

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DOUGLAS PALHARIM

OTÁVIO KLIEMANN

**ANÁLISE DO SPDA DO BLOCO L4 DA UTFPR CAMPUS MEDIANEIRA
CONFORME A ABNT NBR 5419-2015**

MEDIANEIRA

2022

DOUGLAS PALHARIM
OTÁVIO KLIEMANN

ANÁLISE DO SPDA DO BLOCO L4 DA UTFPR CAMPUS MEDIANEIRA
CONFORME A ABNT NBR 5419-2015

Analysis of the SPDA of block I4 of UTFPR campus Medianeira according to
ABNT NBR 5419-2015

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Yuri Ferruzzi.

MEDIANEIRA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**DOUGLAS PALHARIM
OTÁVIO KLIEMANN**

**ANÁLISE DO SPDA DO BLOCO L4 DA UTFPR CAMPUS MEDIANEIRA
CONFORME A ABNT NBR 5419-2015**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21/novembro/ 2022

Yuri Ferruzzi
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Estor Gnoatto
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcos Fischborn
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**MEDIANEIRA
2022**

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo um estudo referente a norma ABNT NBR 5419 que trata da proteção contra descargas atmosféricas, analisando as mudanças mais impactantes sofridas pela norma em sua última revisão, além de expor conceitos sobre as descargas atmosféricas e de SPDA. A proposta do estudo é realizar uma avaliação técnica em uma estrutura predial já construída com SPDA instalado, porém este sistema segue a norma de 2005 a qual está desatualizada, sendo assim necessário um novo dimensionamento para o sistema, com objetivos de avaliar sua área de risco, necessidade de proteção, método de proteção, entre outros parâmetros, avaliando assim os critérios necessários para o projeto seguindo as normas da ABNT a NBR 5419 de 2015 e comparar os valores.

Palavras-chave: proteção para raio; descargas atmosféricas; gerenciamento de risco; choque elétrico.

ABSTRACT

The present work aims to study the ABNT NBR 5419 standard that deals with protection against atmospheric discharges, analyzing the most impacting changes suffered by the standard in its last revision, in addition to exposing concepts about atmospheric discharges and SPDA. The purpose of the study is to carry out a technical evaluation in a building structure already built with SPDA installed, but this system follows the 2005 standard which is outdated, thus requiring a new dimensioning for the system, with the objective of evaluating its risk area, protection need, protection method, among other parameters, thus evaluating the necessary criteria for the project following the ABNT standards to NBR 5419 of 2015 and comparing the values.

Keywords: protection from lightning; atmospheric discharges; risk management; electric shock.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas da formação do raio.....	19
Figura 2 - Mapa da densidade de descargas atmosféricas no Brasil.....	20
Figura 3 - Subsistemas do SPDA.....	21
Figura 4 - Método das malhas no topo de uma edificação.....	24
Figura 5 - Método do ângulo de proteção.....	24
Figura 6 - Proteção pelo método eletro geométrico.....	26
Figura 7 - Ângulo de proteção conforme a classe do SPDA.....	27
Figura 8 - Comprimento mínimo do raio da área abrangida pelos eletrodos em relação a classe de proteção.....	30
Figura 9 - Zonas de proteção de uma estrutura.....	32
Figura 10 - Procedimento para a decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre níveis de proteção e classe do SPDA.....	22
Quadro 2 - Ângulo de proteção e altura da edificação.....	25
Quadro 3 - Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a cada classe de SPDA.....	26
Quadro 4 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida.....	27
Quadro 5 - Relação do tipo de perda com os componentes de risco.....	35
Quadro 6 - Valores dos riscos toleráveis.....	36
Quadro 7 - Fator de localização da estrutura.....	41
Quadro 8 - Fator de instalação da linha C_I	43
Quadro 9 - Fator de instalação da linha C_T	43
Quadro 10 - Fator de instalação da linha C_E	43
Quadro 11 - Valores de probabilidade P_{TA}	44
Quadro 12 - Valores de probabilidade P_B dependendo da classe do SPDA.....	44
Quadro 13 - Valores de P_{SPD}	45
Quadro 14 - Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI}	46
Quadro 15 - Valores de K_{S3} em função da fiação interna.....	48
Quadro 16 - Valores de P_{TU}	49
Quadro 17 - Valores de P_{EB}	49
Quadro 18 - Valores de P_{LD}	49
Quadro 19 - Valores de P_{LI}	51
Quadro 20 - Valores da perda típica.....	51
Quadro 21 - Perda L1 - Valores médio típicos de L_T , L_F e L_O	52
Quadro 22 - Fator de redução r_t em função do tipo de solo ou piso.....	52
Quadro 23 - Fator de redução r_p em função das providências.....	53
Quadro 24 - Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão da estrutura.....	53
Quadro 25 - Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial.....	53
Quadro 26 - Perda L2 valores para cada tipo de dano.....	54
Quadro 27 - Perda L2 valores da perda médios típicos de L_F e L_O	54
Quadro 28 - Perda L3 valores de perda para cada zona.....	55

Quadro 29 - Perda L3 valor médio típico de L_F	55
Quadro 30 - Perda L4 valores de perda para cada zona.....	55
Quadro 31 - Perda L4 valores médios típicos de L_T , L_F e L_O	55
Quadro 32 - Definição das dimensões físicas.....	58
Quadro 33 - Definição de valores.....	59
Quadro 34 - Cálculo das áreas de exposição.....	60
Quadro 35 - Definição das probabilidades de redução.....	61
Quadro 36 - Definição de fator.....	61
Quadro 37 - Cálculo das probabilidades de danos.....	62
Quadro 38 - Definição do número médio de vítimas.....	63
Quadro 39 - Definição dos fatores de redução.....	63
Quadro 40 - Cálculo das perdas.....	64
Quadro 41 - Definição dos fatores.....	65
Quadro 42 - Cálculo do número de eventos perigosos.....	65
Quadro 43 - Cálculo das componentes de risco.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

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
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
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)
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
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
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descarga Atmosférica
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
ZPR	Zona de proteção contra descargas atmosféricas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivos específicos.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	Origem do raio.....	18
3.2	Formação do raio.....	18
3.3	Incidência de raios no Brasil.....	19
3.4	Mapa da densidade de descargas atmosféricas.....	19
3.5	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas.....	21
3.5.1	Classes do SPDA.....	22
3.5.2	Subsistema de captação.....	23
<u>3.5.2.1</u>	<u>Método das malhas.....</u>	<u>23</u>
<u>3.5.2.2</u>	<u>Método do ângulo de proteção.....</u>	<u>24</u>
<u>3.5.2.3</u>	<u>Método da esfera rolante.....</u>	<u>25</u>
3.5.3	Subsistema de descida.....	27
<u>3.5.3.1</u>	<u>Construção do subsistema de descida.....</u>	<u>28</u>
<u>3.5.3.2</u>	<u>Condutores naturais de descida.....</u>	<u>28</u>
3.5.4	Subsistema de aterramento.....	29
<u>3.5.4.1</u>	<u>Condições gerais nos arranjos de aterramento.....</u>	<u>29</u>
<u>3.5.4.2</u>	<u>Instalação dos eletrodos de aterramento.....</u>	<u>30</u>
<u>3.5.4.3</u>	<u>Eletrodos de aterramento naturais.....</u>	<u>30</u>
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
4.1	Crítérios para a proteção das estruturas.....	31
4.1.1	Fontes dos danos.....	32
4.1.2	Tipos dos danos e perdas.....	33
4.1.3	Riscos e componentes dos riscos.....	33
<u>4.1.3.1</u>	<u>Componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura.....</u>	<u>34</u>
<u>4.1.3.2</u>	<u>Componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura.....</u>	<u>34</u>

<u>4.1.3.3</u>	<u>Componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura.....</u>	<u>34</u>
<u>4.1.3.4</u>	<u>Componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à uma estrutura.....</u>	<u>35</u>
4.1.4	Composição das componentes de risco.....	35
4.1.5	Gerenciamento de risco.....	36
4.1.6	Análise dos componentes de risco.....	38
<u>4.1.6.1</u>	<u>Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1).....</u>	<u>39</u>
<u>4.1.6.2</u>	<u>Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2).....</u>	<u>39</u>
<u>4.1.6.3</u>	<u>Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3).....</u>	<u>39</u>
<u>4.1.6.4</u>	<u>Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4).....</u>	<u>40</u>
4.1.7	Dividindo uma estrutura em zonas (Z_S).....	40
4.1.8	Análise do número médio anual de eventos perigosos N_D devido a descargas atmosféricas na estrutura e N_{DJ} em uma estrutura adjacente.....	41
<u>4.1.8.1</u>	<u>Eventos perigosos N_D.....</u>	<u>41</u>
<u>4.1.8.2</u>	<u>Eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente.....</u>	<u>42</u>
<u>4.1.8.3</u>	<u>Avaliação de N_M.....</u>	<u>42</u>
<u>4.1.8.4</u>	<u>Área de exposição equivalente A_M.....</u>	<u>42</u>
<u>4.1.8.5</u>	<u>Avaliação de N_L.....</u>	<u>42</u>
<u>4.1.8.6</u>	<u>Número de eventos perigosos médios anuais N_I sobre a incidência de descargas atmosféricas próximos a linha.....</u>	<u>43</u>
4.1.9	Avaliação da probabilidade P_X de danos causados por descarga atmosférica.....	44
<u>4.1.9.1</u>	<u>Probabilidade p_A causar D1.....</u>	<u>44</u>
<u>4.1.9.2</u>	<u>Probabilidade p_B causar D2.....</u>	<u>44</u>
<u>4.1.9.3</u>	<u>Probabilidade p_C causar D3.....</u>	<u>45</u>
<u>4.1.9.4</u>	<u>Probabilidade p_M causar D3.....</u>	<u>47</u>
<u>4.1.9.5</u>	<u>Probabilidade p_U causar D1.....</u>	<u>49</u>

4.1.9.6	Probabilidade p_v causar D2.....	50
4.1.9.7	Probabilidade p_w causar D3.....	50
4.1.9.8	Probabilidade p_z causar D3.....	50
4.1.10	Análise de quantidade de perda L_x	51
4.1.10.1	L1 - Perda de vida.....	51
4.1.10.2	L2 - Perda inaceitável de serviço ao público.....	54
4.1.10.3	L3 - Perda inaceitável de patrimônio cultural.....	54
4.1.10.4	L4 - Perda econômica.....	55
5	ESTUDO DE CASO.....	57
5.1	Análise da estrutura.....	57
5.2	Gerenciamento de risco.....	58
5.2.1	Características e dados relevantes.....	58
5.2.2	Cálculo das áreas de exposição.....	59
5.2.3	Definição das probabilidades de danos.....	60
5.2.4	Cálculo das perdas.....	63
5.2.5	Cálculo do número de eventos perigosos.....	65
5.2.6	Cálculo das componentes de risco.....	66
5.3	Projeto do SPDA.....	68
5.4	Resultados.....	69
6	CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS.....	72
	ANEXO A – Projeto estrutural no AutoCAD.....	73

1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas apresentam natureza aleatória, o que dificulta sua análise. Os efeitos de um raio atingindo uma edificação sem proteção adequada podem ser catastróficos, podendo até ser fatal a uma vítima que receba essa descarga em um ambiente não protegido (VISACRO FILHO, 2005). De acordo com o INPE, o Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo, o fato de ser o maior país tropical do mundo faz com que em média 50 milhões de raios caiam no Brasil todos os anos.

