

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PAULO VINICIUS VALENTINI WALTRICK

**SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS  
(SPDA) ESTUDO DE CASO EM UMA ESTRUTURA PREDIAL**

LAGES  
2018

PAULO VINICIUS VALENTINI WALTRICK

**SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS  
(SPDA) ESTUDO DE CASO EM UMA ESTRUTURA PREDIAL**

Trabalho de conclusão curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Msc. Silvio Moraes de Oliveira

LAGES

2018

Monografia apresentada ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Paulo Vinicius Valentini Waltrick  
NOME DO ALUNO

Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) Estudo de Caso em uma Estrutura Predial.  
TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Msc. Silvio Moraes de Oliveira  
Titulação e nome do Orientador(a)

Dra. Francieli Lima de Sá  
Titulação e nome do Avaliador (a).

Esp. Rafael Poliziani do Oliveira  
Titulação e nome do Avaliador (a).

Dra. Francieli Lima de Sá  
Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 10 de dezembro de 2018.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade concedida de poder fazer parte de uma desta instituição de ensino, e pela graça de concluir com muita dedicação e compromisso este curso de formação em nível superior.

Quero agradecer aos meus pais Paulo e Rosemeri, que me apoiaram durante estes longos anos, possibilitando minha frequência as aulas, especialmente aos estágios, fundamentais para minha formação. Contribuíram de forma afetiva e amorosa. Tudo que sou hoje agradeço a vocês.

A minha namorada Karoline, muito obrigado pelo amor e carinho e por me ajudar a passar pelos momentos difíceis desta etapa, sempre me apoiando e incentivando a fazer o melhor sempre.

Ao corpo docente do Centro Universitário Unifacvest que ao longo do curso foram fundamentais e contribuíram com seus conhecimentos e esforços para que minha formação fosse a melhor possível. Foram essenciais e fizeram toda a diferença. A Profa. Dra. Franciéli Lima de Sá, Coordenadora do curso de engenharia elétrica muito obrigado por tudo. Ao meu orientador Prof. Msc. Silvio Moraes de Oliveira que teve paciência de me orientar. Muito obrigado professor, tenho em você um exemplo de pessoa e profissional.

Aos meus colegas de classe, os quais contribuíram de uma forma peculiar para o meu aprendizado, as quais ao longo do curso me proporcionaram momentos alegres e me deram forças nas dificuldades encontradas. Aos colegas e irmãos da república Reep W. muito obrigado por toda a ajuda que vocês me deram nessa reta final de curso.

Agradeço as palavras de interesse, disponibilidade e apoio manifestado, assim como as palavras de força, um obrigado muito especial pela ajuda e compreensão durante todo este processo. Um obrigado por tudo o que me proporcionaram e ensinaram ao longo da vida. A todos, um muito obrigado por serem quem são e por terem entrado na minha vida!

## **RESUMO**

Os raios são um fenômeno natural impressionante e imprevisível, conhecido também como descargas atmosféricas. As tempestades que se formam naturalmente em vários lugares do Brasil, são responsáveis por um elevado índice de incidência de raios, que podem vir a danificar sistemas, equipamentos, estruturas e colocando em risco a segurança de pessoas, com isso se faz necessária a utilização de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), esse sistema é composto por dispositivos chamados captadores que são instalados no ponto mais alto da estrutura a ser protegida, através de condutores elétricos é fornecido ao raio um caminho com menor resistência elétrica até a terra, reduzindo ou anulando seus efeitos. A proposta do estudo é realizar uma avaliação técnica em uma estrutura predial que está sendo construída na cidade de Lages, avaliando sua área de risco, necessidade de proteção, método de proteção, entre outros parâmetros, avaliando os critérios necessários para o projeto seguindo as normas da ABNT a NBR 5419 de 2015.

Palavras-chave: Proteção, Descargas atmosféricas, NBR 5419-2015

## **ABSTRACT**

Lightning strikes are a stunning and unpredictable natural phenomenon, also known as atmospheric discharges. As storms which form naturally in several places in Brazil, are responsible for an incidence of lightning, which can damage systems, equipment, structures and endanger the safety of people, which is necessary to use lightning protection systems (SPDA), the system consists of devices called "captors that are installed at the highest point of the structure to be protected by electric motors" or exclude their impact. The purpose of the study is to carry out a technical evaluation in a building structure that is being built in the city of Lages, with evaluation of its area of risk, protection protection, protection method, among other parameters, necessary evaluation for the following project as standard from ABNT to NBR 5419 of 2015.

**Key words:** Protection, Atmospheric discharges, NBR 5419-2015

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição de cargas elétricas na nuvem e no solo .....	22
Figura 2 - Descargas atmosféricas múltiplas .....	22
Figura 3 - Etapas de formação do raio.....	23
Figura 4 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas .....	25
Figura 5 - Relação distância x DDP que ocasiona na tensão de passo .....	30
Figura 6 - DDP máx. entre mãos e pés que ocasiona a tensão de toque.....	31
Figura 7 - Zonas de proteção contra raios .....	33
Figura 8 - Área de exposição equivalente AD de uma estrutura isolada.....	41
Figura 9 - Princípio de proteção pelo método eletromagnético .....	61
Figura 10 - Ângulo de proteção conforme a classe do SPDA .....	61
Figura 11 - Representação do método de Faraday no qual o ângulo varia conforme a altura aumenta.....	62
Figura 12 - Representação do método da gaiola de Faraday .....	64
Figura 13 - Representação do laço em um condutor de descida .....	65
Figura 14 - Comprimento mínimo /1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA .....	66
Figura 15 - Sistema de proteção contra descargas atmosféricas completo.....	71
Figura 16 - Estrutura predial.....	74
Figura 17 - Densidade Ng de Lages - SC .....	75
Figura 18 - Fixação dos condutores de captação no telhado .....	82
Figura 19 – Subsistema de captação, vista superior .....	82
Figura 20 – Subsistema de descidas .....	83
Figura 21 - Subsistema de descidas e aterramento, vista lateral oeste .....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica	29
Tabela 2 - Danos: Relação de valores dos riscos toleráveis RT	37
Tabela 3 - Fluxograma que auxilia a tomada de decisões para a necessidade de proteção e medidas de proteção	38
Tabela 4 - Fator de localização da estrutura	42
Tabela 5 - Fator instalação da linha	43
Tabela 6 - Fator tipo de linha CT	43
Tabela 7 - Fator ambiental da linha CE	43
Tabela 8 - Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físico	44
Tabela 9 - Valores de probabilidade de PSPD em função do NP para o qual os DPS foram projetados	45
Tabela 10 - Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento	46
Tabela 11 – Valor do fator KS3 dependendo da fiação interna	48
Tabela 12 – Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura podendo causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas	49
Tabela 13 - Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados	49
Tabela 14 - Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento	50
Tabela 15 - Valores da probabilidade PLI dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso UW dos equipamentos	51
Tabela 16 - Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona	52
Tabela 17 - Tipo de perda L1: Valores médios típicos de LT, LF e LO	53
Tabela 18 - Fator de redução $r_t$ em função do tipo de solo ou piso	53
Tabela 19 - Fator de redução $r_p$ em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio	54
Tabela 20 - Fator de redução $r_f$ em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura	54

Tabela 21 - Fator hz aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial	55
Tabela 22 - Tipo de perda L2: valores de perda para cada zona	55
Tabela 23 - Tipo de perda L2: valores médios típicos de LF e LO	56
Tabela 24 - Tipo de perda L3: valores de perda para cada zona	56
Tabela 25 - Tipo de perda L3: valor médio típico de LF	56
Tabela 26 - Tipo de perda L4: valores de perda de cada zona	57
Tabela 27 - Tipo de perda L4: Valores médios típicos de LT, LF e LO	57
Tabela 28 - Danos: Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA.	58
Tabela 29 - Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA	61
Tabela 30 - Ângulo de proteção e altura da construção	62
Tabela 31 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descida	69
Tabela 32 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento	70
Tabela 33 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento	73
Tabela 34 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento	73
Tabela 35 - Número de eventos perigosos para estrutura e meio ambiente	76
Tabela 36 - Número de eventos perigosos na linha	77
Tabela 37 - Probabilidade de dano	78
Tabela 38 - Perda L1 vitimas	79
Tabela 39 - Risco R1	80
Tabela 40 – Aplicação do SPDA	81

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AD** - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada
- ADJ** - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente
- AI** - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha
- AL** - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha
- AM** - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura
- CD** - Fator de localização
- CDJ** - Fator de localização de uma estrutura adjacente
- CE** - Fator ambiental CI Fator de instalação de uma linha
- CL** - Custo anual das perdas totais na ausência de medidas de proteção
- CLD** - Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha
- CLI** - Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha
- CT** - Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha
- D1** - Ferimentos a seres vivos por choque elétrico
- D2** - Danos físicos
- D3** - Falhas de sistemas eletroeletrônicos
- hz** - Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente
- H** - Altura da estrutura
- HJ** - Altura de uma estrutura
- KMS** - Fator relevante ao desempenho das medidas de proteção contra LEMP
- KS1** - Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura
- KS2** - Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura
- KS3** - Fator relevante às características do cabeamento interno
- KS4** - Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema
- L** - Comprimento da estrutura
- La** - Comprimento da estrutura adjacente
- LA** - Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)
- LB** - Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)
- LL** - Comprimento de uma seção da linha
- LC** - Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)

**LF** - Perda em uma estrutura devido a danos físicos

**LFE** - Perda devido a danos físicos fora da estrutura

**LFT** - Perda total devido a danos físicos dentro e fora da estrutura

**LM** - Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)

**Lo** - Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos

**LT** - Perda devido a ferimentos por choque elétrico

**LU** - Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)

**LV** - Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)

**LW** - Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)

**LX** - Perda consequente a danos relevantes à estrutura

**LZ** - Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)

**L1** - Perda de vida humana

**L2** - Perda de serviço ao público

**L3** - Perda de patrimônio cultural

**L4** - Perda de valor econômico

**ND** - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura

**NDJ** - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente

**NG** - Densidade de descargas atmosféricas para a terra

**NI** - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha

**NL** - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha

**NM** Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura

**nz** - Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)

**nt** - Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado

**P** - Probabilidade de danos

**PA** - Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)

**PB** - Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)

**PC** - Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)

**PEB** - Probabilidade de reduzir PU e PV dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando EB (ligação equipotencial) é instalada

**PLD** - Probabilidade de reduzir PU, PV e PW dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas na linha conectada)

**PLI** - Probabilidade de reduzir PZ dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

**PM** - Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

**PMSI** - Probabilidade de reduzir

**PM** - Dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento

**PSPD** - Probabilidade de reduzir PC, PM, PW e PZ quando um sistema coordenado de DPS está instalado

**PTA** - Probabilidade de reduzir PA dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo

**PU** - Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

**PV** - Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

**PW** - Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha conectada)

**PX** - Probabilidade de danos relevantes à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)

**PZ** - Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

**rt** - Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo

**rf** - Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio

**rp** - Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio

**R** - Risco

**RA** - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)

**RB** - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)

**RC** - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)

**RM** - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)

**RS** - Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo

**RT** - Risco tolerável

**RU** - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)

**RV** - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)

**RW** - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)

**RX** - Componente de risco para uma estrutura

**RZ** - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)

**R1** - Risco de perda de vida humana em uma estrutura

**R2** - Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura

**R3** - Risco de perda de patrimônio cultural em uma estrutura

**R4** - Risco de perda de valor econômico em uma estrutura

**S1** - Fonte de dano – descargas atmosféricas na estrutura

**S2** - Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da estrutura

**S3** - Fonte de dano – descargas atmosféricas na linha

**S4** - Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da linha

**tz** - Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso

**UW** - Tensão suportável nominal de impulso de um sistema

**w** - Largura da malha

**W** - Largura da estrutura

**ZS** - Zonas de uma estrutura

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 Objetivos.....	18
1.1.1 Objetivo Geral.....	18
1.1.2 Objetivos Específicos .....	18
1.2 Justificativa .....	18
1.3 Aplicações.....	19
1.4 Metodologia .....	19
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
2.1 Histórico dos raios .....	21
2.2 Formação do raio .....	21
2.3 Incidência de descargas atmosféricas .....	23
2.4 Mapa de densidade de descargas atmosféricas .....	24
2.4.1 Equipamentos utilizados na proteção contra descargas atmosféricas.....	26
2.5 Danos causados em estruturas .....	26
2.5.1 Danos causados por descargas atmosféricas na estrutura .....	27
2.5.2 Danos causados pela descarga atmosférica próximas à estrutura.....	27
2.5.3 Danos causados pela descarga atmosférica sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.....	28
2.5.4 Danos causados pela descarga atmosférica próximo as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.....	28
2.5.5 Tipos de danos .....	28
2.5.6 Como proteger as pessoas de descargas atmosféricas .....	29
2.6 Critérios para a proteção de estruturas.....	31
2.6.1 Zonas de proteção contra raios (ZPR) .....	32
2.6.2 Risco .....	33
2.6.3 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas na estrutura .....	34
2.6.4 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas próximas a estrutura .....	34
2.6.5 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura .....	35

2.6.6 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas próximas a uma linha conectada à estrutura.....	35
2.7 Equações que compõem as componentes de risco: .....	35
2.8 Gerenciamento dos riscos .....	36
2.8.1 Procedimentos.....	36
2.8.2 Determinação da estrutura para análise de riscos .....	37
2.8.3 Risco tolerável RT .....	37
2.9 Avaliação do custo em relação com a eficiência do sistema de proteção.....	37
2.10 Análise dos componentes de risco (S1) .....	39
2.11 Análise dos componentes de risco (S2) .....	39
2.12 Análise dos componentes de risco (S3) .....	39
2.13 Dividindo uma estrutura em zonas Zs .....	40
2.14 Consideração do número anual N de eventos perigosos.....	40
2.14.1 Estrutura retangular.....	41
2.15 Localização da estrutura .....	41
2.16 Eventos perigosos ND .....	42
2.16.1 Número de eventos perigosos NDJ para uma estrutura adjacente.....	42
2.16.2 Avaliação de NM .....	42
2.16.3 Área de exposição equivalente AM .....	43
2.16.4 Avaliação de NL .....	43
2.16.5 Avaliação do número de eventos perigosos médio anual NI sobre a incidência de descargas atmosféricas próximos a linha.....	44
2.17 Avaliação da probabilidade Px de danos causados por descargas atmosféricas.....	44
2.17.1 Probabilidade PA causar D1 .....	44
2.17.2 Probabilidade PB causar D2 .....	44
2.17.3 Probabilidade PC causar D3 .....	45
2.17.4 Probabilidade PM causar D3 .....	46
2.17.5 A probabilidade PU causar D1 .....	48
2.17.6 Probabilidade PV causar D2 .....	50
2.17.7 Probabilidade PW causar D3 .....	51
2.17.8 Probabilidade PZ causar D3 .....	51
2.18 Análise de quantidade de perda LX.....	52
2.18.1 Quantidade relativa média da perda por evento perigoso .....	52
2.18.2 Perda de vida humana (L1) .....	52

2.18.3 Perda que é inaceitável ao serviço prestado ao público (L2).....	55
2.18.4 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3) .....	56
2.18.5 Perda econômica (L4).....	57

### **3 SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ..... 58**

3.1 Classes do SPDA .....	58
3.2 Continuidades da armadura de aço em estruturas de concreto armado .....	59
3.3 Aplicações de um SPDA externo.....	59
3.4 Como escolher o SPDA externo .....	59
3.5 Subsistemas de captação .....	60
3.6 Posicionamento .....	60
3.7 Métodos eletromagnéticos .....	60
3.8 Método de Franklin.....	62
3.8 Método da Gaiola de Faraday .....	63
3.9 Subsistemas de descidas .....	64
3.9.1 Construção do subsistema de descida .....	64
3.10 Subsistemas de aterramento .....	66
3.10.1 Condição geral do aterramento .....	66
3.11 Eletrodos de aterramento como instalar.....	67
3.11.1 eletrodos de aterramento naturais .....	67
3.11.2 Fixação de elementos.....	68
3.11.3 Conexão de elementos .....	68
3.12 Materiais .....	69
3.13 Disposição do conjunto do Sistema de proteção contra descargas atmosféricas.....	71

### **4 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ..... 72**

4.1 Equipotencialização para fins de proteção contra descargas atmosféricas.....	72
4.2 Equipotencialização para instalações metálicas .....	72
4.3 Equipotencialização para as linhas conectadas à estrutura a ser protegida .....	73

<b>5 ESTUDO DE CASO</b> .....	74
5.1 Definição de valores e parâmetros .....	75
5.2 Consideração do número de eventos perigosos NL devido a descargas atmosféricas na linha .....	76
5.3 Probabilidades que podem causar danos a seres vivos .....	78
5.4 Quantidade média de perda.....	79
5.5 Perda de vida humana (L1) .....	79
5.6 Risco de perdas permanentes de vidas humanas R1 .....	80
5.7 Métodos de projeto .....	81
5.8 Sistema de captação .....	81
5.9 Condutores de descida e aterramento .....	83
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	85
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	86

## 1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas são um fenômeno natural impressionante, imprevisível e perigoso, que podem causar falhas ou danos permanentes em sistemas das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, no sistema de distribuição as descargas atmosféricas provocam desligamentos e queima de transformadores, o que reduz o índice de qualidade de energia elétrica.

As descargas atmosféricas podem causar danos mecânicos, danos as pessoas devido a tensões de passo e de toque, e falhas ou danos em equipamentos de sistemas internos causados pela interferência de ondas eletromagnéticas geradas por essas descargas. O efeito gerado por essas ondas eletromagnéticas é chamado de sobretensões induzidas temporárias, que são descargas próximo ao condutor.

