR1, nesse caso DPS pode ser retirado se a tensão nas blindagens for baixa.

Figura 35 – Correntes parciais de descarga atmosférica. Parte 2



Fonte: (ABNT, 2015)

Figura 3c – duas ZPR2 sendo conectadas através de linhas elétricas, pela exposição ameaçando ZPR1, DPS são necessários na entrada de cada uma.

Figura 3d – se cabos e/ou dutos blindados forem utilizados, as interfaces e os DPS podem ser descartados.

2. 7. Blindagens

2. 7. 1. Blindagem espacial

São blindagens que podem cobrir toda a estrutura, tendo ou não forma de grade. Essas blindagens devem ser preferencialmente feitas no início do projeto, pois retrabalho exigem mais custos e dificuldades maiores.

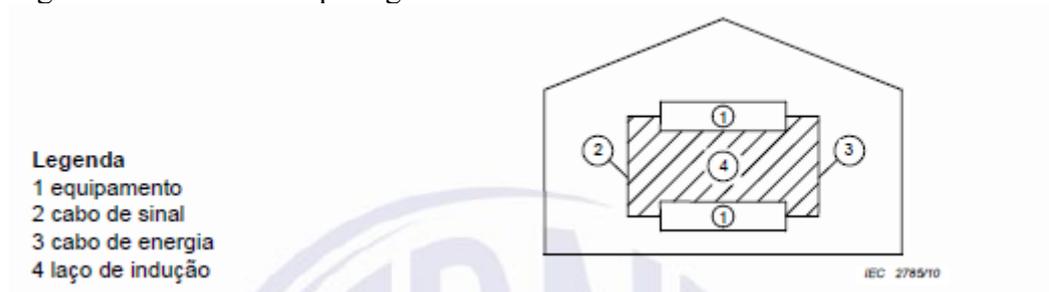
2. 7. 2. Blindagem nas linhas internas

Se adequam aos cabamentos e aos equipamentos, cabos e dutos metálicos dos equipamentos, são usados.

2. 7. 3. Roteamentos de linhas internas

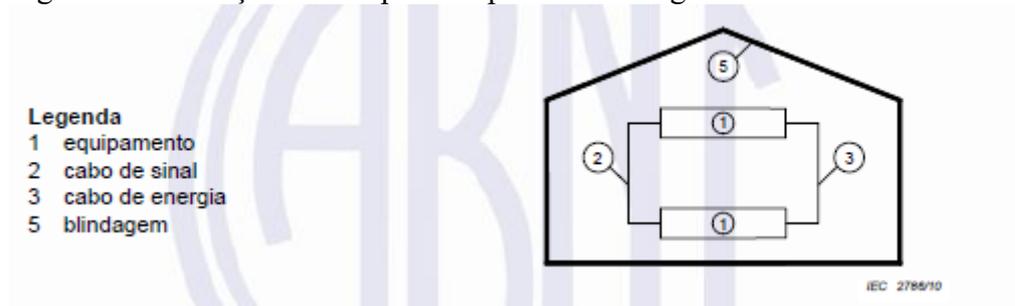
Um roteamento ameniza a indução e reduz surtos na estrutura. Roteando os cabos com os componentes da estrutura que forem aterrados a área do laço e reduzida.

Figura 36 – Sistema desprotegido



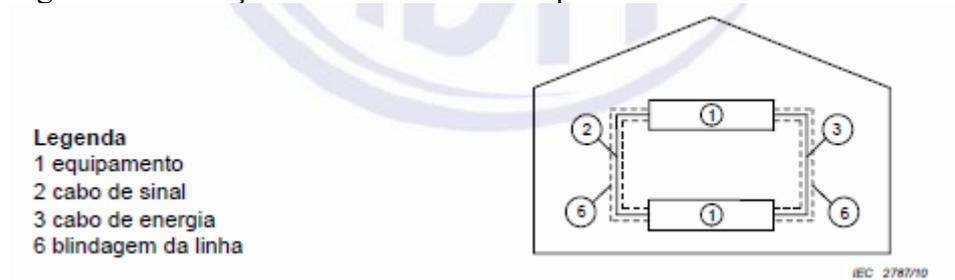
Fonte: (ABNT, 2015)