Sabe-se hoje que pontos de maior altura, como as grandes edificações, antenas, árvores, entre outros, são mais propícios às quedas de raios. Por possuírem uma grande magnitude elétrica, além de causar danos às estruturas de edificações podem oferecer riscos às pessoas que possam estar no interior ou até mesmo nos arredores das mesmas no momento da descarga elétrica (MAMEDE FILHO, 2001). Mamede Filho (2012) afirma que grande parte dos danos podem ser evitados caso as edificações estejam protegidas adequadamente por um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

A ABNT NBR 5419, é a norma que propõe os padrões de implementação de um projeto de SPDA de forma apropriada e eficiente, que surgiu como forma de minimizar os danos provocados por raios. Essa norma foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade, pela Comissão de Estudo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

O presente trabalho tem por finalidade demonstrar as orientações técnicas e os critérios necessários para desenvolver um projeto de SPDA para uma estrutura predial, seguindo os fundamentos apresentados pela norma NBR 5419.

A estrutura predial estudada é a Universidade Tecnológica Federal do Paraná do campus de Medianeira, no Paraná, onde já se tem implantado um SPDA, porém esta estrutura segue a norma NBR 5419-2005. Este trabalho tem como objetivo analisar e propor mudanças referentes a incompatibilidades provenientes da atualização da norma de 2015.

2 OBJETIVO

O objetivo geral é dimensionar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para o campus de Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná utilizando-se das normas estabelecidas na NBR 5419 e comparar com o sistema já existente no campus, com intuito de encontrar incompatibilidades provenientes da atualização da norma.

2.1 Objetivos específicos

- Definir o nível de proteção;
- Analisar o subsistema de captação;
- Analisar o subsistema de descida;
- Analisar o subsistema de aterramento;
- Comparar o novo dimensionamento com o sistema já instalado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Origem do raio

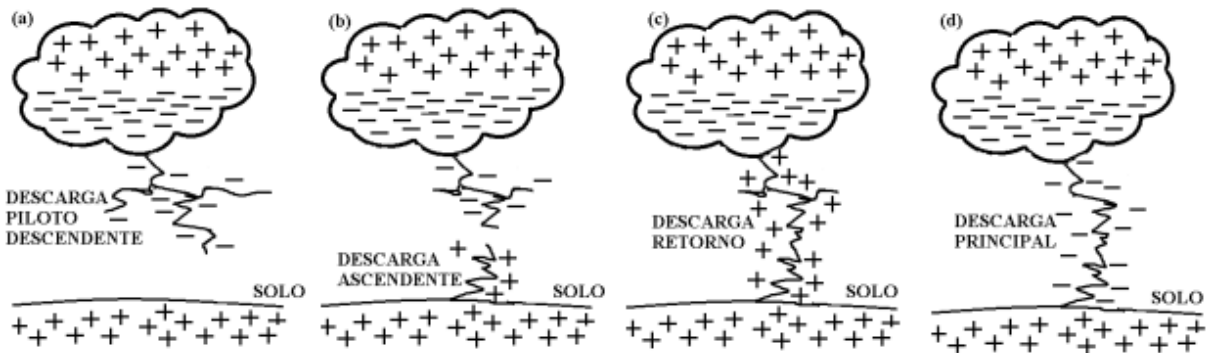
As descargas atmosféricas foram por muito tempo consideradas manifestações de divindades para diversas civilizações, até a desmistificação feita por Benjamin Franklin. Nascido em Boston, nos Estados Unidos, Franklin deixou os estudos com 10 anos de idade para trabalhar com seu irmão. Após atingir uma certa independência financeira passou a se dedicar aos seus estudos. Em poucos anos desenvolveu teorias que lhe tornaram mundialmente conhecido, onde ao empinar uma pipa em meio a uma tempestade de raios, Franklin resolveu fazer um experimento, onde usou um fio de metal para empinar uma pipa de papel. Este fio estava preso a uma chave de metal e sendo manipulada por um cordão de seda, com isso Benjamin pode notar que a carga elétrica dos raios descia pelo dispositivo, comprovando para os cientistas da época que os raios são uma corrente elétrica de grande intensidade.

3.2 Formação do raio

Ao passar dos anos diversas teorias foram desenvolvidas para explicar a formação das descargas atmosféricas. Nos dias de hoje, pode-se dizer que a formação dos raios acontece no interior das nuvens, onde através da eletrização por atrito na colisão de cristais de gelo, ocorre a liberação de elétrons que são direcionados à parte inferior da nuvem, gerando uma polarização dela.

Portanto, cria-se uma diferença de potencial entre a nuvem e a superfície da terra, que é isolada pelo ar. Porém, quando o campo elétrico produzido por essas cargas ultrapassa o nível de isolamento fornecido pelo ar, tem-se uma rápida transferência de elétrons da região com carga negativa para a região carregada positivamente. Na figura 1 estão representadas as etapas da formação das descargas atmosféricas.

Figura 1 - Etapas da formação do raio



Fonte: Paulo Vinicius Valentini Waltrick (2018)

3.3 Incidência de raios no Brasil

O Brasil, por estar localizado na região tropical do planeta, com clima quente e chuvoso, se torna o país com o maior índice de descargas atmosféricas. De acordo com dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), cerca de 77,8 milhões de raios atingem o território brasileiro por ano.

A incidência de raios em regiões urbanas está aumentando com o passar do tempo, devido às mudanças climáticas e a poluição. Segundo estudos já realizados, cada variação de um grau Celsius aumenta em 15% as chances de ocorrência de tempestades, e conseqüentemente amplificando a queda de raios.

Segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) a temperatura média do planeta aumentou 1,1°C em relação aos níveis pré-industriais, com previsão de alcançar a marca de 1,5°C nas próximas décadas. No Brasil a temperatura média já ultrapassou 1,5°C de aumento, e em algumas cidades como São Paulo já ultrapassou os 3°C.

Como consequência para esse aumento de temperatura temos tempestades com mais frequência e intensidade, provocando alagamento e destruição em várias cidades brasileiras. Junto com as tempestades surgem as descargas elétricas, que podem causar grandes prejuízos às estruturas e sistemas de distribuição de energia.

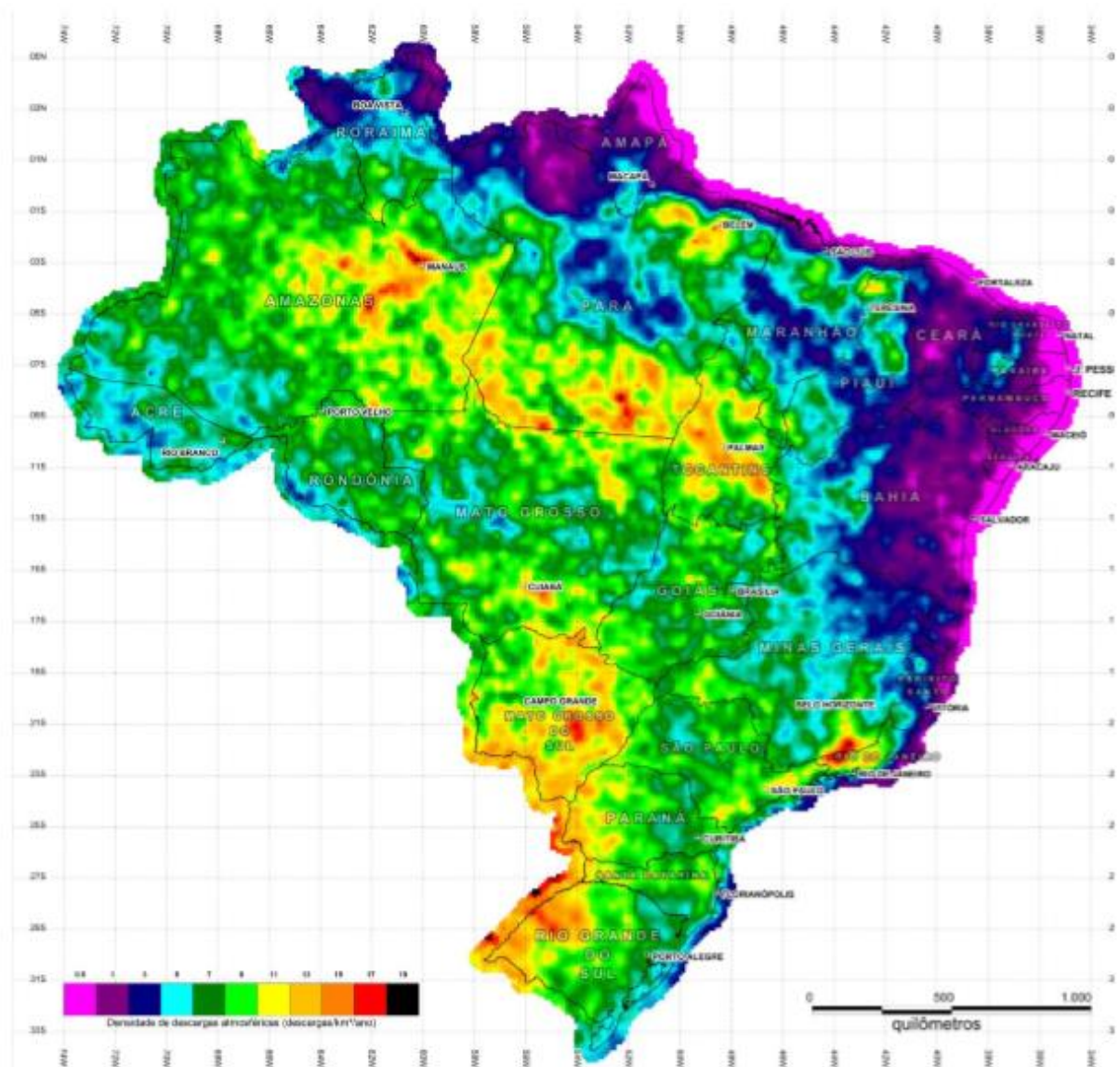
3.4 Mapa da densidade de descargas atmosféricas

O mapa de densidade de descargas atmosféricas deixou de ser utilizado para avaliação da necessidade de instalação de um sistema de proteção contra descargas

atmosféricas e passou a fazer parte da análise de risco, passo do dimensionamento do sistema na nova atualização da norma NBR-5419.

A partir dos pulsos luminosos capturados do espaço através de um sensor localizado no satélite TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) da NASA, o INPE pode gerar o mapa de densidade de descargas elétricas do Brasil, que é fornecido na NBR-5419.

Figura 2 - Mapa da densidade de descargas atmosféricas no Brasil



Fonte: ABNT NBR 5419-2(2015)

Na figura 2 temos o mapa, que possui uma escala de cores com 10 valores de densidades de descargas atmosféricas, variando entre 0,5 e 19 descargas atmosféricas por quilômetro quadrado em um espaço de tempo de um ano.

