



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

MATHEUS PEREIRA NASCIMENTO

VITOR DO PRADO ALVARES

**Desenvolvimento de um Aplicativo Computacional para a
Análise e Gerenciamento de Risco de um Sistema de
Proteção Contra Descarga Atmosférica Segundo a NBR
5419-2:2015**

Palmas, Tocantins

2023

MATHEUS PEREIRA NASCIMENTO

VITOR DO PRADO ALVARES

**Desenvolvimento de um Aplicativo Computacional para a
Análise e Gerenciamento de Risco de um Sistema de
Proteção Contra Descarga Atmosférica Segundo a NBR
5419-2:2015**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
do Instituto Federal do Tocantins – Campus
Palmas, como exigência à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Kaison Teodoro de Souza
Coorientador: Prof. Esp. Walther Xanthopulo

Palmas, Tocantins

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

A473d Alvares, Vitor do Prado

Desenvolvimento de um aplicativo computacional para a análise e gerenciamento de risco de um sistema de proteção contra descarga atmosférica segundo a NBR 5419-2:2015 / Vitor do Prado Alvares, Matheus Pereira Nascimento. – Palmas, TO, 2023.

92 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Me. Kaisson Teodoro de Souza

Coorientador: Esp. Walther Xanthopulo

1. Análise de risco. 2. SPDA. 3. Python. I. Nascimento, Matheus Pereira. II. Souza, Kaisson Teodoro de. III. Xanthopulo, Walther. IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MATHEUS PEREIRA NASCIMENTO

VITOR DO PRADO ALVARES

**Desenvolvimento de um Aplicativo Computacional
para a Análise e Gerenciamento de Risco de um Sistema
de Proteção Contra Descarga Atmosférica Segundo a NBR
5419-2:2015**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

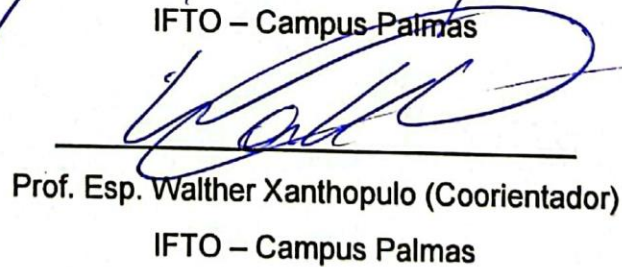
Orientador: Prof. Me. Kaison Teodoro de Souza

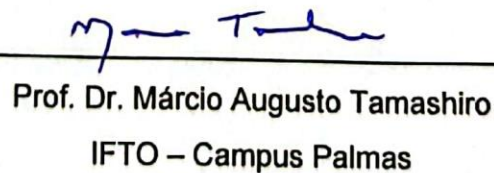
Coorientador: Prof. Esp. Walther Xanthopulo

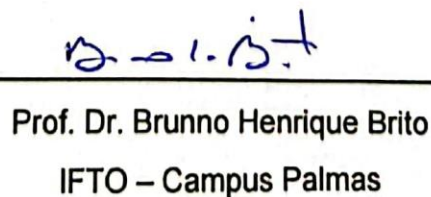
Aprovado em: 18 / 12 / 2023

BANCA AVALIADORA:


Prof. Me. Kaison Teodoro de Souza (Orientador)
IFTO – Campus Palmas


Prof. Esp. Walther Xanthopulo (Coorientador)
IFTO – Campus Palmas


Prof. Dr. Márcio Augusto Tamashiro
IFTO – Campus Palmas


Prof. Dr. Brunno Henrique Brito
IFTO – Campus Palmas

RESUMO

A avaliação do risco de danos causados a estrutura por descargas atmosféricas é conduzida por meio de um procedimento denominado análise de risco. Na fase inicial desse processo, o responsável técnico examina uma série de elementos relacionados à estrutura, como dimensões, proximidade com outras construções, existência de medidas de proteção, número de ocupantes no local e tempo de permanência, entre outros parâmetros pré-estabelecidos. Com base nas informações coletadas no local da estrutura, a norma NBR 5419 estabelece critérios e equações para conduzir a análise de risco. Nesse contexto, destaca-se a ferramenta computacional desenvolvida por este trabalho. O software desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python, simplifica o processo da análise de risco ao empregar as informações coletadas pelo responsável técnico durante a avaliação da estrutura. A interface gráfica intuitiva e de fácil utilização do software contribui para simplificar o processo, conferindo praticidade à implementação das medidas de proteção necessárias.

Palavras-chave: Análise de risco. Descargas atmosféricas. Python.

