

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DA PARAÍBA
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

IGOR FRANKLIN BRITO DE SOUZA

**GERENCIAMENTO DE RISCOS EM SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DES-
CARGAS ATMOSFÉRICAS, UM ESTUDO DE CASO**

**JOÃO PESSOA – PB
2022**

IGOR FRANKLIN BRITO DE SOUZA

GERENCIAMENTO DE RISCOS EM SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal da Paraíba – Campus João Pessoa, em cumprimento às exigências parciais para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR (A):

ALAN MELO NOBREGA, D.Sc.

**JOÃO PESSOA – PB
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

S729g Souza, Igor Franklin Brito de.

Gerenciamento de riscos em sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, um estudo de / Igor Franklin Brito de Souza. – 2022.

72 f. : il.

TCC (Graduação - Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação da Paraíba / Unidade Acadêmica de Processos Industriais, 2022.

Orientação : Prof^o D.Sc Alan Melo Nóbrega.

1. Descargas atmosféricas. 2. Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). 3. NBR 5419/2015. 4. Gerenciamento de riscos. I. Título.

CDU 551.594.22(043)

Lucrecia Camilo de Lima
Bibliotecária - CRB 15/132

ATA 49/2022 - CCSBEE/UA3/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB

Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Elétrica
CCSBEE-JP

**ATA DE APRESENTAÇÃO PÚBLICA E AVALIAÇÃO DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ATA Nº:	252/2022
(Nº / ANO)	

Às treze horas e trinta minutos do dia vinte e nove do mês de junho do ano de dois mil e vinte e dois, de modo virtual, foi realizada a Apresentação Pública e Avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "**GERENCIAMENTO DE RISCOS EM SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, UM ESTUDO DE CASO**", do aluno **IGOR FRANKLIN BRITO DE SOUZA**, requisito obrigatório para conclusão do CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, com os membros da Banca Examinadora **ALAN MELO NÓBREGA, DR.** (Orientador, IFPB), **FRANKLIN MARTINS PEREIRA PAMPLONA, DR.** (Examinador, IFPB) e **GILVAN VIEIRA DE ANDRADE JUNIOR, DR.** (Examinador, IFPB). Após a apresentação e as considerações da Banca Examinadora, o trabalho foi considerado **APROVADO**, com nota **90** sendo esta composta pela média aritmética das seguintes avaliações parciais:

Texto:	Apresentação:	Defesa oral:
90	90	90

Eu, **ALAN MELO NÓBREGA, DR.** (Orientador, IFPB), lavrei a presente Ata, que segue assinada por mim e pelos demais membros da Banca Examinadora.

Observações:

Documento assinado eletronicamente por:

- Alan Melo Nobrega, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/07/2022 11:07:42.
- Franklin Martins Pereira Pamplona, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/07/2022 11:17:13.
- Gilvan Vieira de Andrade Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/07/2022 13:55:16.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 29/06/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 310035

Código de Autenticação: 3276b2802f



A Deus. A meus pais e familiares, amigos e professores por todo apoio e carinho! Dedico!

AGRADECIMENTOS

A princípio agradeço a Deus por ser a motivação maior para tudo que busco realizar. Agradeço à minha família, em especial à minha mãe Elenice que da sua forma particular sempre me estimula a prosseguir fazendo o máximo com o mínimo que disponho.

Aos meus irmãos Luís e Álvaro que nas inúmeras discussões me fizeram descansar e encontrar refúgio nos momentos de apreensão e além disso por, seguirem no mesmo caminho profissional não me deixaram relaxar em momento algum.

Aos meus tios Rony e Ivo que, sempre buscando crescimento profissional, me impulsionaram de igual maneira nessa busca.

À minha tia Rita que sempre contribui com a dose de humor tão importante nas nossas lutas diárias. À minha avó Rita que nunca me deixou sair de casa sem um “Deus te abençoe e te faça um rapaz descente”.

Ao meu avô Ivo por ser a primeira pessoa a me dar um livro e por ter sido a pessoa mais ávida por conhecimento que conheci.

Agradeço à minha noiva Vitória que sempre fingiu se interessar minimamente por engenharia no intuito de manter uma conversa acalentadora e por sempre me ouvir nos momentos de dificuldade, você sabe o quanto lhe amo, mas não posso perder a oportunidade de dizer mais uma vez, estaremos sempre juntos nessa caminhada!

Não há como não agradecer aos colegas e amigos, em especial ao amigo Jonathan Ideião que sempre esteve comigo nas noites viradas de estudo e nas entregas em cima da hora das atividades, além de sempre me presentear com conversas descontraídas durante nosso religioso cafezinho, à amiga Sara de Freitas por ser a pessoa que mais transparece tranquilidade quando tudo está desmoronando, sua calma me acalma, amo muitos vocês dois!

Agradeço aos professores e inúmeros servidores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba em especial aos professores Alan Nóbrega que como meu orientador e mentor enriqueceu minha formação profissional, ao professor Juarez Aires que me mostrou paixão pelo ensino e me proporcionou as melhores aulas de Cálculo que pude ter, ao professor Laurivan, sentimos muito sua perda, um professor que na simplicidade do falar e com toda humildade ministrou uma das disciplinas mais difíceis do curso e ainda assim o fez com maestria, sentiremos saudades do Sr!

“Tudo o que fizerem, façam de todo o coração, como para o Senhor, e não para os homens”
Colossenses 3:23.

RESUMO

Esse trabalho apresenta os principais conceitos envolvendo a análise e o gerenciamento de riscos abordados pela NBR 5419/2015 como por exemplo: a conceituação de perdas e tipos de perdas, danos e tipos de danos e seus riscos associados. Além disso, também se propõe esclarecer as principais aplicações dessa nova sessão da NBR, qual o fluxograma a ser seguido na tomada de decisão na melhoria ou não de medidas de proteção que possam ser necessárias para a devida proteção de uma estrutura ou edificação. Para tanto, definições fundamentais foram realizadas como o conceito de raios e sua formação, sistemas e subsistemas de proteção contra descargas atmosféricas, métodos de proteção e explicações acerca das tensões de toque e de passo. Por fim, foi feita a análise do gerenciamento de riscos de um caso real identificando as perdas envolvidas e o risco associado tendo como conclusão a análise da conformidade do estudo com os padrões propostos pela norma e a fim de tornar os cálculos descritos mais ágeis foi desenvolvida uma planilha que poderá ser usada para a obtenção dos resultados de outros casos que porventura venham ser estudados.

Palavras-Chave: sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, gerenciamento de riscos, NBR 5419/2015, estudo de caso.

ABSTRACT

This work has the goal of presenting the main concepts with the analysis and management risk identified by NBR 5419/2015. The losses and types of losses, damages and types of damages and you associate risks. In addition, propose to show the main application of this new NBR session, the flowchart to be followed when deciding on whether or not to improve protection measures that can provide a solution for the protection of structure or building. To this end, protection methods were carried out, as well as the lightning concept and your formation, systems and subsystems of atmospheric discharges, protection methods and explicatiосn about step potential and touch potential. Finally, the risk management of a real case was carried out, identifying the consequences involved and the risk, having as an analysis the compliance of the study with the standards proposed by the NBR and to make the described calculations more agile was a spreadsheet developed that could be used for an outcomes opportunity that can be developed from other outcomes.

Keywords: atmospheric discharges protections systems, management risks, NBR 5419/2015, case study.

LISTA FIGURAS

Figura 1- Mortes por raios no Brasil.	22
Figura 2- Etapas de formação do raio.....	25
Figura 3- Potencial de toque.....	25
Figura 4- Linhas equipotenciais formadas em uma descarga.....	26
Figura 5- Tensão de passo	27
Figura 6- Mapa de densidades de descargas atmosféricas	28
Figura 7- Captor não natural tipo Franklin.....	31
Figura 8- Princípio de proteção	32
Figura 9- Aplicação do método a uma estrutura muito alta	32
Figura 10- Variação do ângulo de proteção de um captor em função da altura.....	33
Figura 11- Procedimento para a decisão da necessidade de proteção	47
Figura 12- Determinação da área de exposição equivalente para estruturas retangulares	49
Figura 13- Definição dos parâmetros da equação das componentes de risco	52
Figura 14- Determinação de LB	54
Figura 15- Exemplo da forma de utilização da planilha.....	60
Figura 16- Resultados obtidos através da planilha	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação entre níveis de proteção e classe do SPDA	29
Tabela 2- Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto	38
Tabela 3- Relação entre componentes de risco e tipos de perdas associadas.....	42
Tabela 4- Valores típicos de risco tolerável	42
Tabela 5- Parâmetros para avaliação dos componentes de risco.....	45
Tabela 6- Componentes de riscos para diferentes tipos de danos e fontes de danos.....	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

A_D - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada

A_{DJ} - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente

A_I - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha

A_L - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha

A_M - Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura

C_D - Fator de localização

C_{DJ} - Fator de localização de uma estrutura adjacente

C_E - Fator ambiental

C_I - Fator de instalação de uma linha

C_L - Custo anual das perdas totais na ausência de medidas de proteção

C_{LD} - Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha

C_{LI} - Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha

DI - Ferimentos a seres vivos por choque elétrico

$D2$ - Danos físicos

$D3$ - Falhas de sistemas eletroeletrônicos

H - Altura da estrutura

L - Comprimento da estrutura

L_A - Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)

L_B - Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)

L_F - Perda em uma estrutura devido a danos físicos

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

L_O - Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos

L_T - Perda devido a ferimentos por choque elétrico

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

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

L_I - Perda de vida humana

$L2$ - Perda de serviço ao público

L3 - Perda de patrimônio cultural

L4 - Perda de valor econômico

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

N_{DJ} - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente

N_G - Densidade de descargas atmosféricas para a terra

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

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

N_M - Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura

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

n_t - Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado

P - Probabilidade de danos

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

P_B - Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)

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

P_{TA} - Probabilidade de reduzir *P_A* dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo

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

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

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

P_X - Probabilidade de danos relevantes à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)

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

r_t - Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo

r_f - Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio

r_p - Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio

R - Risco

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

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

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

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

R_S - Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo

R_T - Risco tolerável

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

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

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

R_X - Componente de risco para uma estrutura

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

R_1 - Risco de perda de vida humana em uma estrutura

R_2 - Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura

R_3 - Risco de perda de patrimônio cultural em uma estrutura

R_4 - Risco de perda de valor econômico em uma estrutura

S_1 - Fonte de dano – descargas atmosféricas na estrutura

S_2 - Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da estrutura

S_3 - Fonte de dano – descargas atmosféricas na linha

S_4 - Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da linha

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

W - Largura da estrutura

Z_S - Zonas de uma estrutura

SUMÁRIO

1	Introdução	21
1.1	Objetivos	23
1.1.1	Objetivos gerais	23
1.1.2	Objetivos específicos	23
2	Fundamentação Teórica	24
2.1	Definição dos raios.....	24
2.2	Formação dos raios	24
2.3	Tensão de toque.....	25
2.4	Tensão de passo.....	26
2.5	Mapa de densidades de descargas atmosféricas.....	27
2.6	Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)	29
2.6.1	Classes do SPDA	29
2.6.2	Medidas de Proteção contra Surtos (MPS)	30
2.6.3	Subsistema de captação.....	30
2.6.4	Método Esfera Rolante	31
2.6.5	Método do Ângulo de proteção.....	33
2.6.6	Método das Malhas	33
2.6.7	Subsistema de descida.....	34
2.6.8	Subsistema de aterramento	34
3	Gerenciamento de riscos	36
3.1	Fonte de danos	36
3.1.1	Danos causados por descargas na estrutura (S1)	36
3.1.2	Danos causados por descargas próximas à estrutura (S2)	36
3.1.3	Danos causados por descargas na rede elétrica que entra na estrutura (S3)	36

3.1.4 Danos causados por descargas próximas à rede elétrica que entra na estrutura (S4)	37
3.2 Tipos de danos	37
3.3 Tipos de perdas	37
3.4 Componentes de risco	38
3.4.1 Componente devido à descarga na estrutura.....	38
3.4.2 Componente devido a descarga próxima à estrutura	39
3.4.3 Componente devido a descarga em uma linha conectada na estrutura	39
3.4.4 Componente devido a descarga em uma linha próxima à estrutura.....	40
3.5 Tipos de Riscos	40
3.6 Equação das componentes de risco	42
3.7 Fluxograma para a decisão da necessidade da proteção	46
4 Zonas de proteção contra raios.....	48
4.1 Determinação de área de exposição equivalente.....	48
5 Estudo de Caso.....	50
5.1 Procedimento básico	50
5.2 Características construtivas da edificação.....	50
5.3 Cálculo do risco R_1	51
5.3.1 Determinando a parcela R_{A1}	51
5.3.2 Determinando a parcela R_{B1}	54
5.3.3 Determinação da parcela R_{U1}	55
5.4 Comparação com o risco tolerável.....	58
6 Planilha de cálculo	60
7 Considerações finais.....	61
8 Referências	61
ANEXOS.....	63
APÊNDICE	72

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Filho e Martinelli (2016) o Brasil é um país com grandes índices de descargas atmosféricas, dado ao fato de ser um país tropical com elevadas temperaturas e grandes dimensões continentais. Diante do exposto, faz-se necessário estudar as causas desses fenômenos, suas implicações em meio a sociedade e quais são as principais medidas de prevenção ou redução de risco adotadas pelas normas vigentes.

A Norma Brasileira 5419 de 2015, define como descargas atmosféricas a descarga elétrica entre nuvem e terra ou entre nuvens, consistindo em um ou mais impulsos de vários quiloampères, em outras palavras as descargas atmosféricas seriam os raios, vale ainda ressaltar que de acordo com a mesma norma o raio pode ser apenas um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra.