Figura 37 – Redução do campo ZPR por sua blindagem



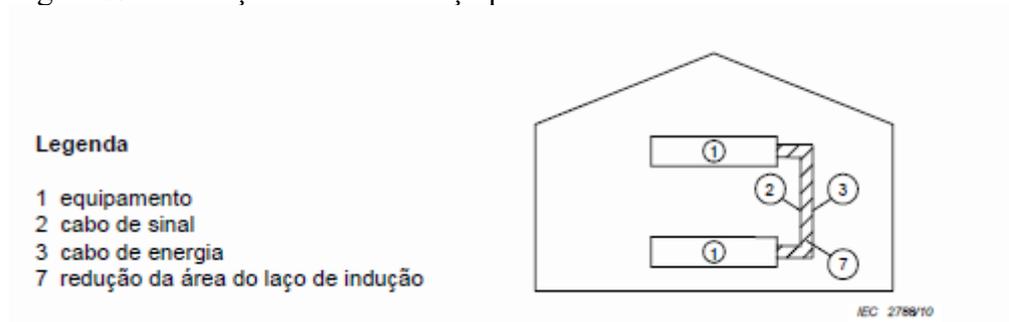
Fonte: (ABNT, 2015)

Figura 38 – Redução da influência do campo nas linhas



Fonte: (ABNT, 2015)

Figura 39 – Redução da área do laço por roteamento das linhas



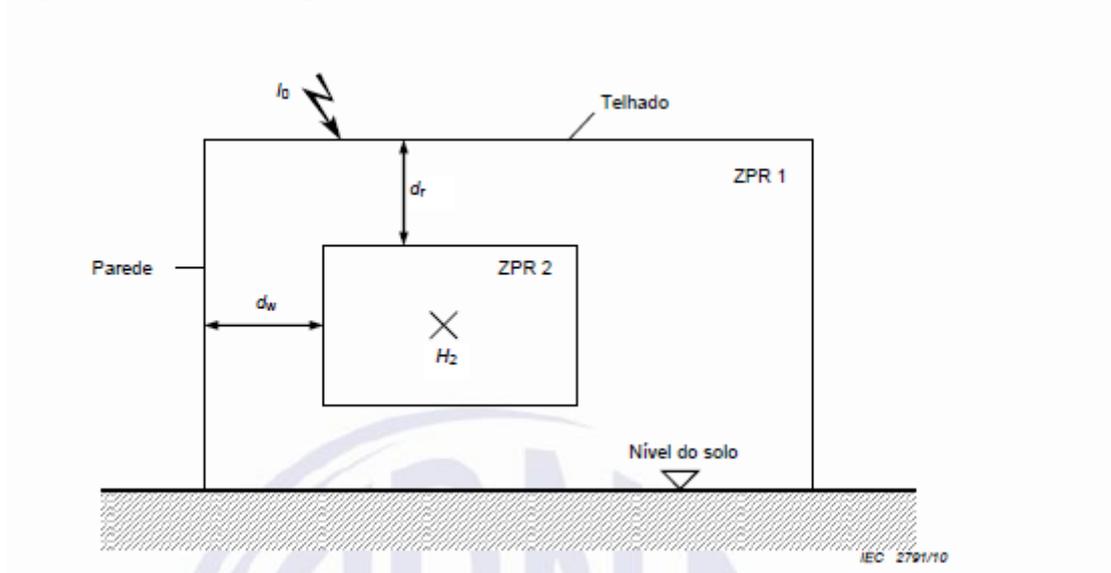
Fonte: (ABNT, 2015)

2. 7. 4. Blindagem nas linhas externas

Concentra a blindagem de cabos e duto metálicos fechados em concreto armado, que fazem parte da estrutura.

- Campo magnético em ZPR: A blindagem em ZPR1 no caso de um edifício, pode fazer parte de um SPDA externo. Conduzindo a corrente da descarga ao longo da blindagem, conforme a figura abaixo:

Figura 40 – Campo magnético em ZPR



Fonte: (ABNT, 2015)

2.7.5. MPS em Estrutura

Toda a construção deve ser levada em consideração, com duas respectivas condições e todo o sistema eletroeletrônicos

A tabela 20 apresenta as características necessárias de casa estrutura. Logo após isso, uma análise de risco é feita para determinar as medidas de proteção.

