

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RODRIGO VERARDINO DE STÉFANI

**METODOLOGIA DE PROJETO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO
CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EDIFÍCIO
RESIDENCIAL**

São Carlos
2011

RODRIGO VERARDINO DE STÉFANI

**METODOLOGIA DE PROJETO DE
SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
PARA EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de São
Carlos, da Universidade de São Paulo.

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Sistemas de Energia e Automação.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ruy Alberto Corrêa Altafim

São Carlos, Novembro de 2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E
PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

De Stéfani, Rodrigo Verardino.

D441m Metodologia de projeto de sistema de proteção contra
descargas atmosféricas contra edifício residencial. /
Rodrigo Verardino De Stéfani ; orientador Ruy Alberto
Corrêa Altafim. -- São Carlos, 2011.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2011.

1. Raios. 2. Descargas atmosféricas.
3. SPDA. 4. Projeto. 5. Captores Franklin. 6. Gaiola de
Faraday. I. Título.

Conteúdo

I. Dedicatória e agradecimentos	5
II. Resumo	6
III. Abstract	7
1. Introdução.....	8
2. Objetivo	9
3. O Brasil no cenário mundial	10
4. Como são geradas as descargas atmosféricas.....	11
5. Características das descargas atmosféricas	13
5.1. Instrumentos utilizados no estudo das descargas atmosféricas.	13
5.2 Forma de onda da descarga atmosférica	14
5.3 Valores da descarga atmosférica	15
6. Orientações para a proteção das pessoas	17
7. Verificação da necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.....	18
7.1. Introdução	18
7.2. Mapa Isoceráunico	18
9.3. A verificação.....	19
7.4. Interpretação dos resultados	23
8. Níveis de proteção	24
9. O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.....	26
9.1. Introdução	26
9.2. A norma regulamentadora brasileira.....	26
9.3. O custo da não proteção	27
9.4. O SPDA isolado	28
10. Elementos que compõem um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas - SPDA.....	29
10.1. Introdução	29
10.2. Captor	30
10.3. Condutor de descida	30
10.4. Anel de equipotencialização	32
10.5. Cabo de proteção de borda.....	34
10.6. Ligações Equipotenciais.....	34
10.7. Aterramento.....	35
11. Filosofias de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas	37
11.1. Introdução	37

11.2. Filosofia de captores tipo Franklin	37
11.2.1. Ângulo de Proteção	39
11.2.2. Raio de Atração ou Método Eletrogeométrico	40
11.3. Filosofia da Gaiola de Faraday	41
11.4. Sistemas híbridos	43
12. Inspeções do SPDA.....	44
13. Metodologia de projeto de um SPDA.....	45
13.1. Necessidade do SPDA segundo critérios da NBR-5.419.....	46
13.2. Verificação do Nível de Proteção que será adotado.....	48
13.3. Diálogo entre Eng. Civil, Arquiteto e Projetista do SPDA.....	48
13.4. Definição da filosofia de proteção que será utilizada.....	48
13.5 Verificar a possibilidade de usar elementos naturais da edificação	49
13.6. Projeto do subsistema de captação.....	49
13.7. Projeto do subsistema de distribuição de corrente.....	49
13.8. Projeto do subsistema de aterramento.....	49
13.9. Execução e acompanhamento do projeto do SPDA.....	50
14. Conclusões.....	51
15. Referências e bibliografia consultada.....	52
16. Projeto do SPDA do Edifício Campinas	53

I. Dedicatória e agradecimentos

Dedico esta obra à minha família pelo apoio, carinho e educação que recebi durante todos esses anos.

Dedico também a todos os meus grandes amigos que fazem parte da minha vida dentro ou fora da universidade.

Agradeço à Universidade de São Paulo por todas as oportunidades que me foram dadas.

Agradeço à Escola de Engenharia de São Carlos e ao Departamento de Engenharia Elétrica.

Agradeço a turma da Automação 2006 pelos anos de companheirismo.

Agradeço à Associação Atlética Acadêmica do Campus de São Carlos – USP pelas oportunidades e lições que não constam na grade curricular, mas que com certeza ficarão comigo pelo resto da vida.

Agradeço aos amigos da República Poltergeist pelos incríveis anos que estive em São Carlos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Ruy Alberto Corrêa Altafim, por despertar meu interesse em estudar um pouco mais sobre SPDA e consequentemente escolher este tema para o meu TCC.

II. Resumo

Este trabalho descreve, de modo sucinto, uma descarga atmosférica e foca nos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), aceitos pela norma brasileira NBR-5.419 – Proteção de Edificações contra Descargas Atmosféricas.

No capítulo final, pode ser encontrado o projeto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas de um edifício.

Palavras-chave: Raios. Descargas Atmosféricas. SPDA. Projeto. Captores Franklin. Gaiola de Faraday.

III. Abstract

This paper briefly describes a lightning and focus on the Lightning Protection Devices that are accepted by the Brazilian Standard NBR-5.419 – Buildings Protection against Lightning.

At the last chapter of this paper you can find the design of a building's Lightning Protection Devices.

Keywords: Lightning. Design. Protection. Lightning Protection Devices. Franklin's rod. Faraday's cage.

1. Introdução

As descargas Atmosféricas são um fenômeno natural que atingem todo o planeta. Desde a antiguidade, esses fenômenos despertaram o medo, a curiosidade e a admiração dos seres humanos. Isso pode ser verificado pela existência de deuses e a grande quantidade de mitos e credícies envolvendo as descargas atmosféricas ou raios.

Apesar de serem observadas e estudadas há séculos, a evolução do conhecimento a respeito das descargas atmosféricas evoluiu muito lentamente. Ainda hoje, existem inúmeras dúvidas envolvendo o assunto, como por exemplo, o processo de eletrificação das nuvens.

Atualmente, o estudo das descargas atmosféricas é um processo de reconhecida importância e que chama atenção pelo fato de haverem muitas possibilidades diferentes de se proteger uma edificação. O uso de elementos naturais e a mistura de elementos que compõe diferentes filosofias de proteção dão ao projetista do SPDA uma liberdade muito grande de adequar o projeto às necessidades, orçamento e peculiaridades de uma edificação.

A maioria destas possibilidades será abordada no decorrer deste trabalho, sempre se embasando pela norma NBR-5.419, que regulamenta a proteção de edificações contra descargas atmosféricas no Brasil.

2. Objetivo

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso é apresentar uma metodologia fácil e didática para elaboração do projeto de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, ou *SPDA*, em um edifício residencial.

Através da consulta de uma gama de materiais de apoio (Apostilas, trabalhos de graduação, livros didáticos e teses) e se pautando também pela norma brasileira que trata deste assunto (NBR-5.419 – *Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas*), este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) trata dos principais temas e discussões que envolvem o projeto de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas em um edifício residencial.

No capítulo final deste trabalho, encontramos o projeto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas do edifício “Campinas”, que será construído na cidade de Ribeirão Preto – SP.

3. O Brasil no cenário mundial

Cerca de 70 milhões de descargas atmosféricas atingem o Brasil a cada ano ([6] ELAT, INPE), isso equivale a uma frequência de duas a três descargas por segundo. Esse dado, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), confere ao Brasil o título de ser um dos países mais atingidos por descargas atmosféricas em todo o mundo.

Segundo boletim oficial do INPE, divulgado no dia 20/06/2011, foi registrado, no ano de 2010, 89 mortes devido a descargas atmosféricas. Esse número foi inferior a média apurada no período entre 2000 e 2009, que é de 132 vítimas fatais por ano.

Além do prejuízo inestimável pela perda de vidas, as descargas atmosféricas ainda causam inúmeros prejuízos materiais. Milhões de dólares são gastos todos os anos com reparos a linhas de transmissão, subestações, sistemas de distribuição, telefonia e telecomunicação, indústrias e propriedades privadas.

No Brasil, a obrigatoriedade de instalação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas normalmente é dada por meio de leis municipais. Apesar disso, ela também consta de forma indireta no *Código de Defesa do Consumidor* (Cap. III, Art. 6º) e explicitamente na *NR-10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade* (item 10.2.4 b) para instalações com potência superior a 75 kW.

4. Como são geradas as descargas atmosféricas.

A eletrificação e concentração de cargas em diferentes porções de uma nuvem faz com que a mesma adquira uma característica de dipolo elétrico.

Existem algumas teorias que tentam explicar como ocorre o processo de eletrificação da nuvem e entre as mais bem aceitas estão a *teoria da precipitação* e também a *teoria da convecção*. Ambas as teorias de eletrificação concluem que na grande maioria dos casos (cerca de 90% das vezes) ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO) a nuvem se carrega negativamente em sua porção inferior e positivamente em sua porção superior. Apesar dessa disposição de cargas na nuvem não ocorrer em 100% das vezes, ela será utilizada como base para a explicação do processo de surgimento das descargas atmosféricas.

A concentração de cargas negativas na porção inferior da nuvem provoca uma imensa migração de cargas positivas para a área correspondente à sua “sombra” na terra. Essa nuvem, quando levada pelo vento, faz com que essas cargas positivas se desloquem na terra, “escalando” pessoas, casas, prédios, torres, para-raios e morros, passando por diversas condições atmosféricas ([3] KINDERMAN, GERALDO).

O aumento na diferença de potencial ou gradiente de tensão nuvem-terra pode chegar ao ponto de superar a rigidez dielétrica do ar, que é de aproximadamente 3MV/m. Quando isso ocorre, dá-se inicio a um fenômeno chamado de *descarga piloto descendente*, que nada mais é do que a migração das cargas negativas da nuvem para a terra ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

Mantendo-se elevada essa diferença de potencial entre terra e nuvem, a aproximação da *descarga piloto descendente* induz uma *descarga ascendente*. Essa descarga é o deslocamento das cargas positivas da terra tentando encontrar a descarga piloto descendente.