Diante disso, as descargas atmosféricas podem provocar danos mecânicos, danos às pessoas e falhas, ou danos, em equipamentos de sistemas internos originados das interferências de ondas eletromagnéticas geradas pelas descargas atmosféricas.

Aliado a isso, a ocorrência de descargas atmosféricas depende das características físicas do microclima observado na região, como por exemplo a temperatura e a umidade, logo o aumento da temperatura global, decorrente do efeito estufa, associado às altas taxas de evaporação e umidade são catalisadores para a formação de nuvens carregadas e a posterior incidência de descargas atmosféricas.

Pesquisas do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) apresentam o ranking de incidência de raios nos estados cobertos pela rede brasileira de detecção de descargas atmosféricas no ano de 2009 a 2010. Em grandes centros urbanos há uma grande tendência de tempestades, segundo o grupo de pesquisa, as cidades de Porto Real situada no estado do Rio de Janeiro e de São Caetano do Sul situado no estado de São Paulo têm densidade de 27 raios/km²/ano e 23 raios/km²/ano respectivamente, compõem as primeiras posições do ranking. A área monitorada envolve os 24 estados do Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil onde a incidência de raios obteve variações próximas de 5% com relação ao período de 2005 a 2008. Por outro lado, cidades com população acima de 200 mil habitantes possuem maiores incidências devido à grande urbanização, com aumento de descargas atmosféricas em 11% no mesmo período.

Ademais, segundo dados do ELAT do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de 2000 a 2014 foram registradas cerca de 1790 mortes no Brasil em decorrência de eventos relacionados a descargas atmosféricas. Somado a isso, estudos do ELAT apontam que a cada cinquenta mortes no mundo por raios, uma ocorre no Brasil. A Figura 1 apresenta os dados coletados na pesquisa.



Figura 1- Mortes por raios no Brasil. (ELAT)

Portanto, faz-se necessário o profundo conhecimento dos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), que de acordo com a NBR 5419/2015 são sistemas comple-

tos, destinados a proteger uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas e é composto por um sistema externo e um sistema interno. Segundo Buratto (2011), esses sistemas buscam proteger as estruturas baseando -se na *Teoria das Pontas*, criando pontos preferenciais de incidência, a eventual ausência desses pontos acarretaria em descargas diretas na estrutura a ser protegida. Para isso, além de captar a eventual descarga atmosférica, o SPDA deve ser capaz de direcionar o fluxo da corrente associada diretamente para o solo, segundo percursos definidos, constituído pelos condutores do sistema de proteção (VISACRO FILHO, 2005).

1.1 Objetivos

Nessa seção são elencados os objetivos gerais e específicos do trabalho, com o fito de trazer melhor compreensão acerca da organização do mesmo.

1.1.1 Objetivos gerais

Os objetivos gerais do trabalho são: apresentar os principais conceitos que servem de subsídios para que haja uma ampla compreensão do exposto, bem como apresentar a parte 2 da NBR 5419/2015 que trata do gerenciamento de riscos em sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

1.1.2 Objetivos específicos

Com a exposição dos principais conceitos e fundamentos inerentes ao trabalho busca-se como objetivos específicos:

- Apresentar os conceitos de danos, perdas e riscos da NBR 5419/2015;
- Apresentar a equação das componentes de risco;
- Apresentar o procedimento de determinação do risco em um SPDA;
- Apresentar um estudo de caso contemplando os procedimentos adotados;
- Gerar uma discussão acerca das atualizações trazidas na norma de 2015 com relação ao gerenciamento de riscos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentados os principais conceitos que têm suma importância na ampla compreensão do objeto de estudo deste trabalho.

2.1 Definição dos raios

Segundo Visacro Filho (2005), os raios ou descargas atmosféricas correspondem ao fenômeno integral envolvido na evolução e fechamento do canal de descarga, incluindo o fluxo da corrente de retorno e as demais manifestações elétricas, visuais e sonoras.

2.2 Formação dos raios

Com o passar dos anos buscou-se definir teorias que explicassem o fenômeno dos raios, tais estudos sugerem que essas descargas se originam no interior das nuvens pela fricção das partículas de água e estudos experimentais verificaram que as cargas positivas ficam na parte superior e as cargas negativas na parte inferior das nuvens, conferindo a essas um caráter bipolar (WALTRICK, 2018).

Diante do exposto, é possível observar que entre a porção inferior das nuvens e a superfície terrestre, que é positivamente carregada, surge uma zona de concentração de cargas elétricas que produz uma diferença de potencial (DDP), que ao romper a rigidez dielétrica do ar faz com que ocorra uma migração das cargas elétricas em direção à terra através de um caminho chamado descarga piloto, produzindo o fenômeno conhecido como raio ou descarga atmosférica.

O aumento da DDP entre nuvem e terra, também chamado de gradiente de tensão gera uma ramificação da descarga piloto, que se constitui de cargas elétricas positivas e é denominada descarga ascendente que partem da terra indo de encontro à nuvem se unindo à descarga piloto através de um canal ionizado dando origem à descarga de retorno que com o subsequente aumento da corrente pelo acúmulo de cargas origina a descarga principal que desce em sentido à terra. De acordo com Mamede (2010) durante esse processo o deslocamento de ar que circula o caminho do raio em efeito do aumento de temperatura dá origem a um estrondo ou barulho chamado trovão, além disso de acordo com Visacro Filho (2019) o aquecimento intenso gera e

um efeito luminoso, o relâmpago. Na Figura 2 são mostradas as etapas de formação dos raios exemplificadas acima.

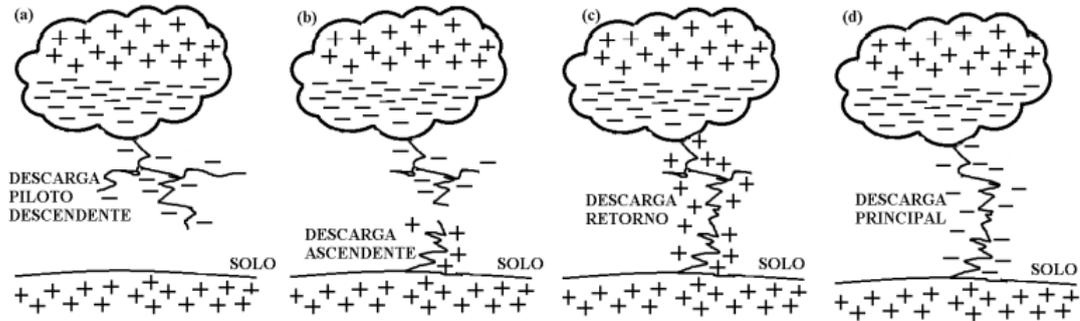


Figura 2- Etapas de formação do raio (Waltrick, 2018)

2.3 Tensão de toque

A tensão de toque ou potencial de toque como definido por Kindermann e Capagnolo (1995), é definido como o potencial entre o ponto da estrutura metálica, que pode ser alcançado pela mão do indivíduo e um ponto no solo situado a pelo menos 1m da base da estrutura. Na Figura 3 é apresentada a forma de obtenção do potencial de toque em relação à corrente elétrica de choque.

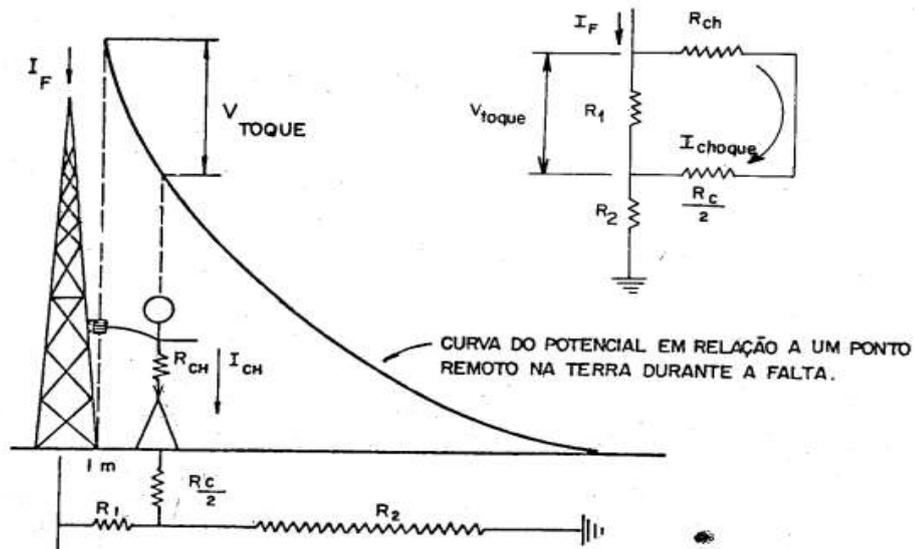


Figura 3- Potencial de toque (Kindermann e Capagnolo, 1995)

Através dessa configuração é possível determinar a expressão para a tensão de toque, dado por:

Equação 1: Expressão da tensão de toque

$$V_{toque} = \left(R_{ch} + \frac{R_c}{2} \right) * I_{choque}$$

onde:

- R_{ch} – Resistência do corpo humano considerada 1.000Ω ;
- R_c – Resistência de contato que pode ser considerada igual a $3\rho_s$ (onde ρ_s é a resistividade do solo), de acordo com a IEEE-80;
- I_{choque} – Corrente de choque pelo corpo humano;

2.4 Tensão de passo

Também de acordo com Kindermann e Capagnolo (1995) a tensão de passo ou potencial de passo pode ser definida como a diferença de potencial existente entre os dois pés do indivíduo e é formada quando os dois pés se encontram em linhas equipotenciais diferentes. Essas linhas se formam de acordo com o escoamento da corrente de curto-circuito e se no momento da descarga os pés estiverem sobre a mesma linha ou se apenas um dos apoios estiver em contato com o solo, não haverá tensão de passo. A Figura 4 mostra a configuração das linhas equipotenciais no momento da descarga e A Figura 5 demonstra a forma de obtenção da expressão para a tensão de passo.

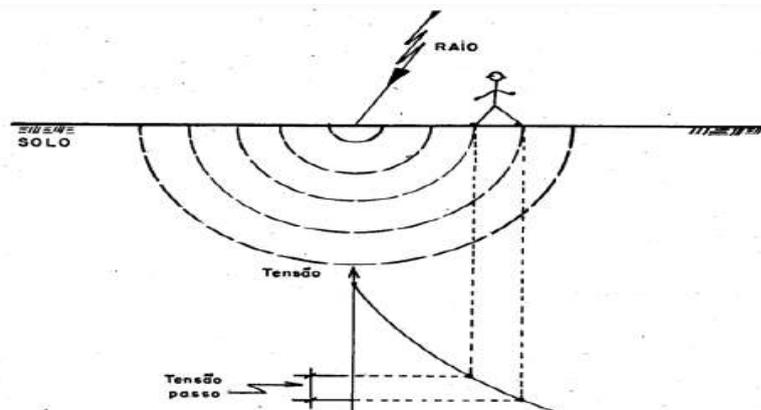


Figura 4- Linhas equipotenciais formadas em uma descarga (KINDERMANN & CAMPAGNOLO,1995)

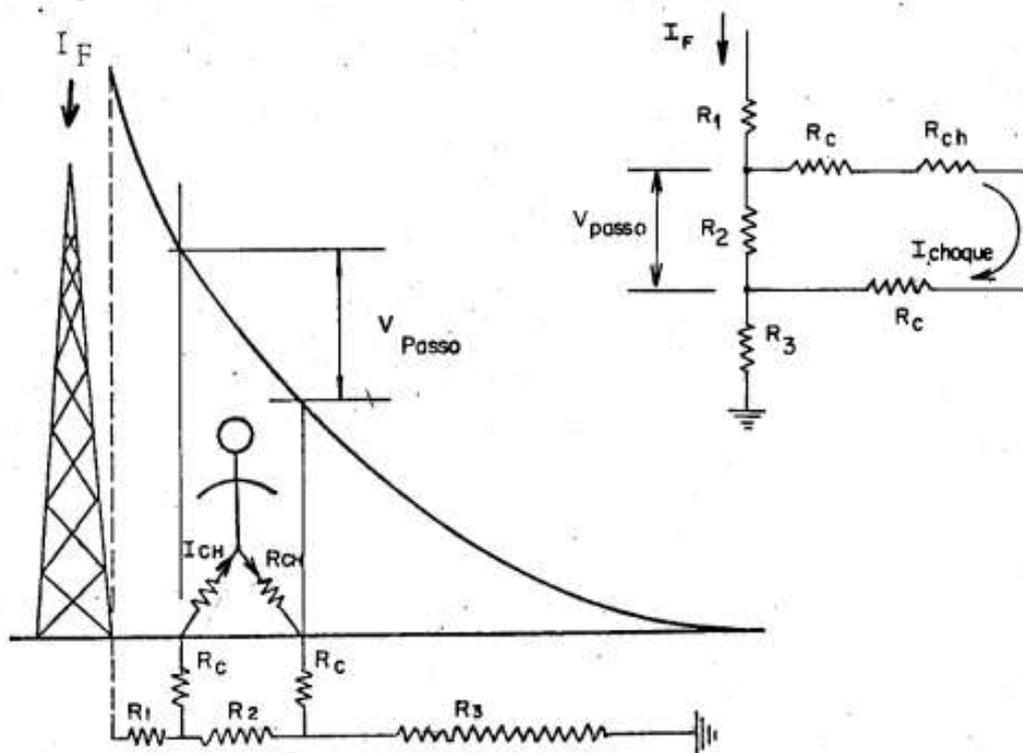


Figura 5- Tensão de passo (KINDERMANN & CAMPAGNOLO,1995)

Considerando essa configuração a tensão de passo pode ser expressa da forma:

Equação 2: Expressão da Tensão de Passo

$$V_{passo} = (1000 + 6\rho_s) * I_{choque}$$

2.5 Mapa de densidades de descargas atmosféricas

Após a atualização de 2015 da NBR 5419, o mapa isoceráunico passou a ser substituído pelo mapa de densidades de cargas atmosféricas que através de uma escala de cores de lilás a preto indo de 0,5 a 19, fornece os valores de descargas atmosféricas/Km²/ano.