As falhas causadas pelas descargas atmosféricas afetam o funcionamento normal de indústrias, casas, prédios entre outros pontos consumidores, trazendo prejuízos na produção de bens e serviços, além de transtornos. Busca-se através de estudos desenvolver dispositivos que contribuam com a proteção de equipamentos, que geralmente possuem grande valor atribuído, e evitar danos maiores. Mesmo desenvolvendo o projeto de SPDA, seguindo as definições que constam na norma, não se está totalmente protegido, mas sim minimizando ao máximo os danos e perdas causados pelas descargas atmosféricas. [RIBEIRO, A. G.; CARDOSO M. C, p.2, out.2016.]

O trabalho tem por finalidade demonstrar as orientações técnicas e critérios necessários para desenvolver um projeto de SPDA para uma estrutura predial com objetivo avaliar a necessidade de aplicação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas levando em conta o risco de exposição, probabilidade de perdas e danos que possam ser causados colocando em risco a segurança de pessoas e a integridade das estruturas, entre outros parâmetros. A estrutura predial estudada é chamada de edifício residencial multifamiliar, está sendo construída na cidade de Lages – SC, para realização do estudo utilizou-se da norma da ABNT – NBR 5419 de 2015, considerando todas as condições e critérios para a definição do uso do sistema proteção contra descargas atmosféricas que garante a segurança das pessoas e integridade das estruturas.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desse estudo é contribuir para que pessoas interessadas sobre o assunto adquiram conhecimento sobre descargas atmosféricas, suas origens, seus efeitos, como se proteger, bem como adequar os métodos de instalações as normas que fornecem as orientações para instalações de (SPDA) para estruturas.

O objetivo desse trabalho é abordar de maneira completa as etapas de um projeto de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), apresentar a formação dessas descargas elétricas (raios) e seus efeitos, as propriedades construtivas e elétricas, análises das estruturas a serem protegidos, números de decidas ao aterramento, equipotencialização, resistividade do solo, nível de riscos, classe do (SPDA) a ser instalado, método de instalação entre outros parâmetros, seguindo a norma Brasileira regulamentadora NBR 5419 de 2015 e abordar quais pontos foram alterados na norma em relação versão da NBR 5419 de 2005.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Tendo uma falta de profissionais qualificados para desenvolver projetos na área sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, propõem se esse estudo a fim de ser um possível campo de atuação no mercado de trabalho.
- Desenvolver um estudo completo de todas as etapas que são necessárias para implantação desses sistemas de proteção,
- Ter como objetivo proteger a integridade de instalações elétricas, pessoas, animais, construções, equipamentos elétricos e eletrônicos.
- Demonstrar a importância de sistemas bem dimensionados e executados, comprovando que o conceito do “barato” deve ser substituído pelo conceito “seguro, com preço justo”

## 1.2 Justificativa

A pesquisa tem como foco compreender as descargas atmosférica (raios) como são gerados e quais efeitos que causam e como evitar danos a instalações e equipamentos elétricos,

utilizando-se de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) a fim de proteger a vida de pessoas, animais e a integridade de equipamentos e estruturas.

### 1.3 Aplicações

Descargas atmosféricas são fenômenos naturais impressionantes e de grande risco, que podem ser previstos e evitados, os raios são responsáveis por danos a redes elétricas de baixa e alta tensão, quando atingem estas instalações queimam equipamentos ou interrompem a disponibilidade da energia elétrica. Esses efeitos causados por essas descargas são de forma direta e indireta, na baixa tensão ocorrem com menos frequência do que na alta tensão, pois, as redes de distribuição ficam em alturas inferiores as redes de transmissão.

Atualmente o uso de equipamentos elétricos e eletrônicos já fazem parte do cotidiano da vida das pessoas e é aplicado em muitos sistemas facilitando processos, por sua vez estes equipamentos, principalmente os eletrônicos são sensíveis a distúrbios elétricos causados pelos efeitos de tempestades atmosféricas que comumente descarregam raios em redes de energia, ou próximo, causando interferências ou danos irreversíveis.

A descarga atmosférica pode afetar uma estrutura trazendo risco de morte as pessoas, falhas em instalações elétricas e dispositivos eletrônicos, com isso a necessidade projetos de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), que contribuam para o aumento da segurança, evitem problemas de interrupção, interferência de sistemas de comunicação e reduzir danos físicos a estruturas. Os problemas de interrupção causados pelos raios, segundo estudos, no Brasil cerca de 30% ocorrem em redes de distribuição. As sobre tensões temporárias são condições severas e causam danos permanentes em equipamentos. [NETO A.S.; PIANTINI, A. p.1, 2007.]

### 1.4 Metodologia

Considerando que as descargas atmosféricas são responsáveis por danos em estruturas, sistemas de telecomunicações, e sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, bem como surtos e falhas que causam impactos diretos no bom funcionamento dos sistemas como um todo. Pensando na segurança das instalações, sistemas, pessoas, animais, a aplicação de sistemas de proteção contra as descargas atmosféricas é suma importância.

Basicamente o intuito desse trabalho é projetar o SPDA através do levantamento de uma estrutura e detalhamento do seu grau de risco, da avaliação da necessidade de proteção, do dimensionamento do SPDA, da separação das etapas para o desenvolvimento do projeto, determinação do modelo ideal de proteção e do sistema de aterramento, da avaliação dos critérios necessários para o projeto seguindo as normas da ABNT a NBR 5419 de 2015, a qual sofreu diversas mudanças desde sua última versão de 2005. Adequar todas as condições para a segurança das pessoas e integridade das estruturas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Histórico dos raios

As descargas atmosféricas são um fenômeno incrível que durante muito tempo foi considerado manifestação da fúria dos deuses, em 1706 nasce Benjamin Franklin que anos depois desmistificaria a origem dos raios, Franklin nasceu em Boston nos Estados Unidos, trabalhou desde cedo, sendo jornalista, editor, autor, abolicionista, filantropo, funcionário público, diplomata, cientista e inventor. Por volta de 1748, Franklin já desenvolvia estudos relacionados a eletricidade, o que o ocuparia juntamente com a vida política e de negócios, até sua morte em 1790. Ele desenvolveu descoberta das cargas positivas e negativas da eletricidade que lhe renderiam uma reputação internacional. Em 1752, descobriu brincando com seu filho durante uma tempestade com uma pipa em formato de papagaio, sentiu pequenas descargas elétricas, o que contribuiu para a invenção do para-raios tipo Franklin para proteger as casas, e estruturas e instalações. [ISAACSON, Walter. p.134, São Paulo.]

### 2.2 Formação do raio

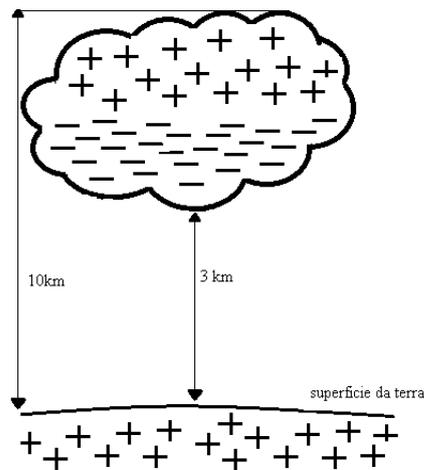
Com o passar do tempo, desenvolveu-se teorias que explicassem o fenômeno do raio. Atualmente pode-se dizer que a formação dessas descargas elétricas tem origem no interior das nuvens pela fricção das partículas de água. Em estudos experimentais foi verificado que as cargas positivas ficam na parte superior e as cargas negativas na parte inferior das nuvens, adquirindo característica bipolar. Representado pela figura 1.

A superfície da terra possui cargas elétricas positivas, a concentração dessas cargas gera uma diferença de potencial (DDP), entre a terra e a nuvem, o ar possui uma determinada rigidez dielétrica variável conforme as condições do ambiente, sendo alta rigidez dielétrica em dias de baixa umidade do ar e baixa rigidez dielétrica em dias de umidade alta. O aumento da (DDP) entre a nuvem e a terra é denominado gradiente de tensão e seus valores podem ultrapassar a resistência dielétrica do ar, o que resulta na migração das cargas elétricas em direção a terra, por um caminho tortuoso e normalmente com várias ramificações, denominado como descarga piloto.

O valor do gradiente de tensão onde a rigidez dielétrica do ar é rompida é de aproximadamente 1kV/ mm. O caminho é aberto pela ionização do ar seguido pela descarga

piloto o que favorece a condução elétrica. O aumento do gradiente de tensão entre a nuvem e a terra gera-se uma ramificação da descarga piloto, que se constitui de cargas elétricas positivas e é denominado descarga ascendente que sobe da terra para a nuvem e posteriormente a descarga principal desce em sentido a terra, gerando o fenômeno do trovão, o qual produz um estrondo causado pelo deslocamento de ar que circula o caminho do raio em efeito do aumento de temperatura. (Mamede, João F.,2010).

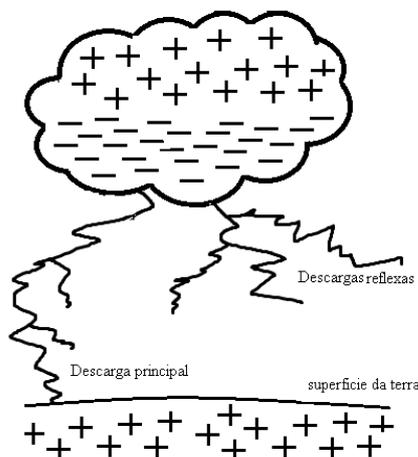
Figura 1 - Composição de cargas elétricas na nuvem e no solo



Fonte: Dados do autor ,2018

Na Figura 1, é demonstrado a nuvem carregada com cargas positivas e negativas e a terra com carregada com cargas positivas, e as distancias em que a nuvem fica da terra.

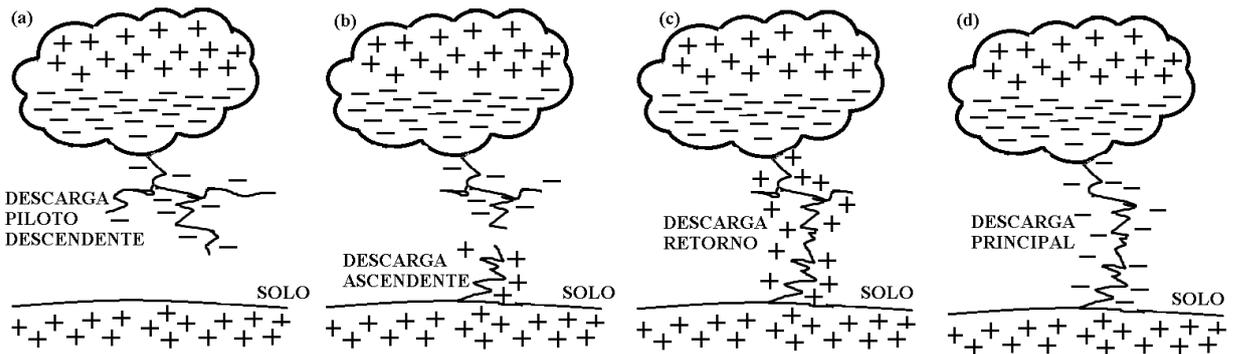
Figura 2 - Descargas atmosféricas múltiplas



Fonte: Dados do autor, 2018

Na Figura 2, as nuvens podem acumular grandes quantidades de cargas elétricas e se não descarregarem totalmente em uma descarga principal, logo após ocorrem diversas outras semelhantes a principal que são chamadas de descargas reflexas, para melhor entendimento das etapas de formação das descargas atmosféricas estão representadas na Figura 3.

Figura 3 - Etapas de formação do raio



Fonte: Dados do autor, 2018

### 2.3 Incidência de descargas atmosféricas

A incidência de raios em áreas urbanas cresce cada dia mais em comparação com áreas não habitadas, isso ocorre porque pequenas mudanças no micro clima ocasionado pelo aumento urbano de casas, prédios, ruas concretadas e asfaltadas, tendem a colaborar com o aumento da temperatura local do ar, formando um bolsão de calor, que facilita a evaporação de maiores quantidades de água e formando assim as nuvens e possíveis tempestades.

Cada um grau Celsius que se eleva a temperatura, cresce 15% de chances de haver tempestades severas. No Brasil nos últimos cem anos, período analisado entre 1915 a 2015, constatou-se que a temperatura média aumentou um grau Celsius de 24,5 para 25,5 grau Celsius, em São Paulo o aumento foi de 17 para 20 grau Celsius nesse período. Segundo pesquisa desenvolvida pelo grupo de eletricidade atmosférica (ELAT), do instituto nacional de pesquisas espaciais (INPE), concluíram um novo ranking de incidência raios nos estados cobertos pela rede brasileira de detecção de descargas atmosféricas no ano de 2009-2010. Em grandes centros urbanos há uma grande tendência de tempestades, segundo dados do (ELAT) a cidade de Porto Real situada no estado do Rio de Janeiro, possui uma densidade de 27 raios/km<sup>2</sup>/ano, e São Caetano do Sul situado no estado de São Paulo tem densidade de 23 raios/km<sup>2</sup>/ano, compõem as primeiras posições do ranking. A área monitorada envolve os

estados do Sul, Sudeste e Centro oeste do Brasil, a incidência de raios obteve variações próximas de 5% em relação ao ano de 2005 a 2008, em cidades com população acima de 200 mil habitantes possuem maiores incidência devido à grande urbanização, com aumento na incidência de descargas atmosféricas em 11% ao período de 2005 a 2008. Disponível em: <[http://agencia.fapesp.br/ranking\\_de\\_cidades\\_com\\_mais\\_raios/13806/](http://agencia.fapesp.br/ranking_de_cidades_com_mais_raios/13806/)>. Acesso em: 21 maio de 2018.]

Um estudo desenvolvido pelo grupo de eletricidade atmosférica (ELAT), verificou dados relativos as mortes causadas por raios nos últimos 15 anos, período de 2000 a 2014, que totalizaram 1792 óbitos, nesse estudo foi constatado que 43% das mortes causadas por raios ocorrem durante o verão e a probabilidade de morte de um homem é 4,5 vezes maior que a morte de uma mulher, sendo que a cada três mortes duas é ao ar livre, as atividades agropecuárias lidera o índice de mortes devido as circunstancias de trabalho que geralmente são no campo aberto, cerca de 25% do número total de óbitos do país vem da atividade rural, que varia entre 12% na região Norte do país e 25% na região sul. Mortes dentro de casa estão em segundo lugar e representam 17% do total, que varia entre 7% no Sudeste e Centro-Oeste a 21% no Nordeste, no Sudeste, São Paulo detêm o maior número de mortes, seguido por Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Pará, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás. A média anual entre o ano de 2000 a 2014 foi de 111 mortes. [Disponível em:<[http://agencia.fapesp.br/inpe\\_divulga\\_dados\\_de\\_mortes\\_por\\_raios\\_dos\\_ultimos\\_15\\_anos\\_no\\_brasil\\_/24586/](http://agencia.fapesp.br/inpe_divulga_dados_de_mortes_por_raios_dos_ultimos_15_anos_no_brasil_/24586/)>Acesso em: 24 maio de 2018.]

Existem dois tipos básicos de descargas atmosféricas, são eles descargas descendentes iniciadas pelo líder descendente, que sai da nuvem para a terra. e as descargas ascendentes iniciados pelo líder ascendentes, que partem do solo em direção a nuvem. Na maioria dos casos as descargas descendentes ocorrem em locais planos e em estruturas baixas, as descargas ascendentes são mais comuns.

#### 2.4 Mapa de densidade de descargas atmosféricas

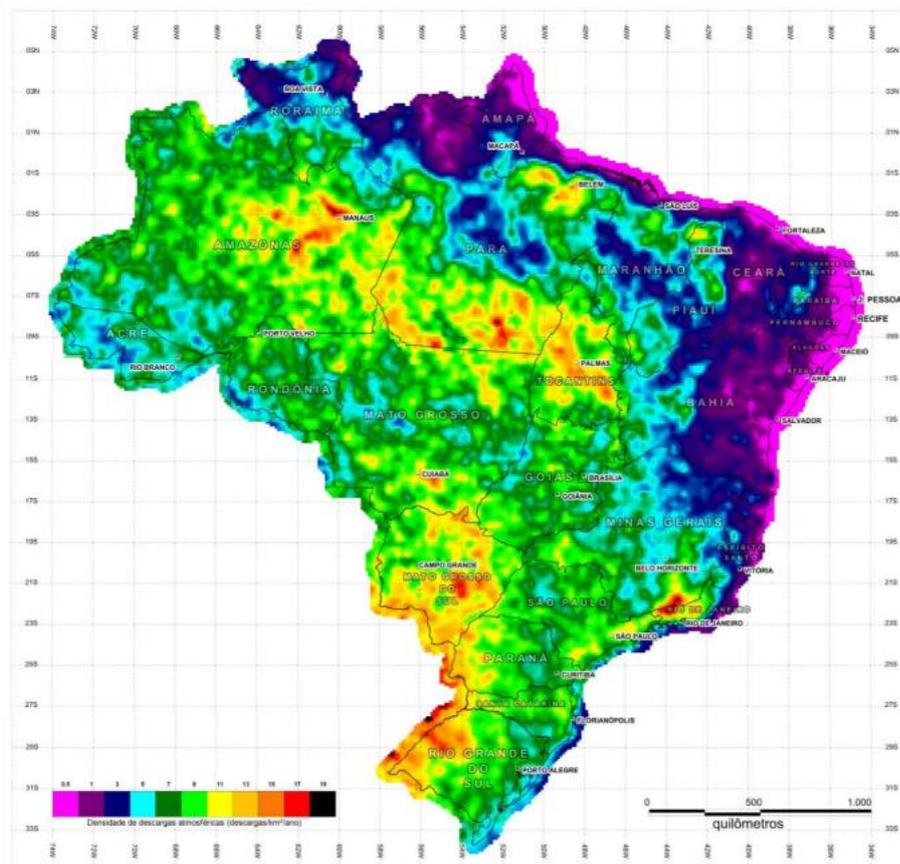
A utilização do mapa isoceráunico (mapa de curvas que representa o número de dias com trovoadas por ano), que deixou de ser utilizado para avaliação da necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, para determinação da densidade de descargas atmosféricas  $N_g$ , visando a obtenção de valores mais precisos para  $N_g$  e utilizando-se das novas tecnologias a atualização da norma ABNT NBR 5419 de 2015 adotou uma nova forma de consulta.

O Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (ELAT/INPE) disponibiliza o mapa de densidade de descargas atmosféricas, através do site do ELAT na internet, traz dados para todo território nacional, utilizando-se dos registros de pulsos luminosos capturados do espaço, pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM* da NASA. Durante o período de 1998 a 2011.

O mapa possui uma escala de cores na legenda que contém dez valores de densidade de descargas atmosféricas. Valores que vão de 0,5 a 19 descargas atmosféricas/km<sup>2</sup>/ano e são representados pelas cores de lilás claro para 0,5 e preto 19.

Verifica-se que índices menores de incidência de descargas atmosféricas ocorrem nos estados litorâneos do nordeste do Brasil e os lugares com maiores densidades de descargas estão espalhados por vários pontos do mapa, sendo os estados: Amazonas, entre o Rio de Janeiro e Minas Gerais, Sul do Pará, Sudeste de Mato Grosso do Sul entre outros pontos do mapa. Conforme Figura 4.

Figura 4 - Mapa de densidade de descargas atmosféricas



#### 2.4.1 Equipamentos utilizados na proteção contra descargas atmosféricas

Conforme os critérios básicos para proteção de estruturas, item oito da NBR 5419 parte um, define-se em um aspecto geral, para se obter a proteção ideal de uma estrutura, precisa-se envolver a estrutura em um circuito blindado e perfeitamente condutor, que esteja aterrado, com espessura correta e tenha suas ligações equipotenciais adequadas para as linhas elétricas e tubulações metálicas que a estrutura possui, a fim de impedir que a corrente de descarga e campo eletromagnético invada sistemas internos, causando centelhamentos, sobretensões, efeitos eletromagnéticos entre outros distúrbios perigosos, considera-se que frequentemente é inviável obter proteção total seguindo essas medidas, sendo que quando mal projetados esses sistemas de proteção podem se tornar um risco eminente, a falta de continuidade na blindagem do sistema condutor ou espessuras inadequadas, podem permitir a entrada da corrente do raio, podendo causar danos a estruturas, circuitos internos, equipamentos eletrônicos e risco de vida as pessoas. Para evitar tais problemas, deve-se tomar medidas de proteção e projetar conforme os parâmetros de corrente e níveis de proteção contra descargas atmosféricas prescritos na norma. [ABNT NBR 5419-1, 2015].

#### 2.5 Danos causados em estruturas

Estruturas atingidas por descargas atmosféricas podem sofrer danos, causar falhas de sistemas internos e pôr em risco a vida de pessoas, as estruturas vizinhas podem ser afetadas também, mas depende da intensidade do raio e da característica das estruturas vizinhas. Devem ser considerados a posição do ponto de impacto em relação a estrutura, que pode ser: descargas atmosféricas na estrutura e próxima dela, sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura e próximas delas.

As descargas atmosféricas são responsáveis por parcela significativa dos distúrbios nas redes elétricas, podendo ocasionar desligamentos ou queima de equipamentos tanto das concessionárias quanto dos consumidores. Os distúrbios nas redes de distribuição causados por descargas atmosféricas podem ser causados tanto por descargas diretas como indiretas (próximas à rede). As descargas diretas na rede de baixa tensão são raras pelo fato de os condutores estarem posicionados em alturas inferiores à dos condutores da rede primária e pelo fato desta última normalmente estar presente, blindando a rede secundária. (NETO A.S.; PIANTINI, 2007, p.1).

Esses distúrbios além de interromper a passagem de energia elétrica, a indução de sobretensões a essas estruturas podem causar falhas ou danos aos equipamentos de sistemas dos consumidores além de surtos e atuação de sistemas de proteção.

#### 2.5.1 Danos causados por descargas atmosféricas na estrutura

Os raios podem causar danos mecânicos as estruturas e ocasionar fogo ou explosões devido ao plasma de alta intensidade, ou sobreaquecendo condutores que devido a parte da corrente do raio, podem gerar centelhamentos devido as sobretensões em acoplamentos indutivo e resistivos, danos as pessoas devido a tensões de passo e de toque, e falhas ou danos em equipamentos de sistemas internos devido a interferência de ondas eletromagnéticas geradas pelas descargas atmosféricas, conhecida como LEMP (*Lightning Eletromagnetic Impulse*).

O número das descargas atmosféricas que influenciam a estrutura depende das dimensões e das características das estruturas e das linhas conectadas, das características do ambiente da estrutura e das linhas, assim como da densidade de descargas atmosféricas para a terra na região onde estão localizadas a estrutura e as linhas. (RIBEIRO, A. G.; CARDOSO M. C, 2016, p.2)

A estrutura sofre danos com a queda de descargas atmosféricas, causa um visível dano físico a estrutura, podendo afetar estruturas vizinhas variando conforme o nível de intensidade da descarga, a incidência de raios depende da localização, como picos de morros ou áreas abertas, tamanho, tipo de estrutura e características construtivas, geralmente estruturas isoladas e grandes, como barracões com grande área construída, prédios e arranha-céus tem probabilidades maiores de sofrer uma descarga atmosférica.

#### 2.5.2 Danos causados pela descarga atmosférica próximas à estrutura

Os danos causados quando a descarga atinge um ponto próximo a estrutura pode ocorrer falhas ou mau funcionamento em equipamentos de sistemas internos devido a interferência de ondas eletromagnéticas geradas pelas descargas atmosféricas, também conhecida como LEMP (*Lightning Eletromagnetic Impulse*).

### 2.5.3 Danos causados pela descarga atmosférica sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura

Podem ocorrer fogo ou explosões devido a sobretensões e correntes de descarga que são conduzidas pelas linhas elétricas e tubulações metálicas, além de danos à saúde das pessoas pelo choque elétrico causado por tensões de toque e correntes de descargas, danos ou falhas em sistemas internos devido as sobretensões que são impostas aos circuitos elétricos que entram na estrutura.

### 2.5.4 Danos causados pela descarga atmosférica próximo as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura

As descargas podem causar falhas e mau funcionamento de sistemas internos devido as sobre tensões que são induzidas nas linhas que entram na estrutura, e podem causar três tipos de danos:

- a) D1 - Danos as pessoas pelo choque elétrico.
- b) D2 - Danos físicos e mecânicos as estruturas
- c) D3 - Falhas devido a LEMP (*Lightning Eletromagnetic Impulse*).

### 2.5.5 Tipos de danos

É de grande importância definir o tipo de dano que pode se causar na estrutura a ser protegida, em conjunto ou sozinha podem produzir diferentes tipos perdas. Na NBR 5419, considera-se os tipos de perdas:

- a) L1 - Danos permanentes ou perda da vida humana
- b) L2 - Perda de serviço publico
- c) L3 - Perda de patrimônio cultural
- d) L4 - Perda de valores econômicos, por danos ou falhas que acarretam paradas de atividades

Através da Tabela 1, se define quais são as danos e perdas que são causados pelas descargas atmosféricas em diferentes pontos da estrutura.

Tabela 1 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica

Ponto de impacto	Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura	S1	D1	L1, L4 <sup>1</sup>
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1 <sup>2</sup> , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura	S2	D3	L1 <sup>2</sup> , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	S3	D1	L1, L4 <sup>1</sup>
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1 <sup>2</sup> , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	S4	D3	L1 <sup>2</sup> , L2, L4
<sup>1</sup> somente propriedades com perda de animais			
<sup>2</sup> somente para estruturas com risco de explosão			

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015

### 2.5.6 Como proteger as pessoas de descargas atmosféricas

Segundo (Mamede, João F.,2011), na ocorrência de tempestades com incidências de descargas atmosféricas deve-se tomar algumas medidas para a proteção, evitando locais impróprios sob o ponto de vista da segurança, tais como Piscinas, praias ou barragens, ao sair da água evitar deitar na praia. Evitar permanecer em picos de morro ou topo de edificações ou embaixo de árvores isoladas, caso não encontre abrigo próximo procure um local com diversas árvores.

Possivelmente buscar refúgio em qualquer estrutura que tenham sistema de proteção contra descargas atmosféricas, ou qualquer estrutura grande mesmo que não possua uma proteção contra descargas atmosféricas como: túneis, estações de metrô, dentro de automóveis, caminhões, ônibus, desde que estejam devidamente fechados. No geral existem algumas medidas de proteção a serem adotadas que podem reduzir o índice de danos, protegendo as

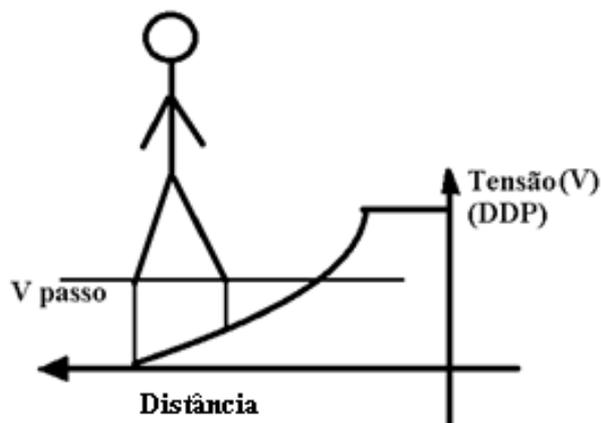
peças de possíveis choques elétricos devido a tensões de toque e tensões de passo. Para isso devemos seguir alguns procedimentos:

- a) isolar partes condutoras expostas;
- b) fazer um sistema de aterramento em malha para equipotencializar ambos pontos do sistema.
- c) placas de avisos, restrições as partes físicas expostas;
- d) ligação equipotencial para descargas atmosféricas (LE).

A equipotencialização e o aumento da resistência de contato da superfície do solo, interna ou externamente à estrutura, podem reduzir o risco de vida e as medidas de proteção se tornam mais eficientes somente em estruturas protegidas por um SPDA. As tensões de toque e tensões de passo determinam a diferença de potencial (DDP) que o indivíduo é submetido.

Segundo (RAGGI, Livia R., 2009, p.10) a tensão de passo é definida: é a diferença de potencial (DDP) que se estabelece entre a distância dos pés da pessoa, quando há a passagem de corrente no solo do local a tensão aumenta conforme a distância do passo. Representado pela Figura 5.

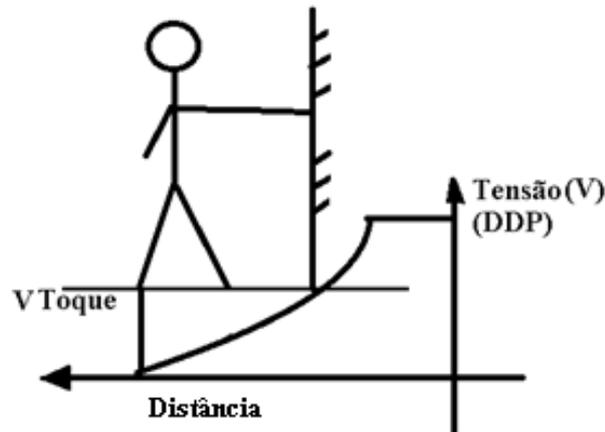
Figura 5 - Relação distância x DDP que ocasiona na tensão de passo



Fonte: Dados do autor, 2018

A tensão de passo pode contrair os músculos das pernas fazendo o indivíduo cair, ao entrar em contato com o solo as demais extremidades do corpo transforma-se em tensão de toque que possui um agravante maior aos músculos e possível fibrilação muscular e cardíaca.

Figura 6 - DDP máx. entre mãos e pés que ocasiona a tensão de toque



Fonte: Dados do autor, 2018

Segundo (FLORES, Ana J. M., 2014 p.10) tensão de toque é definido como o valor máximo da DDP entre a mão e os pés de uma pessoa que eventualmente pode ser submetida, causando a circulação de corrente elétrica pelo corpo da pessoa. Representado pela Figura 6. O indivíduo ao entrar em contato com a superfície que tenha a passagem de corrente elétrica poderá levar um choque, a intensidade ficará por conta da corrente que circula na superfície e da DDP das pernas com as mãos, casos comuns de choques pela causa da tensão de toque são em carcaças de motores elétricos, que não estando aterradas facilitam a ocorrência, por exemplo.

## 2.6 Critérios para a proteção de estruturas

A proteção ideal das estruturas seria envolvê-la como um todo por uma blindagem permanente e condutora, com malhas de aterramento interligadas e a equipotencialização entre partes metálicas para evitar os efeitos da corrente da descarga atmosférica e do campo magnético venham a danificar sistemas internos devidos a centelhamentos e sobretensões.

Apesar da necessidade de tais práticas para a proteção contínua, geralmente se torna inviável aplicá-las, quando o sistema de proteção é inadequado pode haver a penetração da corrente da descarga atmosférica causando danos físicos ou a vida e falhas em sistemas internos a estrutura, para reduzir estes danos e efeitos nocivos, deve se projetar as medidas de proteção conforme parâmetros das estruturas e considerações sobre os riscos e probabilidades das descargas atmosféricas.

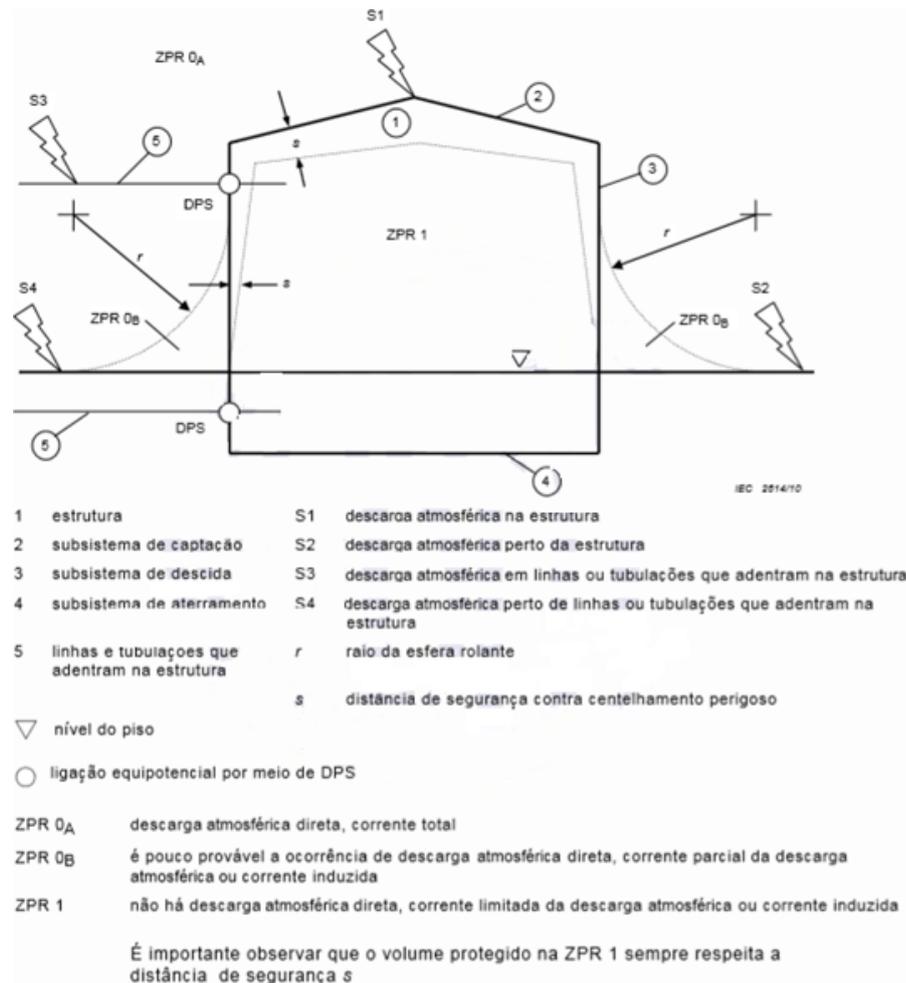
### 2.6.1 Zonas de proteção contra raios (ZPR)

São definidas as zonas de proteção que vão atuar contra as descargas atmosféricas utilizando medidas de proteção como SPDA, condutores de blindagem, blindagens magnéticas e DPS para determinar a (ZPR). Essas zonas juntamente com as medidas de proteção podem reduzir consideravelmente os danos causados pelas LEMP. As ZPR estão definidas conforme a norma 5419-1.

- a) ZPR 0A: zona que é atingida diretamente ou tem ação do campo eletromagnético total da descarga atmosférica. Os sistemas internos podem sofrer danos ou falhas ocasionadas pela corrente total da descarga atmosférica.
- b) ZPR 0B: zona protegida contra a descarga atmosférica direta, mas tem ação do campo eletromagnético total e sistemas internos podem sofrer danos ocasionados pela corrente total da descarga atmosférica.
- c) ZPR 1: zona que limita a corrente de surto por uma divisão de corrente de descarga atmosférica e pela aplicação de interfaces isolantes ou uso de DPS no limite de entrada, medidas de proteção como blindagem espacial pode diminuir os efeitos do campo eletromagnético.
- d) ZPR 2, ..., n: zona que com maior limitação da corrente de surto por uma divisão de corrente de descarga atmosférica maior e pela aplicação de interfaces isolantes ou uso de DPS no limite de entrada adicionais, medidas de proteção como blindagem espacial adicionais podem diminuir os efeitos do campo eletromagnético.

Quanto maior a zona de proteção, menor serão os parâmetros de efeito do meio eletromagnético. A estrutura a ser protegida deve estar em uma ZPR que cuja a característica de proteção seja equivalente para evitar possíveis danos (danos físicos ou falhas dos sistemas elétricos e eletrônicos devido aos surtos de sobretensões). Para evitar os danos causados e falhas nos sistemas internos pela LEMP deve-se limitar as sobretensões causadas pelas descargas atmosféricas que atingem a estrutura e que resulta num acoplamento resistivo indutivo e as sobretensões devido as descargas atmosféricas que caem próximas a estrutura que resulta num acoplamento resistivo. Podem também ser transmitidas pelas linhas que adentram a estrutura. Conforme Figura 7.