Quando as duas descargas se juntam “Attachment”, conectam o potencial da terra ao da nuvem criando uma *descarga de retorno* que segue o caminho previamente ionizado desde a terra até a nuvem. Só então se origina a descarga principal, de grande intensidade, no sentido da nuvem para a terra ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

A figura abaixo ilustra as etapas de formação da descarga atmosférica que foram descritas acima.

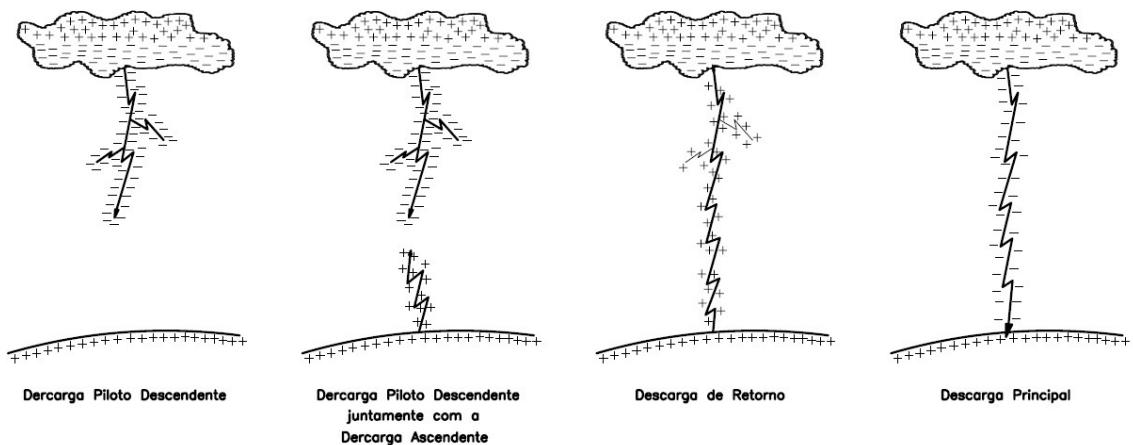


FIGURA 1: Etapas da formação da descarga atmosférica nuvem – solo.

O deslocamento da massa de ar ao redor da descarga principal, devido à altíssima temperatura, é responsável pelo fenômeno que conhecemos como trovão.

Para maiores informações sobre o processo de eletrificação das nuvens ou formação das descargas atmosféricas, podem ser consultadas as referências bibliográficas: [2] MAMEDE FILHO, JOÃO; [3] KINDERMAN, GERALDO; [4] VISACRO FILHO, SILVÉRIO.

5. Características das descargas atmosféricas

5.1. Instrumentos utilizados no estudo das descargas atmosféricas.

Como citado anteriormente, a natureza aleatória e imprevisível das descargas atmosféricas sempre foram fatores que dificultaram seu estudo e pesquisa. Mesmo assim, alguns instrumentos foram criados/idealizados na tentativa de detectar ou medir algumas das características das descargas atmosféricas.

Entre eles podemos citar ([3] KINDERMAN, GERALDO):

Centelhador: é um dispositivo composto de vários centelhadores posicionados com diferentes espaçamentos para medir a amplitude da corrente das descargas atmosféricas.

Caleidográfico: é um dispositivo que usa dos fortes campos eletrostáticos das descargas atmosféricas para induzir tensão em um centelhador que registra espectros em uma película de material fotográfico.

Amperômetro Magnético: é um dispositivo que magnetiza uma pequena placa do material magnético de acordo com a corrente de crista da descarga atmosférica.

Oscilógrafo de Raios Catódicos: é um osciloscópio conectado a um circuito que é sensível a variação do campo eletromagnético da descarga atmosférica.

Fulcronógrafo: é um osciloscópio com memória que armazena os vários instantes da descarga atmosférica em “dentes” magnéticos de uma roda que gira.

Registrador Fotográfico: é uma máquina fotográfica de alta velocidade que grava em sequencia o desenvolvimento da descarga atmosférica.

Ceraunômetro: é um instrumento que conta o número de descargas atmosféricas de acordo com a intensidade e variação dos campos magnéticos. Este instrumento também mede a “inclinação” dos campos magnéticos, o que nos permite concluir se uma descarga ocorreu apenas entre nuvens ou se atingiu o solo.

Indução por Foguetes: uma descarga artificial pode ser induzida lançando-se um foguete que leva com ele até uma altura de 200 a 300 metros do solo um cabo condutor conectado a terra. Esse método “facilita” o processo de

formação da descarga atmosférica, podendo induzir-se várias descargas que serão estudadas com o auxílio de outros equipamentos.

Além da indução de descargas atmosféricas por foguetes, existem estudos de descargas induzidas por meio de raios laser e jatos de água. Segundo o INPE, esses métodos já foram testados em laboratórios com êxito, porém, ainda não comprovaram sua eficácia na atmosfera.

5.2 Forma de onda da descarga atmosférica

Com os dados aquisitados nos inúmeros estudos e pesquisas, foi possível comprovar que a corrente da descarga tem uma única polaridade, isto é, uma só direção. Também foi possível chegar à forma de onda típica de uma descarga atmosférica, conforme mostrado na figura abaixo.

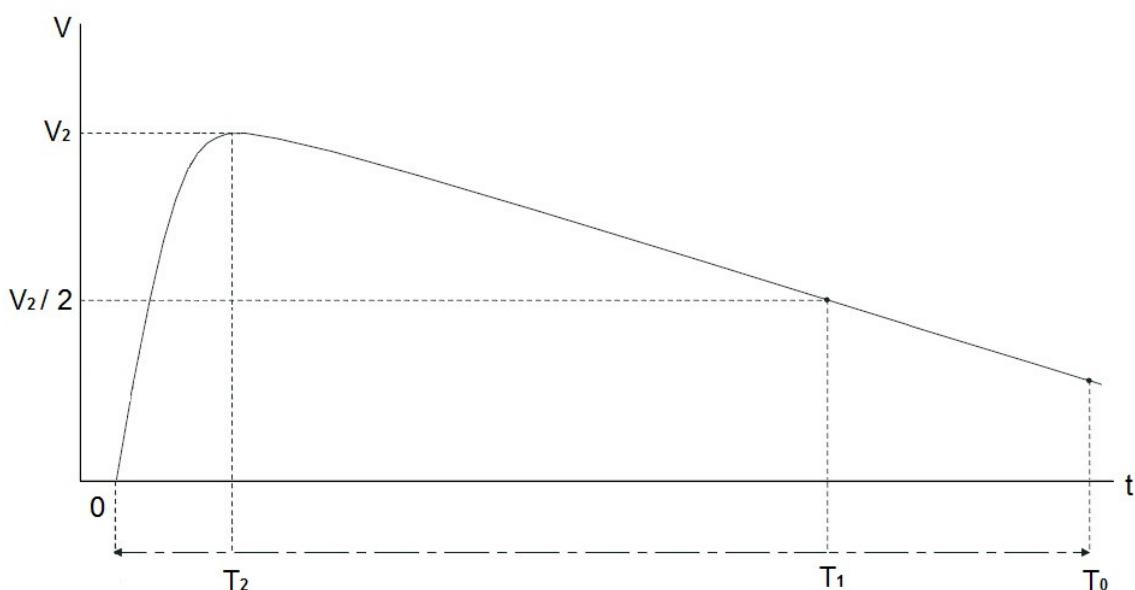


FIGURA 2: Forma de onda típica da tensão de uma descarga atmosférica.

Nela, verificamos que seu valor máximo de tensão V_2 , ou **Valor de Crista**, é atingido no instante T_2 , que pode variar entre 1 e 10 μs e recebe o nome de **Frente de Onda**.

Após o Valor de Crista, a tensão da descarga atmosférica começa a cair, atingindo uma intensidade de 50% de V_2 em um intervalo de tempo T_1 , que varia de 20 a 50 μs e recebe o nome de **Tempo de Meia Cauda**. A tensão então se torna

praticamente zero ao final de T_0 , após um período que pode variar entre 100 e 200 μs e recebe o nome de **Tempo de Cauda**.

A onda de tensão característica da descarga atmosférica foi normalizada com 1,2 μs para o valor de Frente de Onda e 50 μs para o valor do Tempo de Meia Cauda. Essa onda de tensão também é conhecida como onda de 1,2 x 50 μs . Já a onda de corrente da descarga atmosférica foi normalizada com 8 μs para o valor de Frente de Onda e 20 μs para o valor do Tempo de Meia Cauda. Consequentemente, a onda de corrente da descarga atmosférica é conhecida como onda 8 x 20 μs ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

A determinação dos valores típicos de tensão, corrente e tempo é de fundamental importância no dimensionamento dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas ou SPDA.

5.3 Valores da descarga atmosférica

Além dos valores típicos que dizem respeito à forma de onda da tensão e corrente da descarga atmosférica, outras grandezas foram medidas e registradas e estão indicadas na tabela abaixo ([3] KINDERMAN, GERALDO):

TABELA 1: Valores de uma descarga atmosférica.

Corrente	2.000 a 200.000 Ampères
Tensão	100 a 1.000 kV
Duração	70 a 200 μs
Carga elétrica da nuvem	20 a 50 C
Potência liberada	1 a 8 bilhões de kW
Energia	4 a 10 kWh
Tempo de crista	1,2 μs
Tempo de meia calda	50 μs
$di(t)/dt$	5,5 kA/ μs

Ainda de acordo com medições e estudos realizados por investigadores internacionais, ao analisar a curva de probabilidade da magnitude da corrente do raio, podemos dizer que ([3] KINDERMAN, GERALDO):

70% das descargas atmosféricas excedem 10 kA;

50% das descargas atmosféricas excedem 20 kA;

20% das descargas atmosféricas excedem 40 kA;

5% das descargas atmosféricas excedem 80 kA.

6. Orientações para a proteção das pessoas

Nas tempestades, com presença de descargas atmosféricas, algumas pessoas, por pavor, tomam medidas de proteção que muitas vezes não são adequadas. O ideal nesse caso é identificar um abrigo com um sistema de proteção contra descargas atmosférica.