O mapa pode ser consultado através do site do ELAT que registra dados de todo o território nacional através da captura de pulsos luminosos realizado pelo satélite *Tropical Rainfall*

Measuring Mission (TRMM) da National Aeronautics and Space Administration (NASA). O mapa pode ser observado conforme a Figura 6.

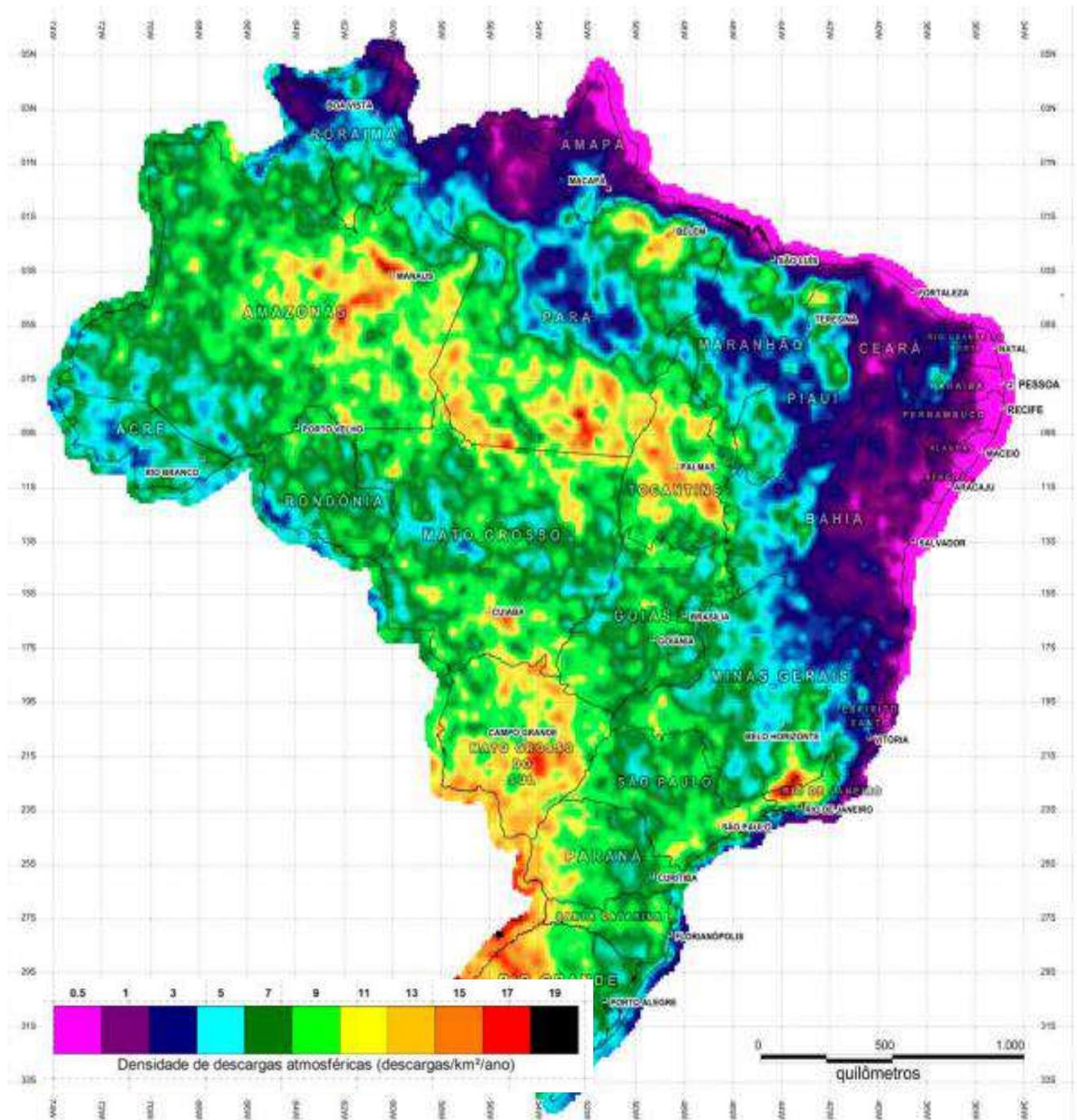


Figura 6- Mapa de densidades de descargas atmosféricas (adaptado da NBR 5419/2015 - 2)

2.6 Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)

Para prevenir danos maiores relacionados aos acidentes com descargas atmosféricas, utilizam-se dos Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), esses podem ser estruturados por três métodos: Método Do Ângulo de Proteção, Método das Malhas e Método das Esferas Rolantes ou por meio da combinação entre eles de acordo com a NBR 5419/2015. Essa seção irá apresentar as classes dos SPDA's bem como detalhar os métodos de implementação e seus subsistemas.

2.6.1 Classes do SPDA

O nível de proteção a ser implementado e as características da estrutura a ser protegida definem a classe do SPDA. A Tabela 1 foi adaptada da NBR 5419/2015 e relaciona os níveis de proteção às respectivas classes dos SPDA's.

Tabela 1- Relação entre níveis de proteção e classe do SPDA (NBR 5419/2015)

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

Para cada nível de proteção é fixado um conjunto de parâmetros mínimos e máximos das correntes de descargas atmosféricas de acordo com a NBR 5419/2015.

- Nível I - Nível de proteção mais rigoroso e seguro. Usado em estruturas de serviços estratégicos ou que apresentam risco para os arredores. Ex.: depósitos de explosivos, materiais sujeitos à explosão, material tóxico ao meio ambiente etc.
- Nível II - Edificação com bens de grande valor ou que abriga um grande número de pessoas. Não representa risco para estruturas adjacentes;
- Nível III - Edificação de uso comum;

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

2.6.2 Medidas de Proteção contra Surtos (MPS)

As Medidas de Proteção contra Surtos (MPS), segundo a NBR 5419 parte 4 podem ser definidas como o conjunto de estratégias que buscam proteger a os equipamentos eletroeletrônicos contra os efeitos do LEMP (Lightning Eletromagnetic Impulse) que podem danificar tais equipamentos na ocorrência de descargas atmosféricas. Para tanto, usualmente são empregadas blindagens espaciais ou condutores blindados sobre a estrutura que têm a finalidade de proteger dos efeitos de campos magnéticos irradiados diretamente sobre os equipamentos. Por outro lado, buscando a proteção contra surtos induzidos ou conduzidos nos equipamentos por cabos diretamente ligados a esses, são adotadas MPS que consistem em sistema coordenado de DPS para tal fim.

Em geral os equipamentos devem atender às normas vigentes, portanto, segundo a NBR 5419 parte 2, MPS consistindo em uma coordenação adequada de DPS normalmente são suficientes para proteger tais equipamentos contra os efeitos do LEMP.

2.6.3 Subsistema de captação

Os subsistemas de captadores, de acordo com Barbosa (2014), são os elementos condutores expostos destinados a interceptar as descargas atmosféricas, geralmente encontradas na parte superior da edificação e pode ser formado por uma, três ou mais pontas de aço inoxidável, fixado a uma haste ou mastro preso a uma base isoladora para um nível de tensão de 10 kV.

Ainda de acordo com Barbosa (2014) os captadores podem ser classificados em captadores naturais, que são elementos condutores expostos às descargas atmosféricas e frequentemente são partes integrantes da edificação que se quer proteger como por exemplo: marquises, calhas e coberturas metálicas, e em captadores não naturais que são elementos comumente em forma de haste vertical ou cabo horizontal como por exemplo o captor tipo Franklin. A Figura 7 apresenta um captor não natural tipo Franklin.



Figura 7- Captor não natural tipo Franklin (Imagem da internet)

2.6.4 Método Esfera Rolante

O Método da Esfera Rolante resgatou, com um atraso de quase 100 anos, porém embasado em extensivo trabalho de pesquisa, o modelo sugerido por Preece em 1881, que previa que o volume de proteção de um elemento captor seria definido por um cone com vértice na extremidade do captor, delimitado pela rotação de um segmento de círculo tangente ao solo. O raio desse segmento de círculo é função do nível de proteção desejado para a instalação (CREDER, 2016). A Figura 8 mostra o princípio de proteção do método.

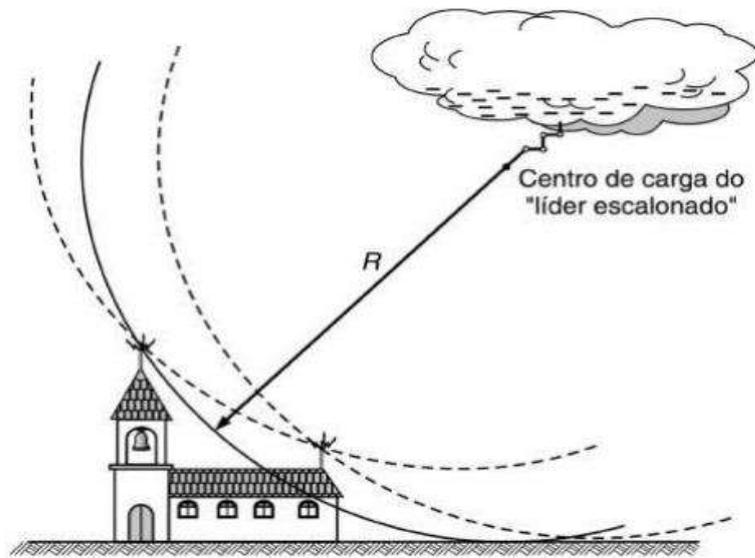


Figura 8- Princípio de proteção (CREDER, 2016)

Ainda de acordo com CREDER (2016) o método é compatível com a constatação prática de que estruturas muito altas são suscetíveis de serem atingidas por descargas laterais. Efetivamente, se a estrutura tiver uma altura superior à distância R , um elemento captor no seu topo não garantirá uma proteção adequada, pois o segmento de círculo tangente ao solo tocará lateralmente na estrutura, conforme mostra a Figura 9.

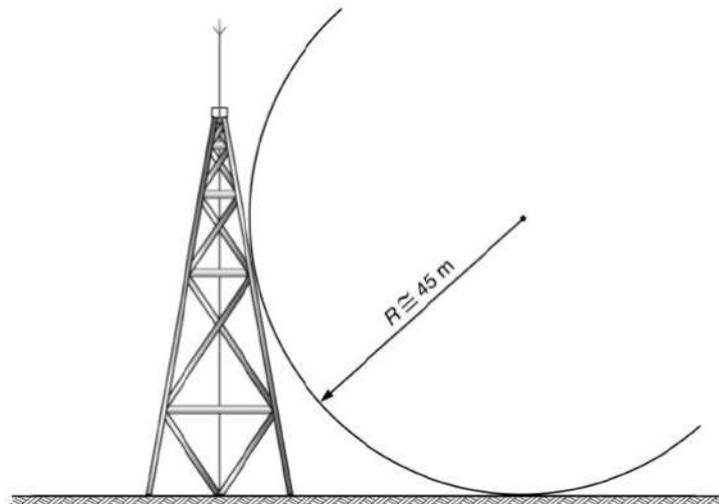


Figura 9- Aplicação do método a uma estrutura muito alta (CREDER, 2016)

2.6.5 Método do Ângulo de proteção

O Método do ângulo de proteção ou Método de Franklin nada mais é do que um caso particular do Método das Esferas Rolantes, em que o segmento de círculo é aproximado por um segmento de reta, tangente ao círculo na altura do captor. A Figura 10 apresenta duas situações em que o volume de proteção de um mastro é aproximado por um segmento de reta tangente ao círculo do Método das Esferas Rolantes. Em termos geométricos, é de mais fácil aplicação do que o das esferas rolantes, porém pode resultar em um sistema superdimensionado, uma vez que o volume de proteção proporcionado pelo segmento de círculo sempre será superior ao proporcionado pelo segmento de reta. Esse método pode ser empregado para edificações de pequenas dimensões (CREDER, 2016).

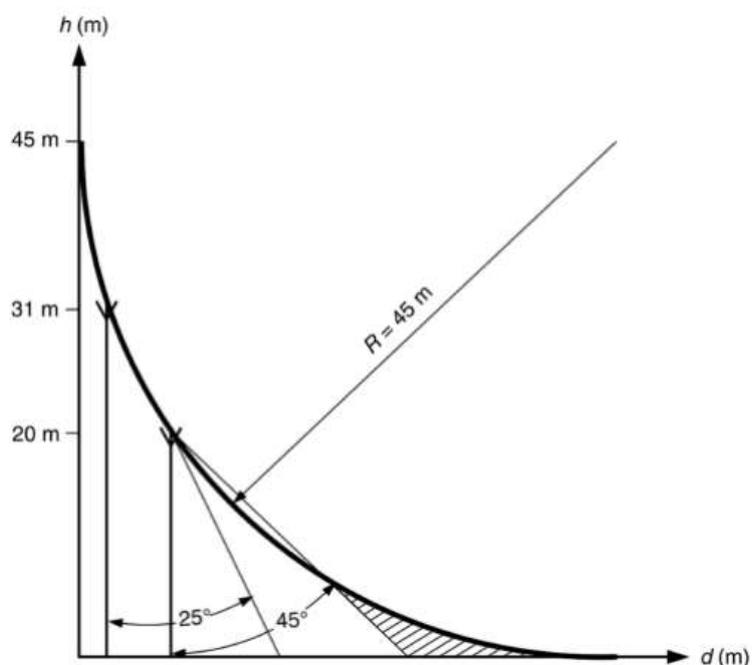


Figura 10- Variação do ângulo de proteção de um captor em função da altura

2.6.6 Método das Malhas

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. Edificações com estrutura metálica na cobertura e continuidade elétrica nas ferragens estruturais e aterramento

em fundação (ou anel) têm bom desempenho como Gaiolas de Faraday. Galpões em estrutura metálica (colunas e cobertura) constituem-se em Gaiolas de Faraday naturais, que devem ser complementados com um aterramento adequado, preferencialmente integrado às armaduras das fundações (CREDER, 2016).