Figura 7 - Zonas de proteção contra raios



Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015

O SPDA consiste em dois sistemas externos e internos de proteção contra descargas atmosféricas, as funções do SPDA interno é interceptar a descarga atmosférica, através do subsistema de captação, conduzir a corrente para a terra através do subsistema de descida, e dispersar a corrente no solo através do subsistema de aterramento. Evita-se o perigo de incêndio devido ao centelhamentos, o sistema interno mantém uma distância de segurança e mantém condutores são interligados para equipotencializar.

## 2.6.2 Risco

O Risco é critério para avaliar quais medidas de proteção escolher e quais estruturas são necessárias de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, entre os possíveis riscos são eles:

- a) R1: risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- b) R2: risco de perdas ao serviço público;
- c) R3: risco de perdas do patrimônio cultural;
- d) R4: risco de perdas de valor econômico.

Segundo a NBR 5419-2 a avaliação dos riscos R, e os componentes de risco (riscos parciais) devem ser definidos e calculados. Cada risco R, é a soma dos seus componentes de risco, ao calcular podem ser agrupados de acordo com a fonte e tipo de dano.

### 2.6.3 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas na estrutura

a) RA: É a componente que relaciona os danos aos seres vivos causados pelo choque elétrico devido as tensões de toque e de passo dentro da estrutura e fora das zonas até três metros próximo aos condutores de descidas. Possíveis perdas do tipo L1 e L4 podem aumentar. Pessoas que possam estar no alto de alguma estrutura podem estar em perigo por descargas atmosféricas diretas, recomenda-se utilizar os princípios de segurança da NBR 5419. Dada através da equação 7.

b) RB: É a componente que relaciona os danos físicos que são causados pelos centelhamentos que trazem risco de incêndio ou explosão e podem trazer danos ao meio ambiente. Nesta componente todos os riscos podem aumentar (L1, L2, L3 e L4). Dada através da equação 8.

c) RC: É a componente que relaciona as falhas causadas em sistemas internos devido a LEMP (Pulsos eletromagnéticos causados pelos raios). Podem ocorrer perdas do tipo L2 e L4 e em todos os casos com L1, estruturas com risco de explosão como postos de combustíveis, distribuidoras e refinarias ou em estruturas que podem colocar em perigo a vida humana como hospitais, postos de saúde ou unidades de socorro. Dada através da equação 9.

### 2.6.4 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas próximas a estrutura

a) RM: É a componente que relaciona as falhas causadas em sistemas internos devido a LEMP (Pulsos eletromagnéticos causados pelos raios). Podem ocorrer perdas do tipo L2 e L4

e em todos os casos com L1, estruturas com risco de explosão ou em estruturas que podem colocar em perigo a vida humana. Dada através da equação 10.

#### 2.6.5 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura

b) RU: É a componente que relaciona os ferimentos aos seres vivos que são causados pelo choque elétrico devido as tensões de toque e de passo dentro da estrutura. Perdas do tipo L1 e em propriedades agrícolas perdas do tipo L4 também podem ocorrer, com possíveis perdas de animais. Dada através da equação 11.

c) RV: É a componente que relaciona os danos físicos causados por centelhamentos ocorridos entre instalações externas e partes metálicas no ponto de entrada na estrutura que podem causar incêndio ou explosão, todas as perdas podem ocorrer (L1, L2, L3 e L4). Dada através da equação 12.

d) RW: É a componente que relaciona as falhas em sistemas internos causados por sobre tensões induzidas que chegam através das linhas que entram na estrutura e podem ocorrer perdas do tipo L2 e L4 em todos os casos e nos casos de estruturas com risco de explosão ou que tragam perigo a vida humana. Análise somente para linhas que entram na estrutura e para tubulações que entram na estrutura e tenham interligação com barramento de equipotencialização, caso não houver considerar uma fonte de dano. Dada através da equação 13.

#### 2.6.6 Componentes de risco devido as descargas atmosféricas próximas a uma linha conectada à estrutura

a) RZ: Componente que relaciona as mesmas análises de RW. Dada através da equação 14.

#### 2.7 Equações que compõem as componentes de risco:

Estão representadas as equações (1, 2, 3 e 4) respectivamente de cada um dos riscos sendo eles R1 de perda de vida humana, R2 de perda de serviço público, R3 de perda de patrimônio cultural e R4 perdas econômicas perda de valores econômicos.

$$R1 = RA1 + RB1 + RC1 + RM1 + RU1 + RV1 + RW1 + RZ1 \quad (1)$$

Estão sinalizados com 1 para estruturas que coloquem em risco de explodir ou cause falhas em hospitais que possam pôr a saúde humana em risco.

$$R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2 \quad (2)$$

$$R3 = RB3 + RV3 \quad (3)$$

$$R4 = RA4 + RB4 + RC4 + RM4 + RU4 + RV4 + RW4 + RZ4 \quad (4)$$

Estão sinalizados com o número 2 somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

## 2.8 Gerenciamento dos riscos

Para toda avaliação da necessidade de proteção deve-se considerar alguns passos:

- a) Identificar componentes Rx que compõem o risco.
- b) Cálculo dos componentes de risco Rx.
- c) cálculo de risco total R.
- d) identificar riscos toleráveis RT
- e) comparação com R com risco tolerável (RT)

Define-se que R menor ou igual a RT, a aplicação do sistema contra a descarga atmosférica não é necessária. Define-se que R maior que RT, medidas de proteção que são ajustadas no sentido de reduzir o R. Se R maior que RT, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir R menor que RT para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

### 2.8.1 Procedimentos

- a) Após a identificação da estrutura a ser protegida deve-se ter suas características e os tipos de perdas e riscos relevantes para a estrutura. R (R1 a R4)

- b) Avaliar o risco R para cada tipo de perda R1 e R4.
- c) Avaliar a necessidade de proteção comparando os riscos com os riscos R1, R2 e R3 com os riscos toleráveis.
- d) Avaliar o custo da proteção comparando custos total com e sem as medidas de proteção. Para isso deve-se avaliar as componentes de R4 para quantificar os custos.

### 2.8.2 Determinação da estrutura para análise de riscos

São considerados alguns pontos referentes a estrutura: própria estrutura, instalações internas, pessoas na estrutura ou zona até 3m longe da estrutura e possíveis danos causados ao meio ambiente.

### 2.8.3 Risco tolerável RT

Segundo a Norma é de responsabilidade das autoridades competentes identificar o valor do risco tolerável. Contem valores que representam o risco tolerável e onde a descarga atmosférica envolve as perdas humanas ou de valores culturais e sociais.

Tabela 2 - Danos: Relação de valores dos riscos toleráveis RT

Tipo de perda		RT
L1	Perda de vida humana ou danos à saúde permanentes	0,00001
L2	Perda de serviço ao público	0,001
L3	Perda de patrimônio cultural	0,0001

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

### 2.9 Avaliação do custo em relação com a eficiência do sistema de proteção

A avaliação do custo do sistema de proteção em relação com sua eficiência pode colaborar com a redução de perdas econômicas do tipo L4, no componente de risco R4 permite fazer o levantamento destes dados para saber qual proteção adotar. Para avaliar o custo da eficiência da proteção segue-se alguns passos:

- a) Identificar os componentes RX que compõem o risco R4.

- b) Cálculo dos componentes de risco conhecidos RX de novas e adicionais medidas de proteção.
- c) Cálculo do custo anual de perdas devido a cada componente de risco RX.
- d) Cálculo do custo anual CL e da perda total na falta de medidas de proteção, através da equação 5.
- e) A escolha das medidas de proteção.
- f) Os cálculos dos componentes de risco RX mesmo com a presença das medidas de proteção.
- g) Cálculo do custo anual de CPW, das medidas de proteção que foram selecionadas
- h) Comparação de custos.
- i) Se e caso o valor de CL esteja, menos, a proteção contra da descarga atmosférica não sendo de custo baixo, essas medidas podem demonstrar o retorno financeiro.

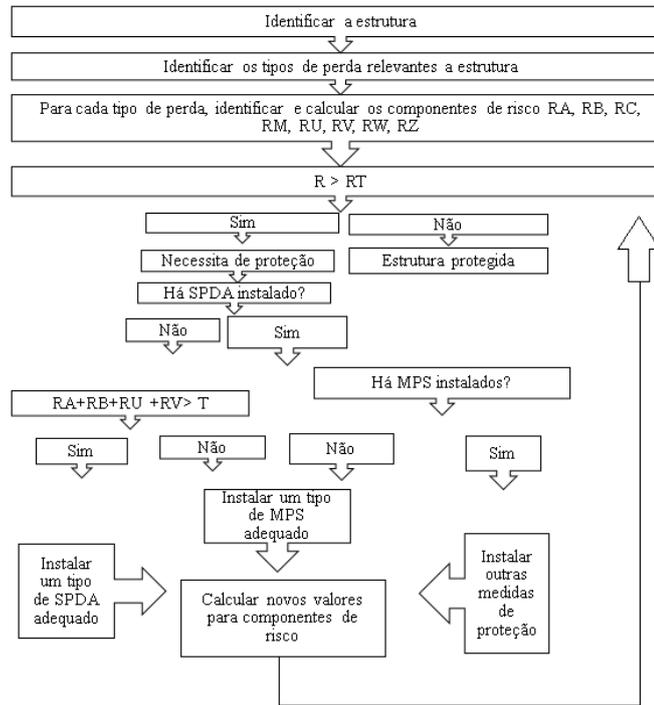
$$CL < CRL + CPM \quad (5)$$

Equação 5 pode não trazer um custo eficiente, na equação 6 já se comprova a economia monetária durante a vida da estrutura.

$$CL \geq CRL + CPM \quad (6)$$

Com isso representa-se utilizando a Tabela 3, qual, ajuda na tomada de decisões para a escolha da medida ou método de proteção.

Tabela 3 - Fluxograma que auxilia a tomada de decisões para a necessidade de proteção e medidas de proteção



Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015

## 2.10 Análise dos componentes de risco (S1)

É definido através de equações as componentes de risco causadas pelas descargas atmosféricas:

$$RA = ND \times PA \times LA \quad (7)$$

$$RB = ND \times PB \times LB \quad (8)$$

$$RC = ND \times PC \times LC \quad (9)$$

## 2.11 Análise dos componentes de risco (S2)

$$RM = NM \times PM \times LM \quad (10)$$

## 2.12 Análise dos componentes de risco (S3)

$$RU = (NL + NDJ) \times PU \times LU \quad (11)$$

$$RV = (NL + NDJ) \times PV \times LV \quad (12)$$

$$RW = (NL + NDJ) \times PW \times LW \quad (13)$$

$$RZ = NI \times PZ \times LZ \quad (14)$$

### 2.13 Dividindo uma estrutura em zonas Zs

Uma estrutura pode ser separada em diversas zonas para facilitar a avaliação de cada componente de risco. As zonas são definidas como Zs, e tem características homogêneas particulares, mas cada estrutura pode ser considerada uma zona única.

- a) As Zonas ZS são principalmente definidas pelo tipo de solo ou piso que estão construídas, cada tipo de solo ou piso (Componentes de risco RA e RU)
- b) E para zonas com blindagem espacial (Componentes de risco RC e RM)
- c) compartimentos à prova de fogo (componentes de risco RB e RV)
- d) Nas zonas adicionais definem se através do leiaute dos sistemas internos (componentes de risco RC e RM)
- e) Em medidas de proteção que já existam ou forem instaladas deve ser considerado (todos componentes de risco)
- f) Para os valores de perdas LX (todos componentes de risco).

Para se obter o valor final da componente de risco deve realizar o cálculo da probabilidade das falhas causadas pelas descargas atmosféricas que caem na estrutura e próxima dela, sendo PC equação 15 e PM equação 16 respectivamente.

$$PC = 1 - (1 - PC1) \times (1 - PC2) \times \dots \times (1 - PCN) \quad (15)$$

$$PM = 1 - (1 - PM1) \times (1 - PM2) \times \dots \times (1 - PMN) \quad (16)$$

### 2.14 Consideração do número anual N de eventos perigosos

O método de proteção a se utilizar em uma estrutura está ligado a fatores como localização, atividade atmosférica que traz o número de eventos perigosos e das características

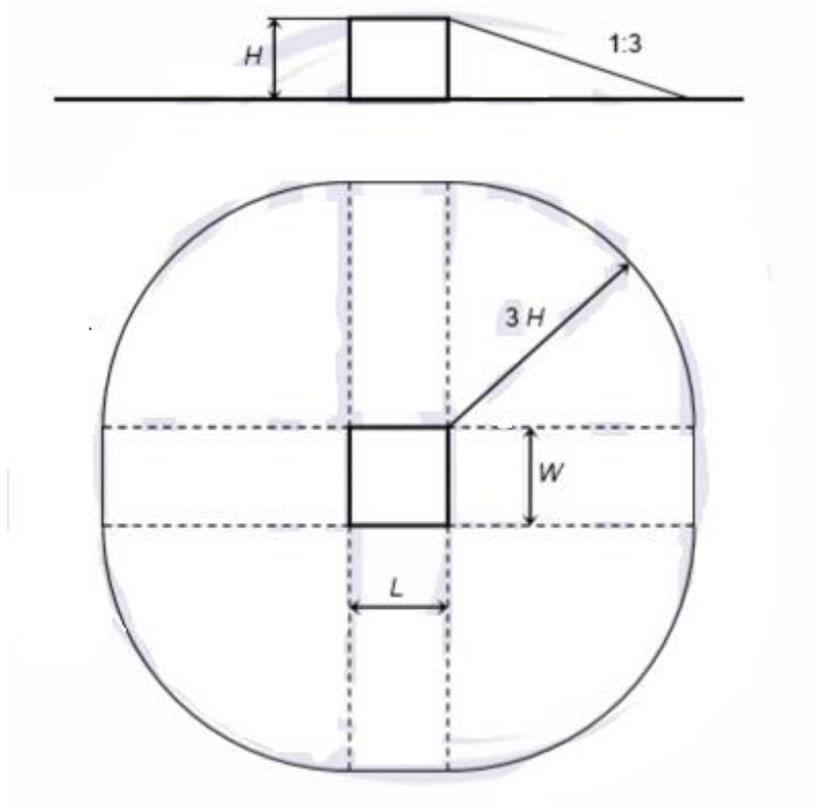
da construtivas da estrutura, esse número pode ser calculado pela multiplicação da densidade de descargas atmosféricas para a terra NG pela área de exposição equivalente da estrutura, aplicando os fator de correção para características físicas da estrutura. O índice NG é o número de descargas atmosféricas por km<sup>2</sup> por ano.

#### 2.14.1 Estrutura retangular

Para uma estrutura retangular isolada com comprimento L, largura W, e altura H (valores em metro), em um solo plano, a área de exposição equivalente é dada pela equação 17:

$$AD = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (17)$$

Figura 8 - Área de exposição equivalente AD de uma estrutura isolada



Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015

#### 2.15 Localização da estrutura

A localização de estruturas próximas a estrutura a ser protegida deve se levar em consideração o fator de localização CD presente na tabela 4, que avalia a influência direta de

outras estruturas ao redor, considerando a altura relativa em relação nas cercanias ou do solo considerando uma distância  $3 \times H$  da estrutura e CD com valor de 1.

Tabela 4 - Fator de localização da estrutura

Fator de localização relativa	CD
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

## 2.16 Eventos perigosos ND

Para calcular o número de eventos perigosos realiza-se através da equação 18.

$$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6} \quad (18)$$

### 2.16.1 Número de eventos perigosos NDJ para uma estrutura adjacente

Para calcular o Número de eventos perigosos NDJ para uma estrutura adjacente se utiliza a equação 19.

$$NDJ = NG \times ADJ \times CDJ \times CT \times 10^{-6} \quad (19)$$

### 2.16.2 Avaliação de NM

Avaliação do número médio de descargas atmosféricas perto da estrutura é dado pela equação 20.

$$NM = NG \times AM \times 10^{-6} \quad (20)$$

### 2.16.3 Área de exposição equivalente AM

Na área de exposição equivalente AM é localizado uma linha a 500m de distância da estrutura é dado pela equação 21.

$$AM = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (21)$$

### 2.16.4 Avaliação de NL

A avaliação do número de eventos perigosos médio anual NL sobre a incidência de descargas atmosféricas na linha. É dado pela equação 22. E AI é dado pela equação 23.

$$NL = NG \times AL \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6} \quad (22)$$

$$AI = 40 \times LL \quad (23)$$

Para avaliar a média de eventos na linha é considerado alguns critérios como AM, AL, CI, CT e CE. Tabelas 5, 6, 7, respectivamente.

Tabela 5 - Fator instalação da linha

Roteamento	CI
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015)	0,01

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Tabela 6 - Fator tipo de linha CT

Instalação	CT
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Tabela 7 - Fator ambiental da linha CE

Ambiente	CE
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

2.16.5 Avaliação do número de eventos perigosos médio anual NI sobre a incidência de descargas atmosféricas próximos a linha.

$$NI = NG \times AI \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6} \quad (24)$$

NI é dado através da equação 24. CI é igual a 4000 vezes o comprimento LL.

2.17 Avaliação da probabilidade Px de danos causados por descargas atmosféricas

2.17.1 Probabilidade PA causar D1

Os valores da probabilidade são baseados no SPDA adotado e nas medidas de proteção adicionais, evitando o choque devido a tensão de toque e de passo. Considerar PTA igual a 1. Define-se PA através da equação 25.

$$PA = PTA \times PB \quad (25)$$

2.17.2 Probabilidade PB causar D2

Pode ser reduzida com o uso adequado das medidas de proteção, em função dos níveis de proteção. De acordo com a tabela 8.