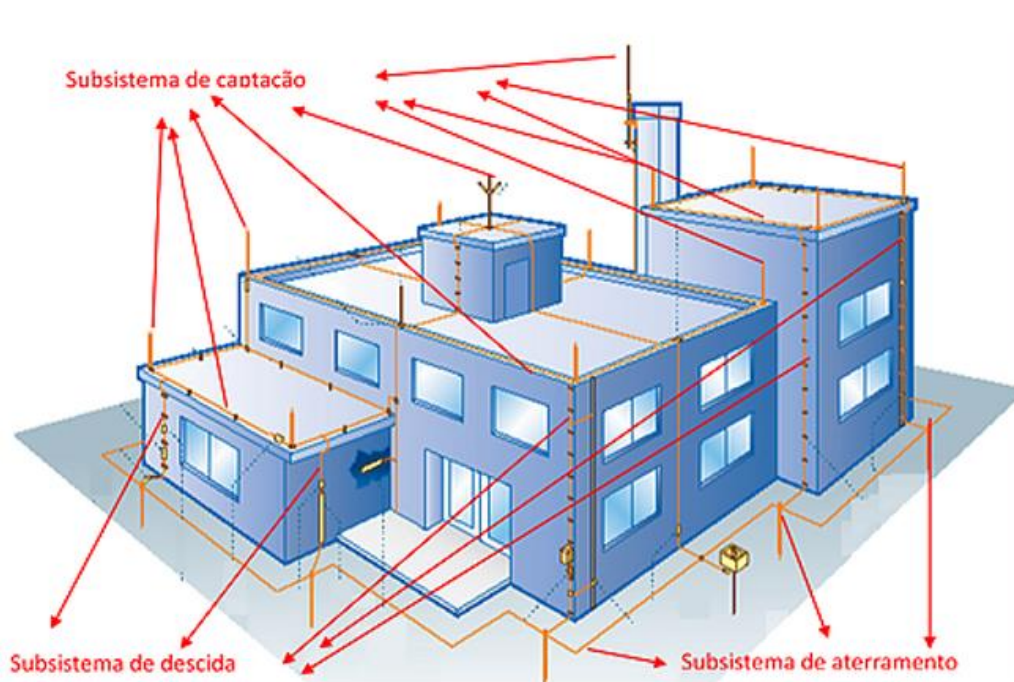
Pode-se notar que as áreas litorâneas da Região Nordeste e Norte são as que representam o menor índice de descargas atmosféricas, entretanto o centro da Região Norte, oeste da região Sul e a divisa entre o estado de Minas Gerais e Rio de Janeiro são áreas onde as descargas acontecem com maior frequência.

Os valores de densidade (N_g) também podem ser obtidos através do site do INPE, onde o usuário fornece as coordenadas cartesianas obtidas por GPS do local desejado.

3.5 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas

O SPDA tem como objetivo principal evitar que as descargas atmosféricas aconteçam diretamente na estrutura a ser protegida, utilizando pontos preferenciais para a incidência das descargas. Além de captar as descargas, o sistema direciona o fluxo de corrente por um caminho definido até o solo.

Figura 3 - Subsistemas do SPDA



Fonte: Pablo Guimarães(2020)

O sistema é composto por um subsistema de captação, um subsistema de descida e um subsistema de aterramento conforme ilustrado na figura 3 acima.

3.5.1 Classes do SPDA

As características construtivas da edificação a ser protegida e o nível de proteção determinam o modelo do SPDA que deve ser utilizado. No quadro 1 a seguir estão representadas as quatro classes de um SPDA, referentes a cada nível de proteção citados pela NBR 5419.

Quadro 1 - Relação entre níveis de proteção e classe do 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 temos atrelado um conjunto de valores mínimos e máximos para as correntes das descargas atmosféricas.

Nível I - É o nível de proteção mais rigoroso e seguro, indicado para estruturas de serviços estratégicos ou que apresentam risco aos seus arredores.

Nível II - É recomendado para edificações que abrigam bens de alto valor ou grande quantidade de pessoas.

Nível III - Usado em edificações de uso comum.

Nível IV - Nível de proteção mais baixo. Utilizado em casos específicos onde as estruturas raramente abrigam pessoas.

Sobre os parâmetros de correntes das descargas atmosféricas pode-se afirmar que:

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, espessura 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, p.17)

3.5.2 Subsistema de captação

Parte do sistema é destinado a interceptar as descargas atmosféricas. Na parte superior da estrutura da edificação, são utilizados elementos metálicos como hastes, condutores em malhas ou cabos em catenária posicionados em cantos salientes, pontas expostas ou beiradas nos pontos mais altos da edificação.

O subsistema de captação possui três métodos de cálculo, sendo eles o método das malhas (conhecido como gaiola de Faraday), o método do ângulo de proteção (conhecido como Franklin) e o método da esfera rolante (conhecido como eletrogeométrico).

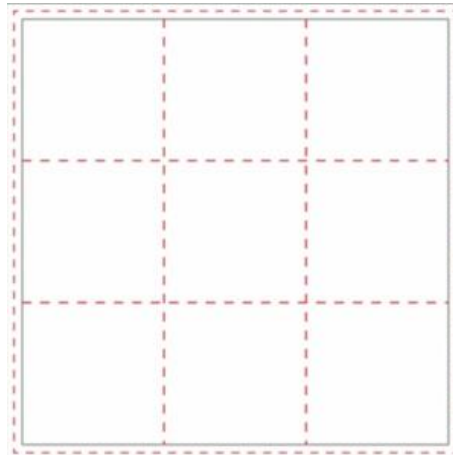
3.5.2.1 Método das malhas

Esse método consiste na formação de uma malha na parte superior da estrutura da edificação, geralmente formada por cabos de cobre nu ou barras de alumínio contando com pequenos captosres nos cantos salientes da estrutura. A figura 4 mostra o formato da malha na superfície da edificação.

Sobre o método de Faraday pode-se dizer que:

Nesse sistema de proteção, uma rede de condutores, lançada na cobertura e nas laterais da instalação a ser protegida, forma uma blindagem eletrostática, destinada a interceptar as descargas atmosféricas incidentes. Elementos metálicos estruturais, de fachada e cobertura podem integrar essa rede de condutores desde que atendam a requisitos específicos. (CREDER, 2016, p.267).

Figura 4 - Método das malhas no topo de uma edificação



Fonte: Moacir Santos(2018)

3.5.2.2 Método do ângulo de proteção

Esse método consiste em um elemento captor que forma uma área protegida em seu redor, gerando uma proteção em forma de cone como representado na figura 5 a seguir. Recomendado para estruturas simples de baixas alturas pelo fator econômico, pois necessita uma grande quantidade de captores.

Figura 5 - Método do ângulo de proteção



Fonte: Pablo Guimarães (2021)

Segundo MAMEDE (2010. Pg, 620.) esse método “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”. No quadro 2 se pode observar os valores de altura e ângulo de proteção relacionados a cada nível de proteção.

Quadro 2 - Ângulo de proteção e altura da edificação

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 eletrogeométricos, malha ou gaiola de faraday					
(B) Aplica-se somente o método da gaiola de faraday					

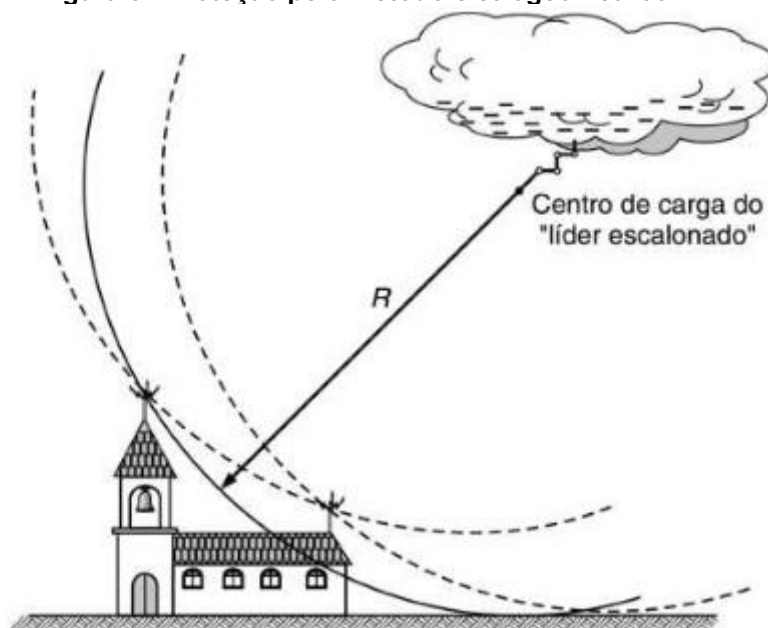
Fonte: Mamede(2010)

3.5.2.3 Método da esfera rolante

Esse método se trata de um sistema de captação instalado em torno da parte superior da edificação, onde se cria uma esfera fictícia de raio definido de acordo com o nível de proteção do SPDA, que rola sobre a estrutura de captação. Os locais onde a esfera toca a estrutura da edificação são onde devem ser instalados novos captosres.

Segundo CREDER (2016. pg 265). O modelo eletrogeométrico 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 6 abaixo.

Figura 6 - Proteção pelo método eletrogeométrico



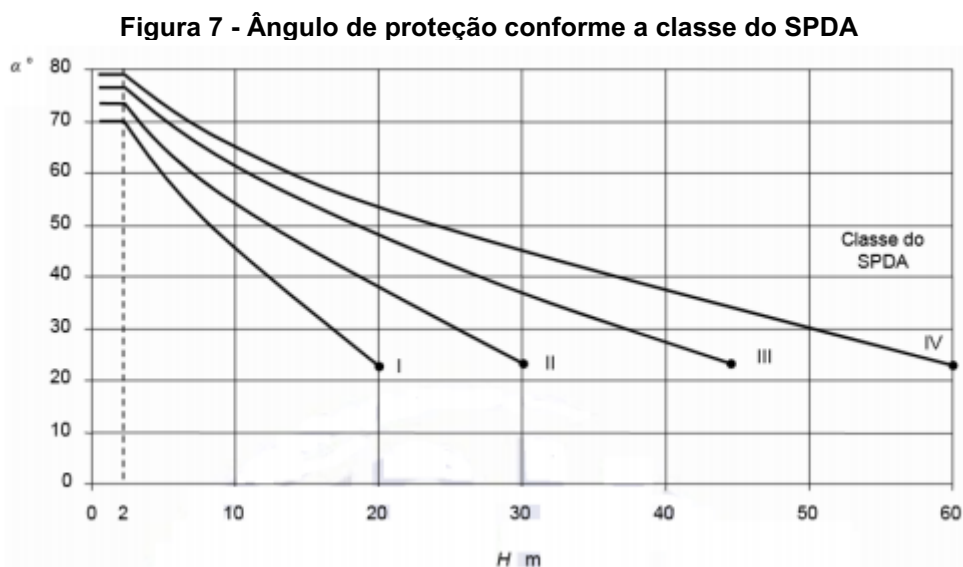
Fonte: Hélio Creder (2016)

Os valores para o ângulo de proteção, raio da esfera rolante e o tamanho da malha relacionados a cada classe de proteção do sistema estão descritos no quadro 3 e figura 7.

Quadro 3 - Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a cada classe de SPDA

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção α°
I	20	5 x 5	Figura 7
II	30	10 x 10	
III	45	15 X 15	
IV	60	20 X 20	

Fonte: ABNT NBR 5419-3(2015)



Fonte: ABNT NBR 5419-3(2015)

3.5.3 Subsistema de descida

Destinado a conduzir o fluxo de corrente do subsistema de captação para o subsistema de aterramento, podendo estar embutido na estrutura através das barras de aço existentes nas vigas de concreto ou mesmo em estruturas metálicas, caso a condutividade seja atendida. O mais aconselhável é a utilização de descidas através de cabos de cobre nu ou fitas de alumínio pela lateral da estrutura, com interligação de anéis. No quadro 4 a seguir temos as distâncias dos condutores de descida para cada classe de SPDA.