Se isso não for possível, deve-se seguir algumas recomendações que podem salvar a vida de um indivíduo que se encontre em uma situação de perigo ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

- Retire-se da água e evite a posição de nado;
- Na praia, evite caminhar ou deitar na areia e procure abrigo;
- Em um pequeno barco ou jangada, recolha as varinhas de pescar e deite no assoalho da embarcação. Procure local para um desembarque seguro;
- Interrompa partidas esportivas e procure abrigo sob arquibancadas;
- Evite permanecer em picos de morros;
- Operários devem abandonar o topo de construções;
- Evite permanecer sob árvores isoladas. Se não encontrar abrigo, procure um local com maior número de árvores. Não deite no chão, fique agachado e com a cabeça baixa.

7. Verificação da necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

7.1. Introdução

A verificação da necessidade de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas se dá por um cálculo probabilístico descrito na norma NBR-5.419 (normativa ABNT de Sistemas de Proteção contra descargas Atmosféricas, que será posteriormente apresentada), em seu anexo B.

Esse cálculo, que será apresentado a seguir, leva em consideração os seguintes fatores:

- Densidade de descargas atmosféricas para à Terra;
- Número de dias de trovoadas por ano para a área em questão;
- Área de exposição equivalente da edificação.

7.2. Mapa Isoceráunico

O conceito de Mapa Isoceráunico deve ser introduzido antes de darmos início à verificação da necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

Isso porque é através dele que verificamos o número de dias com trovoadas por ano para a área em que se está projetando o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Esse índice, chamado de índice ceráunico, é fundamental para avaliar a necessidade do SPDA.

Na figura a seguir temos o Mapa Isoceráunico do Brasil retirado da norma NBR-5.419.



FIGURA 3: Mapa Isoceráunico do território brasileiro retirado da NBR-5.419.

9.3. A verificação

Para verificar a necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, temos que multiplicar uma série de índices que estão descritos abaixo ([1] ABNT, NBR – 5.419):

Risco de Exposição (N_{da}) da edificação a proteger:

A densidade de descargas atmosféricas ' N_{da} ' que atingem à Terra em uma determinada região ' t ', pode ser dada por:

$$N_{da} = 0,04 \times N_t^{1,25} [\text{km}^2/\text{ano}]$$

Onde N_t é o índice ceráunico da região ‘ t ’, ou número de dias com trovoadas por ano. Esse índice é encontrado no Mapa Isoceráunico, que foi apresentado acima.

Área de Exposição Equivalente (A_e) da edificação:

É definida como a área de captação de uma descarga por uma estrutura normal, sem Sistema de Proteção contra Descarga Atmosférica.

Para exemplificar o conceito de *Área de Exposição Equivalente*, temos a figura abaixo:

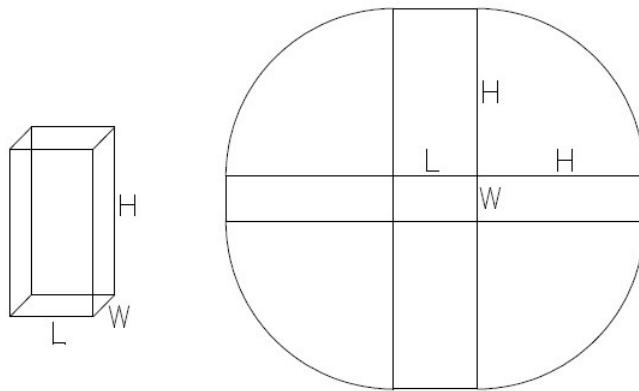


Figura 4: Área de exposição equivalente de uma edificação.

Para obter o índice A_e usamos a seguinte equação:

$$A_e = L \cdot W + 2 \cdot L \cdot H + 2 \cdot W \cdot H + \pi \cdot H^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

Onde: L é o comprimento da estrutura;

W é a largura da estrutura;

H é a altura da estrutura.

Frequência média anual de descargas (N_{pr}) sob uma edificação:

É o número provável de descargas atmosféricas que podem atingir uma determinada edificação em um intervalo de um ano. É obtido pela multiplicação dos índices anteriores, como segue abaixo:

$$N_{pr} = N_{da} \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ [1/ano]}$$

Fatores de ponderação de uma edificação:

Para tomar uma decisão mais segura a respeito da necessidade de se instalar um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas é conveniente calcular a Probabilidade Ponderada de que essa edificação seja atingida.

A Probabilidade Ponderada também leva em conta algumas características da edificação e de arredores, o que dá mais confiabilidade no momento de tomada da decisão. Os fatores de ponderação estão descritos nas tabelas abaixo ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO), ([1] ABNT, NBR - 5419):

TABELA 2: Fator de ocupação da estrutura.

Fator A: Tipo de ocupação da estrutura	Fator A
Casas e outras estruturas de porte equivalente	0,3
Casas e outras estruturas de porte equivalente com antena externa instalada	0,7
Fábricas, oficinas e laboratórios	1,0
Edifícios de escritórios, hotéis e apartamentos, e outros edifícios residenciais não incluídos abaixo	1,2
Locais de afluência de público (como por exemplo igrejas, pavilhões, teatros, museus, exposições, lojas de departamentos, correios, estações, aeroportos e estádios de esportes)	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, estruturas de múltiplas atividades	1,7

TABELA 3: Fator de construção da estrutura.

Fator B: Tipo de construção da estrutura	Fator B
Estruturas de aço revestida com cobertura não metálica*	0,2
Estruturas de concreto armado com cobertura não metálica	0,4
Estruturas de aço revestido ou de concreto armado com cobertura metálica	0,8
Estrutura de alvenaria ou concreto simples com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	1,0
Estrutura de madeira ou revestida de madeira com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	1,4

Estruturas de madeira, alvenaria ou concreto simples com cobertura metálica	1,7
Qualquer estrutura com teto de palha	2,0
*Estruturas de metal aparente que sejam contínuas, até o nível do solo estão excluídas desta tabela, porque requerem apenas um subsistema de aterramento.	

TABELA 4: Fator de conteúdo e efeitos indiretos da estrutura.

Fator C: Conteúdo da estrutura e efeitos indiretos	Fator C
Residências comuns, edifícios de escritórios, fabricas e oficinas que não contenham objetos de valor ou particularmente suscetíveis a danos	0,3
Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos particularmente suscetíveis a danos	0,8
Subestações de energia elétrica, usinas de gás, centrais telefônicas, estações de rádio	1,0
Indústrias estratégicas, monumentos antigos, prédios históricos, museus, galerias de arte e outras estruturas com objetos de valor especial	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, locais de afluência de público	1,7

TABELA 5: Fator de localização da estrutura.

Fator D: Localização da estrutura	Fator D
Estrutura localizada em uma grande área contendo estruturas ou árvores da mesma altura ou mais altas (como por exemplo florestas ou grandes cidades)	0,4
Estrutura localizada em uma área contendo poucas estruturas ou árvores de altura similar	1,0
Estrutura completamente isolada, ou que ultrapassa, no mínimo, duas vezes a altura de estruturas ou árvores próximas	2,0

TABELA 6: Fator de topografia e região da estrutura.

Fator E: Topografia da região	Fator E
Planície	0,3
Elevações moderadas, colinas	1,0
Morros entre 300 m e 900 m	1,3
Morros acima de 900 m	1,7

O Fator de probabilidade ponderada (P_0), será então o resultado da multiplicação da Frequência média anual de descargas (N_{pr}) por todos os Fatores de ponderação, como apresentado abaixo:

$$P_0 = N_{pr} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E [1/\text{ano}]$$

7.4. Interpretação dos resultados

O Fator de Probabilidade Ponderada (P_0) nos fornece o número de descargas que atingirão a edificação no período de um ano. A comunidade técnica internacional reconhece os seguintes limites de probabilidade ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO), ([1] ABNT, NBR – 5.419):

- Riscos maiores de 10^{-3} são inadmissíveis e, portanto, existe a necessidade de instalação de um SPDA.
- Riscos menores de 10^{-5} representam um valor aceitável e não há necessidade de instalação de um SPDA.
- No caso de riscos entre 10^{-5} e 10^{-3} a instalação de um SPDA vai de acordo com a conveniência do usuário.

É importante mencionar que a constatação da não necessidade de instalação de um SPDA não garante que a estrutura nunca será atingida por uma descarga atmosférica. Na óptica da segurança e proteção da vida humana, não é tolerável o convívio com nenhum risco que possa ser evitado.

8. Níveis de proteção

Detectada a necessidade de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, o próximo passo será determinar o *Nível de Proteção* dessa edificação. Isso é de fundamental importância, já que o conteúdo da edificação a proteger altera o rigor das medidas de proteção que pode variar do mais alto nível (nível I) ao mais baixo (nível IV).

Em linhas mais gerais, o nível de proteção de um SPDA está ligado à eficiência desse sistema ou à probabilidade de ele proteger o volume em questão. A seguir, temos uma descrição mais completa do que contempla cada um dos níveis de proteção ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO):

Nível I: Nível de proteção mais rigoroso e seguro. Usado em estruturas de serviços estratégicos ou que apresentam risco para os arredores.

Nível II: Edificação com bens de grande valor ou que abriga um grande número de pessoas. Não representa risco para estruturas adjacentes.

Nível III: Edificação de uso comum.

Nível IV: Nível de proteção mais baixo. Usado em estruturas raramente ocupadas por pessoas e que não armazenam material combustível.

A tabela B.6, retirada da norma NBR-5.419 (normativa ABNT de Sistemas de Proteção contra descargas Atmosféricas, que será posteriormente apresentada), classifica as estruturas quanto ao nível de proteção necessário ou indicado para cada uma delas.

TABELA 7: Classificação do nível de proteção de diferentes edificações.