ABSTRACT

This study addresses the assessment of the risk of structural damage caused by atmospheric discharges through a procedure known as risk analysis. In the initial phase of this process, the technical expert examines various elements related to the structure, such as dimensions, proximity to other constructions, presence of protective measures, number of occupants on-site, and duration of stay, among other pre-established parameters. The standard NBR 5419 establishes criteria and equations for conducting the risk analysis based on information gathered at the structure's location. Notably, this work introduces a computational tool developed to enhance this process. The software, created using the Python programming language, streamlines the risk analysis by utilizing information collected by the technical expert during the structural evaluation. The software's intuitive and user-friendly graphical interface contributes to simplifying the process, providing practicality in implementing necessary protective measures.

Keywords: Atmospheric discharges. Python. Risk analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação ângulo de proteção e altura.....	23
Figura 2: Ilustração do ângulo de proteção.....	23
Figura 3: Representação do método das malhas.....	24
Figura 4: Representação do método da esfera rolante.....	25
Figura 5: Representação do método da esfera rolante.....	25
Figura 6: Diagrama em blocos do gerenciamento de risco.....	27
Figura 7: fontes de danos e correspondentes.....	29
Figura 8: Estrutura Isolada em solo plano.....	35
Figura 9: Estrutura com forma complexa.....	36
Figura 10: Interface do software desenvolvido.....	60
Figura 11: Inserção das dimensões da estrutura.....	61
Figura 12: Inserção do nível de proteção contra descargas atmosféricas (PB).....	61
Figura 13: Inserção do fator de blindagem da linha (CLI / CLD).....	61
Figura 14: Seleção do risco e resultados.....	62
Figura 15: Alteração de parâmetros.....	63
Figura 16: Resultados da alteração de parâmetros.....	64
Figura 17: Segunda alteração de parâmetros.....	65
Figura 18: Resultados da segunda alteração de parâmetros.....	65
Figura 19: Análise de risco Juizado Especial de Feira Santana.....	66
Figura 20: Análise de risco da ferramenta computacional desenvolvida.....	66
Figura 21: Análise de risco PROTEC-SPDA.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de SPDA.....	21
Tabela 2: Componente de risco em cada perdas da estrutura.....	32
Tabela 3: Riscos toleráveis.....	33
Tabela 4: Fator de localização.....	36
Tabela 5: Fator de instalação da linha.....	38
Tabela 6: Fator tipo de linha.....	38
Tabela 7: Fator ambiental.....	39
Tabela 8: Medida de proteção adicional.....	41
Tabela 9: Probabilidade de dano sobre medida de proteção.....	41
Tabela 10: Nível de proteção dos DPS.....	43
Tabela 11: Fatores em função de blindagens.....	43
Tabela 12: Fator em função dos cabos de instalação.....	45
Tabela 13: Probabilidade de raio na linha causar choque a seres vivos.....	47
Tabela 14: Probabilidade para a qual os DPS foram projetados.....	47
Tabela 15: Prob. PLD dependendo da resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento.....	47
Tabela 16: Valores de probabilidade P_{li}	50
Tabela 17: Tipos de perdas L1, para valores de L_t L_f e L_o	51
Tabela 18: Fator de redução r_t	51
Tabela 19: Fator de redução r_p	52
Tabela 20: Fator de redução r_f	53
Tabela 21: Fator de redução h_z	53

Tabela 22: Tipos de perda, valores médio típicos L_f e L_o	55
Tabela 23: Tipo de perda L3, valor de L_f	56
Tabela 24: Tipo de perda L4, valores de L_t L_f e L_o	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada
ADJ	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente
AI	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha
AL	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha
AM	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura
CD	Fator de localização
CDJ	Fator de localização de uma estrutura adjacente
CE	Fator ambiental
CI	Fator de instalação de uma linha
CLD	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha
CLI	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha
CT	Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha
DPS	Dispositivos de proteção contra surto
D1	Danos as pessoas pelo choque elétrico
D2	Danos físicos e mecânicos as estruturas
D3	Falhas devido a LEMP
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica

Hz	Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LA	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)
LB	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)
LC	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)
LEMP	Lightning eletromagnetic impulse
LF	Perda em uma estrutura devido a danos físicos
LFE	Perda devido a danos físicos fora da estrutura
LFT	Perda total devido a danos físicos dentro e fora da estrutura
LM	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)
Lo	Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos
LT	Perda devido a ferimentos por choque elétrico
LU	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)
LV	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)
LW	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)
LX	Perda consequente a danos relevantes à estrutura
LZ	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)
L1	Perda de vida humana