O Método das Malhas também é aplicável a edificações de grande área de cobertura (usu-almente prédios industriais), onde a adoção de outras técnicas de dimensionamento da rede captora implica a utilização de grande número de mastros captores, os quais demandam uma ampla rede de condutores de interligação que, por si só, já é uma aproximação de uma Gaiola de Faraday. Frequentemente esse tipo de prédio é construído com telhas de concreto proten-dido, com grande vão livre. Nesse caso, é importante evitar a incidência de descargas diretas nessas telhas, pois a corrente procurará a ferragem da estrutura, dando origem ao risco de ra-chadura do concreto e de danos na ferragem estrutural ou de exposição desta última ao tempo. As estruturas altas podem estar sujeitas a descargas laterais, como se tem observado. Edifícios excedendo 20 a 30 metros de altura devem, portanto, ser providos de elementos captores nas fachadas. Revestimentos, caixilhos de janelas, trilhos, condutores de descida e outros elementos metálicos presentes nas fachadas da estrutura podem ser usados com essa finalidade (CREDER, 2016).

2.6.7 Subsistema de descida

Os condutores de descidas são elementos expostos ou não, que permitem a continuidade elétrica entre os captores e o sistema de aterramento, sendo classificados em naturais e não naturais, são respectivamente elementos condutores partes integrantes da edificação e que per-mitem escoar para o sistema de aterramento as correntes elétricas consequentes das descargas atmosféricas e elementos condutores expostos ou não com condutividade mínima de 98% que percorre um percurso retilíneo e vertical, ligando o captores a terra pelo menor caminho possí-vel e fixado na edificação o mínimo a cada 2 metros (BARBOSA, 2014).

2.6.8 Subsistema de aterramento

São elementos condutores enterrados ou embutidos nas fundações das edificações res-ponsáveis por dissipar a corrente da descarga atmosférica no solo, também classificados em

naturais e não naturais. Os naturais são elementos metálicos embutidos nas fundações das edificações e parte integrante delas e os não naturais são elementos condutores enterrados horizontalmente, verticalmente ou inclinado e devem ter uma resistência de aproximadamente 10 ohms de acordo com a NBR 5419/2015 (BARBOSA, 2014).

3 GERENCIAMENTO DE RISCOS

Esse capítulo trata dos conceitos acerca do gerenciamento de risco abordados na NBR 5419/2015 parte 2, desde conceitos e classificações de danos, perdas e riscos, até a exemplificação da equação de componentes de risco e determinação das zonas de proteção contra raios. Além disso, é apresentado um fluxograma com a sequência de passos para a tomada de decisão no que diz respeito a determinação da necessidade ou não de proteção adicional em estruturas. Para tanto, são consideradas as definições previstas na NBR 5419/2015 parte 2 e sempre que necessário são trazidas considerações adicionais com o intuito de melhor compreensão.

3.1 Fonte de danos

Nessa seção serão apontadas as fontes dos danos, segundo a NBR 5419/2015, causados por descargas atmosféricas. Essa classificação se dá de acordo com o ponto de impacto da descarga em relação à estrutura que deve ser protegida.

3.1.1 Danos causados por descargas na estrutura (S1)

Nessa situação os danos são causados por uma descarga atmosférica que atinge integral ou parcialmente a parte construtiva da edificação a ser protegida.

3.1.2 Danos causados por descargas próximas à estrutura (S2)

Os danos também podem ser provenientes de descargas próximas à estrutura que não necessariamente é atingida diretamente, mas ainda assim sofre a influência dos efeitos da descarga ao seu redor.

3.1.3 Danos causados por descargas na rede elétrica que entra na estrutura (S3)

As descargas podem atingir a linha de fornecimento de energia que abastece a edificação. Essas descargas são transmitidas pelos condutores da rede até as partes construtivas, metálicas

ou não, da edificação. Portanto, mesmo que não haja ponto de impacto sobre a estrutura da edificação, descargas nas linhas são geradoras em potencial de danos à mesma.

3.1.4 Danos causados por descargas próximas à rede elétrica que entra na estrutura (S4)

As fontes de danos do tipo S4 são aquelas que, analogamente às fontes do tipo S2, não atingem diretamente a rede elétrica, mas seus efeitos são percebidos por essa mesmo quando o ponto de impacto não é pontualmente sobre a mesma.

3.2 Tipos de danos

De acordo com a NBR 5419/2015 são três os tipos de danos considerados no gerenciamento de riscos.

- Danos a pessoas por choque elétrico (D1)
- Danos físicos e mecânicos à estrutura (D2)
- Danos devido a LEMP (Lightning Electromagnetic Impulse) (D3)

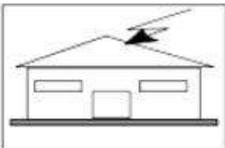
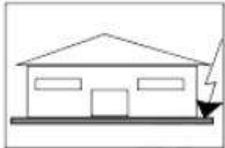
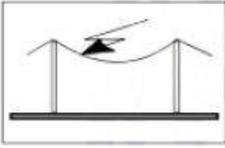
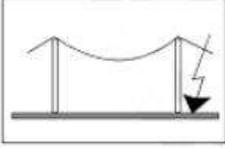
3.3 Tipos de perdas

Definidas as fontes dos danos e os tipos de danos pode-se agora enunciar as perdas decorrentes desse último são elas:

- Perdas permanentes ou perda de vida humana (L1)
- Perda de serviço público (L2)
- Perda de patrimônio cultural (L3)
- Perda de valores econômicos (L4)

Como visto, cada tipo de perda está associado a um tipo de dano que é proveniente de uma determinada fonte. É possível notar, porém, que para uma dada fonte de descarga mais de um tipo de dano pode ser observado Da mesma maneira conclui-se que para um tipo de dano mais de um tipo de perda pode estar associada. A Tabela 2 apresenta de forma resumida as correlações entre fonte de dano, tipo de dano e tipo de perdas.

Tabela 2- Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto (NBR 5419/2015 Parte 2)

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

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

3.4 Componentes de risco

Conhecidas as perdas inerentes às descargas atmosféricas é possível calcular um risco associado a cada uma delas ou seu possível agrupamento de perdas chamados de componentes de risco.

3.4.1 Componente devido à descarga na estrutura

Esses componentes agrupam as perdas inerentes às descargas diretamente sobre a estrutura e são eles:

RA: Essa componente é relativa aos prejuízos causados aos seres vivos devido a choques elétricos provenientes de tensões de toque e de passo que podem ocorrer dentro da estrutura ou fora dessa até um limite de 3m ao redor dos condutores do sistema de descidas. As perdas consideradas nesses componentes são do tipo L1 e L4, essa última em estruturas que comportem animais vivos.

RB: Esse componente é relativo a prejuízos físicos causados por faiscamentos ou centelhamentos dentro da estrutura, o que pode causar incêndios ou explosões. Todos os tipos de perdas estão presentes no cálculo desse componente de risco (L1, L2 L3 e L4).

RC: Esse componente considera os prejuízos relativos às falhas de sistemas internos por *LEMP*. Nesses casos as perdas do tipo L2 e L4 podem ser observadas, além de, perdas do tipo L1 quando a estrutura se tratar de hospitais ou edificações correlatas onde falhas nos sistemas elétricos atentam diretamente contra a vida humana.

3.4.2 Componente devido a descarga próxima à estrutura

RM: Esse componente agrupa as perdas relativas às descargas próximas às estruturas a serem protegidas. É relativo a falhas dos sistemas elétricos ou eletrônicos internos à edificação por conta do *LEMP*. São consideradas perdas do tipo L2 e L4 bem como perdas do tipo L1 em estruturas com risco de explosão, ou hospitais e estruturas correlatas onde falhas dos sistemas internos ofereçam risco mortal à vida humana.

3.4.3 Componente devido a descarga em uma linha conectada na estrutura

Em situações onde a descarga atinge diretamente a linha que abastece a edificação são considerados os seguintes componentes de risco:

RU: É relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e de passo dentro da estrutura conectada à rede elétrica. Nessas situações são observadas perdas do tipo L1 e L4, essa última em casos de propriedades rurais com atividades agrícolas.

RV: É relativo a danos físicos causados por incêndios ou centelhamentos entre instalações externas e partes metálicas no ponto de entrada da rede na estrutura que são consequência da corrente da descarga atmosférica que é transmitida pela linha. Nessas situações perdas dos tipos L1, L2, L3 e L4 são observadas.

Rw: Esse componente diz respeito a falhas em sistemas internos que sofrem a influência de sobretensões induzidas nas linhas e são transmitidas aos equipamentos através dos condutores de cada circuito. Nesses casos perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer e em estruturas com risco de explosão ou hospitais onde falhas dos sistemas internos podem agredir diretamente a vida humana.

3.4.4 Componente devido a descarga em uma linha próxima à estrutura

Rz: Esse componente de risco se relaciona com as falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura a ser protegida. Nesse componente as perdas do tipo L2 e L4 podem ser observadas, bem como as perdas do tipo L1 e em estruturas com risco de explosão ou hospitais onde falhas dos sistemas internos podem agredir diretamente a vida humana

3.5 Tipos de Riscos

Nessa seção serão definidos os tipos de riscos associados aos seus componentes. A NBR 5419/2015 define cada tipo de risco como a soma simples das suas componentes. São eles:

- R_1 : Risco de perda de vida humana

Equação 3: Risco de perda de vida humana

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^* + R_{M1}^* + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^* + R_{Z1}^*$$

Note que o índice * diz respeito aqueles componentes onde há estruturas com risco de incêndio ou explosão ou hospitais onde a falha dos sistemas elétricos pode causar danos mortais à vida humana.

- R₂: Risco de perda de serviço ao público

Equação 4: Risco de perda de serviço ao público

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2}$$

- R₃: Risco de perda de patrimônio cultural

Equação 5: Risco de perda de patrimônio cultural

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3}$$

- R₄: Risco de perda de valor econômico

Equação 6: Risco de perda de valor econômico

$$R_4 = R_{A4}^2 + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^2 + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$$

Note que o índice ² diz respeito aqueles componentes onde há propriedades onde animais possam ser perdidos. A Tabela 3 resume os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.

Tabela 3- Relação entre componentes de risco e tipos de perdas associadas (NBR 5419/2015)

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Componente de risco								
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*	*	*		*	*	*
R_4	* b	*	*	*	* b	*	*	*

^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.

^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Entretanto, os valores dos riscos R_1 a R_4 devem ser comparados com os valores do risco tolerável para que haja a devida interpretação e decisão sobre a necessidade ou não de melhoria ou implantação de medidas de proteção sobre a estrutura. Na Tabela 4 são apresentados os valores do risco tolerável admitidos pela NBR 5419/2015.

Tabela 4- Valores típicos de risco tolerável (NBR 5419/2015)

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

3.6 Equação das componentes de risco

Essa equação considera parâmetros como a própria estrutura, as instalações na estrutura, o conteúdo da estrutura, as pessoas na estrutura ou nas zonas até 3m para fora dessa e o meio ambiente afetado por danos na estrutura. A Equação 7 é utilizada de forma geral para calcular oportunamente as componentes de riscos concernentes à determinação de cada risco associado e é expressa por:

Equação 7: Equação geral para as componentes de risco

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X$$

onde:

N_X é o número de eventos perigosos por ano e é afetado pela densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G e pelas características físicas da estrutura a ser protegida, sua vizinhança, linhas conectadas e o solo;

Equação 8: Determinação de N_X

$$N_X = N_G \cdot A_X \cdot C_X \cdot 10^{-6}$$

com os parâmetros:

- N_G – Densidade de descarga atmosférica para terra em 1/Km².ano;
- A_X – Área de exposição equivalente em m²;
- C_X – Fator de utilização da estrutura;

P_X é a probabilidade de dano P_X que é afetada pelas características da estrutura a ser protegida, das linhas conectadas e das medidas de proteção existentes.

Equação 9: Determinação de P_X

$$P_X = P_{TX} \cdot P_B$$

com os parâmetros:

- P_{TX} – Fator que depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e de passo;
- P_B - Fator que depende do nível de proteção do SPDA;

L_X é a perda consequente e é afetada pelo uso para o qual a estrutura foi projetada, a frequência das pessoas, o tipo de serviço fornecido ao público, o valor dos bens afetados pelos danos e as medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas.

Equação 10: Determinação de L_X

$$L_X = r_t \cdot L_T \cdot \left(\frac{n_z}{n_t} \right) \cdot \frac{t_z}{8760}$$

com os parâmetros:

- r_t - Fator de redução da perda de vida humana dependendo do solo/piso;
- L_T - Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso;
- n_z - Número de pessoas na zona (dado de projeto);
- n_t - Número total de pessoas na estrutura (dado de projeto);
- t_z - Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em h/ano (dado de projeto);

Os valores referentes aos parâmetros das equações 6, 7 e 8 podem ser encontrados nas seções A, B e C da NBR 5419/2015 parte 2. Essas seções estão resumidas na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5- Parâmetros para avaliação dos componentes de risco (NBR 5419/2015)

Símbolo	Denominação	Valor de acordo com a Seção
Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas		
N_D	— à estrutura	A.2
N_M	— perto da estrutura	A.3
N_L	— em uma linha conectada à estrutura	A.4
N_I	— perto de uma linha conectada à estrutura	A.5
N_{DJ}	— a uma estrutura adjacente (ver Figura A.5)	A.2
Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar		
P_A	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	B.2
P_B	— danos físicos	B.3
P_C	— falha de sistemas internos	B.4
Probabilidade de uma descarga atmosférica perto da estrutura causar		
P_M	— falha de sistemas internos	B.5
Símbolo	Denominação	Valor de acordo com a Seção
Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar		
P_U	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	B.6
P_V	— danos físicos	B.7
P_W	— falha de sistemas internos	B.8
Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha causar		
P_Z	— falha de sistemas internos	B.9
Perda devido a		
$L_A = L_U$	— ferimentos a seres vivos por choque elétrico	C.3
$L_B = L_V$	— danos físicos	C.3, C.4, C.5, C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	— falha de sistemas internos	C.3, C.4, C.6

A Tabela 6 da (NBR 5419/2015) resume as componentes de riscos para diferentes tipos de danos e fontes de danos.