Classificação da Estrutura	Tipo da Estrutura	Efeito das Descargas Atmosféricas	Nível de Proteção
Estruturas comuns	Residências	Perfuração da isolação de instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio.	III

	Fazendas, estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas. Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de morte para animais devido à perda de controles eletrônicos de ventilação, suprimento de alimentação e outros.	III ou IV
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas e igrejas	Danos às instalações elétricas e possibilidade de pânico. Falha do sistema de alarme contra incêndio, causando atraso no socorro.	II
	Bancos, companhias de seguros, companhias comerciais e outros	Como anteriormente, além de efeitos indiretos com a perda de comunicações, falhas dos computadores e perda de dados.	II
	Hospitais, casas de repouso e prisões	Como para escolas, além de efeitos indiretos para pessoas em tratamento intensivo e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas.	II
	Indústrias	Efeitos indiretos, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção.	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível.	II
Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicação, usinas elétricas, indústrias	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo. Risco indireto para as imediações devido a incêndios.	I
Estruturas com risco para os arredores	Refinarias, postos de combustível, fábricas de fogos, fábricas de munições	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores.	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios químicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com consequências perigosas para o local e para o meio ambiente.	I

9. O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

9.1. Introdução

Um bom Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), deve captar a descarga que atingiria um volume de proteção, conduzi-la em segurança pela edificação e dissipá-la na terra. A descarga conduzida e dissipada com segurança significa a proteção dos ocupantes e da edificação em que o SPDA está instalado.

Como as descargas atmosféricas podem apresentar diferentes características ou peculiaridades, nenhum Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas garante 100% de eficácia na proteção, muito embora esse índice possa chegar próximo a 98% no nível de proteção I ([3] KINDERMAN, GERALDO).

É importante lembrar também que a proteção de computadores, controladores, telefonia e equipamentos eletrônicos em geral não é responsabilidade do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Para isso, deve ser contratado um projeto de proteção adicional com supressores de surto para cada um dos equipamentos, pois a condução da descarga pela edificação produz uma forte interferência eletromagnética.

9.2. A norma regulamentadora brasileira

A norma *NBR-5.419 – Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas* da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a responsável por regulamentar todos os aspectos que envolvem o dimensionamento, instalação e manutenção de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas – SPDA.

Todo projeto de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas realizado no Brasil tem a obrigação de atender, no mínimo, o que é exigido pela NBR-5.419. Existem, é claro, estruturas especiais e que requerem medidas de proteção adicionais que não estão descritas nessa norma.

Segue abaixo o objetivo da NBR-5.419, que foi retirado da própria norma com o intuito de esclarecer melhor o que ela realmente contempla.

1. Objetivo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) de estruturas (definidas

em 1.2), bem como de pessoas e instalações no seu aspecto físico dentro do volume protegido.

1.2 Esta Norma aplica-se às estruturas comuns, utilizadas para fins comerciais, industriais, agrícolas, administrativos ou residenciais, e às estruturas especiais previstas no anexo A.

1.3 Esta Norma não se aplica a:

- a) sistemas ferroviários;
- b) sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica externos às estruturas;
- c) sistemas de telecomunicação externos às estruturas;
- d) veículos, aeronaves, navios e plataformas marítimas.

1.4 Esta Norma não contempla a proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra interferências eletromagnéticas causadas pelas descargas atmosféricas.

1.5 A aplicação desta Norma não dispensa a observância dos regulamentos de órgãos públicos aos quais a instalação deva satisfazer.

(retirado da NBR-5419 – *Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas*)

9.3. O custo da não proteção

Como apresentado no Capítulo 3 deste trabalho, o Brasil é um dos países mais atingidos por descargas atmosféricas em todo o mundo. Também tem o maior número relativo de vítimas e sofre mais prejuízos financeiros do que a maioria dos países ([6] ELAT, INPE).

Negligenciar a importância de um bom Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas expõe a edificação ao risco constante de ser atingido por uma descarga atmosférica. Os prejuízos dessa decisão vão desde a perda de equipamentos e parada no processo produtivo até a perda de vidas que poderiam ser poupadadas.

A obrigatoriedade de instalação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas normalmente é dada por meio de leis municipais. Apesar disso, ela também consta de forma indireta no *Código de Defesa do Consumidor* (Cap. III, Art. 6º) e na *NR-10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade* (item 10.2.4 b) para instalações com potência superior a 75 kW.

9.4. O SPDA isolado

Quando um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas é fisicamente isolado do volume de proteção ele recebe o nome de SPDA Isolado. Essa configuração não é muito comum e, como exemplo, pode-se citar uma torre munida de um SPDA protegendo uma edificação que está ao seu lado, respeitando, porém uma distância mínima de 2,0 metros.

O principal objetivo de se projetar um SPDA isolado é fazer com que o captor e os condutores de descida estejam suficientemente afastados do volume de proteção reduzindo assim a probabilidade de centelhamento perigoso ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

Lembrando que a configuração mais utilizada é o SPDA não isolado, que é instalado sobre o volume de proteção.

10. Elementos que compõem um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas - SPDA.

10.1. Introdução

Um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas é composto por três subsistemas, sendo eles ([4] VISACRO FILHO, SILVÉRIO):

- Subsistema de captação;
- Subsistema de distribuição de corrente;
- Subsistema de aterramento.

Cada um desses subsistemas contém elementos que desempenham diferentes funções como veremos a seguir.

Na figura abaixo temos exemplos dos elementos que compõe um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas:

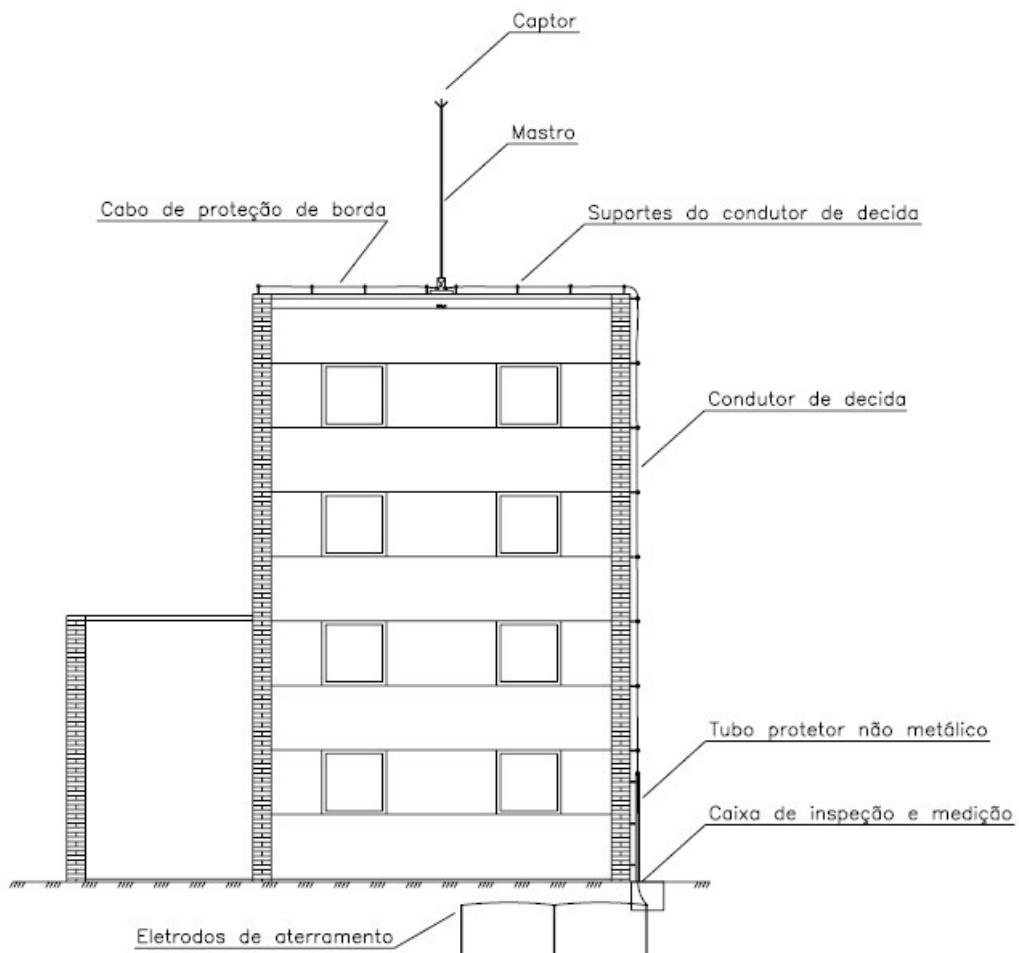


FIGURA 5: Elementos que compõe um SPDA.

10.2. Captor

O captor é o elemento que recebe o impacto direto da descarga atmosférica. É pelo captor que a descarga atmosférica “entra” no SPDA e é conduzida a terra sem atingir diretamente o volume de proteção. Os captores podem ser divididos em captores naturais e captores não naturais.

Um captor não natural é um elemento metálico normalmente na forma de uma haste vertical, cabo horizontal ou elemento desenhado especificamente para este fim, como é o caso do captor tipo Franklin que é geralmente composto por uma ponteira metálica de três pontas ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

Já os captores naturais são elementos metálicos que estão potencialmente expostos às descargas atmosféricas. Tanques, tubos, telhas e treliças metálicas com espessura superior a 0,5 mm são considerados captores naturais de uma edificação.

Segundo a NBR-5.419, a secção mínima para os captores não naturais é a seguinte:

TABELA 8: Secção mínima dos captores.

Material	Secção
Cobre	35 mm ²
Alumínio	70 mm ²
Aço galvanizado	50 mm ²

10.3. Condutor de descida

O condutor de descida leva a corrente da descarga atmosférica do captor para ser dissipada na terra. Ele deve passar por toda a edificação de um modo seguro para que não cause efeitos secundários perigosos como centelhamento lateral e indução de corrente em condutores próximos ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

O condutor de descida também pode ser natural ou não natural.