Tabela 20 – Características estruturais e complementares

ITEM	QUESTÕES
1	Alvenaria, tijolos, madeira, concreto armado, aço, metal?
2	Uma estrutura única ou blocos interligados com juntas de dilatação?
3	Estrutura baixa, plana ou alta ²
4	Dimensões das janelas?
5	Tipo e característica deste SPDA?
6	Fachadas metálicas equipotencializadas?
7	Armaduras de aço, interligadas e com continuidade elétrica em toda estrutura?
8	Armações metálicas das janelas?
9	Estrutura protegida com um SPDA externo?

10	Material do telhado e suas características?
11	Material do solo (rocha, terra)?
12	Altura, distância e aterramento das estruturas adjacentes?

Fonte: (ABNT, 2015)

- Projeto MPS em estrutura existente: a tabela abaixo apresenta itens que devem ser analisados para ver os riscos presentes na estrutura.

Tabela 21 – Características da instalação

ITEM	QUESTÕES
1	Características da entrada dos serviços (aérea ou subterrânea)?
2	Características das antenas (antenas ou outros dispositivos externos)?
3	Tipo de fornecimento de energia (alto, média, baixa tensão, aérea ou subterrânea)?
4	Roteamento das linhas (número e localização dos dutos dos cabos)
5	Uso de dutos metálicos para os cabos?
6	Estão os equipamentos totalmente dentro da estrutura?
7	Existem condutores metálicos interligados à outra estrutura?

Fonte: (ABNT, 2015)

Tabela 22 – Características dos equipamentos

ITEM	QUESTÕES
1	Características das interligações dos sistemas internos (cabos blindados ou não, sistemas analógicos ou digitais, condutores de fibra)
2	Suportabilidade dos sistemas eletrônicos especificados

Fonte: (ABNT, 2015)

- DPS: Limita sobretensões e desvia as correntes de surto.

Instalação

Para obter controle de surtos nas linhas, a instalação de DPS nas entradas de ZPR e no equipamento desprotegido é recomendada.

Para a maior chance de proteção dos equipamentos, mais próximo da linha de entrada o DPS deve ser instalado isso seria uma vantagem econômica, já uma vantagem mais técnica seria a instalação do DPS o mais próximo do equipamento.

Classificação

Esses dispositivos são classificados em três tipos: classe I, classe II e classe III. Segundo a NBRIEC61643-1(2017)

Classe I: São recomendados para locais com alta exposição, como linhas de entrada de edifícios que estão protegidos contra descargas atmosféricas

Classe II e III: Indicados quando os impulsos ocorrem com menor duração e em locais de menor exposição

3. METODOLOGIA

Este trabalho é baseado na NBR 5419:2015, a qual estabelece os padrões para a implementação e manutenção do sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Para a pesquisa, foram utilizados gráficos e tabelas, atualizações da norma citada anteriormente, artigos científicos e livros. A princípio, foram priorizadas fontes cujas ilustram casos práticos para o desenvolvimento de projetos, tais como, métricas e modelos de captação e aterramento, estratificação e análise de resistividade do solo, além da aplicação de conhecimentos teóricos e práticos desenvolvidos em campo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De maneira geral, a descarga atmosférica apresenta características elétricas, como corrente, intensidade, entre outras propriedades elétricas.

Com o intuito de evitar riscos decorrentes da descarga atmosférica, que é um fenômeno absolutamente imprevisível e age aleatoriamente, visamos meios de proteção contra elas, que são recebidas por captadores e por dissipação são descarregadas ao solo através de barras de escoamento. Mas nada pode impedir a queda de um raio, mas o resultado do seu impacto, sim.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo detalhar a execução do Sistema de Proteção contra Descarga Atmosférica em edificações, trazendo para uma abordagem clara de teoria e cálculos, juntando o conhecimento de diversas áreas, resultando no sucesso dos objetivos propostos de todas as etapas referentes ao projeto.