Quadro 4 - Valores típicos de distância entre os condutores de descida

Classe do SPDA	Distâncias (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: ABNT NBR 5419-3(2015)

3.5.3.1 Construção do subsistema de descida

Os condutores de descida devem ser instalados de forma mais reta e vertical possível, visando obter o caminho mais curto em direção ao solo. Evitando a formação de laços e a instalação em calhas ou tubulações de águas pluviais.

Segundo a ABNT NBR 5419-3 os condutores de descida do SPDA não isolado da estrutura a ser protegida podem ser instalados como descrito a seguir:

- Se a parede é feita de material não combustível, os condutores de descida podem ser posicionados na superfície ou dentro da parede;
- 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;
- Se a parede for feita de material prontamente combustível e a elevação da temperatura dos condutores de descida for perigosa, os condutores de descida devem ser instalados de forma a ficarem distantes da parede, pelo menos 0,1 m. Os suportes de montagem podem estar em contato com a parede.

Quando o distanciamento entre o condutor de descida e o material prontamente inflamável não for possível, deve-se adotar condutor de aço galvanizado com secção transversal mínima de 100mm²

3.5.3.2 Condutores naturais de descida

Podem ser considerados condutores naturais de descida os seguintes casos:

- Instalações metálicas. Sendo que a continuidade elétrica da estrutura seja durável, as dimensões dos materiais condutores atendam aos valores mínimos exigidos e as instalações metálicas tenham revestimento com material isolante.
- Armaduras da estrutura de concreto armado eletricamente contínuas. Sendo que para estruturas com concreto armado pré-fabricado sejam estabelecidos pontos de conexão entre os elementos da armadura e para concreto protendido sejam feitos estudos documentados sobre danos mecânicos e de corrosão que a estrutura será sujeita.
- Vigamento de aço interconectado da estrutura.

- Elementos da fachada, perfis e sub construções metálicas das fachadas desde que suas dimensões e continuidade estejam dentro dos requisitos para condutores de descida.

3.5.4 Subsistema de aterramento

O subsistema de aterramento tem como objetivo ter a menor resistência possível e com isso pode-se dizer que:

Quando se trata da dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, o método mais importante de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento. Deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local. (ABNT NBR 5419-3, 2015, p.17)

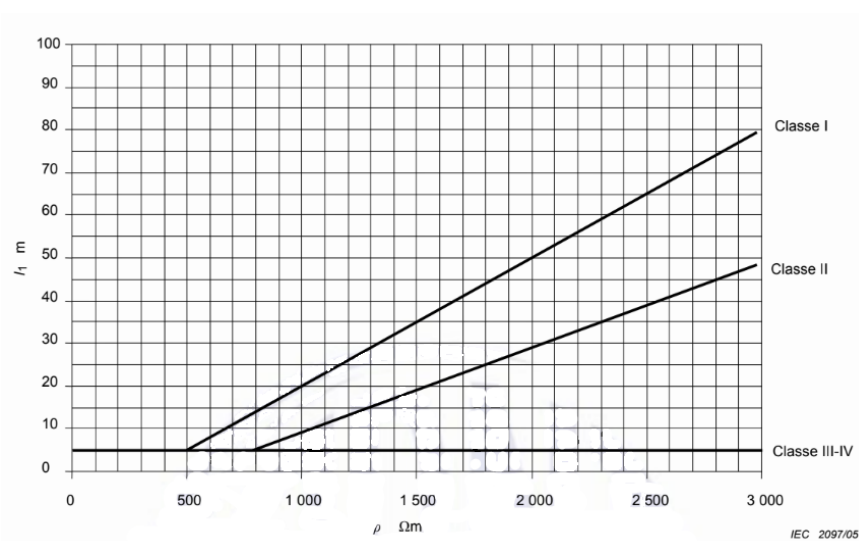
3.5.4.1 Condições gerais nos arranjos de aterramento

Para subsistemas de aterramento onde não é possível a utilização das armaduras de fundação, o arranjo se dá por um condutor em anel, externo a estrutura a ser protegida tendo 80% da sua extensão em contato com o solo ou um elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da fundação, podendo também ser eletrodos do tipo malha de aterramento.

Mesmo tendo 20% do eletrodo sem contato com o solo, a sua continuidade elétrica deve ser mantida ao longo de todo o seu comprimento.

Para o eletrodo de aterramento em anel ou interligando a fundação descontínua, o raio médio da área abrangida pelos eletrodos não pode ser inferior ao apresentado na figura 8 a seguir de acordo com a classe de proteção.

Figura 8 - Comprimento mínimo do raio da área abrangida pelos eletrodos em relação a classe de proteção



Fonte: ABNT NBR 5419-3(2015)

3.5.4.2 Instalação dos eletrodos de aterramento

Eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado no mínimo 0,5 metros de profundidade no solo, posicionado a aproximadamente 1 metro de distância da estrutura de modo a facilitar o acesso em futuras manutenções. A profundidade e a escolha do material devem ser feitas de forma a minimizar a corrosão e os efeitos relacionados ao ressecamento do solo para manter a qualidade e efetividade do sistema.

3.5.4.3 Eletrodos de aterramento naturais

As armaduras de aço interconectadas na fundação de concreto da edificação ou outras estruturas metálicas subterrâneas podem ser utilizadas como eletrodos de aterramento. A continuidade elétrica da ferragem deve ser verificada para garantir o funcionamento do sistema e se deve assegurar que as conexões das ferragens estejam firmes para evitar futuras rachaduras no concreto e então problemas com corrosão das armaduras de aço.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Critérios para a proteção das estruturas

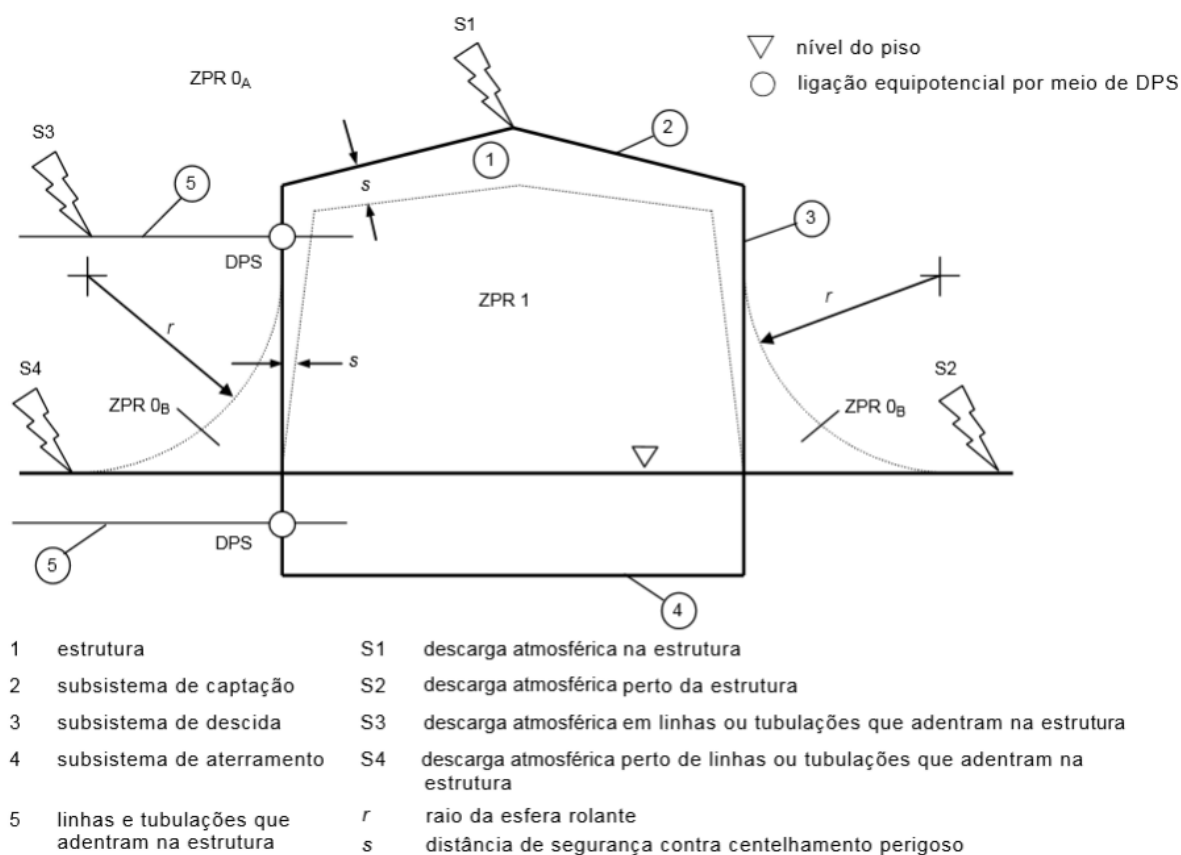
Um dos parâmetros mais importantes quando se trata de SPDA, é a definição entre uma das quatro classes de proteção contra descargas atmosféricas, sendo a classe I a que tem o maior nível de proteção e a classe IV o menor nível de proteção. Desta forma define-se as zonas de proteção contra as descargas atmosféricas, essas zonas são definidas pela NBR 5419-1/2015, por:

- ZPR 0A: Zona em que há o perigo de ser atingida diretamente pela descarga atmosférica e por todo o seu campo magnético. Os sistemas internos podem estar sujeitos à corrente da descarga total ou parcial.
- ZPR 0B: Zona protegida contra descargas atmosféricas diretas, mas que há o perigo de ser atingida pelo campo eletromagnético total de uma descarga. Os sistemas internos podem estar sujeitos à parcela da corrente da descarga.
- ZPR 1: Zona em que a corrente de surto é limitada pela divisão entre condutores, por interfaces isoladas e/ou por DPS na divisão entre as zonas. Blindagens adicionais podem atenuar o campo eletromagnético.
- ZPR 2: Zona em que a corrente de surto pode ser ainda mais limitada pela divisão entre condutores, por interface isoladas e/ou por DPS na divisa entre as zonas. Blindagens adicionais podem atenuar o campo eletromagnético.

A visualização de cada zona fica mais simples com a seguinte figura 9.

Deve-se observar na figura 9 abaixo que a proteção do ZPR 1 e ZPR 2 deve-se respeitar a distância de segurança “s”.

Figura 9 - Zonas de proteção de uma estrutura



Fonte: ABNT NBR 5419-1 (2015)

4.1.1 Fontes dos danos

Os danos causados em estruturas atingidas por descargas atmosféricas podem variar dependendo das características da estrutura e da descarga ocorrida, causando danos à própria estrutura e ocupantes, além de falhas em sistemas internos.

As descargas atmosféricas podem ser classificadas levando em consideração o local do impacto em função da estrutura que deseja ser protegida:

- S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
- S4: descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;

4.1.2 Tipos dos danos e perdas

A descarga atmosférica pode causar danos dependendo das características da estrutura, para a análise de riscos existem três tipos básicos de danos por consequência das descargas atmosféricas:

- D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D2: danos físicos;
- D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

As possíveis combinações dos danos podem produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida, o tipo de perda depende das características da estrutura e do seu conteúdo, deve-se levar em conta as seguintes perdas:

- L1: perdas de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valores econômicos.