Tabela 6- Componentes de riscos para diferentes tipos de danos e fontes de danos (NBR 5419/2015)

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

Portanto, para o cálculo de cada componente de risco (R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W e R_Z) e de seus respectivos riscos associados (R_1 , R_2 , R_3 e R_4) deve-se considerar os parâmetros N, P e L que podem ser encontrados nos anexos A, B e C da NBR 5419/2015 parte 2 respectivamente.

Tendo os valores dos riscos associados calculados esses devem ser comparados com os riscos toleráveis para a estrutura a fim de determinar a necessidade ou não de proteção. A norma define limites para o risco tolerável de acordo com a Tabela 4.

Note que para a perda de valor econômico L_4 , a norma estabelece que não havendo valores disponíveis para a análise, deve ser utilizado o valor R_T para L_2 .

Portanto, os riscos R_1 , R_2 e R_3 já calculados devem ser comparados com os riscos toleráveis da Figura X como segue:

- Se $R \leq R_T$, não é necessária a proteção contra as descargas atmosféricas.
- Se $R > R_T$, então medidas devem ser tomadas para se obter $R \leq R_T$.

3.7 Fluxograma para a decisão da necessidade da proteção

Esclarecidas todas as fontes dos danos, os tipos de danos, os tipos de perdas, as componentes de riscos, tipos de riscos e os principais parâmetros da equação das componentes de

riscos, pode-se observar de forma mais geral o procedimento de tomada de decisão para a avaliação da necessidade de proteção na estrutura considerada. Para tanto, a Figura 11 apresenta o fluxograma proposto pela NBR 5419/2015 parte 2 que resume os passos a serem seguidos.

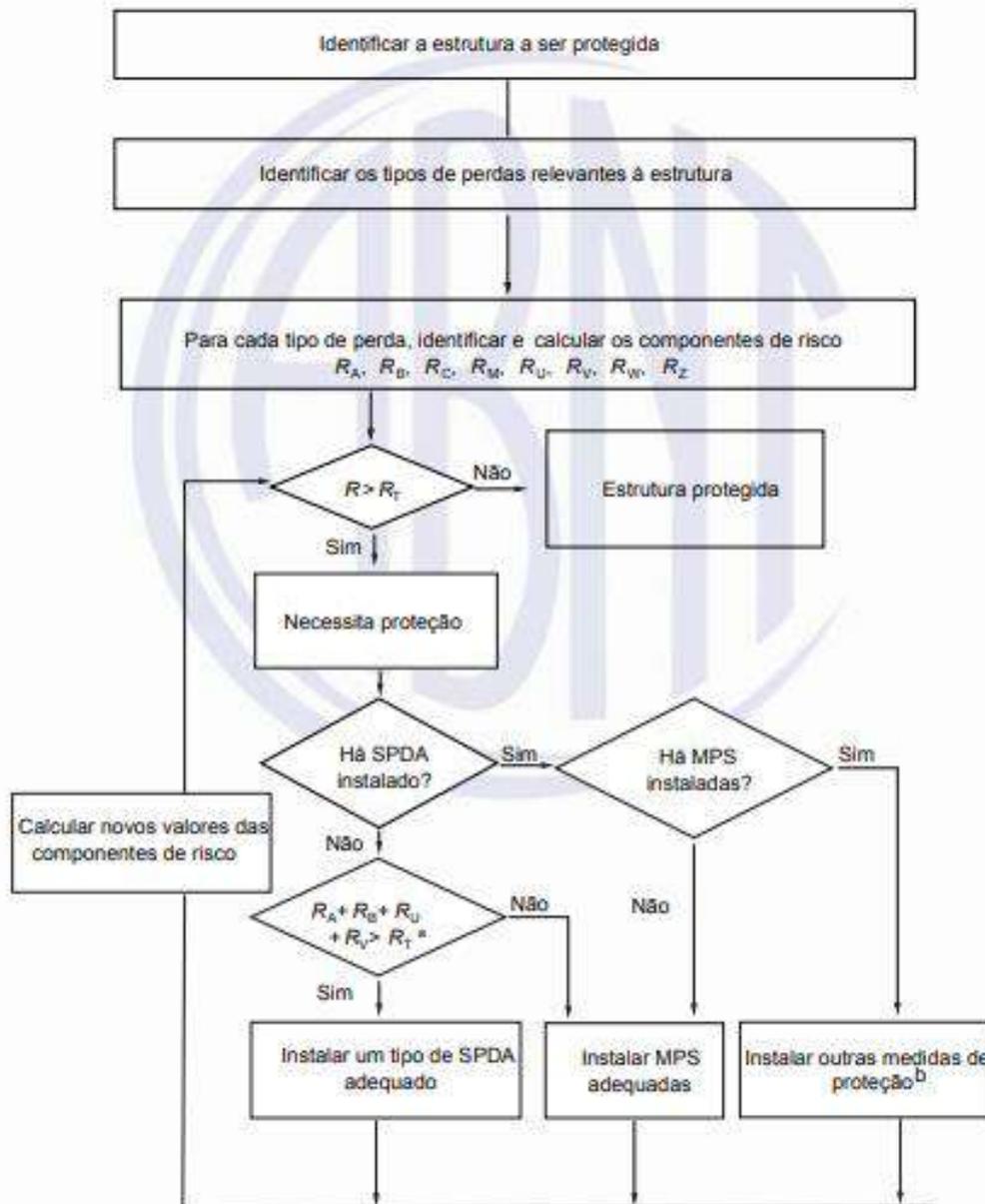


Figura 11- Procedimento para a decisão da necessidade de proteção (NBR 5419/2015)

4 ZONAS DE PROTEÇÃO CONTRA RAIOS

Segundo a NBR 5419/2015 parte 2, para que haja uma avaliação mais precisa de cada componente de risco na estrutura essa pode ser dividida em zonas Z_S , cada uma com características homogêneas como tipo de solo ou piso, compartimentos à prova de fogo ou blindagem espacial. Nesse sentido, note que, a divisão da estrutura em zonas pode tornar a exequibilidade da implementação mais complexa, mas, por outro lado garante uma maior especificidade na proteção reduzindo o preço das instalações, portanto esses aspectos devem ser considerados no momento inicial do pré-projeto.

4.1 Determinação de área de exposição equivalente

Algumas edificações possuem geometrias complexas e para isso deve-se determinar a sua área de exposição equivalente a fim de garantir uma maior precisão nas análises dos riscos associados. A NBR 5419/2015 apresenta os métodos de obtenção desses parâmetros, porém para fins desse trabalho será apresentado o método aplicado a estruturas com forma geométrica retangular uma vez que estruturas complexas podem ser subdivididas em zonas com essa configuração o que muitas vezes simplifica a determinação da área de exposição.

Em uma estrutura retangular isolada com comprimento L , largura W e altura H que se encontra em solo plano a área de exposição é dada por:

Equação 11: Determinação da Área de Exposição Equivalente

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

As unidades são expressas em metros e a equação decorre a seguinte configuração apresentada na Figura 12.

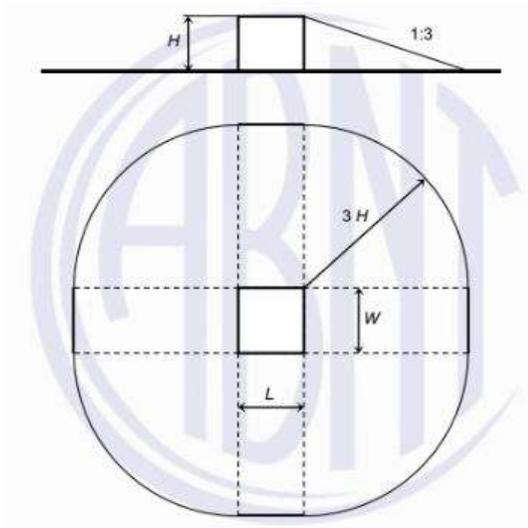


Figura 12- Determinação da área de exposição equivalente para estruturas retangulares (NBR 5419/2015)

5 ESTUDO DE CASO

Nesse estudo de caso consideraremos os conceitos apresentados nas seções anteriores bem como definições que se fizerem necessárias ao decorrer do texto. Para tanto, apresentaremos primeiramente as características construtivas da edificação, como também informações geográficas e o uso para o qual a construção foi destinada.

5.1 Procedimento básico

O procedimento básico seguido ao avaliar a necessidade de proteção em uma edificação pode ser listado em tópicos que quando seguidos rigorosamente garantem uma maior compreensão do processo e por conseguinte uma avaliação livre de vícios ou erros. O procedimento está elencado abaixo e pode ser verificado na NBR 5419 parte 2:

- Identificação da estrutura e suas características;
- Identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os componentes de riscos relevantes R (R_1 a R_4);
- Avaliação do Risco R para cada tipo de perda R_1 a R_4 ;
- Avaliação da necessidade de proteção, dada a comparação dos riscos R_1 , R_2 e R_3 com os riscos toleráveis R_T ;
- Avaliação econômica do custo da proteção frente aos custos inerentes aos riscos percebidos;

5.2 Características construtivas da edificação

A edificação está situada no município de Campina Grande, Rua Varsóvia, S/N. A edificação já dispõe de SPDA, logo a análise será realizada no sentido de verificar a necessidade de aperfeiçoá-lo ou não. A edificação trata-se de um anfiteatro para eventos religiosos com capacidade para até 1200 pessoas, que permanecem na mesma em média 12 horas por mês correspondendo a aproximadamente 144 horas ao ano. A estrutura se encontra em área predominantemente rural e se destaca como a maior edificação em altura num raio de 1 km. Quanto às dimensões a estrutura possui 45,3m de comprimento por 25,3m de largura totalizando uma área total de 1146,09m² e 8m de altura na parte mais elevada, tais dimensões podem ser verificadas

no APÊNDICE I Conectada à edificação têm se uma linha de força e uma de telefonia com comprimento de 100m, tais linhas devem ser consideradas pois sobre elas há sempre a probabilidade de descargas atmosféricas incidirem.

Nesse estudo de caso serão considerados apenas o R_1 , que caracteriza as perdas permanentes ou perda de vida humana L1 uma vez que não é necessário avaliar a perda de serviço ao público, a perda de herança cultural ou a perda econômica da edificação dadas as necessidades do proprietário e as características usuais da edificação.

5.3 Cálculo do risco R_1

O risco R_1 é o risco associado à perda de vida humana e é definido pela equação de R_1 .

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^* + R_{M1}^* + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^* + R_{Z1}^*$$

Para tanto, temos que não há estruturas com risco de incêndio ou explosão ou hospitais onde a falha dos sistemas elétricos pode causar danos mortais à vida humana, portanto a equação se resume a:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1}$$

5.3.1 Determinando a parcela R_{A1}

A parcela R_{A1} é definida como a componente relacionada a ferimentos a seres vivos por choque elétrico devido à tensão de passo ou à tensão de toque e é equacionada como segue.

$$R_{A1} = N_D \cdot P_A \cdot L_A$$

onde N_D , P_A e L_A são definidos pelas equações apresentadas na Figura 13, bem como os métodos de obtenção e as respectivas tabelas de consulta na NBR 5419/2015.

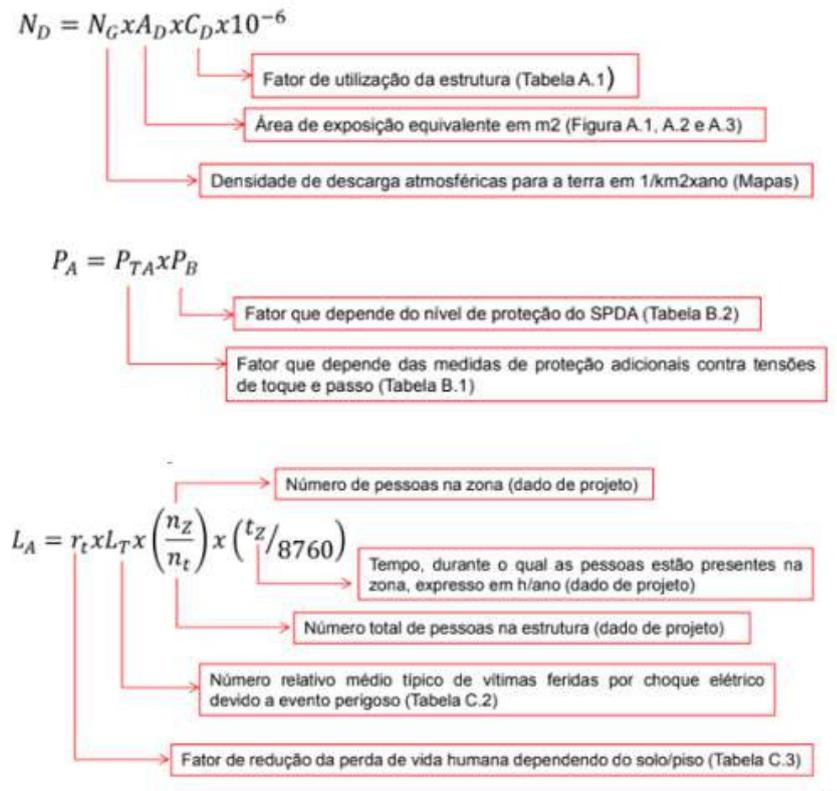


Figura 13- Definição dos parâmetros da equação das componentes de risco

Portanto:

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6}$$

$$N_D = 0,75944 \cdot 6344 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$N_D = 0,004817$$

$$N_D = 4,82 * 10^{-3}$$

notamos que os parâmetros N_G , A_D e C_G foram obtidos através da consulta no mapa de densidade de cargas para o município, da equação da área de exposição equivalente e da consulta na Tabela A.1 da NBR 5419/2015 respectivamente.