Compreender esses fenômenos atmosféricos ao longo dos anos foi de grande importância para o surgimento de estudos voltados ao dimensionamento e proteção contra descargas atmosféricas. A implantação de um SPDA está diretamente relacionada aos limites e níveis de segurança e a correta operação do sistema de energia elétrica do local, sabendo da tamanha importância de seus subsistemas esse projeto merece um cuidado especial, conclui-se que o SPDA é um elemento fundamental na segurança da edificação, pois através da mesma uma descarga é captada e conduzida a terra com segurança. É indispensável sua correta implementação e que após a instalação haja uma manutenção periódica a fim de se garantir a confiabilidade do sistema.

Seguindo todos os procedimentos descritos neste trabalho, é possível realizar a instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas de maneira adequada, tornado a edificação segura e protegida contra eventuais centelhamentos.

Com essa pesquisa observa-se que, ao projetar, planejar e construir de acordo com as normas regulamentadoras, consegue-se reduzir de forma significativa os riscos e muitas vezes soluções simples pode evitar danos as estruturas.

Em seus 4 capítulos são exploradas características para análise de risco, SPDA externo, danos físicos a estrutura e perigos a vida e proteção de equipamentos eletrônicos.

As questões secundárias propostas, como: qual método de SPDA instalar, quais os tipos de materiais e dimensões utilizar, os dimensionamentos da quantidade de hastes de captação, de descidas e do tipo de aterramento e a estratificação do solo também foram atendidos com sucesso.

A partir dos cálculos, foi possível concluir que, para a estrutura estar protegida contra descargas atmosféricas é necessário a instalação de um SPDA seguindo a classe de proteção. Porém, percebe-se a utilização dos métodos propostos está diretamente relacionado com as características físicas de cada edificação, fatores como altura, cobertura irregular da superfície e centelhamentos laterais devem ser considerados na execução de um projeto de SPDA.

Apesar de oferecer diversas formas de análise, não foi possível a inclusão de módulos para todas as possíveis configurações de SPDA e aterramento, visto que as possibilidades são infinitas. Para a realização de trabalhos futuros, deseja-se utilizar um software chamado PRÓ-elétrica para elaborar um programa mais sofisticado de dimensionamento de SPDA, onde, além de realizar todos os cálculos propostos, também iria executar o detalhamento de acordo com a norma da NBR5419:2015 de forma automática, e por fim, a escolha do melhor método de instalação de SPDA, o cálculo da quantidade de material a ser utilizado, o número de condutores de descidas, as zonas do gerenciamento de riscos e até o cálculo da resistividade do solo o software irá detalhar de forma 3D na estrutura, incluindo todos os sistemas de captação, descidas e de aterramento.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pelo dom da vida, aos nossos amigos e familiares em especial aos que sempre se fizeram presentes nos ajudando e apoiando em nossa jornada ao longo desses cinco anos de faculdade.

Nosso agradecimento aos colegas de sala que nos proporcionaram que a caminhada até aqui pudesse ter sido mais amena e prazerosa. Aos professores que sempre fizeram o possível e impossível para garantir o melhor aprendizado para nós e nossos colegas mediante a tantos desafios e obstáculos que enfrentamos nesses últimos cinco anos.

Agradecemos a todos os funcionários e profissionais do Centro Universitário Una de Pouso Alegre, juntamente com toda infraestrutura do Campus, por proporcionar todo material de ensino e qualidade que nos ajudaram nessa etapa de formação e conclusão de curso, a todos o nosso muitíssimo obrigado.

Por fim, em especial, agradecemos incondicionalmente a nossa Orientadora Adriana Izidoro, pela sua dedicação, compreensão e por ter confiado em nossa capacidade de chegar até aqui.

Obrigado a todos por terem contribuído para a realização desse sonho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1: Princípios Gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-3: Danos físicos a estrutura e perigos a vida**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

EBANATAW. **Para-raios tipo Faraday**. 10 set. 2011. 1 fotografia. Disponível em: < <https://www.ebanataw.com.br/raios/faraday.htm> >. Acesso em: 29 out. 2022.