Um condutor de descida não natural é um elemento com condutividade mínima de 98%, que traça um percurso retilíneo e vertical, ligando o captor a terra pelo menor percurso possível e fixado na edificação no mínimo a cada 2 metros ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

O espaçamento máximo entre os condutores de descida depende do nível de proteção adotado para a edificação e segundo a NBR-5.419 deve ser o seguinte:

TABELA 9: Espaçamento entre os condutores de descida.

Nível de Proteção	Espaçamento (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Um condutor de descida natural é um elemento condutor próprio da edificação que deve atender a alguns pré-requisitos ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO):

- secção mínima correspondente a da NBR-5.419;
- comprovação da continuidade elétrica entre seus dois pontos extremos;
- o aço embutido na estrutura de concreto armado pode ser utilizado desde que a conexão entre as barras seja soldada, reforçada com arame torcido e esteja sobreposta no mínimo em 20 vezes o valor de seu diâmetro;
- tubulações metálicas podem ser usadas desde que não transportem material inflamável (gás ou óleo, por exemplo);
- o aço de concreto protendido não pode ser usado como condutor natural;

Além de atender aos pré-requisitos mencionados acima, ao substituir os condutores de descida não naturais por condutores naturais da edificação, recomenda-se o uso de um cabo ou barra metálica adicional nos pilares da edificação com a função de concentrar nele a maior parte da corrente de descarga.

Segundo a NBR-5.419 a secção mínima dos condutores de descida é a seguinte:

TABELA 10: Secção mínima de condutores de descida.

Material	Secção para estruturas de até 20 metros	Secção para estruturas maiores do que 20 metros
Cobre	16 mm ²	35 mm ²
Alumínio	25 mm ²	70 mm ²
Aço galvanizado	50 mm ²	50 mm ²

10.4. Anel de equipotencialização

A NBR-5.419 prevê que devem ser instalados anéis de equipotencialização ao redor de uma edificação, dependendo de sua altura.

O primeiro anel que está previsto pela norma é o que interliga todas as descidas e hastes de aterramento que estão ao redor da edificação a proteger. O anel dever ser feito por um cabo de cobre nu enterrado a aproximadamente 0,5 metro de profundidade. Na impossibilidade de realizar esse anel, um outro deve ser previsto a uma altura não maior do que 4 metros acima do nível do solo ([1] ABNT, NBR – 5.419).

Para interceptar as descargas laterais e dividir a corrente da descarga entre as diversas descidas, a norma também prevê um anel de equipotencialização a cada 20 metros de altura, contando a partir do nível do solo. Este anel pode estar embutido no reboco da edificação, mas é de fundamental importância que ele esteja na face exterior da mesma.

A figura abaixo exemplifica a disposição dos anéis de equipotencialização que devem existir em uma estrutura a proteger:

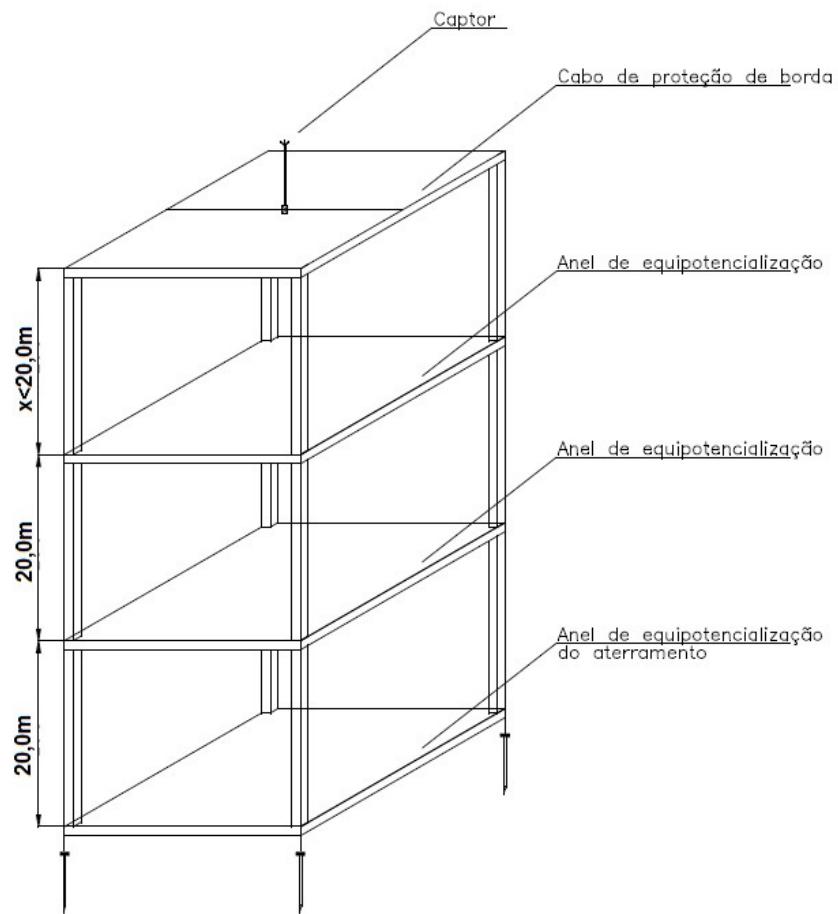


Figura 6: Exemplo da disposição dos anéis de equipotencialização.

O uso dos elementos naturais da edificação como condutores de descida supre a necessidade dos anéis de equipotencialização, segundo item 5.1.2.5.6., da NBR-5.419.

Segundo a NBR-5.419, a secção mínima dos condutores do anel de equipotencialização é a seguinte:

TABELA 11: Secção mínima dos condutores do anel de equipotencialização.

Material	Secção do anel de equipotencialização
Cobre	35 mm ²
Alumínio	70 mm ²
Aço galvanizado	50 mm ²

10.5. Cabo de proteção de borda

É recomendável que nas arestas superiores da edificação a proteger sejam instalados cabos de proteção de borda ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO). Este cabo deve circular ao redor de toda a edificação interligando captores (caso estejam previstos) e o maior número de descidas possível.

A função deste cabo de proteção de borda é atuar tanto como captor quanto anel de equipotencialização, dividindo a corrente da descarga no maior número de descidas possível. Considerando o cabo de proteção de borda como um captor, temos que sua secção mínima, segundo a NBR-5.419, deve ser:

TABELA 12: Secção mínima dos condutores do cabo de proteção de borda.

Material	Secção do cabo de proteção de borda
Cobre	35 mm ²
Alumínio	70 mm ²
Aço galvanizado	50 mm ²

10.6. Ligações Equipotenciais

A ligação equipotencial principal (LEP) é o nome dado a barra condutora que interliga os diversos elementos da edificação listados abaixo:

- Eletrodos e malhas de aterramento;
- Aço das estruturas de concreto armado;
- Trilhos de elevadores;
- Anel de equipotencialização;
- Condutores de descida;
- Condutor neutro, quando disponível;
- Condutor terra de proteção;
- Blindagens;
- Canos metálicos;
- Bandejas metálicas;

Seu objetivo é equalizar os diferentes potenciais que podem surgir quando uma edificação é atingida por uma descarga atmosférica. Esse é um dos modos mais

eficientes de se proteger o interior de uma edificação reduzindo os riscos de choques, incêndios e explosões ([2] MAMEDE FILHO, JOÃO).

A caixa de inspeção contendo a ligação equipotencial principal (LEP) deve ser localizada na parte mais baixa da edificação (no subsolo quando possível) e de maneira a possibilitar um fácil acesso para manutenção. Em edificações de grande porte é possível encontrar mais de uma LEP, sendo que estas devem estar devidamente conectadas.

Segundo a NBR-5.419, a secção mínima dos condutores de equipotencialização deve ser:

TABELA 13: Secção mínima dos condutores de equipotencialização.

Material	Secção para condutor de equipotencialização
Cobre	16 mm ²
Alumínio	25 mm ²
Aço galvanizado	50 mm ²

10.7. Aterramento.

O aterramento é o responsável por dissipar a corrente da descarga atmosférica no solo. Para fazer isso de forma segura ele deve oferecer o mínimo de resistência possível e se espalhar de forma homogênea, evitando assim diferenças de potencial muito alta ao redor do volume a proteger.

Por resistência de aterramento, devemos entender a relação da tensão medida entre o eletrodo e o terra remoto pela corrente injetada nesse eletrodo. A NBR-5.419 não indica um valor como sendo o máximo valor admissível e sim aponta 10Ω como um bom valor a ser trabalhado, suficiente para evitar sobretensões e centelhamento perigoso em estruturas normais.

A composição de um aterramento é dada basicamente por materiais condutores no formato de hastes, cabos, encanamentos, anéis e até mesmo a própria armação de aço presente na fundação da edificação que se deseja proteger. Todos esses elementos devem ser devidamente conectados e imersos na terra para formarem juntos a malha de aterramento da edificação.

Os elementos que compõem o sistema de aterramento também podem ser divididos entre naturais e não naturais.

Os elementos de aterramento não naturais são normalmente cabos e eletrodos tipo hastas vertical, horizontal ou inclinada (haste de Copperweld). Ao executar um aterramento desse tipo, deve-se atentar a algumas distâncias que devem ser respeitadas:

- As hastas devem estar a uma distância mínima de 1 metro da fundação da edificação;
- As hastas devem respeitar um afastamento mínimo entre elas igual ao comprimento da própria haste. Essa medida visa reduzir o efeito de indutância mútua, o que acarretaria no aumento da resistência de aterramento em uma situação de condução de corrente ([4] VISACRO FILHO, SILVÉRIO).

Como elemento de aterramento natural, pode-se usar a armação de aço das fundações ou encanamentos metálicos que estejam enterrados ao redor da edificação a proteger. No caso do uso das fundações de uma estrutura, apesar do aço estar envolvido por uma camada de concreto, a característica higroscópica (tendência a absorver umidade) do mesmo o deixa com um valor de resistência considerado baixo, criando assim um aterramento de boa qualidade ([4] VISACRO FILHO, SILVÉRIO).