4.1.3 Riscos e componentes dos riscos

O risco “R” é um critério para avaliar quais medidas de proteção escolher e quais estruturas são necessárias de um SPDA, os riscos a serem avaliados em uma estrutura são:

- R_1 : risco de perdas de vida humana (inclui-se ferimentos permanentes);
- R_2 : risco de perda de serviço público;
- R_3 : risco de perda de patrimônio cultural;
- R_4 : risco de perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo e perdas de atividades).

Para avaliar-se os riscos R, os relevantes componentes de riscos devem ser definidos e calculados. Cada risco R, é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos.

4.1.3.1 Componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura

R_A : É a componente que relaciona os danos aos seres vivos causados pelo choque elétrico devido às 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;

R_B : É a componente que se refere a danos físicos causados por centelhamentos perigosos que possam vir a gerar incêndios ou explosões, colocando o meio ambiente em risco. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;

R_C : É a componente que se refere a falhas de sistemas internos causados por LEMP (impulsos eletromagnéticos das descargas eletromagnéticas). Está sempre relacionado às perdas L2 e L4, e a L1 apenas quando há risco de explosão.

4.1.3.2 Componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura

R_M : É a componente que se refere às falhas causadas em sistemas internos devido a LEMP. Podem ocorrer perdas do tipo L2 e L4, no caso de risco de explosão inclui-se a perda do tipo L1.

4.1.3.3 Componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura

R_U : É a componente que se refere a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Inclui-se perdas do tipo L1, e no caso de perdas de vidas animais considera-se perdas L4;

R_V : É a componente que se refere a danos físicos devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Inclui-se as perdas do tipo L1, L2, L3 e L4.

R_W : É a componente que se refere a falhas no sistema interno causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Inclui-se perdas do tipo L2 e L4, também pode incluir do tipo L1 no caso de risco de explosão.

4.1.3.4 Componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à uma estrutura

R_Z : É a componente que se refere a falhas no sistema interno causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Inclui-se perdas do tipo L2 e L4, também pode incluir do tipo L1 no caso de risco de explosão.

4.1.4 Composição das componentes de risco

Como mencionado anteriormente são quatro componentes de riscos a serem analisados, para considerar a instalação de um SPDA. A seguir estão representadas as equações respectivamente de cada um dos riscos possíveis:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (1)$$

¹ Somente para estruturas com risco de explosões e para hospitais ou outras estruturas com sistemas internos que possam pôr a vida humana em perigo.

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

$$R_4 = R_{A4}^2 + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^2 + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

² Somente para propriedades onde pode-se perder a vida animal.

O quadro 5 abaixo, retirado da ABNT NBR 5419 (2015) apresenta uma relação dos componentes de risco para cada tipo de perda.

Quadro 5 - Relação do tipo de perda com os componentes de risco

Fonte de danos	S1			S2	S3			S4
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Componente de risco								
Risco para cada tipo de perda								
R_1	X	X	X ¹	X ¹	X	X	X ¹	X ¹
R_2		X	X	X		X	X	X
R_3		X				X		

R_4	X^2	X	X	X	X^2	X	X	X
¹ Apenas para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa colocar em perigo a vida humana. ² Apenas para propriedades onde animais possam ser protegidos								

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.5 Gerenciamento de risco

Para a análise da necessidade de implementação do SPDA deve-se seguir o seguinte procedimento:

- Identificação da estrutura a ser protegida e suas características;
- Identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes R ;
- Avaliação do risco R para cada tipo de perda;
- Avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos R_1 , R_2 e R_3 com os riscos toleráveis R_T ;
- Avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção, para isso deve-se avaliar as componentes de R_4 para quantificar os custos.

A análise de risco deve considerar características como instalações na estrutura, conteúdo da estrutura, as pessoas na estrutura e até três metros para fora da estrutura de análise e o meio ambiente afetado por danos na estrutura.

Determina-se que se R_X (risco) for menor ou igual a R_T (risco tolerável), a aplicação do SPDA não é necessária. Se R_X maior que R_T , as medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir R_X menor que R_T para todos os riscos aos quais a estrutura permite.

Segundo a Norma (NBR 5419) é de responsabilidade das autoridades competentes identificar o valor do risco tolerável. O quadro 6 abaixo contém os valores que representam o risco tolerável e onde a descarga atmosférica envolve as perdas humanas ou de valores culturais e sociais.

Quadro 6 - Valores dos riscos toleráveis

Tipo de perda	R_T
---------------	-------

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: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Outro procedimento que deve ser levado em conta é a verificação dos benefícios econômicos da instalação das medidas de proteção no sentido de reduzir as perdas econômicas L4. A análise dos componentes de risco R_4 permite avaliar o custo da perda econômica com ou sem as medidas de proteção. O procedimento para avaliar o custo da eficiência da proteção requer:

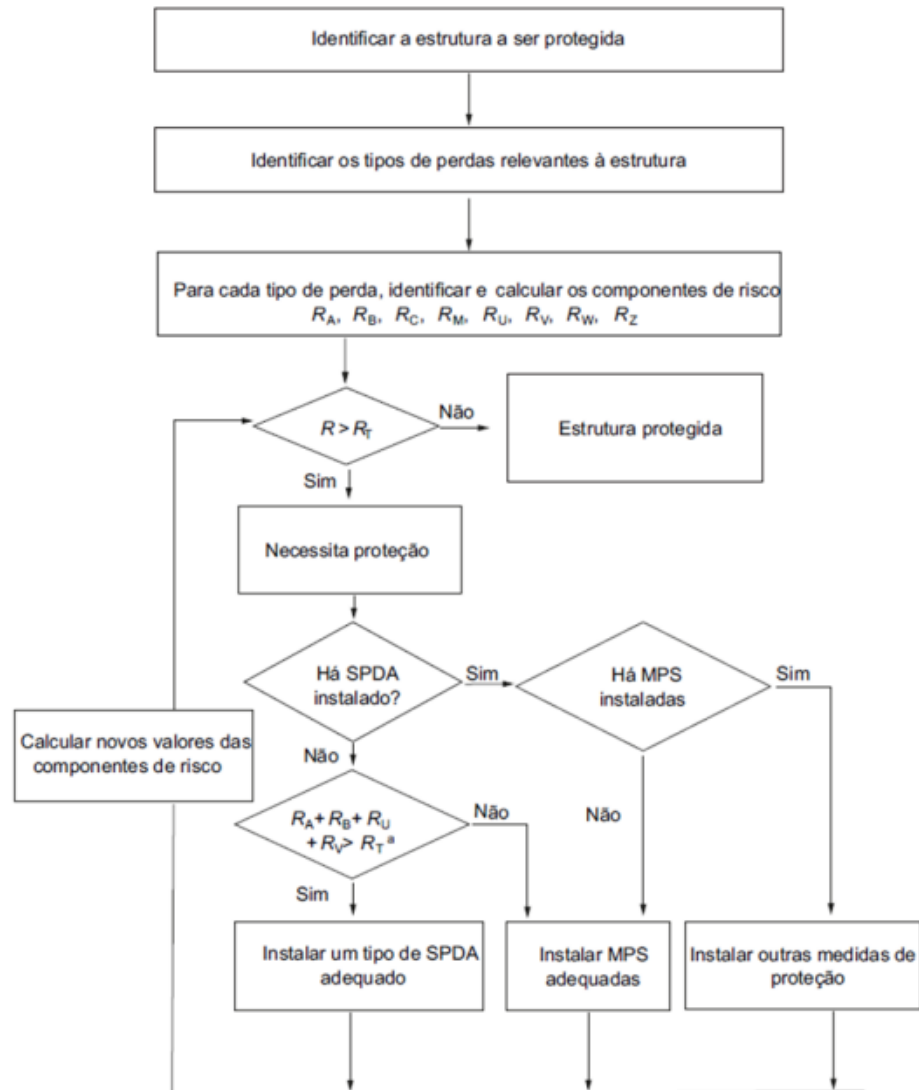
- Identificar os componentes R_X que compõem o risco R_4 ;
- Cálculo dos componentes de risco conhecidos R_X de novas e adicionais medidas de proteção;
- Cálculo do custo anual de perdas devido a cada componente de risco R_X ;
- Cálculo do custo anual C_L e da perda total na falta de medidas de proteção;
- A escolha das medidas de proteção;
- Os cálculos dos componentes de risco R_X mesmo com a presença das medidas de proteção;
- Cálculo do custo anual de C_{PM} , das medidas de proteção que foram selecionadas;
- Comparação de custos.

Se $C_L < C_{RL} + C_{PM}$, a proteção contra descargas atmosféricas pode ser avaliada a não ter custo eficiente.

Se $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$, as medidas de proteção podem provar a economia monetária.

O fluxograma abaixo na figura 10 pode ser útil para o melhor entendimento das medidas de proteção.

Figura 10 - Procedimento para a decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção



Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419 (2015)

4.1.6 Análise das componentes de risco

Dada as componentes de risco analisadas anteriormente, pode-se expressá-las pela seguinte equação geral:

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X \quad (5)$$

onde:

N_X é o número de eventos perigosos por ano;

P_X é a probabilidade de dano a estrutura;
 L_X é a perda consequente.

4.1.6.1 Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1)

A fim de analisar os componentes de risco são obtidos os seguintes componentes através das equações:

- D1: componente que relaciona os ferimentos a seres vivos por descarga elétrica:

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A \quad (6)$$

- D2: componente que relaciona os danos físicos:

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (7)$$

- D3: componente que relaciona à falta de sistemas internos:

$$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C \quad (8)$$

4.1.6.2 Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2)

- D3: componente de risco que relaciona à falhas dos sistemas internos:

$$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M \quad (9)$$

4.1.6.3 Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3)

- D1: componente que relaciona os ferimentos a seres vivos por descarga elétrica:

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U \quad (10)$$

- D2: componente que relaciona os danos físicos:

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V \quad (11)$$

- D3: componente que relaciona à falta de sistemas internos:

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W \quad (12)$$

4.1.6.4 Análise das componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)

- D3: componente que relaciona à falta de sistemas internos:

$$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z \quad (13)$$

4.1.7 Dividindo uma estrutura em zonas (Z_S)

Para fazer a avaliação de uma estrutura pode-se separar a estrutura em diversas zonas, para facilitar a avaliação de cada componente de risco. As zonas são definidas por Z_S , e cada estrutura possui uma única estrutura.

Quando se tem duas zonas, por exemplo, dois valores devem ser definidos para cada um dos componentes de risco. No caso dos parâmetros, quando se tem mais de uma zona e mais de um valor, o maior dentre os obtidos é que deve ser escolhido, e para os componentes R_C e R_M uma nova probabilidade deve ser calculada a fim de se obter o valor final do componente de risco.