Tabela 8 - Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físico

Características da estrutura	Classe do SPDA	PB
Estrutura não protegida por SPDA	-	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas naturais		0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

### 2.17.3 Probabilidade PC causar D3

Esta probabilidade está relacionada as falhas em sistemas internos causadas pelas descargas atmosféricas podendo ser realizado a coordenação de DPS como medida adicional de proteção para reduzir a PC, dada equação 26.

$$PC = PSPD \times CLD \quad (26)$$

Tabela 9 - Valores de probabilidade de PSPD em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	PSPD
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

NOTA 2 Os valores de PSPD podem ser reduzidos para os DPS que tenham características melhores de proteção (maior corrente nominal IN, menor nível de proteção UP etc.) comparados com os requisitos definidos para NP I nos locais relevantes da instalação (ABNT NBR 5419-2:2015)

A nota dois refere-se a exatidão na coordenação de DPS que está relacionada com as características de proteção que o dispositivo possui, com maior corrente nominal IN e menor nível de proteção.

Os valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento, são dados através da tabela 10.

Tabela 10 - Valores dos fatores CLD e CLI

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	CLD	CLI
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
Nenhuma linha externa	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

#### 2.17.4 Probabilidade PM causar D3

A probabilidade PM de causar falhas em sistemas internos devidos a descargas atmosféricas que caem perto de uma estrutura podem ser reduzidos com a utilização de SPDA, blindagens eletromagnéticas com malha, tensão suportável aumentada, interfaces isoladas, sistemas de coordenação de DPS e as medidas adequadas de proteção contra surtos MPS.

A estrutura que não for instalado o sistema coordenado dos DPS, seguindo os requisitos da parte quatro da NBR 5419, deve-se considerar o valor de PM igual ao de PMS. E caso a estrutura possua instalado o sistema coordenado dos DPS, seguindo os requisitos da parte quatro da NBR 5419, o valor de PM passa a ser dado pela equação 27.

$$PM = PSPD \times PMS \quad (27)$$

Aos sistemas internos que tenham equipamentos que não suportam a tensão que consta nas normas específicas de produto, deve-se considerar PM é igual a 1, o valor de PMS é obtido pela equação 28.

$$PMS = (KS1 \times KS2 \times KS3 \times KS4)^2 \quad (28)$$

Os parâmetros considerados para a definição de PMS são:

- a) KS1 considera a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1;
- b) KS2 considera a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y (X sendo maior que 0 e Y maior que 1);
- c) KS3 considera as características da fiação interna (ver Tabela 11);
- d) KS4 considera a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Para equipamentos que contenham interfaces isoladas como transformadores de isolamento ou cabos de fibra óptica o valor para PMS é igual a 0.

Dentro de uma ZPR a distância de segurança considerada para o limite da malha deve ser no mínimo igual à largura da malha  $w_m$ , os fatores de KS1 e KS2 para SPDA ou blindagem de malha especial podem ser descritos na equação 29 e 30.

$$KS1 = 0,12 \times w_{m1} \quad (29)$$

$$KS2 = 0,12 \times w_{m2} \quad (30)$$

As larguras da blindagem em forma de grade, distancias dos condutores de descida de SPDA, ou as distancias entre as armações metálicas de uma estrutura ou espaçamentos de uma malha do concreto armado, que se utiliza como SPDA natural.

Para blindagens contínuas metálicas com espessura não menor que 0,1 mm adota-se  $KS1$  e  $KS2 = 10^{-4}$ . Nas redes de equipotencialização se utiliza os valores de  $KS1$  e  $KS2$

divididos por dois. Onde estiver passando laços de indução próximos aos condutores de limite da malha de ZPR devem ficar mais próximo que a distância de segurança.

Para  $KS4 = 1/UW$  tendo como resultado máximo até 1, o UW é a tensão suportável de impulso a proteger, dada em kV.

Tabela 11 – Valor do fator KS3 dependendo da fiação interna

Tipo de linha externa	Conexão na entrada
a - Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	1
b - Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços	0,2
c - Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	0,01
d - Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	0,0001
a) Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m <sup>2</sup> ). b) Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m <sup>2</sup> ). c) Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m <sup>2</sup> ). d) Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.	

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

### 2.17.5 A probabilidade PU causar D1

A probabilidade PU traz os ferimentos que podem causar a seres vivos dentro da estrutura devido a tensão de toque na linha que entra pela estrutura, esses valores de probabilidade dependem de algumas características, como blindagem da linha, tensão suportável de impulso de sistemas internos, das medidas de proteção com restrição física, alerta avisos com alerta, interfaces isolante ou DPS. Conforme equação 31.

$$PU = PTU \times PEB \times PLD \times CLD \quad (31)$$

Para a PTU deve se utilizar as medidas de proteção contra tesões de toque, como restrições físicas ou avisos de alerta.

[...] Um sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 não é necessário para reduzir PU; neste caso, DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-3 são

suficientes. O valor de PU é dado por:  $PU = PTU \times PEB \times PLD \times CLD$ , onde PTU depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas. (ABNT NBR 5419-2, 2015)

São necessários para realizar o cálculo dessa probabilidade os quatro fatores, mas é de conhecimento apenas CLD que é um fator que depende das condições da blindagem, do aterramento e da isolação da linha. Se mais de uma medida de proteção for tomada considerar o valor de PTU o produto dos valores que correspondentes. O fator PTU (é probabilidade que reduz PU dependendo da medida de proteção adotada). Dado pela tabela 12.

Tabela 12 – Valores da probabilidade PTU de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura podendo causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

Medida de proteção	PTU
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	0,1
Isolação elétrica	0,01
Restrições físicas	0

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Tabela 13 - Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	PEB
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 – 0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

NOTA 4 Os valores de PEB podem ser reduzidos para DPS que tenham melhores características de proteção (correntes nominais maiores para IN, níveis de proteção menores UP etc.) comparados com os requisitos definidos para NP I nos locais relevantes da instalação [...], para informações da probabilidade de correntes de descargas atmosféricas, [...]. Os mesmos anexos podem ser utilizados para DPS que tenha probabilidades maiores que PEB. (ABNT NBR 5419-2:2015)

O fator PEB é a probabilidade que reduz PV e PU dependendo de propriedades da linha e da tensão suportável do equipamento no momento da instalação da ligação equipotencial.

Tabela 14 - Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência  $R_S$  da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso  $UW$  do equipamento

Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável $UW$ em kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia ou sinal	Linha aérea ou enterrada, não blindada	Não blindada ou não conectada	1	1	1	1	1
	Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	Blindada e interligada ao mesmo barramento - $5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20\Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
Tipo da linha	Condições do roteamento, blindagem e interligação		Tensão suportável $UW$ em kV				
		Blindada e interligada ao mesmo barramento - $1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		Blindada e interligada ao mesmo barramento - $R_S \leq 1\Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

A Tabela 14 define o fator PLD que é a probabilidade de reduzir  $PU$ ,  $PV$  e  $PW$  dependendo das propriedades da linha e da suportável do equipamento quando é ligado ao sistema equipotencializado.

#### 2.17.6 Probabilidade $PV$ causar D2

Para avaliar os valores da probabilidade  $PV$  de danos físicos devido a descarga atmosférica em uma linha que entra em uma estrutura e leva em conta a blindagem da linha e da tensão de impulso de sistemas conectados a linha, interfaces ou DPS instalados, num sistema de DPS coordenados não é necessário reduzir  $PV$ . O valor de  $PV$  é dado pela equação 32.

$$PV = PEB \times PLD \times CLD \quad (32)$$

### 2.17.7 Probabilidade PW causar D3

Para avaliar os valores da probabilidade PW devido a descarga atmosférica em uma linha que entra em uma estrutura podendo causar falha nos sistemas internos e leva em conta a blindagem da linha e da tensão de impulso de sistemas conectados a linha, interfaces isolantes ou sistema coordenado de DPS instalados, O valor de PW é dado pela equação 33.

$$PW = PSPD \times PLD \times CLD \quad (33)$$

### 2.17.8 Probabilidade PZ causar D3

Para avaliar os valores da probabilidade PZ devido a descarga atmosférica em uma linha que entra em uma estrutura podendo causar falha nos sistemas internos e leva em conta a blindagem da linha e da tensão de impulso de sistemas conectados a linha, interfaces isolantes ou sistema coordenado de DPS instalados, O valor de PZ é dado pela equação 34. O valor de PLI é dado através da Tabela 15.

$$PZ = PSPD \times PLI \times CLI \quad (34)$$

Tabela 15 - Valores da probabilidade PLI dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso UW dos equipamentos

Tipo da linha	Tensão suportável <i>UW</i> em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de sinal	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

## 2.18 Análise de quantidade de perda LX

### 2.18.1 Quantidade relativa média da perda por evento perigoso

É dada como perda LX a quantidade média de um tipo de dano particular para cada descarga atmosférica, levando em conta causas e efeitos. Cada valor de LX muda com o tipo de perda. Na divisão das zonas da estrutura determinar a perda LX correspondente para cada tipo de dano (D1, D2, D3) de perda.

### 2.18.2 Perda de vida humana (L1)

Determinasse o valor de perda LX para cada zona de acordo com a tabela 16.

- Os dados considerados para a perda de vida humana é o aumento de (hz) e diminuição de (rt, rp, rf) dependendo das características da zona, (Tabela 20) e (Tabela 21).
- A relação entre o número de pessoas na zona (nz) e o número total de pessoas (nt) na estrutura, podendo reduzir o valor de perda máximo.
- O tempo em horas por ano, durante o qual as pessoas estão presentes na zona (tz), se este for menor que um total de 8 760 h de um ano, também irá reduzir a perda.

Tabela 16 - Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$LA = rt \times LT \times nZ / nt \times tz / 8760$	(35)
D2	$LU = rt \times LT \times nZ / nt \times tz/8760$	(36)
D3	$LB = LV = rp \times rf \times hz \times LF \times nZ / nt \times tz / 8760$	(37)
D4	$LC = LM = LW = LZ = LO \times nZ / nt \times tz / 8760$	(38)

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Para haver a redução da perda devido aos danos físicos ou quando houver risco especial de acordo com o risco de explosão ou incêndio são considerados medidas para diminuir tais ocorrências bem como a perda de vida humana em função do tipo de solo (rt) (Tabela 18) e

risco de incêndio (rp) (Tabela 19), através dos valores médios típicos para LT, LF e LO da Tabela 17.

Tabela 17 - Tipo de perda L1: Valores médios típicos de LT, LF e LO

Tipo de superfície	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
D1 Ferimentos	LT	0,01	Todos os tipos
D2 Danos Físicos	LF	0,1	Risco de explosão
		0,1	Hospital, hotel, escola, edifício
		0,05	Entretenimento público, igreja, museu
		0,02	Industrial, comercial
		0,01	Outros
D3 falhas de sistemas internos	LO	0,1	Risco de explosão
		0,01	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		0,001	Outra parte de hospital

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Tabela 18 - Fator de redução  $r_t$  em função do tipo de solo ou piso

Tipo de superfície	Resistência de contato $k\Omega$	$r_t$
Agricultura, concreto	$\leq 1$	0,01
Mármore, cerâmica	1 – 10	0,001
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	0,0001
Asfalto, linóleo, madeira	$\geq 100$	0,00001

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Tabela 19 - Fator de redução  $r_p$  em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	$r_p$
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático (a)	0,2
(a) Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 minutos.	

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Ao tomar mais de uma providencia deve-se considerar o valor de  $r_p$  o menor dos valores relevantes.

Tabela 20 - Fator de redução  $r_f$  em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

Risco	Quantidade de risco	$r_f$
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	0,1
	Zonas 2, 22	0,001
Incêndio	Alto	0,1
	Normal	0,01
	Baixo	0,001
Explosão	Nenhum	0

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Tabela 21 - Fator hz aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	hz
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

### 2.18.3 Perda que é inaceitável ao serviço prestado ao público (L2)

Essa perda está relacionada com a interrupção dos serviços prestados ao público e são identificados como perda LX e pode ser determinado através da tabela 23. O valor total de perda na zona devido aos danos está relacionado ao número de pessoas servidos na zona (nz) e o número total de pessoas servido na estrutura toda (nt). Dados nas equações 39 e 40.

Tabela 22 - Tipo de perda L2: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	hz	Equação
D2	$LB = LV = rp \times rf \times LF \times nz/nt$	(39)
D3	$LC = LM = LW = LZ = LO \times nz/nt$	(40)

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

A característica da zona da estrutura influencia diretamente na perda de serviço ao público, levam em conta fatores de redução (rf e rp).

Tabela 23 - Tipo de perda L2: valores médios típicos de LF e LO

Tipo de dano	hz	Valor	Tipo de serviço
D2 Danos físicos	LF	0,1	Gás, água, fornecimento de energia
		0,01	TV, linhas de sinais
D3 Falhas em sistemas internos	LO	0,01	Gás, água, fornecimento de energia
		0,001	TV, linhas de sinais

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

## 2.18.4 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)

Essa perda é afetada pelas características da zona e levam-se em consideração os fatores de redução (rf, rp), de acordo com os valores da tabela 25, considerasse para o valor de perda LB, equação 41.

Tabela 24 - Tipo de perda L3: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	hz	Equação
D2 Danos físicos	$LB = LV = rp \times rf \times LF \times cz / ct$	(41)

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

Tabela 25 - Tipo de perda L3: valor médio típico de LF

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D2 Danos físicos	LF	0,1	Museus, galerias

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

### 2.18.5 Perda econômica (L4)

O valor máximo de perda referente aos danos deve ser reduzido pela relação do valor relevante da zona e o valor total da zona completa. Incluindo animais, edificação, conteúdo e sistemas internos e suas atividades. Para as equações 42, 43, 44 e 45.

Tabela 26 - Tipo de perda L4: valores de perda de cada zona

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D1 Ferimentos	$LA = rt \times LT \times ca / ct (a)$	(42)
D1 Ferimentos	$LU = rt \times LT \times ca / ct (a)$	(43)
D2 Danos Físicos	$LB = LV = rp \times rf \times LF \times (ca + cb + cc + cs) / ct$	(44)
D3 falhas de sistemas internos	$LC = M = LW = LZ = LO \times cs / ct$	(45)

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

É definido os valores médios típicos de perda LT (perda devido a choque elétrico) e de acordo com cada tipo de estrutura são definidos os valores de LF e LO através da tabela 27.

Tabela 27 - Tipo de perda L4: Valores médios típicos de LT, LF e LO

Tipo de superfície	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
D1 Ferimentos devido a choque elétrico	LT	0,01	Todos os tipos onde somente animais estão presentes
D2 Danos Físicos	LF	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu, agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
		0,01	Outros
D3 falhas de sistemas internos	LO	0,1	Risco de explosão
		0,01	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial
		0,001	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
		0,0001	Outros

Fonte: ABNT NBR 5419-2, 2015

### 3 SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

#### 3.1 Classes do SPDA

As características da estrutura a ser protegida e o nível de proteção determinam as características do SPDA a ser utilizado, na tabela 28 apresenta-se as quatro classes de um SPDA, referentes aos níveis de proteção expressados pela ABNT NBR 5419-1:2015.

Tabela 28 - Danos: Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA.

Nível de proteção	Classe de SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Fonte: ABNT NBR 5419-1, 2015

Para cada nível de proteção é fixado um conjunto de parâmetros mínimos e máximos das correntes de descargas atmosféricas.

Nível I - Nível de proteção mais rigoroso e seguro. Usado em estruturas de serviços estratégicos ou que apresentam risco para os arredores. Ex.: depósitos de explosivos, materiais sujeitos à explosão, material tóxico ao meio ambiente etc.

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.

Os valores máximos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas para os diferentes níveis de proteção são usados para projetar componentes de proteção contra descargas atmosféricas (por exemplo, seção transversal dos condutores, espessuras das chapas metálicas, capacidade de condução de corrente dos DPS, distância de segurança contra centelhamentos perigosos) e para definir parâmetros de ensaios que simulam os efeitos das descargas atmosféricas sob tais componentes. ABNT NBR 5419-1, 2015

Os componentes de proteção são criados e modificados com base nos parâmetros e ensaios das correntes elétricas da descarga atmosférica e realiza-se simulações para projetar componentes de proteção como o DPS. Para definir qual classe de SPDA, de alguns parâmetros que podem ser modificados conforme a necessidade, são eles, parâmetros da descarga atmosférica, raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção, distâncias típicas entre condutores de descidas e condutores em anel, distância de segurança contra centelhamentos perigoso e comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

### 3.2 Continuidades da armadura de aço em estruturas de concreto armado

Em uma armadura de aço de uma estrutura de concreto pode considerar eletricamente contínua, sendo que 50 % das conexões com as barras horizontais estejam bem firmes, sendo soldadas ou unidas por arame cozido ou grampos. Nas estruturas novas deve ser especificada desde o início para garantir a continuidade elétrica. Para estruturas pré-fabricadas deve se fazer ensaios para testar a resistência elétrica, qual ao pode passar de  $0,2 \Omega$ , não atingindo esse valor a estrutura não servirá como condutor natural.

### 3.3 Aplicações de um SPDA externo

A função do SPDA externo é proteger a estrutura de descargas atmosféricas que possam atingir diretamente, incluindo as descargas laterais, dando um caminho para a corrente elétrica através do condutor de descida até a terra onde se neutralizará, sem causar danos térmicos ou mecânicos, evitando centelhamentos que podem dar início a incêndios ou causar explosões.

### 3.4 Como escolher o SPDA externo

A utilização do SPDA externo é fundamental para manter a integridade de uma estrutura e devem incorporar todas as partes da estrutura, ele deverá ser isolado quando trazer risco de explosão devido aos efeitos térmicos e mecânicos no ponto de impacto ou conteúdo interno da estrutura.

### 3.5 Subsistemas de captação

É instalado os subsistemas de captação para dificultar a penetração da corrente da descarga atmosférica na estrutura, esses subsistemas são a combinação dos elementos.