11. Filosofias de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

11.1. Introdução

Basicamente existem duas filosofias de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, cada uma utilizando de uma diferente técnica de proteção: a *Filosofia de captores tipo Franklin* e a *Filosofia da Gaiola de Faraday* ([4] VISACRO FILHO, SILVÉRIO).

Características físicas da edificação (altura, materiais de construção utilizados, conteúdo etc.) são elementos decisivos no processo de escolha de qual será a filosofia que garantirá maior proteção alinhada a um menor custo.

A tabela abaixo foi retirada da NBR-5.419 e apresenta a filosofia de proteção mais adequada, levando em conta a altura da edificação a proteger.

TABELA 14: Filosofia de proteção segundo a altura da edificação.

Nível de Proteção	Raio de atração ou raio da esfera rolante para o Modelo Eletrogeométrico de Incidência (EGM)	Filosofia Franklin					Filosofia da Gaiola de Faraday
		h = 0 - 20m	h = 21 - 30m	h = 31 - 45m	h = 46 - 60m	h = > 60m	
I	20m	25°	obs. 1	obs. 1	obs. 1	obs. 2	5 x 10m
II	30m	35°	25°	obs. 1	obs. 1	obs. 2	10 x 20m
III	45m	45°	35°	25°	obs. 1	obs. 2	10 x 20m
IV	60m	55°	45°	35°	25°	obs. 2	20 x 40m

Observação 1: Utilizar Modelo Eletrogeométrico de incidência ou Gaiola de Faraday.
Observação 2: Utilizar apenas Gaiola de Faraday.

11.2. Filosofia de captores tipo Franklin

A filosofia dos captores tipo Franklin se fundamenta no princípio de que uma descarga piloto descendente pode ser interceptada por uma descarga ascendente iniciada a partir de um dos captores instalados na edificação ([4] VISACRO FILHO,

SILVÉRIO). Estes captores podem ser hastes, cabos ou elementos naturais, como foi apresentado anteriormente. Dessa maneira, a circulação da corrente de descarga se daria pelos condutores previstos no SPDA, não atingindo assim o volume que se deseja proteger.

A figura abaixo ilustra uma edificação momentos antes de ser atingida por uma descarga atmosférica. Note a concentração de cargas elétricas na base da edificação migrando para o captor localizado no topo da mesma. Também se pode observar a descarga ascendente, que foi induzida pelo líder descendente, partindo do captor localizado no topo da edificação.

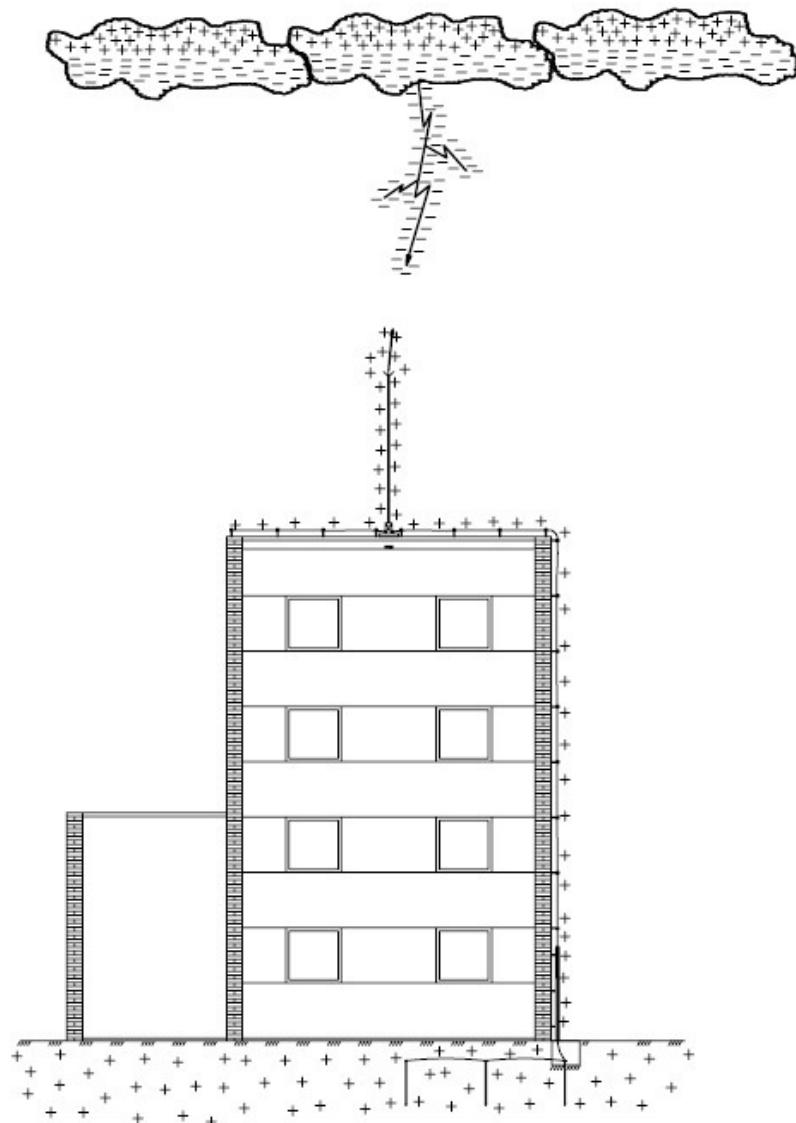


Figura 7: Edificação momentos antes de ser atingida por uma descarga atmosférica.

Ainda dentro da própria *Filosofia de captores tipo Franklin*, existem dois modelos de incidência que determinam duas áreas de proteção diferentes para um mesmo captor, sendo elas: *Ângulo de Proteção* e *Raio de Atração*.

A diferença entre essas duas áreas de proteção se dá em função do rigor em sua determinação. O método do ângulo de proteção não é eficaz em edificações de altura elevada, pois desconsidera a hipótese de uma descarga lateral. Nesse caso o aconselhável é determinar a área de proteção utilizando o método do raio de atração.

Abaixo serão fornecidos mais detalhes a respeito dos métodos apresentados para determinação da área de proteção de um captor.

11.2.1. Ângulo de Proteção

O método do ângulo de proteção (ou ângulo de blindagem) é mais comumente utilizado devido à facilidade em determinar-se o volume de proteção. De acordo com o nível de proteção e altura do captor é determinado um ângulo de proteção que parte do captor, “roda” em torno da edificação e forma um cone. Qualquer descarga que poderia atingir esse cone é interceptada pelo SPDA.

A figura abaixo ilustra melhor o conceito de ângulo de proteção:

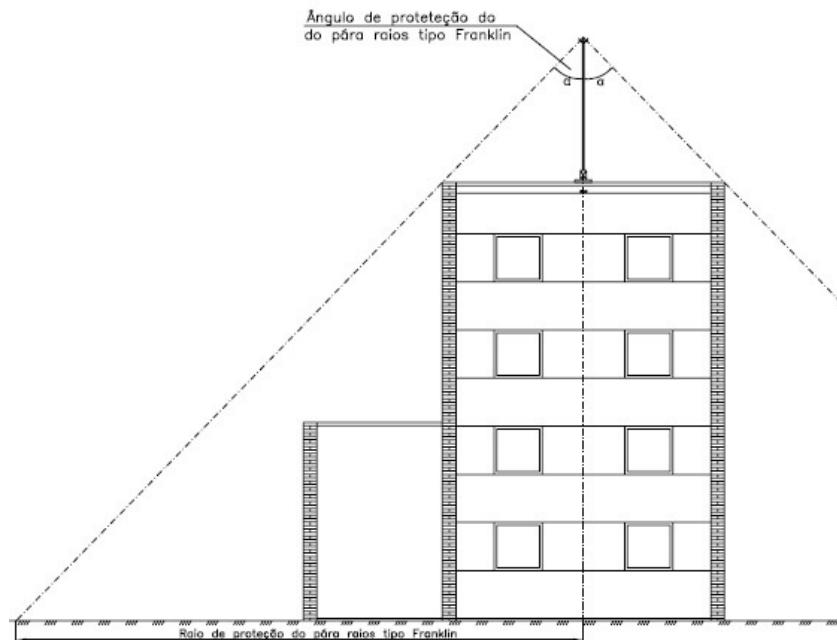


Figura 8: Ângulo de proteção de um captor.

11.2.2. Raio de Atração ou Método Eletrogeométrico

O conceito de raio de atração (R_a) é um pouco mais abstrato porque trata da distância estimada em que a conexão da descarga descendente e ascendente ocorreria com grande probabilidade.

Dessa forma, os captores são posicionados de uma maneira em que qualquer líder descendente que surja nas imediações do volume de proteção estaria distando R_a metros de um captor e uma distância maior do que R_a metros de qualquer parte da edificação. Dessa forma, o líder descendente só se conectararia a descarga ascendente através de um dos captores do SPDA ([4] VISACRO FILHO, SILVÉRIO).

Existe uma maneira mais ilustrativa de como avaliar a proteção de uma edificação segundo o conceito de raio de atração (R_a). Utilizando o método das esferas rolantes, imaginamos uma esfera de raio (R_a) rolando sobre a edificação. Cada um dos pontos tocados pela esfera representam um ponto exposto a incidência de uma descarga atmosférica.