O novo cálculo das probabilidades para falhas em sistemas por descarga na estrutura (P_C) e probabilidade de falha em sistemas internos por descargas perto da linha conectada (P_M) é dado a seguir:

$$P_C = 1 - (1 - P_{C1}) \cdot (1 - P_{C2}) \cdot (1 - P_{C3}) \quad (14)$$

$$P_M = 1 - (1 - P_{M1}) \cdot (1 - P_{M2}) \cdot (1 - P_{M3}) \quad (15)$$

4.1.8 Análise do número médio anual de eventos perigosos N_D devido a descargas atmosféricas na estrutura e N_{DJ} em uma estrutura adjacente

Para determinar a área de exposição equivalente (A_D) se leva em conta as fórmulas de cálculo de área das dimensões da estrutura. Considera-se comprimento (L), largura (W) e altura (H), todos em metros. É possível calcular o valor de A_D a partir da seguinte fórmula:

$$A_D = (L \cdot W) + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2 \quad (16)$$

No caso de a estrutura não ser retangular é necessário que se faça dois cálculos, o primeiro resolvendo a expressão anterior utilizando H_{min} (altura mínima da estrutura) e, em seguida, resolver H_p (altura saliente). Depois de obtido os dois valores, escolhe-se o maior deles para representar a área de exposição equivalente.

$$A_D' = \pi \cdot (3 \cdot H_p)^2 \quad (17)$$

A localização próxima às estruturas a ser protegida deve-se considerar o fator de localização C_D presente no quadro 7 abaixo, que avalia a influência direta de outras estruturas ao redor, considerando a altura relativa do solo uma distância três vezes a altura H da estrutura e C_D com valor de 1.

Quadro 7 - Fator de localização da estrutura

Fator de localização relativa	C_D
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: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.8.1 Eventos perigosos N_D

O número de eventos perigos é calculado pela seguinte equação:

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6} \quad (18)$$

4.1.8.2 Eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente

O número de eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente é calculado pela seguinte equação:

$$N_{DJ} = N_G \cdot A_{DJ} \cdot C_{DJ} \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (19)$$

4.1.8.3 Avaliação de N_M

O número médio de descargas atmosféricas perto da estrutura é dado pela seguinte equação:

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6} \quad (20)$$

4.1.8.4 Área de exposição equivalente A_M

A área de exposição equivalente A_M é localizada a uma linha a 500 m de distância da estrutura e é obtida pela seguinte equação:

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (L + W) + \pi \cdot 500^2 \quad (21)$$

4.1.8.5 Avaliação de N_L

O número de eventos perigosos médio anual N_L sobre a incidência de descargas atmosféricas na linha, é calculado pela seguinte equação:

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (22)$$

Com A_L sendo dada pela seguinte equação:

$$A_L = 40 \cdot L_L \quad (23)$$

Os valores de C_I , C_T e C_E são encontrados respectivamente nos quadros 8, 9 e 10.

Quadro 8 - Fator de instalação da linha C_I

Roteamento	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 9 - Fator de instalação da linha C_T

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

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 10 - Fator de instalação da linha C_E

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

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.8.6 Número de eventos perigosos médios anuais N_I sobre a incidência de descargas atmosféricas próxima a linha

O número de eventos perigosos médio anual N_I é calculado pela equação seguinte, com C_I sendo 4000 vezes o comprimento L_L .

$$N_I = N_G \cdot A_I \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (24)$$

Com A_I sendo dada pela seguinte equação:

$$A_I = 4000 \cdot L_L \quad (25)$$

4.1.9 Avaliação da probabilidade P_X de danos causados por descargas atmosféricas

4.1.9.1 Probabilidade P_A causar D1

A probabilidade de choque elétrico em seres vivos é dada por P_A :

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B \quad (26)$$

onde:

- P_{TA} são os coeficientes de proteção adicionais para evitar choques elétricos;
- P_B é o nível de proteção contra descarga atmosférica (NP) para qual o SPDA será projetado.

No quadro 11 a seguir podemos encontrar os valores de P_{TA}

Quadro 11 – Valores de probabilidade P_{TA}

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	0,1
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	0,01
Equipotencialização efetiva do solo	0,01
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.9.2 Probabilidade P_B causar D2

Os valores de probabilidade P_B de danos físicos por uma descarga atmosférica em uma estrutura, é dado em função no nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP), os valores são obtidos pelo quadro 12 a seguir:

Quadro 12 - Valores de probabilidade P_B dependendo da classe do SPDA

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
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: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.9.3 Probabilidade p_c causar D3

É a probabilidade das falhas em sistemas internos causadas por descargas atmosféricas, podendo ser realizado a coordenação de DPS como medida adicional para reduzir a p_c , dada pela seguinte equação.

$$P_c = P_{SPD} \cdot C_{LD} \quad (27)$$

O valor de P_{SPD} é dado no quadro 13 a seguir.

Quadro 13 - Valores de P_{SPD}

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 -0,001

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Os valores de PSPD podem ser reduzidos para o DPS que tenha

características melhores de proteção, ou seja uma corrente nominal I_N maior e menor nível de proteção U_p .

Os valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} são dados no quadro 14 a seguir.

Quadro 14 - Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI}

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	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 protegidos 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	0	0

	(sistemas independentes)		
--	--------------------------	--	--

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.9.4 Probabilidade P_M causar D3

É a probabilidade de falhas no sistema interno devido a descarga atmosférica que cai perto de uma estrutura, e que pode ser reduzida usando o SPDA, blindagens eletromagnéticas com malha, tensão suportável aumentada, interfaces isoladas, sistemas de coordenação de DPS e as medidas adequadas de proteção contra surtos MPS.

Caso a estrutura não conte com o sistema coordenado dos DPS seguindo a NBR 5419, deve-se considerar o valor de P_M igual ao de P_{MS} . Caso contrário o valor de P_M passa a ser dado pela equação a seguir:

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS} \quad (28)$$

Se o sistema interno possuir equipamentos elétricos que não suportam a tensão que consta nas normas, P_M deve ser considerado igual a 1, e assim o valor P_{MS} é dado pela equação:

$$P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4}) \quad (29)$$

- K_{S1} : considera a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1;
- K_{S2} : 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);
- K_{S3} : considera as características da fiação interna;
- K_{S4} : considera a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Dentro de uma ZPR os dois primeiros fatores podem ser calculados a partir das larguras de blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descida do correspondente SPDA tipo malha, ou a distância entre as colunas metálicas da estrutura, da distância entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural (w_{m1} e w_{m2}), lembrando que o valor dos fatores deve ser superior a um.

$$K_{S1} = 0,12 \cdot w_{m1} \quad (30)$$

$$K_{S2} = 0,12 \cdot w_{m2} \quad (31)$$

Os valores de K_{S3} são dados pelo quadro 15.

Quadro 15 - Valores de K_{S3} em função da fiação interna

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ¹	1
Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços ²	0,2
Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ³	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ⁴	0,0001
¹ condutores em laços com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50m ²)	
² condutores em laços roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m ²)	
³ condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5m ²)	
⁴ blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização	

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

K_{S4} também tem seu valor limitado a 1, e pode ser determinado através da fórmula a seguir, onde U_W é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido.

$$K_{S4} = \frac{1}{U_W} \quad (32)$$

4.1.9.5 Probabilidade P_U causar D1

O valor de P_U é dado por:

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (33)$$

Somente o valor de C_{LD} é conhecido previamente, os demais valores são obtidos a partir dos seguintes quadros 16, 17 e 18.

Quadro 16 - Valores de P_{TU}

Medidas de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	0,1
Isolação elétrica	0,01
Restrições físicas	0

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 17 - Valores de P_{EB}

Nível de proteção	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 4	0,005 - 0,001

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 18 - Valores de P_{LD}

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

	blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$1 \Omega/\text{km} < R_s \leq 5 \Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_s \leq 1 \Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.9.6 Probabilidade p_v causar D2

Para avaliar os valores da probabilidade p_v 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 p_v .

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (34)$$

Os coeficientes a serem utilizados neste caso são os mesmos das tabelas 11, 12 e 13 anteriores.

4.1.9.7 Probabilidade p_w causar D3

Os valores da probabilidade p_w 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.

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (35)$$

4.1.9.8 Probabilidade p_z causar D3

Os valores da probabilidade p_z 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 instalado.

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI} \quad (36)$$

O valor de P_{LI} é definido pelo quadro 19 a seguir:

Quadro 19 - Valores de P_{LI}

Tipo da linha	Tensão suportável UW 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: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.10 Análise de quantidade de perda L_X

A quantidade média de um tipo de dano particular para cada descarga atmosférica é dada por L_X . O valor de L_X muda com cada tipo de perda. Na divisão das zonas da estrutura a perda L_X corresponde a cada tipo de dano (D1, D2 e D3) de perda.

4.1.10.1 L1 – Perda de vida

A perda L1 é calculada para cada tipo de dano como é mostrado no quadro 20 abaixo.

Quadro 20 - Valores da perda típica

Tipo de dano	Perda típica
D1	$L_A = L_U = \frac{r_t \cdot L_T \cdot n_z}{\frac{n_t \cdot t_z}{8760}}$
D2	$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot n_z}{\frac{n_t \cdot t_z}{8760}}$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O \cdot n_z}{\frac{n_t \cdot t_z}{8760}}$

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Obtêm-se os valores dos fatores L_T , L_F , L_O , bem como os fatores de redução

da perda vida humana em função do tipo do solo ou piso (r_t), de redução da perda devido a danos físicos de acordo com as medidas para diminuir as possíveis consequências de um incêndio (r_p), de redução da perda devido a danos físicos de acordo com o risco de explosão ou incêndio e de aumento da perda devido a danos físicos quando houver perigo especial, os valores são apresentados nos quadros 21, 22, 23, 24 e 25.

Quadro 21 - Perda L1 - Valores médio típicos de L_T , L_F e L_o

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D1 ferimentos	L_T	0,01	Todos os tipos
D2 danos físicos	L_F	0,1	Risco de explosão
		0,1	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		0,05	Entretenimento público, igreja, museu
		0,02	Industrial, comercial
		0,01	Outros
D3 falhas de sistemas internos	L_o	0,1	Risco de explosão
		0,01	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		0,001	Outras partes de hospital

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 22 - Fator de redução r_t em função do tipo de solo ou piso

Tipo de Superfície ²	Resistência de contato $k\Omega$ ¹	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	0,01
Mármore, cerâmica	1 a 10	0,001
Cascalho, tapete, carpete	10 a 100	0,0001
Asfalto, linóleo, madeira	≤ 100	0,00001

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

nota 1: valores medidos entre um eletrodo de 400 centímetros quadrados comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

nota 2: uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Quadro 23 - Fator de redução r_p em função das providências

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 ¹	0,2
¹ somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 minutos	

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 24 - Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão da 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 ou Incêndio	Nenhum	0

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 25 - Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	h_z
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 1000 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 1000 pessoas)	10

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.10.2 L2 – Perda inaceitável de serviço ao público

Essa perda está relacionada com a interrupção dos serviços prestados ao público e são identificados como perda L_X e pode ser determinado através dos quadros 26 e 27.

Quadro 26 - Perda L2 valores para cada tipo de dano

Tipo de dano	Perda típica
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{n_Z}{n_t}$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot \frac{n_Z}{n_t}$

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 27 - Perda L2 valores da perda médios típicos de L_F e L_O

Tipo de dano	Valor da perda típica	Tipo de serviço
D2 danos físicos	L_F	0,1
		0,01
D3 falhas de sistemas internos	L_O	0,01
		0,001

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.10.3 L3 – Perda inaceitável de patrimônio cultural

Essa perda é afetada pelas características da zona e leva em consideração os fatores de redução, assim o L_F possui o seguinte valor apresentado nos quadros 28 e 29 a seguir.