- a) Hastes ou mastros
- b) Condutores suspensos
- c) Condutores em malha

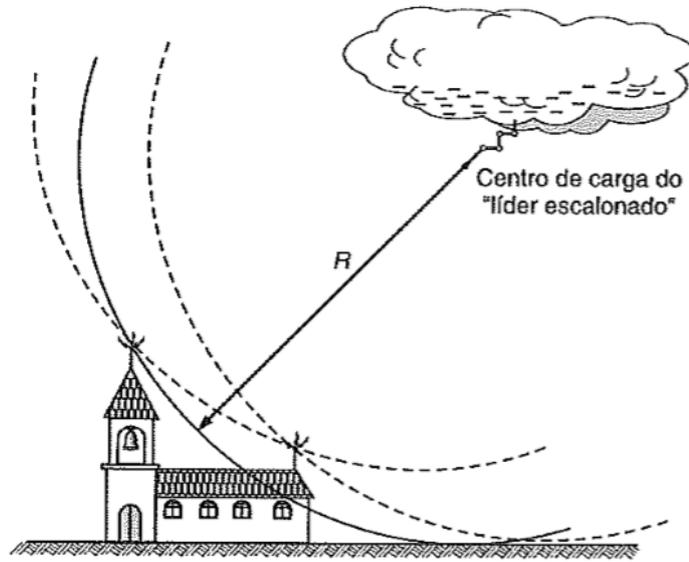
### 3.6 Posicionamento

O posicionamento dos componentes do subsistema de captação é fundamental para evitar danos a estrutura, deve ser nos níveis mais altos da estrutura, em cantos salientes e qualquer ponta saliente e principalmente em fachadas, seguindo um ou mais métodos. Os métodos da esfera rolante e das malhas são adequados em todos os casos. O método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples, mas está sujeito aos limites de altura dos captores indicados na Tabela 29.

### 3.7 Métodos eletromagnéticos

Segundo CREDER (2007. pg 256). O modelo eletromagnético é compatível para as instalações que podem ser atingidas lateralmente pelas descargas atmosféricas devido à altura elevada e o subsistema de captação no topo da estrutura e não garante proteção adequada, pois o segmento atinge a lateral da estrutura, para estrutura com mais de uma dimensão pode-se girar a circunferência, fazendo que ela evite encostar na estrutura a não ser no captor, se caso atingir pode considerar uma falha na blindagem e deixando exposta a descargas diretas. Conforme a figura 9.

Figura 9 - Princípio de proteção pelo método eletromagnético



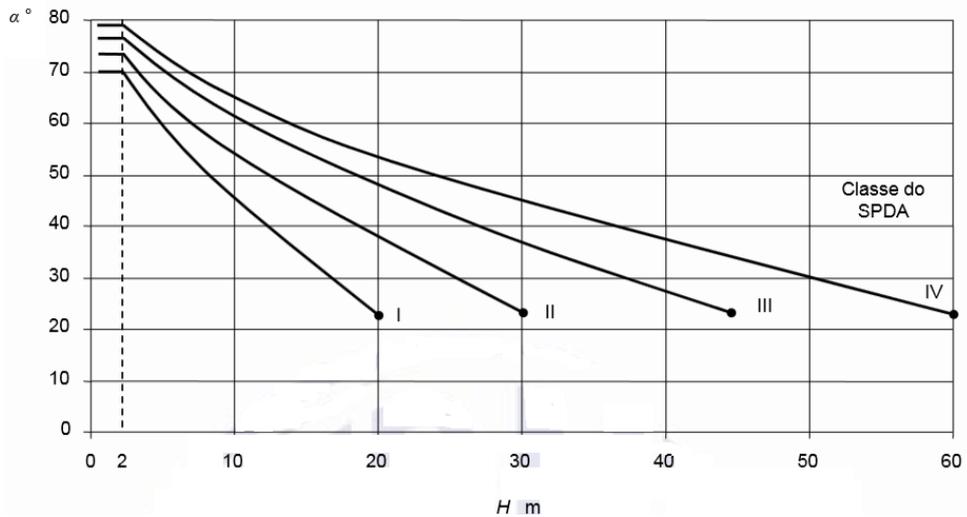
Fonte: CREDER (2007.pg 256.)

Tabela 29 - Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA

Método de proteção			
Classe do SPDA	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção $\alpha^\circ$
I	20	5 x 5	Figura 9
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015

Figura 10 - Ângulo de proteção conforme a classe do SPDA



Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015

### 3.8 Método de Franklin

Segundo MAMEDE (2010. Pg, 620.) “Consiste em se determinar o volume de proteção propiciado por um cone, cujo ângulo da geratriz com a vertical varia segundo o nível desejado e para uma determinada altura da construção”.

Segundo CREDER (2007. Pg, 258.) “[...], é um caso particular do modelo eletro geométrico, em que o segmento do círculo é aproximado por um segmento de reta, tangente ao círculo na altura do captor. Conforme Figura 11.

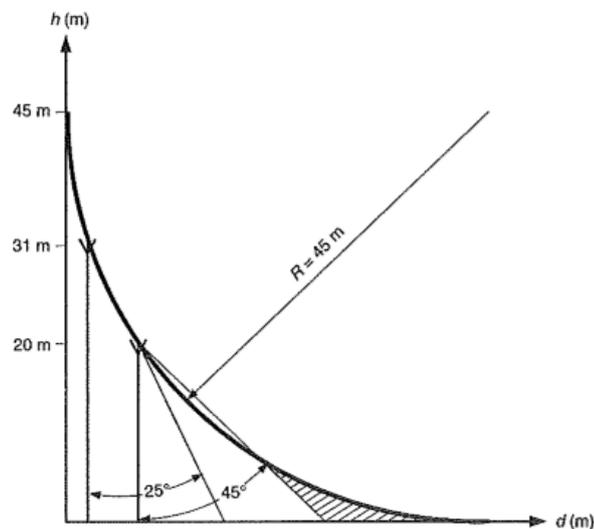
Através dessas definições facilita a compreensão do conceito do método Franklin que se torna mais fácil aplicação.

Tabela 30 - Ângulo de proteção e altura da construção

Nível de proteção	Altura do captor (m)				
	0-20	20-30	31-45	46-60	>60
	Ângulo de proteção em graus				
I	25	(A)	(A)	(A)	(B)
II	35	25	(A)	(A)	(B)
III	45	35	25	(A)	(B)
IV	55	45	35	25	(B)
(A) Aplica-se somente os métodos eletromagneticos, malha ou gaiola de faraday					
(B) Aplica-se somente o método da gaiola de faraday					

fonte: MAMEDE (2010. Pg.620.)

Figura 11 - Representação do método de Faraday no qual o ângulo varia conforme a altura aumenta



CREDER (2007, pg 258.)

### 3.8 Método da Gaiola de Faraday

Este método é utilizado em estruturas que possuem uma grande área horizontal, muito eficiente na proteção de superfícies laterais. A gaiola de Faraday consiste em uma malha que contém os captosres espaçados entre distancias determinadas.

Este método consiste em ordenar por todos os lados do volume a ser protegido uma malha de condutores elétricos fixados na estrutura nus [...]. Baseado na teoria de Michael Faraday, na qual o campo no interior de uma gaiola formada por condutores elétricos que conduzem uma corrente qualquer nula, independentemente do valor da corrente. Nas extremidades dos condutores elétricos haverá um campo que poderá gerar tensões induzidas em outros condutores elétricos que estiver em paralelo com os condutores da malha. instiga as estruturas com uma grande área horizontal, nas quais seria necessária uma grande quantidade de captosres do tipo Franklin. (MAMEDE, 2005, pg. 509, apud COSTA, Caio R. XAVIER, Cenildo S., pg 8).

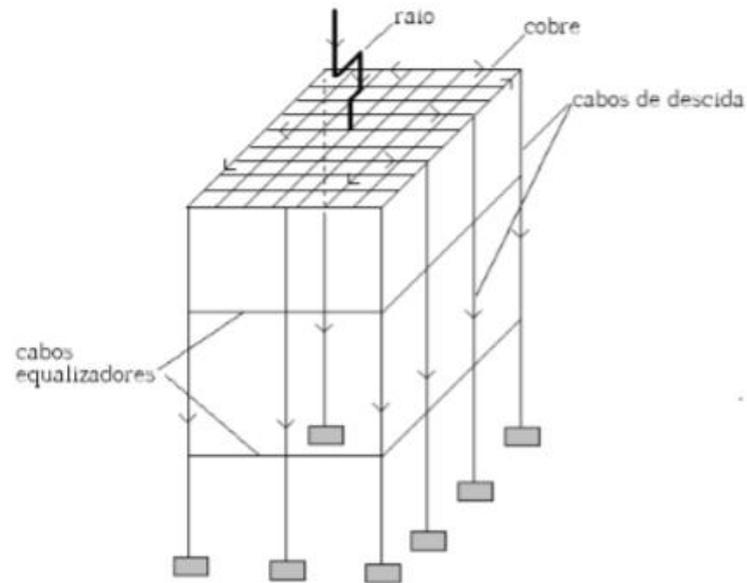
Este método faz com que a estrutura protegida seja envolvida por uma malha que anula a corrente elétrica em seu interior, mas pode induzir tensões em outros condutores, e é utilizado em estruturas onde o uso do tipo Franklin seria inviável.

Segundo a norma NBR5419-3/2015, deve-se seguir alguns requisitos:

- a) Condutores devem ser instalados na periferia e nas saliências da cobertura da estrutura nas cumeeiras, o conjunto do sistema de condutor deve ter sempre duas rotas para a corrente elétrica até o aterramento.
- b) Nenhuma instalação metálica, que por suas características não possa assumir a condição de elemento captor, ultrapasse para fora o volume protegido pela malha do subsistema de captação;
- c) Os condutores da malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível da instalação.

É realizado a representação dos subsistemas de captação, descidas e aterramento que compõem o método da Gaiola de Faraday através da Figura 12.

Figura 12 - Representação do método da gaiola de Faraday



Fonte: Dados do autor, 2018

### 3.9 Subsistemas de descidas

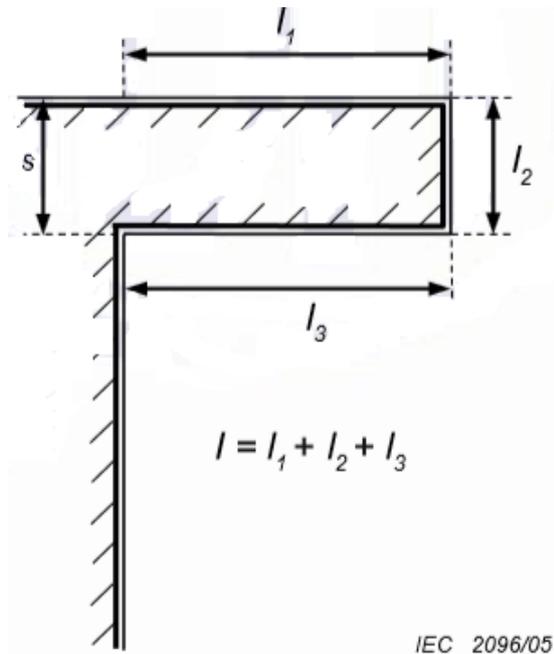
Tem o propósito de reduzir os danos causados pela corrente elétrica da descarga atmosférica, os condutores devem ser arranjados de forma a trazer vários caminhos a corrente elétrica com o menor percurso possível, trazendo equipotencialização das partes condutoras e feitas as interligações em forma de cinta para evitar descargas atmosféricas laterais e considerar os vãos de 10m a 20m.

#### 3.9.1 Construção do subsistema de descida

Condutores de descida devem ser instalados em linha reta e vertical constituindo o caminho mais curto e direto para a terra.

A formação de laços deve ser evitada, mas onde isto não for possível, o afastamento  $s$  entre os dois pontos do condutor e o comprimento  $l$  do condutor entre estes pontos, ver a figura 13.

Figura 13 - Representação do laço em um condutor de descida



Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015

Os condutores de descida de um SPDA não isolado da estrutura a ser protegida podem ser instalados:

- a) Se a parede é feita de material não combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície ou dentro da parede;
- b) Se a parede for feita de material combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície da parede, desde que a elevação de temperatura devido à passagem da corrente da descarga atmosférica neste não seja perigosa para o material da parede;
- c) Se a parede for feita de material prontamente combustível e a elevação da temperatura dos condutores de descida for perigosa, os condutores de descida devem ser instalados de forma a ficarem distantes da parede, pelo menos 0,1 m. Os suportes de montagem podem estar em contato com a parede.

Não deve se instalar os condutores de descidas em calhas ou tubulações de água pluviais, mesmo que sejam isolados, se for a única alternativa disponível o projetista deverá analisar e

documentar as dificuldades e os riscos existentes por se tratar de um lugar úmido e com acúmulo de folhas ou outros elementos, para evitar formação de par eletrolítico ou entupimento.

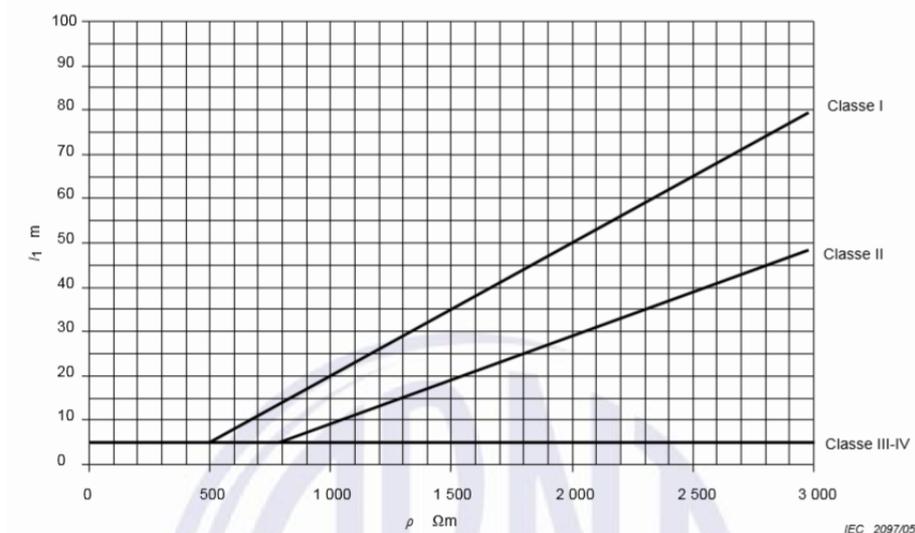
### 3.10 Subsistemas de aterramento

É o método fundamental para dispersar a corrente elétrica da descarga atmosférica para a terra, avaliando o comportamento para reduzir ao máximo qualquer sobre tensão que possa ser potencialmente perigosa, e buscar aprimorar as dimensões geométricas do sistema de aterramento a fim de se obter o menor valor de resistência de aterramento possível levando em conta o arranjo do eletrodo e a topologia do solo. Para a proteção do conjunto da infraestrutura deve ser integrado para ser comum para diversos sistemas.

#### 3.10.1 Condição geral do aterramento

Quando não se pode utilizar as fundações como aterramento, deve-se utilizar o arranjo em anel que é externo a estrutura a ser protegida, o qual deve ser interligado com as sapatas da fundação ou estar 80% em contato com o solo. Assim devem ser consideradas medidas preventivas contra as tensões superficiais perigosas, evitando danos pela tensão de passo ou toque. Na figura 14, se representa o comprimento do eletrodo de aterramento conforme a classe do SPDA.

Figura 14 - Comprimento mínimo /l do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA



Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015

Quando o eletrodo de aterramento em anel ou interligação com a fundação for descontínua deve-se considerar que  $r_e$  (raio médio) da área abrangida não pode ser menor que o valor de  $r_e$  deve ser maior ou igual ao de  $/1$ . Comparação é apresentada pelas equações 46 e 47.

Verifica-se que as classes III E IV não dependem da resistividade do solo e para solos com resistência maior que  $3000\Omega.m$  as curvas devem ser prolongadas.

$$/1 = 0,03\rho - 10 \text{ (classe I)} \quad (46)$$

$$/1 = 0,02\rho - 10 \text{ (classe II)} \quad (47)$$

Caso a instalação possua estruturas metálicas enterradas pode se fazer a conexão do sistema de aterramento afim de evitar novas hastes.

### 3.11 Eletrodos de aterramento como instalar

Os eletrodos de aterramentos em anel devem ser instalados a fim de garantir a menor resistência ao subsistema de aterramento, enterrados na profundidade de no mínimo 0,5 m e a uma distância de 1m ao redor das paredes externas da estrutura, devem ser instalados a fim de garantir a inspeção durante a construção, a profundidade e o tipo de eletrodo devem instalados de tal maneira minimize os efeitos de corrosão e condutibilidade do solo, tornando o conjunto confiável.

Quando é impossível a instalação do anel externo a estrutura, poderá ser instalado internamente seguindo medidas de segurança, evitando os riscos causados por tensões de passo ou de toque.

#### 3.11.1 eletrodos de aterramento naturais

As fundações das estruturas, geralmente armaduras de aço ou outras estruturas metálicas aterradas podem ser utilizadas como eletrodo de aterramento natural, desde que a continuidade

elétrica seja testada. O método de verificação da continuidade é o mesmo dos condutores de descida.

### 3.11.2 Fixação de elementos

Entre os elementos de captação e descida a fixação deve manter firme a fim de evitar forças acidentais como vibração ou expansão térmica, que possam frouxar ou separar os condutores, as distâncias de fixação são:

- a) Até 1,0 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na horizontal
- b) Até 1,5 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na vertical ou inclinado
- c) Até 1,0 m para condutores rígidos (fitas e barras) na horizontal;
- d) Até 1,5 m para condutores rígidos (fitas e barras) na vertical ou inclinado.