Por outro lado, a obtenção da probabilidade de dano P_A é definida da seguinte forma:

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B$$

$$P_A = 1 \cdot 0,2$$

$$\mathbf{P_A = 0,2}$$

Os valores de P_{TA} e P_B foram obtidos através da consulta às Tabelas B.1 e B.2 da NBR 5429/2015 que definem os valores 1 e 0,2 para nenhuma medida de proteção adotada e SPDA classe IV respectivamente.

Por conseguinte, define-se a perda consequente como sendo:

$$L_A = r_t \cdot L_T \cdot \left(\frac{n_z}{n_t}\right) \cdot \left(\frac{t_z}{8760}\right)$$

$$L_A = 10^{-2} \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{1200}{1200}\right) \cdot \left(\frac{144}{8760}\right)$$

$$\mathbf{L_A = 1,64 \cdot 10^{-6}}$$

portanto para a componente R_{A1} obteve-se o resultado de:

$$R_{A1} = N_D \cdot P_A \cdot L_A$$

$$R_{A1} = 4,82 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 1,64 \cdot 10^{-6}$$

$$\mathbf{R_{A1} = 1,58 \cdot 10^{-9}}$$

5.3.2 Determinando a parcela R_{B1}

Esse componente é relativo a prejuízos físicos causados por faiscamentos ou centelhas dentro da estrutura e é definido como segue:

$$R_{B1} = N_D \cdot P_B \cdot L_B$$

Como visto na subseção anterior o valor de N_D já foi obtido, por sua vez o valor de P_B pode ser encontrado na Tabela B.2 da NBR 5419/2015 que dispõe os valores de probabilidade P_B de danos físicos dependendo das medidas de proteção adotadas para reduzir tais danos. Para o caso em estudo temos que $P_B = 0,2$ pois a estrutura está protegida por SPDA classe IV. Portanto deve-se determinar agora, por sua vez, o valor de L_B que é dado com segue na Figura 14.

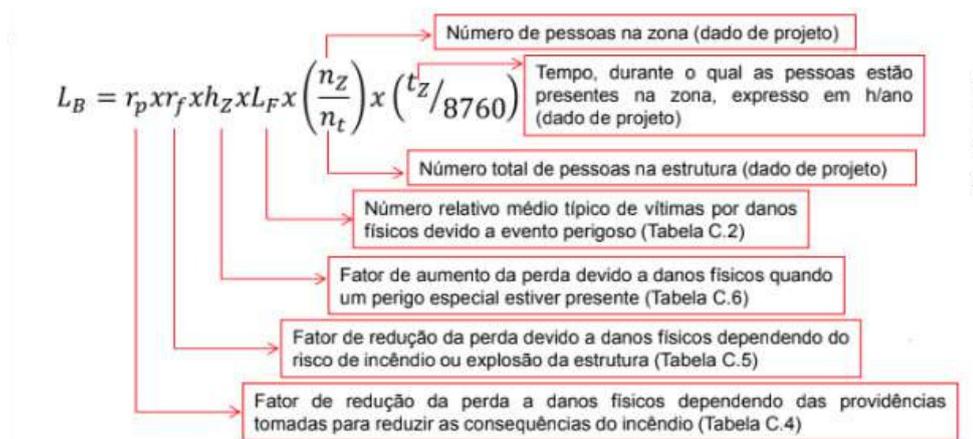


Figura 14- Determinação de L_B

Realizando os cálculos propostos obtemos os resultados expressos abaixo.

$$L_B = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot \left(\frac{n_z}{n_t}\right) \cdot \left(\frac{t_z}{8760}\right)$$

$$L_B = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 1,0,0164$$

$$L_B = 0,164 \cdot 10^{-6}$$

Portanto, para R_{B1} obteve-se o valor de:

$$R_{B1} = 4,82 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 0,164 \cdot 10^{-6}$$

$$\mathbf{R_{B1} = 1,58 \cdot 10^{-10}}$$

5.3.3 Determinação da parcela R_{U1}

Esta componente é relativa a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e de passo e a danos físicos na estrutura conectada diretamente à rede elétrica e é expressa por:

$$R_{U1} = N_{U1} \cdot P_{U1} \cdot L_{U1}$$

Nesse caso deve ser considerado o número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas na linha de força e de telefonia conectada à edificação. Portanto, para a linha de força chamaremos para fins didáticos de R_{U1F} que é definido como:

$$R_{U1F} = (N_D + N_{DJ}) \cdot P_{U1} \cdot L_{U1}$$

onde N_D e N_{DJ} são o número de eventos perigosos sobre a linha conectada à estrutura e sobre estruturas adjacentes respectivamente. Como exposto, neste estudo de caso a edificação encontra-se isolada de outras edificações semelhantes, logo $N_{DJ} = 0$. Isso posto, obtêm-se N_D como segue:

$$N_D = N_G \cdot A_L \cdot C_L \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$$

cujos parâmetros são dados por:

- N_G – Densidade de descargas atmosféricas para a terra em 1/km²ano (Mapas)
- A_L – Área de exposição equivalente sobre a linha em m² (Da norma $A_L = 40 \cdot$ comprimento da linha, $A_L = 40 \cdot 100$)

- C_L – Fator instalação da linha (Tabela A.2)
- C_E – Fator ambiental (Tabela A.4)
- C_T - Fator tipo da linha (Tabela A.3)

logo:

$$N_D = 0,75977 \cdot 40 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$N_D = 3,04 \cdot 10^{-3}$$

Define-se agora o valor de P_{U1} como sendo:

$$P_{U1} = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$$

de onde se obtém os parâmetros:

- P_{TU} – depende das medidas de proteção contra tensão de toque (Tabela B.6);
- P_{EB} – Depende das ligações equipotenciais e do nível de proteção do SPDA para o qual o DPS foi projetado (Tabela B.7);
- P_{LD} – Probabilidade de falha em sistemas internos devido às descargas (Tabela B.8);
- C_{LD} – Fator que depende da blindagem, do aterramento e isolamento da linha (Tabela B.4);

portanto:

$$P_{U1} = 1 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 1$$

$$P_{U1} = 0,05$$

Ademais, é necessário determinar o valor de L_{U1} , como segue.

$$L_{U1} = r_t \cdot L_T \cdot \left(\frac{n_z}{n_t}\right) \cdot \left(\frac{t_z}{8760}\right)$$

de onde seguem os seguintes parâmetros:

- r_t – Fator de redução da perda de vida humana a depender do solo/piso (Tabela C.3);
- L_T – Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a evento perigoso (Tabela C.2);
- n_z – Número de pessoas na zona (Dado de projeto $n_z = 1200$);
- n_t – Número total de pessoas na estrutura (Dado de projeto $n_z = 1200$);
- t_z – Tempo de permanência das pessoas na zona (Dado de projeto $t_z = 144\text{h/ano}$);

então:

$$L_{U1} = 10^{-2} \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{1200}{1200}\right) \cdot \left(\frac{144}{8760}\right)$$

$$L_{U1} = 1,64 \cdot 10^{-6}$$

Por fim, de posse dos valores é possível obter o valor de R_{U1F} , componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque quando a descarga ocorre sobre a linha de força, como sendo:

$$R_{U1F} = 3,04 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \cdot 1,64 \cdot 10^{-6}$$

$$R_{U1F} = 0,24928 \cdot 10^{-9}$$

Seguindo o mesmo procedimento é possível calcular agora R_{U1T} relativo à linha de telefonia. Observamos que os parâmetros serão os mesmos logo o valor de R_{U1T} associado à linha de telefonia será o mesmo que o associado à linha de força R_{U1F} . Portanto, o valor final de R_{U1} será dado por:

$$R_{U1} = R_{U1F} + R_{U1T}$$

$$R_{U1} = 0,49856 \cdot 10^{-9}$$

Neste ponto partimos para o cálculo de R_{V1} (danos físicos na estrutura conectada diretamente à rede elétrica de energia e de sinal). Como vimos, R_{V1} é definido pela equação das componentes de risco como sendo:

$$R_{V1} = N_{V1} \cdot P_{V1} \cdot L_{V1}$$

Tendo em vista que as duas linhas conectadas à estrutura possuem o mesmo comprimento, mesmo fator ambiental, mesma fiação interna, mesma classe de SPDA e o mesmo modo de instalação concluímos que o valor de R_{V1} será o mesmo que o de R_{U1} , portanto:

$$R_{V1} = R_{U1}$$

$$R_{V1} = 0,49856 \cdot 10^{-9}$$

Neste ponto é possível a partir dos valores de R_{A1} , R_{B1} , R_{U1} e R_{V1} obter o risco R_1 associado à perda de vida humana como segue na equação:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1}$$

$$R_1 = 1,58 \cdot 10^{-9} + 0,158 \cdot 10^{-9} + (2 \cdot 0,49856 \cdot 10^{-9})$$

$$R_1 = 2,73512 \cdot 10^{-9}$$

5.4 Comparação com o risco tolerável

Finalizado os cálculos do risco R_1 associado às perdas consideradas pode-se, portanto, consultar o valor do risco tolerável para as especificações dessa edificação a fim de determinar a necessidade ou não de melhoria das medidas de proteção já existentes na estrutura.

Como no estudo de caso apenas perdas do tipo L1 foram consideradas têm-se que o risco tolerável típico admitido pela NBR 5419/2015 é da ordem de 10^{-5} portanto:

$$R_1 = 2,73512 \cdot 10^{-9}$$

$$R_T = 10^{-5}$$

Logo, $R_1 < R_T$ e, portanto, não há a necessidade de medida de proteção adicional ser adotada dadas as características físicas, geográficas e usuais da edificação, em outras palavras para essa análise de risco a estrutura se encontra protegida contra danos perdas permanentes ou perda de vida humana.

6 PLANILHA DE CÁLCULO

Com o intuito de trazer mais celeridade aos cálculos aqui apresentados, foi desenvolvida uma planilha que abrange os diversos tipos de geometrias (simples ou complexas) e realiza os cálculos para cada caso.

A princípio a planilha deve ser alimentada com os dados de entrada da edificação em estudo, como por exemplo: dimensões, classe do SPDA presente, tipos de proteção usadas, quantitativo de pessoas presente na estrutura e outros parâmetros já descritos no corpo do trabalho.

A título de exemplo na Figura 15 é mostrado, em amarelo, alguns campos que devem ser preenchidos pelo usuário, em azul claro a referência na norma para cada parâmetro e em azul escuro o valor de cada respectivo parâmetro. A planilha também dispõe de células com listas suspensas onde são elencadas as especificações de cada parâmetro e pode ser alterada pelo usuário.

Tabela 1 - Características da Estrutura e do Meio Ambiente				
Parâmetro	Comentário	Id	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para o local estudado (1/km ² /ano)	Consultado em: http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/	Ng	0,75977	INPE
Dimensões da estrutura	Estudo com formato prismático simples	L	45,3	6.344
		W	25,3	
		H	8	
	AD' (somente para construções com formatos complexos)	AD'	-	
Fator de localização da	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	Cd	1	Tabela A.1
SPDA instalado	Estrutura protegida por SPDA classe IV	Pb	0,2	Tabela B.2
Ligação Equipotencial	III-IV	Peb	0,05	Tabela B.7
Blindagem externa	Não se aplica	Wm1	-	-
		Wm2	-	-
	$Ks1=0,12*Wm1$	Ks1	1	Eq B.5
	$Ks2=0,12*Wm2$	Ks2	1	Eq B.6

Figura 15- Exemplo da forma de utilização da planilha

Após preenchidos todos os parâmetros corretamente a planilha retorna os resultados obtidos para cada tipo de risco avaliado pelo usuário como mostrado na Figura 16.

Tabela 13 - Análise do Risco						
Equação	Id	Valor	Referência	Tolerável	Risco de explosão ou hospital	Não
$R1=RA+RB+RC+RM+RU+RV+RW+RZ$	R1	2,2928E-09	Eq. 1	1,00E-05	Atendimento ao público	Não
$R2=RB+RC+RM+RV+RW+RZ$	R2	2,0843E-10	Eq. 2	1,00E-03	Perda de patrimônio cultural	Não
$R3=RB+RV$	R3	0,0000E+00	Eq. 3	1,00E-04	Animais	Não
$R4=RA+RB+RC+RM+RU+RV+RW+RZ$	R4	0,0000E+00	Eq. 4	1,00E-03	Avaliação econômica	Não
$RA+RB+RU+RV$	-	2,2928E-09	-	1,00E-05		

Figura 16- Resultados obtidos através da planilha

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo realizado foi possível constatar a importância da parte 2 da NBR 5419/2015 que aborda o gerenciamento de riscos, uma vez que, foi verificada a conformidade da edificação dada a relação entre o risco R_1 determinado e o risco R_T proposto pela norma.

A nova sessão da NBR possibilita que o projetista avalie todas as situações inerentes à proteção da estrutura, levando em consideração os riscos associados, perda de vida humana, perda de serviço ao público, perda de patrimônio cultural e a perda econômica.