A figura abaixo ilustra uma esfera de raio (R_a) rolando sobre uma edificação:

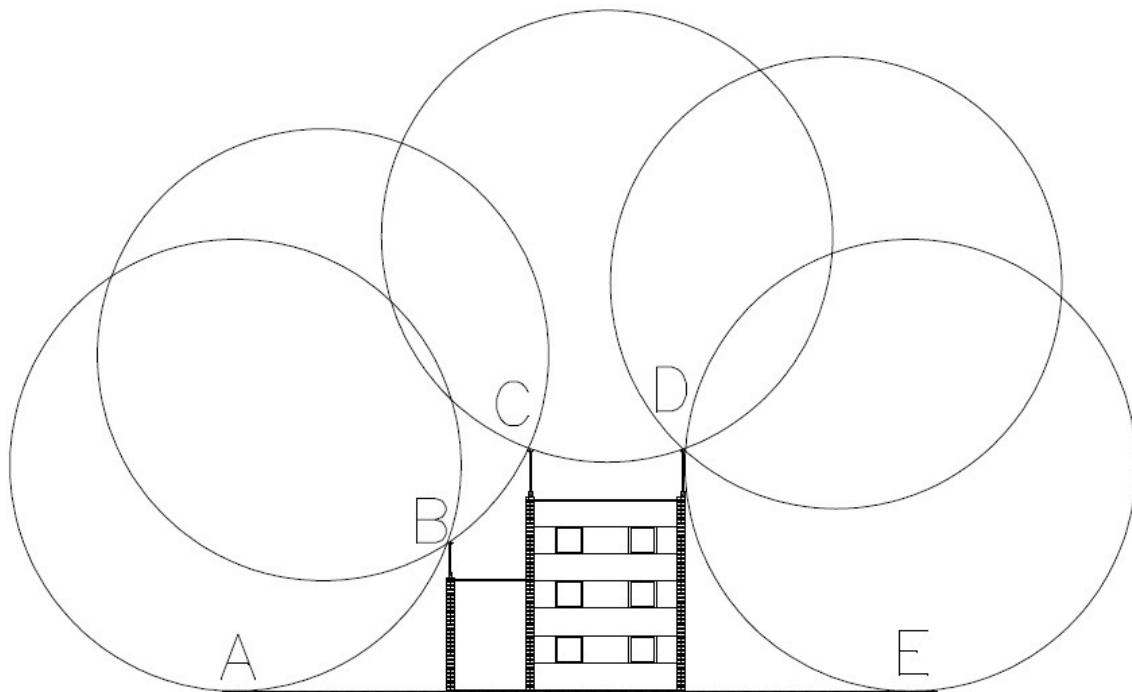


Figura 9: Esfera rolando sobre uma edificação.

Observamos que a esfera toca somente os pontos 'A', 'B', 'C', 'D' e 'E', formando uma região fechada que representa a área de proteção dos captores 'B', 'C' e 'D'.

Os captores ‘C’ e ‘D’ poderiam ainda ser menores do que apresentado no esquema acima, porém normalmente se deve prever a instalação de antenas no topo das edificações.

O raio de atração R_a ou raio da esfera rolante é ditado pela NBR-5.419, segundo o nível de proteção adotado, como apresentado na tabela abaixo:

Tabela 15: Raio de atração R_a para os níveis de proteção.

Nível de Proteção	Raio de atração R_a
I	20m
II	30m
III	45m
IV	60m

11.3. Filosofia da Gaiola de Faraday

Essa filosofia recebe o nome de seu idealizador, o físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867). Em seus experimentos Faraday descobriu que envolvendo um volume por uma gaiola metálica, este ficava blindado do efeito de campos eletromagnéticos.

Aterrando a Gaiola de Faraday observa-se que qualquer descarga ascendente induzida por um líder descendente se dá por uma das partes metálicas da gaiola. A corrente da descarga circula apenas pela gaiola, protegendo tudo o que está no interior da mesma ([4] VISACRO FILHO, SILVÉRIO).

Para garantir a eficiência deste método de proteção, deve-se respeitar o limite de tamanho máximo dos módulos (reticulados) da gaiola tanto na parte superior como na lateral da edificação. Também se deve garantir que nenhuma parte da edificação “vaze” para fora da superfície formada pela Gaiola de Faraday.

Segundo a NBR-5.419, o tamanho máximo dos módulos que compõe a Gaiola de Faraday deve ser o seguinte:

Tabela 16: Tamanho máximo dos módulos de proteção da Gaiola de Faraday.

Nível de Proteção	Tamanho máximo do módulo
I	5x10m
II	10x20m
III	10x20m
IV	20x40m

Como secção mínima dos condutores que compõem a Gaiola de Faraday será adotada o mesmo critério dos captores, já que a gaiola está sujeita a incidência direta de uma descarga atmosférica.

Tabela 17: Secção mínima dos condutores que compõe a Gaiola de Faraday.

Material	Secção
Cobre	35 mm ²
Alumínio	70 mm ²
Aço galvanizado	50 mm ²

É válido mencionar que algumas vezes são utilizadas hastes verticais curtas (10 a 30 cm) na parte superior da gaiola. Essas hastes são tidas como opcionais e não modificam o desempenho do sistema.

Sobre a utilização desse método de proteção, tem-se que ele é preferencialmente adotado em estruturas que ocupam áreas extensas e é o único aceito pela NBR-5.419 para proteger estruturas com altura superior a 60 m de altura.

11.4. Sistemas híbridos

Aos sistemas de proteção que utilizam uma mescla das duas filosofias apresentadas acima, dá-se o nome de *sistema híbrido* ([4] VISACRO FILHO, SILVÉRIO).

Na proteção de uma edificação como um prédio comercial ou residencial temos o uso predominante da *Gaiola de Faraday*. Porém, a proteção através de uma gaiola “pura” raramente pode ser implementada, já que na cobertura desses prédios muitas vezes encontramos corpos elevados como caixas d’água, chaminés, antenas e outros. Assim, complementa-se a proteção provida pela Gaiola de Faraday com um captor tipo Franklin, disposto no topo da edificação. Esse captor é conectado aos cabos de proteção de borda, módulos da Gaiola de Faraday e a todas as descidas disponíveis.

12. Inspeções do SPDA.

A NBR-5.419 prevê que todo SPDA deve passar por inspeções periódicas a fim de verificar se ele se encontra em perfeito estado e de acordo com o que foi projetado.

Na fase de construção deve-se verificar:

1. Correta instalação das hastes de aterramento;
2. Cumprimento das condições para utilização das armaduras como integrantes naturais do SPDA;
3. Valor da resistência de aterramento e o arranjo dos eletrodos (exceto quando se usa a fundação como sistema de aterramento).

Ao término da instalação do SPDA e em períodos não superiores ao definido, a seguir deve-se verificar:

1. Conformidade do SPDA com o projeto original;
2. Integridade de todos os componentes utilizados;
3. Valor da resistência de aterramento (exceto quando se usa a fundação como sistema de aterramento).

A cada:

- 5 anos para estruturas normais sem risco de explosão;
- 3 anos para estruturas com grande concentração de público ou indústrias que contém risco de explosão ou armazenem material inflamável;
- 1 ano para estruturas contendo munições ou explosivos ou que estejam em ambiente expostos a corrosão atmosférica severa.

Toda inspeção deve também ser devidamente documentada e arquivada ([1] ABNT, NBR – 5.419).

13. Metodologia de projeto de um SPDA.

O desenvolvimento do projeto de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas pode ser dividido em etapas como as que serão apresentadas a seguir:

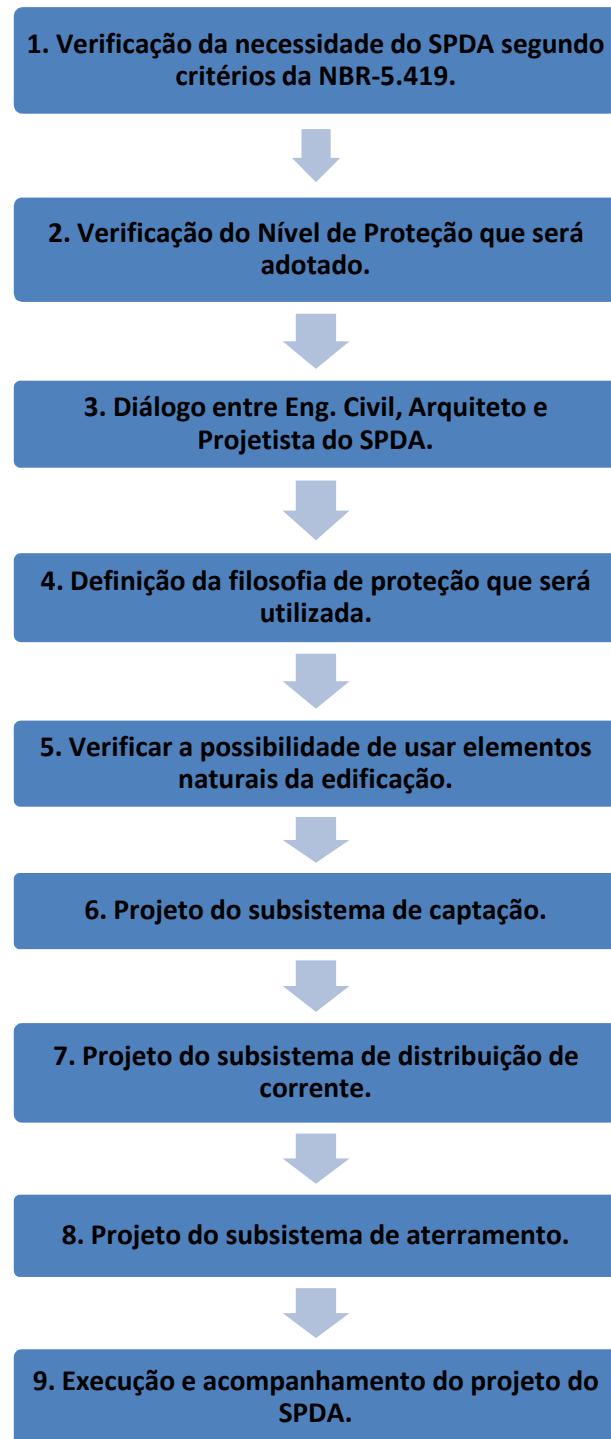


Figura 10: Fluxograma com os passos para realização do projeto de um SPDA.