### 3.11.3 Conexão de elementos

O condutor de descida ou aterramento deve ter o menor número de conexões possíveis, as conexões podem ser feitas através de soldas elétricas ou exotérmicas e conexão mecânicas de pressão ou compressão, encontrasse as conexões nas caixas de inspeção e nas derivações dos condutores.

## 3.12 Materiais

Tabela 31 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descida

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

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015

Tabela 32 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento

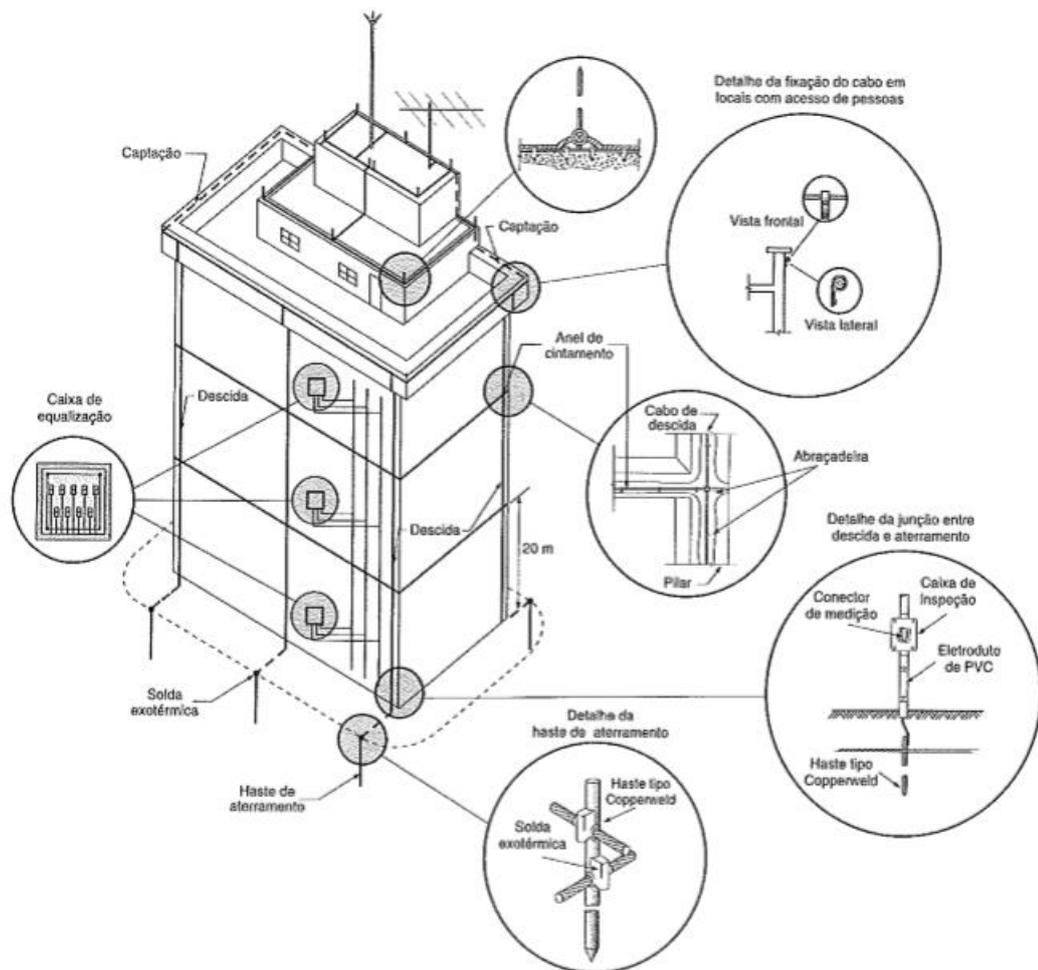
Material	Configuração	Dimensões mínimas		Tipo da estrutura
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
	Encordoado	-	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
Cobre	Arredondado maciço	-	50 mm <sup>2</sup>	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça	-	50 mm <sup>2</sup>	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	-	
	Tubo	20 mm	-	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço	16 mm	Diâmetro 10 mm	-
	Tubo	25 mm	-	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça	-	90 mm <sup>2</sup>	Espessura 3 mm
	Encordoado	-	70 mm <sup>2</sup>	-
Aço cobreado	Arredondado maciço e Encordoado	12,7mm	70 mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável	Arredondado maciço Fita maciça	15 mm	Diâmetro 10 mm 100 mm <sup>2</sup>	Espessura mínima 2 mm

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015

### 3.13 Disposição do conjunto do Sistema de proteção contra descargas atmosféricas

Na figura 15, demonstra-se o detalhamento construtivo do subsistema de captação, subsistema de descidas e subsistema de aterramento, que compõem o Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Figura 15 - Sistema de proteção contra descargas atmosféricas completo



Fonte: TERMOTECNICA (2015)

## **4 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

A ocorrência de centelhamentos dentro de uma estrutura que não possui um sistema de proteção contra descargas atmosféricas é bem comum, para evitar a ocorrência desses eventos perigosos é necessário além de utilizar o SPDA externo, faz se necessário o uso de um SPDA interno que interliga todos os componentes metálicos e partes condutoras de sistemas internos ou de linhas que são interligadas a estrutura.

### **4.1 Equipotencialização para fins de proteção contra descargas atmosféricas**

Para obter uma proteção eficiente deve se fazer a equipotencialização que é a conexão das partes condutoras internas e externas, sistemas internos e linhas elétricas que entram na estrutura, evitando centelhamentos causados pelas correntes das descargas atmosféricas. Os meios de interligação podem ser:

- a) Direto: condutores de ligação, onde a continuidade elétrica não seja garantida pelas ligações naturais;
- b) Indireto: dispositivos de proteção contra surtos (DPS), onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não possa ser realizada;
- c) Indireto: centelhador, onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não seja permitida.

### **4.2 Equipotencialização para instalações metálicas**

Devem ser interligados os condutores em uma barra de ligação que é instalada de fácil acesso a permitir a inspeção. O barramento de equipotencialização principal (BEP) deve ser ligado ao sistema de aterramento do SPDA. Para estruturas com mais de 20 m de extensão deve ser instalado o barramento de equipotencialização local (BEL) conforme a necessidade. Os valores mínimos da seção dos condutores são dados na tabela 33.

Tabela 33 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento

<b>Nível do SPDA</b>	<b>Modo de instalação</b>	<b>Material</b>	<b>Área da seção reta mm<sup>2</sup></b>
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015

Para as instalações internas considerar os valores mínimos de interligação com o barramento de equipotencialização através da tabela 34.

Tabela 34 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento

<b>Nível do SPDA</b>	<b>Material</b>	<b>Área da seção reta mm<sup>2</sup></b>
I a IV	cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

Fonte: ABNT NBR 5419-3, 2015

#### 4.3 Equipotencialização para as linhas conectadas à estrutura a ser protegida

A equipotencialização deve ser feita diretamente ou através do DPS, e interligar ao BEP ou BEL. Se as linhas forem blindadas e estiverem em eletrodutos metálicos devem ter o ponto de equipotencialização mais próximo onde adentrarem na estrutura.

## 5 ESTUDO DE CASO

O estudo tem como objetivo avaliar a necessidade de aplicação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas levando em conta o risco de exposição, probabilidade de perdas e danos que possam colocar em risco a segurança de pessoas e a integridade das estruturas, entre outros parâmetros para uma estrutura predial chamado edifício residencial multifamiliar, está sendo construído na cidade de Lages – SC, a estrutura fica situada no bairro Popular, na rua Isauro Antunes dos Santos. Foi representado através de desenhos criados no software AutoCAD.

Dimensões da estrutura

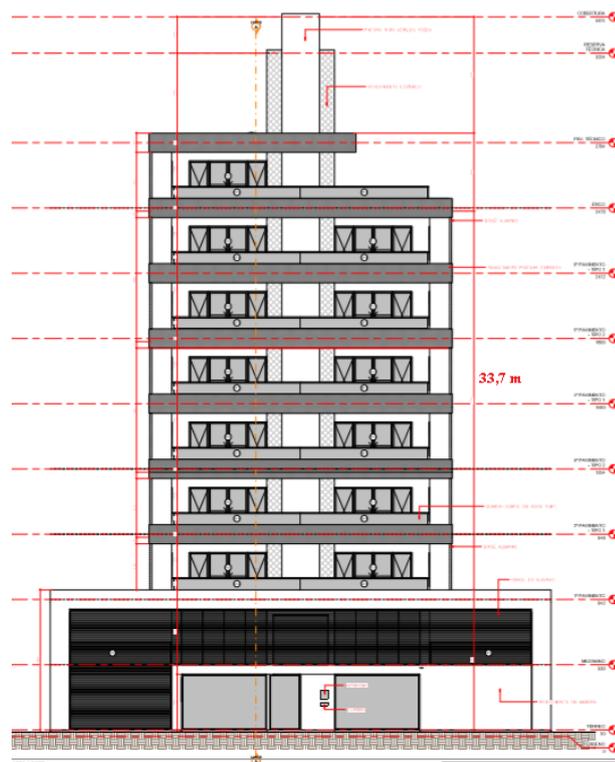
H - Altura: 33,7 m

W - Largura: 23,5 m

L - Comprimento: 22,15 m

O edifício está representado pelo corte frontal na figura 16.

Figura 16 - Estrutura predial



Fonte: Dados do autor

Para determinar quais tipos de perdas possíveis para essa estrutura deve-se verificar o parâmetro de densidade de descargas atmosféricas  $N_g$ , no mapa de densidades, que é fornecido pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (ELAT/INPE) com dados de todo território nacional. Foi utilizado como endereço de pesquisa no site, a cidade de Lages. A densidade  $N_g$  é representado da Figura 17, através do acesso ao site do ELAT na internet, pode-se verificar o valor que é indicado através do mapa do Google, para a cidade de Lages.

Figura 17 - Densidade  $N_g$  de Lages - SC



Fonte: Disponível em: <[http://www.inpe.br/webelat/ABNT\\_NBR5419\\_Ng/](http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/)>

### 5.1 Definição de valores e parâmetros

Para avaliar os parâmetros de exposição e características da estrutura e do meio ambiente é definido através da tabela 35.

Tabela 35 - Número de eventos perigosos para estrutura e meio ambiente

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Valor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Referência</b>
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km <sup>2</sup> /ano)	6,4	Ng	Figura 17
Área de exposição equivalente de uma estrutura isolada	$AD = 22,15 \times 23,5 + 2 \times (3 \times 33,7) \times (22,15 + 23,5) + \pi \times (3 \times 33,7)^2$ $\boxed{AD = 41861,83}$	AD	Eq. (17)
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada = 1	CD	Tabela 4
Consideração do número de eventos perigosos	$ND = 6,4 \times 41861,83 \times 1 \times 10^{-6}$ $\boxed{ND = 0,26}$	ND	Eq. (18)

Fonte: Dados do autor

## 5.2 Consideração do número de eventos perigosos NL devido a descargas atmosféricas na linha

Na tabela 36 são definidos os critérios da área de exposição equivalente de descargas que atingem a linha AL, fator de instalação da linha CI, fator tipo de linha CT, e o fator ambiental CE.

Tabela 36 - Número de eventos perigosos na linha

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Valor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Referência</b>
Número de eventos perigosos na linha	$NL = 6,4 \times 40000 \times 0,5 \times 0,1 \times 1 \times 10^{-6}$ $NL = 0,0128$	NL	Eq. (22)
Área de exposição equivalente que atingem a linha	$AL = 40 \times 1000$ $AL = 40000$	AL	Eq. (23)
Área de exposição equivalente que atingem prox. linha	$AI = 4000 \times 1000$ $AI = 4000000$	AI	Eq. (24)
Número de eventos perigosos próximos a linha	$NI = NG \times AI \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6}$ $NI = 1,28$	NI	Eq. (24)
Fator instalação da linha	Isolada = 0,5	CI	Tabela 5
Fator tipo de linha	Linha de energia ou sinal = 1	CT	Tabela 6
Fator ambiental da linha	Urbano = 0,1	CE	Tabela 7

Fonte: Dados do autor

### 5.3 Probabilidades que podem causar danos a seres vivos

São definidas as probabilidades de danos através da tabela 37.

Tabela 37 - Probabilidade de dano

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Valor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Referência</b>
Probabilidade de causar danos a seres vivos	$PA = 0,1 \times 1$ $PA = 0,1$	PA	Eq. (25)
Valores de probabilidade para reduzir danos físico	Sem SPDA	PB	Tabela 8
	1		
A probabilidade que atinge uma linha e causa ferimentos em seres vivos	$PU = PTU \times PEB$ $\times PLD \times CLD$ $PU = 0,1$	PU	Eq. (31)
Probabilidade que atinge uma linha adentre a estrutura causando danos a seres vivos	Avisos e alertas	PTU	Tabela 12
	0,1		
Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados	Sem DPS	PEB	Tabela 13
	1		
Valores da probabilidade resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento	1	PLD	Tabela 14
Linha enterrada não blindada	1	CLD	Tabela 10
Probabilidade que atinge uma linha e causa danos físicos	$PV = PEB \times PLD$ $\times CLD$ $PV = 1$	PV	Eq. (32)

Fonte: Dados do autor

#### 5.4 Quantidade média de perda

Nesse estudo considera-se apenas a quantidade média do tipo de perda L1.

#### 5.5 Perda de vida humana (L1)

Considera nessa avaliação que os valores podem variar conforme o fator escolhido, foi determinado que a construção seja com piso de cerâmica. Possui um número médio de circulação de pessoas de 13 (treze) apartamentos com 4 (quatro) pessoas totalizando 52 (cinquenta e duas) pessoas e a presença de cada pessoa em 8760 (oito mil setecentos e sessenta) horas anuais.

Tabela 38 - Perda L1 vitimas

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Valor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Referencia</b>
Fator de redução $r_t$ em função do tipo de solo ou piso	0,001	$R_t$	Tabela 18
Ferimentos	$LU = LA = 0,001 \times 0,01 \times \frac{52}{52} \times \frac{8760}{8760}$ $LU = LA = 1 \times 10^{-5}$	$D_1$	Eq. (35)
Danos físicos	0,5	$D_2$	Tabela 19
Fator de redução $r_f$ em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura	Normal = 0,01	$R_f$	Tabela 20
Fator $h_z$ aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial	1	$h_z$	Tabela 21
Danos físicos LB	$LB = LV = 0,5 \times 0,01 \times \frac{52}{52} \times \frac{8760}{8760}$ $LB = LV = 5 \times 10^{-5}$	$D_2$	Eq. (37)

Fonte: Dados do autor

## 5.6 Risco de perdas permanentes de vidas humanas R1

Tabela 39 - Risco R1

<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Valor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Referencia</b>
Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)	$RA = ND \times PA \times LA$ $RA = 2,6 \times 10^{-7}$	RA	Eq. (7)
Componente que relaciona aos danos físicos (D2)	$RB = ND \times PB \times LB$ $RB = 1,3 \times 10^{-5}$	RB	Eq. (8)
Componente de dano a seres vivos por choque elétrico (D1) S3	$RU = (NL + NDJ) \times$ $PU \times LU$ $RU = 1,28 \times 10^{-8}$	RU	Eq. (11)
Componente relacionado a danos físicos (D2) S3	$RV = (NL + NDJ) \times$ $PV \times LV$ $RV = 6,4 \times 10^{-6}$	RV	Eq. (12)
Risco de vítimas humanas	$R1 = RA + RB + RU +$ $RV$ $R1 = 1,96 \times 10^{-5}$	R1	Eq. (1)

Fonte: Dados do autor

O resultado obtido definiu que o risco R1 é maior que o valor definido de RT, com isso a instalação do SPDA é obrigatória a fim proteger a estrutura e garantir a segurança as pessoas. No entanto é indispensável o uso da ABNT NBR 5419 de 2015, para avaliar demais critérios e considerações.

Para reduzir o risco R1 a um valor menor que  $10^{-5}$ , deve ser aplicado as medidas para reduzir os valores das componentes críticas RA e RB através de PB. Com o uso do SPDA classe

III, se reduz dez por cento do valor de RA e RB, assim chega-se em um valor de R1 igual a  $7,9 \times 10^{-6}$ . Valor abaixo do risco total, para os riscos que a estrutura está sujeita.

### 5.7 Métodos de projeto

Em função dos resultados obtidos, que mostra a necessidade de proteger a estrutura predial utilizando o SPDA, apresenta-se os procedimentos que devem ser seguidos para fazer o correto posicionamento do sistema de captores. Conforme a tabela 40.