Essas verificações trazem um caráter mais abrangente ao projeto, pois consideram todas as circunstâncias sobre as quais uma edificação ou estrutura pode se encontrar frente a uma descarga elétrica que porventura cause danos irreversíveis tanto à vida quanto a bens materiais que agregam valor ao funcionamento da edificação.

No estudo específico realizado nesse trabalho, pôde-se concluir a conformidade dos sistemas já existentes sem a necessidade de aplicação de outras medidas de proteção em caráter obrigatório, percebeu-se que para o risco avaliado (R_1), associado à perda de vida humana por choque elétrico devido às tensões de passo e tensões de toque, a estrutura se encontra dentro da tolerância admitida pela NBR, é válido observar que características da estrutura como a localização, a geometria e perfil funcional influenciam diretamente no cálculo do risco associado e que novas estruturas ou edificações que, porventura venham ser construídas, mudança do perfil climático da região e possível recharacterização do perfil funcional da estrutura irão alterar os resultados obtidos sendo necessária uma nova análise.

8 REFERÊNCIAS

ROSALBA FILHO, A. F. & MARTINELLI, R. C., (2016). **Descargas atmosféricas em campo aberto e riscos de choque elétrico em trabalhadores rurais**. Trabalho de Graduação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 56p.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra**

Descargas Atmosféricas – NBR 5419-3, Rio de Janeiro, 2015.

BURATTO, FÁBIO SAWADA. Sistemas de Proteção contra descargas atmosféricas utilizando componentes naturais da edificação. 2011. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Engenharia Elétrica – Universidade Estadual de Londrina. 2011.

VISACRO FILHO, SILVÉRIO. Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

KINDERMANN, GERALDO & CAMPAGNOLO, JORGE MÁRIO. Aterramento Elétrico. Porto Alegre: SAGRA – D.C LUZZATTO Editores, 1995 n. **80 IEEE.** Guide for Safety in Substations Grounding. 1976.

WALTRICK, P. V. VALENTINI. Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) estudo de caso em uma estrutura predial. 2018. Trabalho de conclusão curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST. Lages.

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

BARBOSA, T. Duarte, Proteção contra descargas atmosféricas de edificações utilizando a ferragem estrutural. 2014. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte.

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

ANEXOS

ANEXO I

Tabelas extraídas da NBR 5419/2015 parte 2

Tabela A.1 – Fator de localização da estrutura C_D

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

Tabela A.2 – 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

Tabela A.3 – Fator tipo de linha C_T

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

Tabela A.4 – Fator ambiental 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

Tabela B.1 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	10^{-2}
Equipotencialização efetiva do solo	10^{-2}
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Tabela B.2 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

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 natural		0,001

Tabela B.3 – Valores de probabilidade de P_{SPD} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

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

Tabela B.4 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

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 multiterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

Tabela B.4 (continuação)

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
(Nenhuma linha externa)	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	0	0

Tabela B.5 – Valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^a	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços ^b	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^c	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ^d	0,000 1

^a Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m²).

^b Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m²).

^c Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m²).

^d Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

Tabela B.6 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0

Tabela B.7 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

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

Tabela B.8 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento

Tipo da linha	Condições do 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 blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20\Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8
		$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	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

Tabela B.9 – Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso U_W dos equipamentos

Tipo da linha	Tensão suportável U_W em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de sinais	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Tabela C.1 – Tipo de perda L1: Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_t \times h_z \times L_F \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_Z / n_t \times t_z / 8\ 760$	(C.4)

Tabela C.2 – Tipo de perda L1: Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
D1 ferimentos	L_T	10^{-2}	Todos os tipos
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-1}	Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		5×10^{-2}	Entretenimento público, igreja, museu
		2×10^{-2}	Industrial, comercial
		10^{-2}	Outros
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10^{-3}	Outras partes de hospital

Tabela C.3 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega$ ^a	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

^b Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Tabela C.4 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

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

Tabela C.5 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

Risco	Quantidade de risco	r_f
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Incêndio	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Baixo	10^{-3}
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Tabela C.6 – 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 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

Tabela C.7 – Tipo de perda L2: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$	(C.8)

Tabela C.8 – Tipo de perda L2: valores médios típicos de L_F e L_O

Tipo de dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-2}	TV, linhas de sinais
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-2}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-3}	TV, linhas de sinais

Tabela C.9 – Tipo de perda L3: valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Valor típico da perda	Equação
D2 danos físicos	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_2 / c_t$	(C.9)

Tabela C.10 – Tipo de perda L3: valor médio típico de L_F

Tipo de dano	Valor típico de perda		Tipo de estrutura ou zona
D2 danos físicos	L_F	10^{-1}	Museus, galerias

Tabela C.11 – Tipo de perda L4: valores de perda de cada zona

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_l \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.10)
D1	$L_U = r_l \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t^a$	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t^a$	(C.13)

^a As relações c_a / c_t e $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ e c_s / c_t devem somente ser consideradas nas equações (C.10) – (C.13), se a análise de risco for conduzida de acordo com 6.10, usando o Anexo D. No caso de utilizar um valor representativo para o risco tolerável R4 de acordo com a Tabela 4, as relações não podem ser levadas em consideração. Nestes casos, as relações devem ser substituídas pelo valor 1.

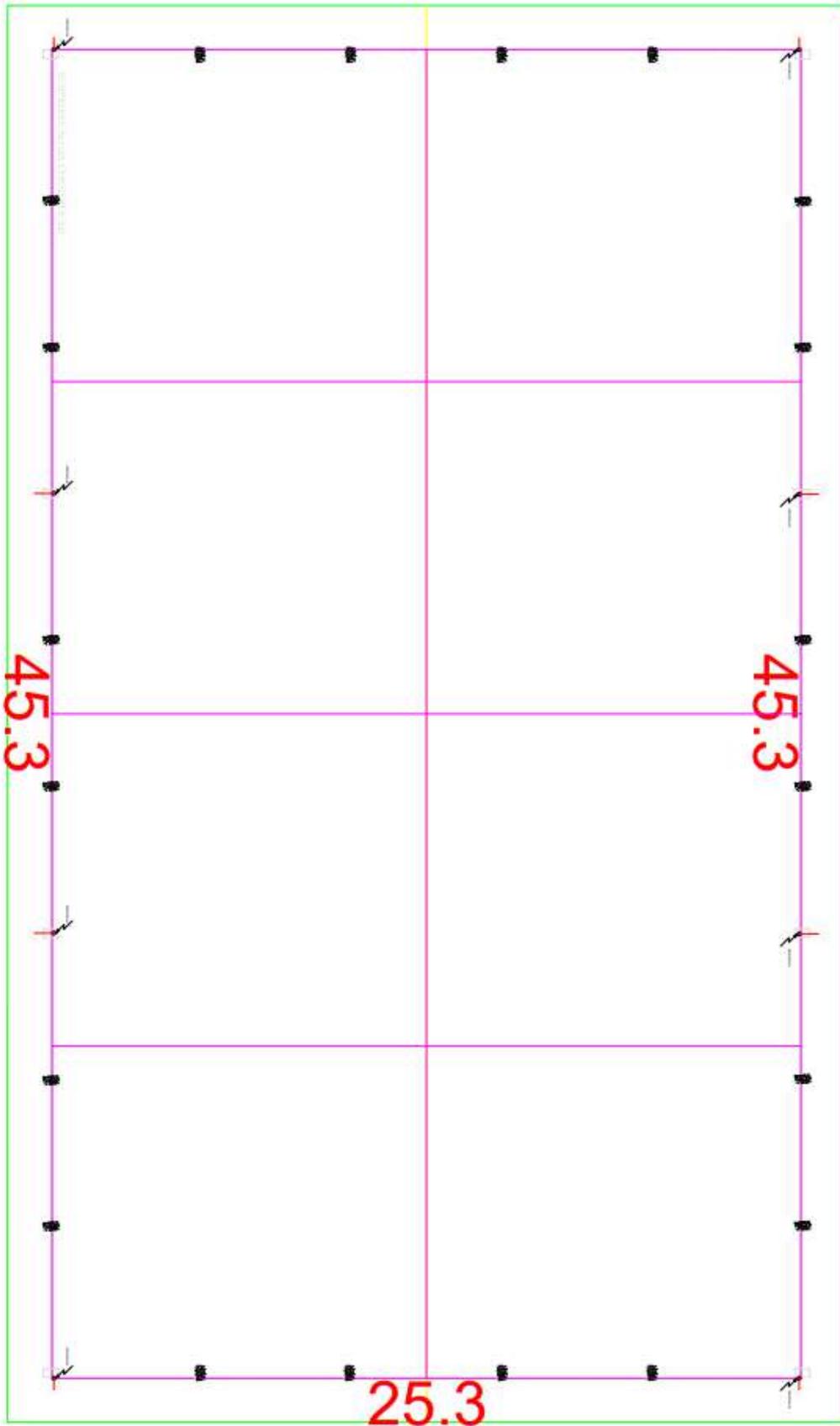
Tabela C.12 – Tipo de perda L4: valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

Tipo de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
	L_T		
D1 ferimento devido a choque	L_T	10^{-2}	Todos os tipos onde somente animais estão presentes
D2 danos físicos	L_F	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu, agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
		10^{-1}	Outros
D3 falha de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial
		10^{-3}	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
		10^{-4}	Outros

APÉNDICE

APÊNDICE I

Dados da estrutura do estudo de caso



METODO FARADAY – MALHAS

Classe do SPDA – 4

Largura Malha [m] =20

Comprimento Malha [m] =20

NUMERO DESCIDAS

Classe do SPDA – 4

Perimetro [m] =141.2

Espaçamento [m] =20

Numero Descidas [qtd] =7.06

Relatório de Gerenciamento de RISCO NBR5419-2:2015

maanaim_eletrica_2_etapa.dwg

Análise dos componentes de risco	Valor
DIMENSÕES DA ESTRUTURA	
Área de exposição equivalente AD [m ²]	
DADOS DO LOCAL	
Localização (cD):	Estrutura isolada
Frequência de descarga para terra NG [1/km ² /ano]:	0.75944180777465
Tipo de solo:	Agrícola, Concreto
Tipo de estrutura:	Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas de vidas humanas
Risco de incêndio (rf):	Incêndio Baixo ou explosão (zonas 2,22)
Perigo especial (hz):	Sem perigo especial
Número de pessoas na zona:	1200
SERVIÇOS:	
Largura da blindagem ou distância entre as descidas w1 [m]	8.3333
Largura da blindagem ou distância entre as descidas w2 [m]	8.3333
PROTEÇÃO ADOTADAS	
Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA):	Classe do SPDA IV
Meios para restringir as consequências de incêndio (rp):	Sem proteção
Contra tensão de toque ou passo na estrutura (PTA):	Nenhuma medida de proteção
Contra tensão de toque ou passo na linha (PTA):	Nenhuma medida de proteção
LINHAS CONECTADAS:	
Linha de energia	
Fator ambiental da linha:	Rural
Fiação interna:	Não blindado– precaução para evitar grandes laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	2,5kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS (PSPD):	III–IV
Modo de instalação da linha (CI):	Aéreo
Linha de Sinal ou telecomunicação	
Fator ambiental da linha:	Rural
Fiação interna:	Não blindado– precaução para evitar grandes laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	1,5kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS (PSPD):	III–IV
Modo de instalação da linha (CI):	Aéreo

APÊNDICE II

Planilha de cálculo dos riscos associados

A planilha desenvolvida no trabalho toma como referência as tabelas dispostas na NBR 5419/2015 parte 2. As células em amarelo na coluna 4 são os dados preenchíveis manualmente, já os dados da coluna 2 podem ser selecionados na lista suspensa aplicada à célula. Todos valores de referência estão elencados na coluna 5 bem como as respectivas tabelas da NBR que fornecem os respectivos parâmetros. Os valores dos riscos associados e os riscos toleráveis são apresentados na Tabela 13 (Análise de Risco) da seguinte planilha.