Como exemplo prático de aplicação desta metodologia, utilizaremos o edifício residencial “Campinas”, localizado na cidade de Ribeirão Preto-SP.

Todos os blocos apresentados anteriormente serão “abertos” em tópicos, apresentando o porquê das escolhas que foram feitas. Posteriormente, no Capítulo 16 desta obra, será apresentado o projeto do SPDA do edifício “Campinas” baseando-se nas escolhas que foram feitas ao aplicar esta metodologia.

13.1. Necessidade do SPDA segundo critérios da NBR-5.419.

O anexo “B” da NBR-5.419 apresenta um cálculo probabilístico para determinar a necessidade de instalação de um SPDA. Ele leva em conta o local onde a edificação será construída, bem como aspectos físicos da edificação e de seus arredores.

Seguiremos com o cálculo da necessidade do SPDA, assim como foi apresentado no Capítulo 7 desta obra.

Risco de Exposição (N_{da}) da edificação a proteger:

Em Ribeirão Preto-SP: $N_t = 40$ [dias com trovoadas/ano]

$$N_{da} = 0,04 \times 40^{1,25} \text{ [descargas por km}^2\text{/ano]}$$

$$N_{da} = 4,02 \text{ [descargas por km}^2\text{/ano]}$$

Área de Exposição Equivalente (A_e) da edificação:

$$A_e = 23,5 \cdot 12,53 + 2 \cdot 23,5 \cdot 50,71 + 2 \cdot 12,53 \cdot 50,71 + \pi \cdot 50,71^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_e = 12027,00 \text{ [m}^2\text{]}$$

Frequência média anual de descargas (N_{pr}) sobre uma edificação:

$$N_{pr} = 4,02 \cdot 12027 \times 10^{-6} \text{ [descargas por ano]}$$

$$N_{pr} = 4,83 \times 10^{-2} \text{ [descargas por ano]}$$

Fatores de ponderação da edificação:

Tabela 18: Fatores de ponderação utilizados no edifício “Campinas”.

Fator A: Tipo de ocupação da estrutura	Fator A
Edifícios de escritórios, hotéis e apartamentos, bem como outros edifícios residenciais não incluídos abaixo.	1,2
Fator B: Tipo de construção da estrutura	Fator B
Estruturas de concreto armado com cobertura não metálica.	0,4
Fator C: Conteúdo da estrutura e efeitos indiretos	Fator C
Residências comuns, edifícios de escritórios, fábricas e oficinas que não contenham objetos de valor ou particularmente suscetíveis a danos.	0,3
Fator D: Localização da estrutura	Fator D
Estrutura localizada em uma grande área contendo estruturas ou árvores da mesma altura ou mais altas (como, por exemplo, florestas ou grandes cidades).	0,4
Fator E: Topografia da região	Fator E
Elevações moderadas ou colinas.	1,0

Fator de probabilidade ponderada (P_0)

$$P_0 = 4,83 \times 10^{-2} \cdot 1,2 \cdot 0,4 \cdot 0,3 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \text{ [descargas por ano]}$$

$$P_0 = 2,784 \times 10^{-3} \text{ [descargas por ano]}$$

Interpretando este resultado segundo a NBR-5.419, temos a obrigatoriedade da instalação do SPDA neste edifício.

É importante mencionar que mesmo a obrigatoriedade não sendo constatada segundo os critérios da NBR-5.419, seria, com certeza, constatada pela NR-10. Este edifício, por conter mais de 50 apartamentos, certamente tem potência instalada superior a 75 kW.

Além disso, o projetista do SPDA deve sempre ter em mente que, por se tratar de um sistema de proteção à vida e ao patrimônio, a instalação do SPDA deve ser sempre recomendada, independentemente de qualquer situação.

13.2. Verificação do Nível de Proteção que será adotado.

Segundo o que foi apresentado no Capítulo 8 desta obra, temos que, para um edifício estritamente residencial, o nível de proteção indicado pela NBR-5.419 é o III.

É claro que este nível é o padrão mínimo exigido pela norma. Vai de acordo com o projetista do SPDA e com o proprietário da obra decidir se é necessário adotar um nível de proteção mais rigoroso. Edifícios residenciais de alto padrão podem utilizar nível de proteção II já que possuem um orçamento maior.

13.3. Diálogo entre Eng. Civil, Arquiteto e Projetista do SPDA.

Esta é uma etapa muito importante do projeto do SPDA já que, quanto mais integrado a edificação, maior costuma ser sua eficiência.

Além disso, pode ser encontrado um compromisso entre proteção e manutenção da boa aparência do edifício. Não é necessária uma intervenção drástica do SPDA para garantir proteção à edificação.

13.4. Definição da filosofia de proteção que será utilizada.

Para proteger o edifício “Campinas”, foi escolhida a filosofia de proteção do tipo híbrida, que é explicada no Capítulo 11 desta obra.

A escolha foi feita considerando que o uso exclusivo de captores do tipo Franklin no topo da edificação não interceptariam adequadamente as descargas laterais. Então, tratando-se de um edifício com cerca de 50,0 metros de altura, faz-se necessário o auxílio de uma Gaiola de Faraday.

O perfeito funcionamento da Gaiola de Faraday requer a garantia de continuidade elétrica entre os cabos de descida e a ferragem das vigas que faceiam a edificação. Na parte superior, cabos de proteção de borda formarão os módulos necessários para fechar a gaiola.

Além disso, está prevista a instalação de um captor Franklin de 2,5 metros de altura no topo do edifício. Essa medida tem a finalidade de proteger antenas, equipamentos e ocupantes localizados no topo do edifício.

13.5 Verificar a possibilidade de usar elementos naturais da edificação.

Utilizar um elemento natural da edificação normalmente garante uma redução no custo de implantação do SPDA, já que se tem uma redução na compra de materiais. Aproveitar elementos próprios da edificação de maneira correta também garante um aumento na eficiência do SPDA.

No caso do edifício “Campinas”, a fundação e os pilares serão utilizados, respectivamente, como elementos naturais dos subsistemas de aterramento e distribuição de corrente. Um cabo que, partindo da ferragem dos tubulões, cruza verticalmente a edificação dentro de seus pilares, chegando ao seu topo. As conexões cabo-cabo ou cabo-ferragem podem ser feitas utilizando solda exotérmica ou conector mecânico adequado.

13.6. Projeto do subsistema de captação.

O subsistema de captação do edifício “Campinas” será composto por cabos de proteção borda e um captor Franklin com altura de 2,5 metros de altura instalado no topo do edifício.

Os cabos de proteção de borda também formarão os módulos de proteção que fecham a Gaiola de Faraday em sua face superior.

13.7. Projeto do subsistema de distribuição de corrente.

O subsistema de distribuição de corrente do edifício “Campinas” será composto por seis descidas interconectadas por anéis em sua base, topo e metade (oitavo pavimento). Além disso, essas descidas estarão eletricamente conectadas à ferragem das vigas que faceiam toda a lateral do edifício, formando os módulos de proteção da Gaiola de Faraday.

13.8. Projeto do subsistema de aterramento.

Na fundação do edifício, seis tubulões foram escolhidos para trabalhar também como eletrodos de aterramento encapsulados. Para fazer a interligação eletrodo-eletrodo e também a eletrodo-descida, será utilizado um condutor de cobre no formato de anel, estando ligado e este também, uma ligação equipotencial principal (LEP). A

LEP será utilizada para aferir a qualidade do aterramento, já que este se encontra inacessível, em meio a uma estrutura de concreto armado. Também serão conectados à LEP o neutro da concessionária de energia elétrica e o terra de proteção da instalação elétrica de baixa tensão.

13.9. Execução e acompanhamento do projeto do SPDA.

É obrigação do projetista do SPDA inspecionar a obra em que o sistema está sendo instalado. Deve ser verificada a utilização correta dos materiais, espaçamentos e conexões dos elementos utilizados.

Além disso, existe uma série de procedimentos de inspeções pelos quais um SPDA deve passar após a sua conclusão e posterior operação. Esses procedimentos estão descritos no Capítulo 12 desta obra, e também na NBR-5.419.

14. Conclusões.

O tema proposto por este trabalho foi desenvolvido de forma didática e concisa. De uma maneira descomplicada, qualquer engenheiro eletricista que ler esta obra terá os conhecimentos básicos para projetar um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas em uma edificação contemplada na norma NBR-5.419.

É evidente, no entanto, que a leitura completa da NBR-5.419 também se faz necessária já que existem alguns detalhes que não foram abordados nessa obra.

Para sintetizar todo conhecimento abordado, o Capítulo 16 desta obra apresenta o projeto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas de um edifício feito de acordo com as informações aqui apresentadas.

De uma maneira geral, pode-se dizer que este Trabalho de Conclusão de Curso cumpriu com os objetivos que foram colocados.

15. Referências e bibliografia consultada

1. ABNT-NBR 5419. **Proteção de Edificações contra Descargas Atmosféricas.**
2. MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais.** 7^a Edição.
3. KINDERMAN, G. **Descargas Atmosféricas.** 1^a Edição.
4. VISACRO FILHO, S. **Descargas Atmosféricas:** Uma abordagem de engenharia. 1^a Edição.
5. SUETA, H. E. **Uso de componentes naturais de edificações como parte integrante do sistema de proteção contra descargas atmosféricas:** Uma visão dos danos físicos. Tese de doutoramento da POLI - USP.
6. Web site do GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA – ELAT. Disponível em:
<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>
7. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO DO BRASIL. **NR-10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.**
8. LEI 8.078 DE 11 DE SETEMBRO DE 1990. **Código de Defesa do Consumidor.**

16. Projeto do SPDA do Edifício Campinas

Utilizando-se do conhecimento adquirido nesse trabalho, será desenvolvido o projeto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas do edifício residencial batizado de edifício “Campinas”, localizado no município de Ribeirão Preto - SP.

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste projeto foi apresentada no Capítulo 13 desta obra.