Tabela 40 – Aplicação do SPDA

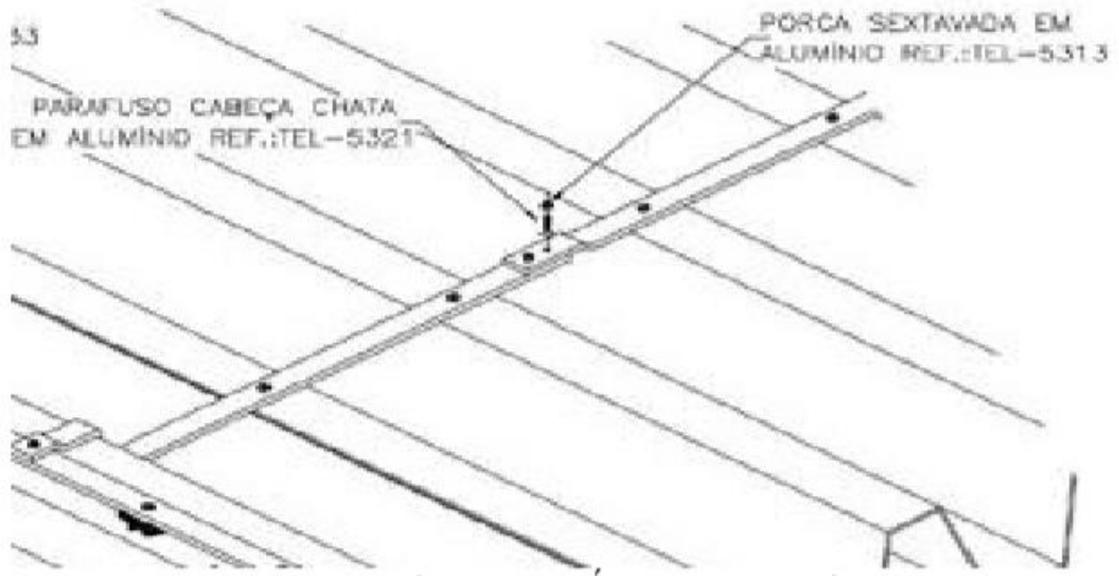
<b>Parâmetros de entrada</b>	<b>Valor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Referencia</b>
Nível de proteção da estrutura predial	3	-	Item 3.1
Classe do SPDA	3	-	Tabela 28
Máximo afastamento dos condutores da malha (m)	15 × 15	-	Tabela 29
H = 33,7 m – nível de proteção 3	Escolhido o método da Gaiola de Faraday	-	Tabela 30

Fonte: Dados do autor

### 5.8 Sistema de captação

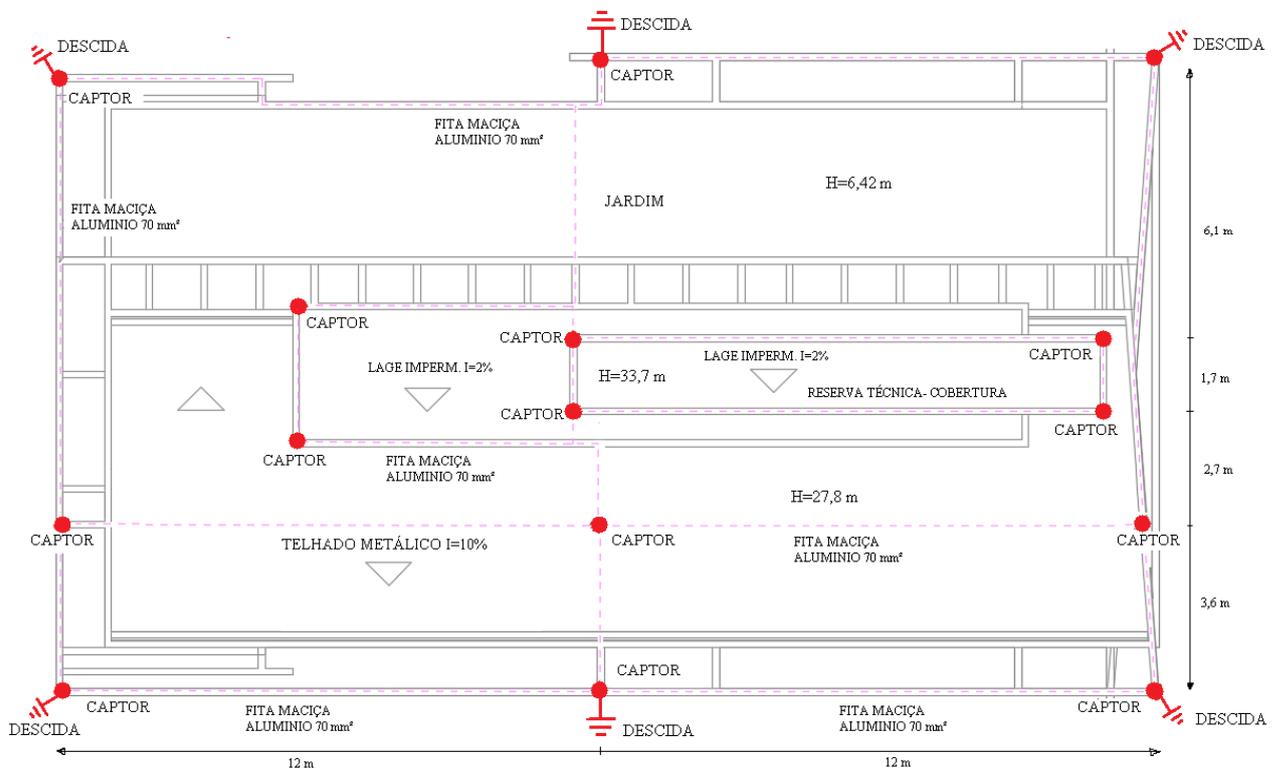
Para o sistema de captação, será utilizado como captores e condutores de captação a fita maciça de alumínio, conforme a tabela 32, utiliza-se a própria estrutura do telhado de Zinco para garantir a equipotencialização, que serão interligados ao sistema de descida utilizando cordoalhas, deve se realizar a conexão desses elementos conforme figura 18. Será utilizado mini captores de aço galvanizado a fogo, de 30 cm de comprimento, para os cantos da edificação. Em um total de 15 captores. Conforme figura 19.

Figura 18 - Fixação dos condutores de captação no telhado



Fonte: TERMOTÉCNICA (2017)

Figura 19 – Subsistema de captação, vista superior



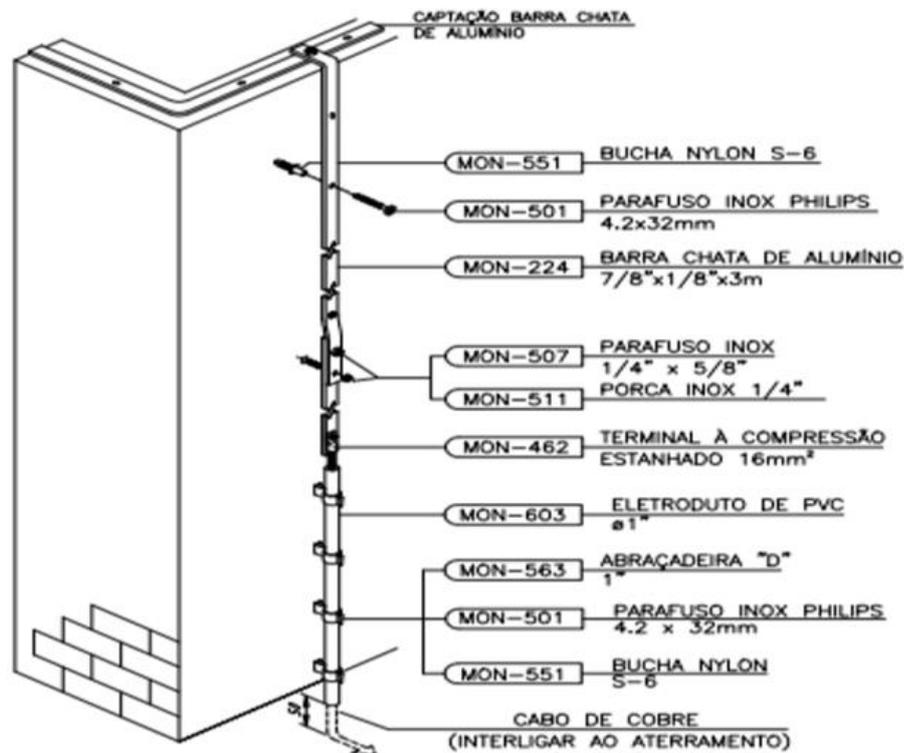
Fonte: Dados do autor

### 5.9 Condutores de descida e aterramento

Foi escolhido a fita maciça de alumínio, mesma utilizada no sistema de captação, definiu-se seis descidas em cada extremidade da estrutura predial, as descidas são conectadas na malha de aterramento, os condutores devem ser fixados na edificação. Conforme figura 20.

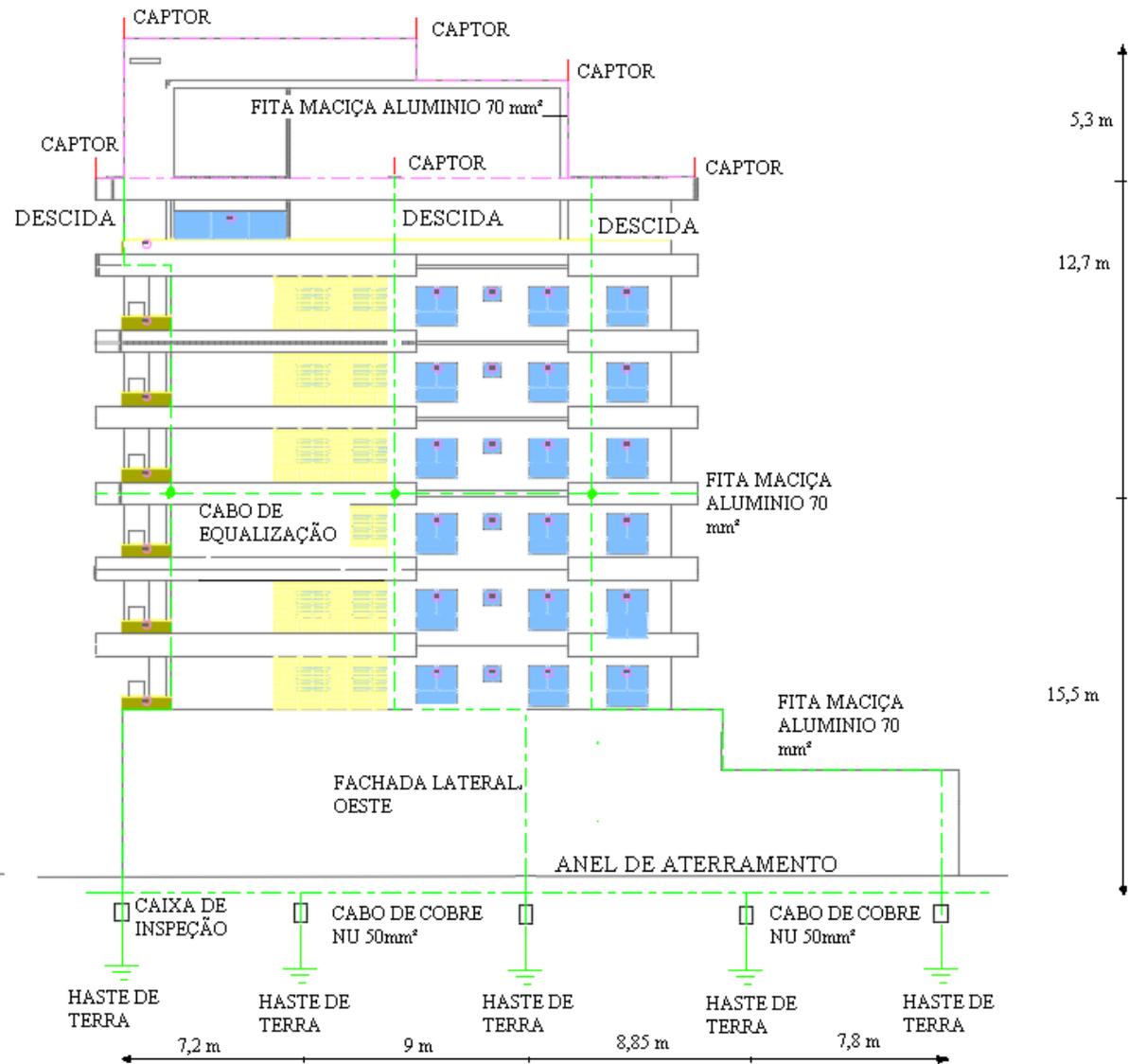
Para o subsistema de aterramento deve se construir um anel de aterramento para que garanta o contato com o solo, deve ser enterrado ao menos meio metro de profundidade, distante da parede a um metro na horizontal, em contorno da estrutura, deve-se realizar medições para aferir a resistência do solo e avaliar se há necessidade de adicionar mais hastes para reduzir a resistência de terra do subsistema. O sistema proposto conta com três anéis de equalização, para evitar centelhamentos perigosos em caso de descargas atmosféricas. Conforme figura 21.

Figura 20 – Subsistema de descidas



Fonte: MONTAL (2018)

Figura 21 - Subsistema de descidas e aterramento, vista lateral oeste



Fonte: Dados do autor

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O foco do estudo é avaliar a necessidade de aplicar o sistema de proteção contra descargas atmosféricas em uma estrutura, demonstrando os critérios utilizados pela ABNT NBR 5419 de 2015, desde as características de formação das descargas atmosféricas, incidência delas no Brasil e quais riscos e probabilidade de danos podem ser causados em estruturas, pessoas e sistemas causando perdas de vida humana, perda de serviço ao público, perdas de valores culturais e econômicos. Demonstraram-se os métodos de proteção contra descargas atmosféricas e suas características, como subsistemas de captação, subsistemas de descidas, e subsistemas de aterramento, SPDA internos e equipotencialização de sistemas, listas de materiais e métodos de posicionamento, fixação e conexão e por fim aplicação no estudo de caso.

Considerando a relação de valores dos riscos toleráveis RT e a perda de vida humana ou danos à saúde permanentes R1, obteve-se o valor de R1 acima do valor de RT. Conclui-se que a estrutura predial chamada de edifício residencial multifamiliar, que está sendo construída na cidade de Lages – SC, necessita da aplicação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, para evitar danos à saúde das pessoas e a integridade do edifício. Aplicou-se o método da gaiola de Faraday e definidos parâmetros e recalculado as componentes de Risco para se obter um resultado de R1 menor que RT, que foi igual a  $7,9 \times 10^{-6}$ , dentro do limite tolerável. Com isso pode-se projetar os subsistemas de captação, descidas e aterramento, e adequá-los ao melhor posicionamento.

A proposta do estudo do tema é fundamentar o conhecimento nessa área importante da engenharia elétrica, auxiliar profissionais para desenvolver tais projetos, que buscam a integridade de estruturas e pessoas. O estudo de caso foi realizado de maneira didática, considerado apenas os possíveis danos a vida humana devido a choques elétricos. Para aplicação prática é indispensável a definição dos demais riscos, danos e particularidades conforme critérios da ABNT NBR 5419 de 2015.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-1**, Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-2**, Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-3**, Rio de Janeiro, 2015.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-4**, Rio de Janeiro, 2015.

COSTA, Caio R.; XAVIER, Cenildo de S. **Estudo sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA**, Montes Claros, p.8, nov.2016.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 15. ed.2007.

FLORES, Ana J. M. **Análise e Aplicação de Métodos para o Cálculo da Resistência de Terra em Sistemas com N Eléttodos Instalados em Solos Heterogéneos**, PORTO, P.10, set. 2014. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/76656/2/32768.pdf>> Acessado dia 13/10/18

MAMEDE, João F. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 8ª ed., 2010.

NETO A.S.; PIANTINI, Alexandre. **Sobretensões Induzidas por Descargas Atmosféricas em Redes Secundárias**, São Paulo, p.1, 2007.

RAGGI, Livia M. R. **Projeto de malhas de aterramento: contribuição ao cômputo da estratificação do solo**, Belo Horizonte, p.10, agosto. 2009. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/319M.PDF>> Acessado dia 13/10/18

RIBEIRO, A. G.; CARDOSO M. C. **Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: a Avaliação de Risco Segundo a Versão da Norma ABNT NBR 5419 de maio de 2015**, Itajubá, p.2, out.2016.

TERMOTÉCNICA. **Apostila do Projetista**. Disponível em <<https://tel.com.br/conteudo-tecnico/apostila-projetista/>>. Acessado dia: 19/11/2018.

ISAACSON, Walter. **Benjamin Franklin: uma vida americana**, tradução Pedro Maia Soares. 1ª ed. — São Paulo, Companhia das Letras, 2015.

Agencia Fapesp. **Ranking de raios**. Disponível em:

<[http://agencia.fapesp.br/ranking\\_de\\_cidades\\_com\\_mais\\_raios/13806/](http://agencia.fapesp.br/ranking_de_cidades_com_mais_raios/13806/)> (Acessado dia 21/05/18, as 16:21)

Agencia Fapesp. **Estado de São Paulo terá maior incidência de raios nos próximos 30 anos** Disponível em:

<[http://agencia.fapesp.br/estado\\_de\\_sao\\_paulo\\_tera\\_maior\\_incidencia\\_de\\_raios\\_nos\\_proximos\\_30\\_anos/26491/](http://agencia.fapesp.br/estado_de_sao_paulo_tera_maior_incidencia_de_raios_nos_proximos_30_anos/26491/)>(Acessado dia 21/05/18, as 17:11)

Agencia Fapesp. **INPE divulga dados de mortes por raios dos últimos 15 anos no Brasil**.

Disponível em:

<[http://agencia.fapesp.br/inpe\\_divulga\\_dados\\_de\\_mortes\\_por\\_raios\\_dos\\_ultimos\\_15\\_anos\\_no\\_brasil\\_/24586/](http://agencia.fapesp.br/inpe_divulga_dados_de_mortes_por_raios_dos_ultimos_15_anos_no_brasil_/24586/)>(Acessado dia 21/05/18, as 17:28)

Agencia Fapesp. **Sistema prevê a ocorrência de raios com 24 horas de antecedência**.

Disponível em:

<[http://agencia.fapesp.br/sistema\\_preve\\_a\\_ocorrenda\\_de\\_raios\\_com\\_24\\_horas\\_de\\_antecedencia/21942/](http://agencia.fapesp.br/sistema_preve_a_ocorrenda_de_raios_com_24_horas_de_antecedencia/21942/)>(Acessado dia 21/05/18, as 17:29)

TERMOTECNICA. **Elaboração do projeto de SPDA**. Disponível em:

<<https://tel.com.br/engenharia/elaboracao-do-projeto-de-spda/>>(Acessado dia 22/05/18, as 13:25)

Inpe. **Proteção edificações**. Disponível em:

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/protecao/protecao.edificacoes.php>>(Acessado dia 22/05/18, as 14:02)

FECAM. **Memorial SPDA**. Disponível em:

<[https://static.fecam.net.br/uploads/834/arquivos/854315\\_Memorial\\_SPDA\\_.pdf](https://static.fecam.net.br/uploads/834/arquivos/854315_Memorial_SPDA_.pdf)> (Acessado dia 03/07/18, as 13:45)