Quadro 28 - Perda L3 valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Valor típico da perda
D2 danos físicos	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{c_z}{c_t}$

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Quadro 29 - Perda L3 valor médio típico de L_F

Tipo de dano	Valor típico da perda		Tipo de estrutura ou zona
D2 danos físicos	L_F	0,1	Museus, galerias

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

4.1.10.4 L4 – Perda econômica

Nessa perda o valor máximo de perda referente aos danos deve ser reduzido pela relação do valor referente da zona e o valor total da zona completa. Incluindo animais, edificações, conteúdo e sistemas internos. Como visto no quadro 30.

Quadro 30 - Perda L4 valores de perda para cada zona

Tipos de danos	Perda típica
D1	$L_A = r_t \cdot L_T \cdot \frac{c_a}{c_t}$
D1	$L_U = r_t \cdot L_T \cdot \frac{c_a}{c_t}$
D2	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot \frac{c_a + c_b + c_c + c_s}{c_t}$
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot \frac{c_s}{c_t}$

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

Os valores médios típicos L_T , L_F e L_O tem seus valores estabelecidos de acordo com a estrutura, assim como é visto no quadro 31.

Quadro 31 - Perda L4 valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D1 ferimento devido à choque	L_T	0,01	Todos os tipos somente onde animais são presentes
D2 danos físicos		1	Risco de explosão

	L_F	0,5	Hospital, industrial, museu, agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
		0,1	Outros
D3 falha de sistemas internos	L_o	0,1	Risco de explosão
		0,01	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial
		0,001	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
		0,0001	Outros

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 5419(2015)

5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso tem como objetivo avaliar a necessidade de aplicação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas levando em conta todos os parâmetros necessários para uma estrutura localizada nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Medianeira. A estrutura é denominada de bloco L4 e é composta de salas de aula, conforme ilustração no anexo A.

5.1 Análise da estrutura

Parâmetros definidos por uma vistoria técnica:

- Realizando engenharia reversa constatou-se que a estrutura possui um SPDA de classe 3;
- As dimensões da estrutura foram obtidas de forma manual utilizando uma trena, obtendo assim um comprimento de 64,46 metros, largura de 19,55 metros e altura de 5,90 metros;
- A estrutura não possui nenhum tipo de DPS;
- Linha de sinal aérea, não blindada ou ligada ao barramento de equipotencialização;
- Linha de energia enterrada, não blindada ou ligada ao barramento de equipotencialização;
- O tempo em horas definido como utilização do local é de 16h por dia, considerando que há pessoas no local durante todos os períodos do dia, já que se trata de uma universidade;
- A lotação máxima do local foi definida levando em conta o número de pessoas constatado no projeto da estrutura, onde cada uma das 5 salas de aulas possuem uma capacidade de 100 pessoas, assim totalizando 500 pessoas.
- Para este estudo foi considerado apenas o risco R_1 , ou seja, o risco de perda de vida humana, isso porque o risco R_2 (risco de perda de serviço público), risco R_3 (risco de perda de patrimônio cultural) e risco R_4 (risco de perda de valores econômicos) não se enquadram nesse estudo segundo o gerenciamento de risco da norma NBR 5419-2015. As componentes de risco R_1 estão calculadas na tabela 42;

- Foi-se verificado que a estrutura tem um sistema de captação do tipo gaiola de Faraday, um sistema de descida exposta sem isolamento e placas de aviso de risco de choque elétrico e um sistema de aterramento em anel circulando a estrutura.

5.2 Gerenciamento de risco

Para o dimensionamento de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, o primeiro passo a ser realizado deve ser o gerenciamento de risco, para definir se há necessidade de instalação de um sistema de proteção ou não. Caso houver a necessidade de um sistema de proteção, com o gerenciamento de risco poderá ser definido o nível de proteção e conseqüentemente a classe de SPDA indicada para a estrutura analisada.

5.2.1 Características e dados relevantes

Primeiramente no quadro 32 temos as dimensões da estrutura analisada e da estrutura adjacente, além dos comprimentos das linhas de energia e sinal conectadas a estrutura principal.

Quadro 32 – Definição das dimensões físicas.

DADOS	SIGNIFICADO	FONTE	RESULTADOS
<i>L</i>	Comprimento da estrutura	Inspeção	$L = 64,46$
<i>W</i>	Largura da estrutura	Inspeção	$W = 19,55$
<i>H</i>	Altura da estrutura	Inspeção	$H = 5,90$
<i>L_J</i>	Comprimento da estrutura adjacente	Inspeção	$L_J = 35$
<i>W_J</i>	Largura da estrutura adjacente	Inspeção	$W_J = 17$
<i>H_J</i>	Altura da estrutura	Inspeção	$H_J = 8$

	adjacente		
L_{LE}	Comprimento de uma seção da linha de energia	Inspeção	$L_{LE} = 30$
L_{LS}	Comprimento de uma seção da linha de sinal	Inspeção	$L_{LS} = 1000$
NG	Densidade de descargas atmosféricas para a terra	FIGURA 2	$NG = 11$

Fonte: Autoria própria (2022)

No quadro 33 temos valores relacionados ao número de pessoas na estrutura e tempo de uso.

Quadro 33 – Definição de valores.

NÚMERO	SIGNIFICADO	FONTE	RESULTADO
n_z	Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)	Inspeção	$n_z = 500$
n_t	Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado	Inspeção	$n_t = 500$
t_z	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	Inspeção	$t_z = 6570$

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2.2 Cálculo das áreas de exposição

A partir dos dados já definidos podemos calcular as áreas de exposição necessárias. Os cálculos estão sendo demonstrados no quadro 34 a seguir.

Quadro 34 – Cálculo das áreas de exposição.

ÁREA	SIGNIFICADO	FÓRMULA	RESULTADOS
A_D	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada	$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2$	$A_D = 64,46 \cdot 19,55 + 2 \cdot (3 \cdot 5,90) \cdot (64,46 + 19,55) + \pi \cdot (3 \cdot 5,90)^2$ $A_D = 5218,38$
A_{LE}	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha de energia	$A_{LE} = 40 \cdot L_{LE}$	$A_{LE} = 40 \cdot 30$ $A_{LE} = 1200$
A_{LS}	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha de sinal	$A_{LS} = 40 \cdot L_{LS}$	$A_{LS} = 40 \cdot 1000$ $A_{LS} = 40000$
A_{DJ}	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente	$A_{DJ} = L_J \cdot W_J + 2 \cdot (3 \cdot H_J) \cdot (L_J + W_J) + \pi \cdot (3 \cdot H_J)^2$	$A_{DJ} = 35 \cdot 17 + 2 \cdot (3 \cdot 8) \cdot (35 + 17) + \pi \cdot (3 \cdot 8)^2$ $A_{DJ} = 4900,56$

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2.3 Definição das probabilidades de danos

A partir de uma vistoria na estrutura e com o auxílio de valores tabelados podemos definir as probabilidades de redução descritas no quadro 35 e o fator de blindagem descrito no quadro 36.

Quadro 35 – Definição das probabilidades de redução.

PROB. DE REDUÇÃO	SIGNIFICADO	FONTE	RESULTADOS
------------------	-------------	-------	------------

P_{TA}	Probabilidade de reduzir P_A dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo	Tabela 11	$P_{TA} = 1$
P_{TU}	Probabilidade de reduzir P_U dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque	Tabela 16	$P_{TU} = 1$
P_{EB}	Probabilidade de reduzir P_U e P_V dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando uma ligação equipotencial é instalada	Tabela 17	$P_{EB} = 1$
P_{LD}	Probabilidade de reduzir P_U , P_V e P_W dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas na linha conectada)	Tabela 18	$P_{LD} = 1$

Fonte: Autoria própria (2022)

Quadro 36 – Definição de fator.

FATOR	SIGNIFICADO	FONTE	RESULTADOS
C_{LD}	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da	Tabela 14	$C_{LD} = 1$

	linha para descargas atmosféricas na linha		
--	--	--	--

Fonte: Autoria própria (2022)

A partir dos valores definidos nos quadros 35 e 36 podemos calcular as probabilidades de danos relacionadas a diferentes fontes de danos como descrito no quadro 37.

Quadro 37 – Cálculo das probabilidades de danos.

PROB. DE DANOS	SIGNIFICADO	FÓRMULA	RESULTADOS
P_A	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)	$P_A = P_{TA} \cdot P_B$	$P_A = 1 \cdot 1$ $P_A = 1$
P_B	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)	Tabela 12	$P_B = 1$
P_U	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)	$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$	$P_U = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$ $P_U = 1$
P_V	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)	$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$	$P_V = 1 \cdot 1 \cdot 1$ $P_V = 1$

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2.4 Cálculo das perdas

Para o cálculo das perdas originadas por diferentes fontes de danos, é preciso definir o número médio de vítimas e alguns fatores de redução relacionados ao tipo de solo e medidas de proteção contra incêndios, nos quadros 38 e 39 a seguir são definidos tais valores.

Quadro 38 – Definição do número médio de vítimas.

NÚMERO RELATIVO	SIGNIFICADO	FONTE	RESULTADO
L_T	Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso	Tabela 21	$L_T = 0,01$
L_F	Número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso	Tabela 21	$L_F = 0,1$

Fonte: Autoria própria (2022)

Quadro 39 – Definição dos fatores de redução.

FATOR	SIGNIFICADO	FONTE	RESULTADO
r_t	Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo	Tabela 22	$r_t = 0,01$
r_p	Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio	Tabela 23	$r_p = 0,5$
r_f	Fator redutor de perda dependente do risco de	Tabela 24	$r_f = 0,001$

	incêndio		
h_z	Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente	Tabela 25	$h_z = 5$

Fonte: Autoria própria (2022)

A partir dos dados dos quadros 38, 39 e 33 podemos calcular a quantidade de perdas para diferentes tipos de fontes que está descrito no quadro 40.

Quadro 40 – Cálculo das perdas.

QUANT. DE PERDAS	SIGNIFICADO	FÓRMULA	RESULTADOS
L_A	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)	$L_A = \frac{r_t \cdot L_T \cdot n_z}{\frac{n_t \cdot t_z}{8760}}$	$L_A = \frac{0,01 \cdot 0,01 \cdot 500}{\frac{500 \cdot 6570}{8760}}$ $L_A = \frac{1}{7500}$
L_B	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)	$L_B = \frac{r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot n_z}{\frac{n_t \cdot t_z}{8760}}$	$L_B = (0,5 \cdot 0,001) \cdot \frac{5 \cdot 0,1 \cdot 500}{\frac{500 \cdot 6570}{8760}}$ $L_B = \frac{1}{3000}$
L_U	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)	$L_U = \frac{r_t \cdot L_T \cdot n_z}{\frac{n_t \cdot t_z}{8760}}$	$L_U = \frac{0,01 \cdot 0,01 \cdot 500}{\frac{500 \cdot 6570}{8760}}$ $L_U = \frac{1}{7500}$
L_V	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)	$L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot n_z}{\frac{n_t \cdot t_z}{8760}}$	$L_V = (0,5 \cdot 0,001) \cdot \frac{5 \cdot 0,1 \cdot 500}{\frac{500 \cdot 6570}{8760}}$

			$L_V = \frac{1}{3000}$
--	--	--	------------------------

Fonte: Aatoria própria (2022)

5.2.5 Cálculo do número de eventos perigosos

Para ser calculado o número de eventos perigosos precisamos definir alguns fatores relacionados a localização e instalação da estrutura principal e adjacente que estão descritos no quadro 41 a seguir.