ENGENHARIA ELÉTRICA, Eletrojr. **Tipos de Para Raios: Conheça o melhor para sua necessidade**. 1 fotografia. Disponível em: < <https://eletrojr.com.br/2020/03/21/tipos-de-para-raios> >. Acesso em: 19 nov. 2022.

ESYNC ENERGIA E CONTROLE. **Sistema de proteção contra descargas atmosféricas SPDA**. 1 fotografia. Disponível em: < <https://esync.com.br/index.php/sistemas-de-protacao-contradescarga-atmosferica-spda> >. Acesso em: 21 nov. 2022.

EXTIMBRASIL. **SPDA: Tudo que um empresário precisa saber para cumprir com as exigências do corpo de bombeiros**. 1 fotografia. Disponível em: < <https://extimbrasil.com.br/blog/spda-tudo-que-um-empresario-precisa-saber-para-cumprir-com-as-exigencias-do-corpo-de-bombeiros/> >. Acesso em: 21 nov. 2022.

FERREIRA, Adriano Ananias et al. **Avaliação de sistema de proteção contra descargas atmosféricas da Empresa Acumuladores Moura SA (Un. 01)**. 2010.

FÍSICOS, Recursos Terapêuticos. **O papel da Gaiola de Faraday na utilização do Ondas Curtas: proteção eficaz?**. 1 fotografia. Disponível em: < <http://blog.recursoaterapeuticos.com.br/2015/09/o-papel-da-gaiola-de-faraday-na.html> >. Acesso em: 19 nov. 2022.

GUIMARÃES, Pablo. **SPDA pelo Método da Esfera Rolante**. 4 maio. 2021. 1 fotografia. Disponível em: < <https://www.pabloguimaraes-professor.com.br/post/spda-pelo-metodo-da-esfera-rolante.com> >. Acesso em: 20 out. 2022.

HR, Engenharia. **Para raios termografia projetos elétricos**. 1 fotografia. Disponível em: < <https://www.hrengenharia.com/para-raios> >. Acesso em: 29 out. 2022

https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/9731/spda4_v8_15_15641593805157_9731.pdf

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento Elétrico**. 3. ed. Rio Grande do Sul: Sagra D.C Luzzatto, 1995.

SANTOS, Kathleen Cintia Brugnera Moraes. **Dimensionamento do projeto de SPDA através do método das malhas (Gaiola de Faraday)**. 19 nov. 2021. 1 fotografia. Disponível em: < <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115002636274-Dimensionamento-do-projeto-de-SPDA-atraves-do-metodo-das-malhas-Gaiola-de-Faraday-> >. Acesso em: 20 nov. 2022.

SANTOS, Moacir. **SPDA – O que é um Subsistema de Captação?**. 11 agost. 2018. 2 fotografia. Disponível em: < <https://engfam.com.br/subsistema-de-captacao> >. Acesso em: 20 nov. 2022.

SOUZA, A. N. et al. SPDA – Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=AOncDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT25&dq=artigos+sobre+spda&ots=xiFiJ81C-T&sig=8WocsajHg7rujV7z2eVzOLYdPog#v=onepage&q=artigos%20sobre%20spda&f=false> acesso em 9 de out. 2022.

TOFFOLI, Leopoldo. **Pararaio.** 1 fotografia. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/para-raio/> >. Acesso em: 20 nov. 2022.

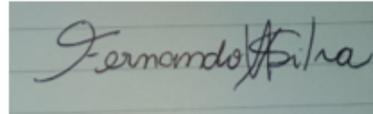
VISACRO FILHO, S. **Aterramentos Elétricos:** conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento. São Paulo: Artliber, 2002.

AUTORES DO ATCC

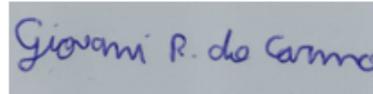
111812921 Anderson Dario Pereira



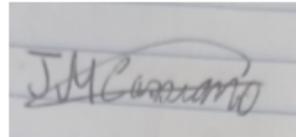
111810416 Fernando Vinicius
Afonso Silva



111812730 Giovani Rosa do Carmo



111812749 Jan Michel Cassiano



111812999 João Murilo Gonçalves
dos Santos



111812729 Miguel Ângelo Arnaut
Vilela