Tabela 1 - Características da Estrutura e do Meio Ambiente				
Parâmetro	Comentário	Id	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para o local estudado (1/km ² /ano)	Consultado em: http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/	Ng	0,75977	INPE
Dimensões da estrutura	Estudo com formato prismático simples	L	45,3	6.344
		W	25,3	
		H	8	
	AD' (somente para construções com formatos complexos)	AD'	-	
Fator de localização da SPDA instalado	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	Cd	1	Tabela A.1
Ligação Equipotencial	Estrutura protegida por SPDA classe IV	Pb	0,2	Tabela B.2
	III-IV	Peb	0,05	Tabela B.7
Blindagem externa	Não se aplica	Wm1	-	-
		Wm2	-	-
	Ks1=0,12*Wm1	Ks1	1	Eq B.5
	Ks2=0,12*Wm2	Ks2	1	Eq B.6

Tabela 2 - Linhas conectadas à estrutura				
Parâmetro	Comentário	Id	Valor	Referência
Linha de energia	Se aplica	Pii	0,3	Tabela B.9
Comprimento (m)	Padrão Li=100	Li	100	Metros
Fator de instalação	Aéreo	Cl	1	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de energia ou sinal	Ct	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	Ce	1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada	RS	-	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha aérea não blindada, Indefinida	Cl dp	1	Tabela B.4
		Cli	1	
Estrutura adjacente	Dimensões da estrutura adjacente	Lj	0	0
		Wj	0	
		Hj	0	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	Cdj	1	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno	2,5 kV	Uw	2,5	Tabela B.8
		Ks4	0,400	Eq B.7
		Pld	1	Tabela B.8

Linha de sinal	Se aplica	Pii	0,5	Tabela B.9
Comprimento (m)	Padrão Li=1000	Li	100	Metros
Fator de instalação	Aéreo	Cl	1	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Linha de energia ou sinal	Ct	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Rural	Ce	1	Tabela A.4
Blindagem da linha	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada	RS	-	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha aérea não blindada, Indefinida	Cl dd	1	Tabela B.4
		Cii	1	
Estrutura adjacente	Dimensões da estrutura adjacente	Lj	0	0
		Wj	0	
		Hj	0	
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	Cdj	1	Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno (kV)	1,5 kV	Uw	1,5	Tabela B.8
		Ks4	0,667	Eq B.7
		Pld	1	Tabela B.8

Tabela 3 - Características da Zona de Exposição				
Parâmetro	Comentário	Id	Valor	Referência
Tipo de piso	Agricultura, concreto	rt	1,00E-02	Tabela C.3
Proteção contra choque (estrutura)	Nenhuma medida de proteção	Pta	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (linha)	Nenhuma medida de proteção	Ptu	1	Tabela B.6
Risco de incêndio ou explosão	Explosão, Zonas 2, 22	rf	1,00E-03	Tabela C.5
Proteção contra incêndio	Nenhuma providência	rp	1	Tabela C.4
Energia	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação norroteamento no sentido de evitar laços1		Tabela B.5
	DPS	III-IV	Pspdp	0,05
Dados	Fiação Interna	Cabo não blindado – sem preocupação norroteamento no sentido de evitar laços1		Tabela B.5
	DPS coordenado	III-IV	Pspdt	0,05
Tipo de perigo especial	Sem perigo especial	hz	1	Tabela C.6

Tabela 4 - Tipos de Perdas Inaceitáveis de Vida Humana - L1				
Parâmetro	Comentário	Id	Valor	Referência
Ferimentos	Todos os tipos	Lt	1,00E-02	Tabela C.2
Danos Físicos	Outros	Lf1	1,00E-02	
Falhas de sistemas internos	Outros	Lo0	1,00E+00	-
Número de pessoas na zona de perigo		nz	1200	
Número de pessoas na estrutura inteira		nt	1200	
Horas por dia em que a estrutura se mantém ocupada		Thor	12	
Total de dias por ano em que a edificação se mantém ocupada		Tdia	12	
Tempo, em horas por ano, em que as pessoas estão presentes em um local perigoso		tz	144	
LU=LA=rt*Lf*nt*tz/8760		LU=LA	1,64E-06	Eq. C.1
LB=Lv=rp*rf*hz*Lf*nt*tz/8760		LB=Lv	1,64E-07	Eq. C.3
LC=LM=LW=LZ=rt*Lf*nt*tz/8760		LC=LM=LW=LZ	1,64E-06	Eq. C.4

Tabela 5 - Tipos de Perdas Inaceitáveis de Serviço ao Público - L2				
Parâmetro	Comentário	Id	Valor	Referência
D2 - Danos Físicos	-	Lf2	0	Tabela C.8
D3 - Falhas de sistemas interno	-	Lo2	0	
LB2=Lv=rp*rf*Lf*nt		LB=Lv	0,00E+00	Eq. C.7
LC2=LM=LW=LZ=Lo2*nt		LC=LM=LW=LZ	0	Eq. C.8

Tabela 6 - Tipos de Perdas Inaceitáveis ao Patrimônio Cultural - L3				
Parâmetro	Comentário	Id	Valor	Referência
Perda cultural	Não se aplica	Lf3	0	Tabela C.10
Valores	Cz - Valor do patrimônio cultural	Cz	0	Milhões de reais
	Ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura	Ct	0	
	LB3=Lv=rp*rf*Lf*Cz/Ct	LB=Lv	0	Eq. C.12

Tabela 7 - Perda Econômica - L4				
Parâmetro	Comentário	Id	Valor	Referência
Ferimento devido a choque	Não se aplica	Lt	0	Tabela C.12
Danos físicos	Outros	Lf	0,1	Tabela C.12
Falha de sistemas	Outros	Lo	0,0001	Tabela C.12
Valor dos animais na zona		ca	0	-
Valor da edificação relevante à zona		cb	0	
Valor do conteúdo da zona		cc	0	
Valor dos sistemas internos incluindo suas atividades		cs	0	
Valor total da estrutura		ct	0	
Valores	LU=LA=rt*Lf*ca/ct	LU=LA	0	
	LB=Lv=rp*rf*hz*Lf*(ca+cb+cc+cs)/ct	LB=Lv	0	Eq. C.12
	LC=LM=LW=LZ=Lo*cs/ct	LC=LM=LW=LZ	0	Eq. C.13

Tabela 8 - Área de Exposição Equivalente				
Parâmetro	Equação	Id	Valor	Referência
Estrutura	Ad=L*W+2*(3*H)*(L+W)+pi*(3*H) ²	Ad	6,34E+03	Eq. A.2
	Am=2*500*(L+W)+pi*500 ²	Am	8,56E+05	Eq. A.7
Linha de energia	Alp=40*LI	Alp	4,00E+03	Eq. A.9
	Aip=4000*LI	Aip	4,00E+05	Eq. A.11
	Adjp=Ljp*Wjp+2*(3*Hjp)*(Ljp+Wjp)+pi*(3*Hjp) ²	Adjp	0,00E+00	Eq. A.2
Linha de dados	Aid=40*LI	Aid	4,00E+03	Eq. A.9
	Aid=4000*LI	Aid	4,00E+05	Eq. A.11
	Adjd=Ljd*Wjd+2*(3*Hjd)*(Ljd+Wjd)+pi*(3*Hjd) ²	Adjd	0,00E+00	Eq. A.2

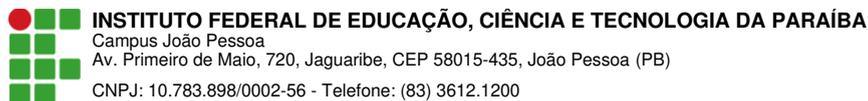
Tabela 9 - Número esperado Anual de Eventos perigosos				
Parâmetro	Equação	Id	Valor (1/ano)	Referência
Estrutura	Nd=Ng*Ad*Cd*10E-6	Nd	4,82E-03	Eq. A.4
	Nm=Ng*Am*10E-6	Nm	6,50E-01	Eq. A.6
Linha de energia	Nlp=Ng*Alp*Cip*Cep*Ctp*10E-6	Nlp	3,04E-03	Eq. A.8
	Nlp=Ng*Aip*Cip*Cep*Ctp*10E-6	Nlp	3,04E-01	Eq. A.10
	Ndjp=Ng*Adjp*Cdj*10E-6	Ndjp	0,00E+00	Eq. A.5
Linha de dados	Nld=Ng*Alt*Cit*Cet*10E-6	Nld	3,04E-03	Eq. A.8
	Nld=Ng*Aid*Cid*Ced*10E-6	Nld	3,04E-01	Eq. A.10
	Nldj=Ng*Adjd*10E-6	Nldj	0,00E+00	Eq. A.5

Tabela 10 - Avaliação da Probabilidade Px de Danos					
Probabilidade da descarga causar:		Equação	Id	Valor	Referência
Ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico		$Pa=Pta*Pb$	Pa	2,00E-01	Eq. B.1
Probabilidade da descarga na estrutura causar falhas nos sistemas interno	Energia	$Pcp=Pspdp*Clidp$	Pcp	5,00E-02	Eq. B.2
	Dados	$Pcd=Pspdd*Clidd$	Pcd	5,00E-02	Eq. B.2
	Composição	$Pc=1-(1-Pcp)*(1-Pcd)$	Pc	9,75E-02	Eq. 14
Probabilidade da descarga perto da estrutura causar danos internos	Energia	$Pmp=Pspdp*Pmsp$	Pmp	2,00E-02	Eq. B.3
	Dados	$Pmd=Pspdd*Pmsd$	Pmd	3,33E-02	Eq. B.3
Probabilidade da descarga na linha causar ferimentos a seres vivos por choque	Energia	$Pup=Ptu*Peb*Plidp*Clidp$	Pup	5,00E-02	Eq. B.8
	Dados	$Pud=Ptu*Peb*Plidd*Clidd$	Pud	5,00E-02	Eq. B.8
Probabilidade da descarga na linha causar falhas de sistemas internos	Energia	$Pwp=Pspdp*Plidp*Clip$	Pwp	5,00E-02	Eq. B.10
	Dados	$Pwd=Pspdd*Plidd*Clid$	Pwd	5,00E-02	Eq. B.10
Probabilidade da descarga perto da linha causar falhas de sistemas internos	Energia	$Pzp=Pspdp*Plip*Clip$	Pzp	1,50E-02	Eq. B.11
	Dados	$Pzd=Pspdd*Plid*Clid$	Pzd	2,50E-02	Eq. B.11
Probabilidade da descarga em uma linha causar danos físicos	Energia	$Pvp=Peb*Plidp*Clidp$	Pvp	5,00E-02	Eq. B.9
	Dados	$Pvd=Peb*Plidd*Clidd$	Pvd	5,00E-02	Eq. B.9
Energia	$Pmsp=(Ks1*Ks2*Ks3p*Ks4p)^2$	Pmsp	4,00E-01	Eq. B.4	
Dados	$Pmst=(Ks1*Ks2*Ks3d*Ks4d)^2$	Pmst	6,67E-01	Eq. B.4	
$Pm=1-(1-Pmp)*(1-Pmd)$			Pm	5,27E-02	Eq. 15

Tabela 11 - Análise das Componentes de Risco para R1					
Risco		Equação	Id	Valor	Referência
$RA=Nd*Pa*LA$			RA	1,5848E-09	Eq. 6
$RB=Nd*Pb*LB$			RB	1,5848E-10	Eq. 7
$RC=Nd*Pc*LC$			RC	0,0000E+00	Eq. 8
$RM=Nm*Pm*LM$			RM	0,0000E+00	Eq. 9
Energia	$RUp=(Nlp+Ndjip)*Pup*LU$		RUp	2,4979E-10	Eq. 10
Dados	$RUd=(Nld+Njdj)*Pud*LU$		RUd	2,4979E-10	Eq. 10
$RU=(Nl+Ndj)*Pu*LU$			RU	4,9957E-10	Eq. 10
Energia	$RVp=(Nlp+Ndjip)*Pvp*LV$		RVp	2,4979E-11	Eq. 11
Dados	$RVd=(Nld+Njdj)*Pvd*LV$		RVd	2,4979E-11	Eq. 11
$RV=(Nl+Ndj)*Pv*LV$			RV	4,9957E-11	Eq. 11
Energia	$RWp=(Nlp+Ndjip)*Pwp*LW$		RWp	2,4979E-10	Eq. 12
Dados	$RWd=(Nld+Njdj)*Pwd*LW$		RWd	2,4979E-10	Eq. 12
$RW=(Nl+Ndj)*Pw*LW$			RW	0,0000E+00	Eq. 12
Energia	$RZp=Nlp*Pzp*Lz$		RZp	7,4936E-09	Eq. 13
Dados	$RZd=Nld*Pzd*Lz$		RZd	1,2489E-08	Eq. 13
$RZ=Ni*Pz*Lz$			RZ	0,0000E+00	Eq. 13

Tabela 12 - Análise das Componentes de Risco para R4					
Risco		Equação	Id	Valor	Referência
$RA=Nd*Pa*LA$			RA	0,00E+00	Eq. 6
$RB=Nd*Pb*LB$			RB	0,00E+00	Eq. 7
$RC=Nd*Pc*LC$			RC	0,00E+00	Eq. 8
$RM=Nm*Pm*LM$			RM	0,00E+00	Eq. 9
Energia	$RUp=(Nlp+Ndjip)*Pup*LU$		RUp	0,00E+00	Eq. 10
Dados	$RUd=(Nld+Njdj)*Pud*LU$		RUd	0,00E+00	Eq. 10
$RU=(Nl+Ndj)*Pu*LU$			RU	0,00E+00	Eq. 10
Energia	$RVp=(Nlp+Ndjip)*Pvp*LV$		RVp	0,00E+00	Eq. 11
Dados	$RVd=(Nld+Njdj)*Pvd*LV$		RVd	0,00E+00	Eq. 11
$RV=(Nl+Ndj)*Pv*LV$			RV	0,00E+00	Eq. 11
Energia	$RWp=(Nlp+Ndjip)*Pwp*LW$		RWp	0,00E+00	Eq. 12
Dados	$RWd=(Nld+Njdj)*Pwd*LW$		RWd	0,00E+00	Eq. 12
$RW=(Nl+Ndj)*Pw*LW$			RW	0,00E+00	Eq. 12
Energia	$RZp=Nlp*Pzp*Lz$		RZp	0,00E+00	Eq. 13
Dados	$RZd=Nld*Pzd*Lz$		RZd	0,00E+00	Eq. 13
$RZ=Ni*Pz*Lz$			RZ	0,00E+00	Eq. 13

Tabela 13 - Análise do Risco						
Equação	Id	Valor	Referência	Tolerável	Risco de explosão ou hospital	Não
$R1=RA+RB+RC+RM+RU+RV+RW+RZ$	R1	2,2928E-09	Eq. 1	1,00E-05	Atendimento ao público	Não
$R2=RB+RC+RM+RV+RW+RZ$	R2	2,0843E-10	Eq. 2	1,00E-03	Perda de patrimônio cultural	Não
$R3=RB+RV$	R3	0,0000E+00	Eq. 3	1,00E-04	Animais	Não
$R4=RA+RB+RC+RM+RU+RV+RW+RZ$	R4	0,0000E+00	Eq. 4	1,00E-03	Avaliação econômica	Não



Documento Digitalizado Restrito

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Assunto: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Assinado por: Igor Franklin
Tipo do Documento: Avaliação
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Restrito
Hipótese Legal: Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Igor Franklin Brito de Souza, ALUNO (20162610002) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 02/09/2022 15:32:12.

Este documento foi armazenado no SUAP em 02/09/2022. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 614150

Código de Autenticação: d69ef5670e