Quadro 41 – Definição dos fatores.

FATOR	SIGNIFICADO	FONTE	RESULTADOS
C_D	Fator de localização	Tabela 7	$C_D = 0,25$
C_{DJ}	Fator de localização	Tabela 7	$C_{DJ} = 0,5$
C_{IE}	Fator de instalação de uma linha de energia	Tabela 8	$C_{IE} = 0,5$
C_{IS}	Fator de instalação de uma linha de sinal	Tabela 8	$C_{IS} = 1$
C_T	Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha	Tabela 9	$C_T = 1$
C_E	Fator ambiental	Tabela 10	$C_E = 0,1$

Fonte: Aatoria própria (2022)

Com os fatores já definidos podemos calcular o número de eventos perigosos para diferentes tipos de fontes. No quadro 42 a seguir temos os cálculos.

Quadro 42 – Cálculo do número de eventos perigosos.

NÚMERO DE EVENTOS	SIGNIFICADO	FÓRMULA	RESULTADOS

N_D	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura	$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6}$	$N_D = 11 \cdot 5218,38 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}$ $N_D = 0,0143505$
N_{LE}	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha de energia	$N_{LE} = N_G \cdot A_{LE} \cdot C_{IE} \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$	$N_{LE} = 11 \cdot 1200 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$ $N_{LE} = 6,6 \cdot 10^{-4}$
N_{LS}	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha de sinal	$N_{LS} = N_G \cdot A_{LS} \cdot C_{IS} \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$	$N_{LS} = 11 \cdot 40000 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$ $N_{LS} = 0,044$
N_{DJ}	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente	$N_{DJ} = N_G \cdot A_{DJ} \cdot C_{DJ} \cdot C_T \cdot 10^{-6}$	$N_{DJ} = 11 \cdot 4900,56 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$ $N_{DJ} = 0,0269531$

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2.6 Cálculo das componentes de risco

Com todos os dados necessários já definidos anteriormente, pode-se calcular as componentes de risco relacionadas a perda de vida humana e compará-las com os valores de risco toleráveis para então ser definido a necessidade de instalação do SPDA. No quadro 43 a seguir temos os cálculos detalhados.

Quadro 43 – Cálculo das componentes de risco.

RISCO	SIGNIFICADO	FÓRMULA	RESULTADOS
R_A	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica)	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$	$R_A = 0,0143 \cdot 1 \cdot \frac{1}{7500}$ $R_A = 1,9134 \cdot 10^{-6}$

	na estrutura)		
R_B	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$	$R_B = 0,0143 \cdot 1 \cdot \frac{1}{3000}$ $R_B = 4,7835 \cdot 10^{-6}$
R_U	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)	$R_U = (N_{LE} + N_{LS} + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$	$R_U = (6,6 \cdot 10^{-4} + 0,044 + 0,0269) \cdot 1 \cdot \frac{1}{7500}$ $R_U = 9,5484 \cdot 10^{-6}$
R_V	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)	$R_V = (N_{LE} + N_{LS} + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$	$R_V = (6,6 \cdot 10^{-4} + 0,044 + 0,0269) \cdot 1 \cdot \frac{1}{7500}$ $R_V = 2,3871 \cdot 10^{-5}$
R_1	Risco de perda de vida humana em uma estrutura	$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_V$	$R_1 = 1,9134 \cdot 10^{-6} + 4,7835 \cdot 10^{-6} + 9,5484 \cdot 10^{-6} + 2,3871 \cdot 10^{-5}$ $R_1 = 4,0116 \cdot 10^{-5}$
R_T	Risco tolerável	Tabela 6	$R_T = 1 \cdot 10^{-5}$

Fonte: Autoria própria (2022)

O gerenciamento de risco foi calculado sem considerar um SPDA instalado no local, para assim definir se era necessário ou não a instalação do sistema de proteção. Com o resultado obtido no gerenciamento de risco de $R_1 = 4,0116 \cdot 10^{-5}$ na tabela 42, pode-se dizer que a instalação do SPDA é necessária, por se tratar de um valor superior ao tolerado que seria $1 \cdot 10^{-5}$ conforme a tabela 5.

Para se definir a classe do SPDA adequada para a estrutura deve-se recalculado os riscos considerando a classe desejada e avaliar os riscos resultantes. Portanto foi-se recalculado os riscos considerando um SPDA classe 4, resultando em um risco

$R1 = 9,44 \cdot 10^{-7}$ menor que o tolerável de $1 \cdot 10^{-5}$ sendo assim definido que um SPDA de classe 4 é o suficiente para a proteção do local.

5.3 Projeto do SPDA

Para o sistema de captação o método mais adequado para a estrutura é o da gaiola de Faraday, isso porque para uma estrutura retangular de altura única é economicamente mais viável, já que por exemplo o método de Franklin iria utilizar vários mastros para se ter a proteção completa da estrutura o que tornaria inviável. O dimensionamento da malha deve ser feito seguindo a tabela 3 onde o afastamento máximo para esta classe deve ser de 20 metros, sendo assim pode ser calculado a partir das equações:

$$N_{C1} = \frac{64,46}{20} + 1 \cong 5$$

$$N_{C2} = \frac{19,55}{20} + 1 \cong 2$$

Onde:

- N_{C1} é o número de condutores da malha captora na direção da menor dimensão da estrutura;
- N_{C2} é o número de condutores da malha captora na direção de maior dimensão da estrutura.

O sistema de descidas N_d , foi calculado a partir do perímetro da estrutura e do espaçamento de descida dos condutores. Segundo a tabela 4 para sistemas SPDA de classe 4 devemos ter descidas a cada 20 metros.

$$N_d = (64,46 \cdot 2) + \frac{(19,55 \cdot 2)}{20} = 8,40$$

Segundo a norma é aceitável que o espaçamento entre os condutores de descidas tenha no máximo 20 % de variação sobre o valor calculado, sendo assim a quantia de descidas serão 8, compostas por cabos de cobre de 35 mm² fixados por solda exotérmica.

O subsistema de aterramento deve ser instalado a 1 metro de distância das paredes externas da estrutura e composto por hastes de aterramento de 5/8" e

enterradas a uma profundidade de 0,5 metros ligados por um cabo de cobre nu de 50 mm² conectados a haste por solda exotérmica, conforme é exigido pela NBR 5410-2015.

A equipotencialização deve ser feita interligando todas as descidas no sistema em anel, onde a conexão deve ser feita por um de cobre com seção de 50 mm². O barramento de equipotencialização deve ser conectado ao subsistema de aterramento por condutores de cobre com seção de 50 mm², conforme instrução da norma.

Para o dimensionamento do DPS seguindo os parâmetros da norma para a proteção deve-se instalar um DPS classe 1 de 25kA.

5.4 Resultados

O gerenciamento de riscos afirma que é necessária a instalação do SPDA para a proteção da estrutura analisada, e a partir de uma nova avaliação conclui-se que um SPDA de Classe 4 torna os riscos toleráveis. Obtendo um resultado divergente do dimensionado a partir da NBR 5419(2005), que resultou em um SPDA de classe 3. O principal motivo da diferença está relacionado ao gerenciamento de risco, que foi o novo método de cálculo de riscos adicionado a norma a partir atualização da NBR 5419 em 2015.

Com o gerenciamento de riscos as componentes de risco são calculadas de forma individual, possibilitando ao projetista avaliar quais são as fontes de danos mais impactantes a segurança da estrutura, de forma a atuar diretamente na fonte do problema. No caso avaliado, as componentes R_U e R_V são as principais contribuições para o risco de perda de vida humana, ambas resultantes de descargas atmosféricas nas linhas conectadas a estrutura. Portanto com a implementação do DPS (dispositivo obrigatório segundo a NBR 5419 e NBR 5410), esses riscos caem significativamente.

Um fator impactante a se considerar nesse gerenciamento de risco é a construção de um novo bloco de salas de aula na redondeza da construção analisada, onde essa nova estrutura possui uma altura de 8 metros, assim sendo superior à de 5,90 metros da estrutura principal analisada. Influenciando nos valores do fator de localização (C_D), conseqüentemente diminuindo os eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na estrutura, fazendo com que os riscos devido a descargas na estrutura diminuam pela metade.

Com a redução da classe do SPDA obteve-se algumas diferenças no sistema de proteção, onde o sistema de captação de descargas atmosféricas tem uma malha a menos de condutor na direção de maior dimensão da estrutura, assim sendo 2 malhas ao invés de 3, esta diferença causa uma diminuição de quase 65 metros de cabo de cobre com seção de 35 mm², refletindo em uma diferença econômica entre os projetos.

No sistema de descida o novo dimensionamento resultou em 8 descidas necessárias para a proteção, sendo que a estrutura instalada conta com 12 descidas, sabendo que a estrutura possui uma altura de 5,90 metros esse novo dimensionamento causa uma diferença de 23,60 metros a menos de cabo de cobre com seção de 35 mm².

Essa comparação demonstra o impacto que o gerenciamento de risco causou no dimensionamento do sistema, nesse caso tornando o projeto mais seguro e econômico.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho tratou de informações relacionadas a sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, explicando detalhadamente toda a parte de dimensionamento de um sistema de proteção, para diminuir os riscos de danos, provenientes de descargas atmosféricas em diferentes locais da estrutura.

O Brasil por questões geográficas é alvo de um elevado índice de descargas atmosféricas, tornando os sistemas de proteção um elemento indispensável nas estruturas. O fato de as descargas atmosféricas serem um evento natural, faz com que o ser humano não possa evitá-lo, porém, através de um SPDA, pode-se reduzir significativamente os riscos da estrutura e de seu conteúdo serem afetados.

Com a implementação do gerenciamento de risco na NBR 5419 no ano de 2015, passa-se a ser abordado de forma mais complexa o nível de risco que a estrutura está exposta. Onde através de cálculos levando em consideração dados estruturais, geográficos e de uso cotidiano da estrutura, pode-se determinar a necessidade ou não de implantação de um SPDA na estrutura e o seu nível de proteção necessário para que o risco de exposição da estrutura se mantenha dentro de níveis aceitáveis.

Levando em consideração os resultados obtidos com esse trabalho, pode-se concluir que a atualização de 2015 na NBR 5419, aumentou a confiabilidade do sistema de proteção, tornando o processo de dimensionamento do sistema mais preciso, separando os riscos de danos em componentes, levando em conta as perdas para cada tipo de fonte de danos, facilitando assim a análise dos pontos mais vulneráveis da estrutura e conseqüentemente uma possível solução focada nos riscos mais consideráveis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-1**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-2**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-3**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-4**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

CREDER, HÉLIO. **Instalações Elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MAMEDE FILHO, JOÃO. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SÉRVULO, V. H. P. SILVA, V. **Estudo de implantação de projeto de SPDA em edifício finalizado segundo a nova NBR 5419:2015**. 2016. TCC (Graduação em Engenharia), Instituto Tecnológico de Caratinga. Caratinga, 2022.

CABRAL, M. M. **Análise do SPDA do refeitório do IFG – campus Itumbiara a luz da NBR 5419/2015 – estudo de caso**. 2021. TCC (Graduação em Engenharia), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Itumbiara, 2022.

WALTRICK, P. V. V. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) estudo de caso em uma estrutura predial**. 2018. TCC (Graduação em Engenharia), Centro Universitário Unifacvest. Lages, 2022.

ANEXO A

Projeto estrutural no AutoCAD