L2	Perda de serviço ao público
L3	Perda de patrimônio cultural
L4	Perda de valor econômico
MPS	Medidas de proteção contra surto
ND	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura
NDJ	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente
NG	Densidade de descargas atmosféricas para a terra
NI	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha
NL	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha
NM	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura
nt	Número total de pessoas na estrutura
nz	Número total de pessoas na zona
PA	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)
PB	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)
PC	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)
PDA	Proteção contra descargas atmosféricas
PEB	Probabilidade de reduzir PU e PV dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando EB (ligação equipotencial) é instalada

PLD	Probabilidade de reduzir PU, PV e PW dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas na linha conectada)
PLI	Probabilidade de reduzir PZ dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
PM	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
PSPD	Probabilidade de reduzir PC, PM, PW e PZ quando um sistema coordenado de DPS está instalado
PTA	Probabilidade de reduzir PA dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo
PU	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
PV	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
PW	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha conectada)
PX	Probabilidade de danos relevantes à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)
PZ	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
RA	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)
RB	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)
RC	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)

rf	Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio
RM	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)
rp	Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio
rt	Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo
Rt	Risco Tolerável
RU	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)
RV	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)
RW	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)
RX	Componente de risco para uma estrutura
RZ	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)
R1	Risco de perda ou danos permanentes em vidas humanas
R2	Risco de perda de serviços ao público
R3	Risco de perda do patrimônio cultural
R4	Risco de perda de valores econômicos
SPDA	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas
S1	Descargas atmosféricas na estrutura
S2	Descargas atmosféricas próximas à estrutura
S3	Descargas atmosféricas sobre as linhas que entram na estrutura
S4	Descargas atmosféricas próximas às linhas que entram na estrutura
tz	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso

UW

Tensão suportável nominal de impulso de um sistema

SUMÁRIO

1.1	INTRODUÇÃO	17
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	Objetivo Geral	18
1.3.2	Objetivos Específicos	18
1.4	METODOLOGIA.....	19
1.5	Estrutura do trabalho.....	20
2	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	21
2.1	Classe do SPDA	21
2.2	Subsistema de capitação.....	22
2.2.1	Posicionamento	22
2.3	Métodos.....	22
2.3.1	Método do ângulo de proteção.....	22
2.3.2	Método das malhas	23
2.3.3	Método da esfera rolante	24
2.4	Subsistema de descida	25
2.5	Subsistema de aterramento.....	26
2.6	Medidas de proteção contra surtos	26
3	GERENCIAMENTO DE RISCO NBR 5419-2:2015	27
3.1	Risco	28
3.2	Fontes dos danos	28
3.3	Tipos de danos.....	28
3.4	Tipos de perdas	29
3.5	Componentes de risco	30
3.5.1	Componentes de risco para uma descarga atmosférica diretamente na estrutura (S1)	30
3.5.2	Elementos de risco para uma descarga atmosférica próxima à estrutura (S2)	30
3.5.3	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura (S3).....	31
3.5.4	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)	31

3.5.5	Composição das componentes de risco	32
3.6	Composição geral das componentes de risco de acordo com a NBR 5419-2	33
3.6.1	Número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas (N_x)	34
3.6.1.1	Cálculo do número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas na estrutura (ND)	34
3.6.1.2	Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura (NM)	37
3.6.1.3	Número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas que atingem as linhas conectadas a estrutura (NL)	38
3.6.1.4	Número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas que atingem áreas próximas às linhas conectadas à estrutura (NI)	39
3.6.1.5	Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente (NDJ)	40
3.6.2	Obtenção da probabilidade de danos (P_x)	40
3.6.2.1	Cálculo da probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma estrutura e causar ferimentos a seres vivos (PA)	41
3.6.2.2	Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma estrutura e causar danos físicos (PB)	42
3.6.2.3	Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma estrutura e causar falhas em sistemas internos (PC)	42
3.6.2.4	Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir um ponto próximo a estrutura e causar falhas em sistemas internos (PM)	44
3.6.2.5	Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar ferimentos por choque elétrico (PU)	46
3.6.2.6	Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar danos físicos (PV)	48
3.6.2.7	Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar falhas nos sistemas internos da estrutura conectada a ela (PW)	48
3.6.2.8	Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir um ponto próximo a uma linha e causar falha nos sistemas internos da estrutura conectada a ela (PZ)	49
3.6.3	Obtenção dos valores médios da perda (L_x)	50
3.6.3.1	Perda da vida humana ($L1$)	50
3.6.3.2	Perda inaceitável de serviço ao público ($L2$)	54
3.6.3.3	Perda inaceitável de patrimônio cultural ($L3$)	56
3.6.3.4	Perdas médias econômicas ($L4$)	56
4	FERRAMENTA COMPUTACIONAL	59

4.1	Elaboração do código.....	59
4.2	Interface da ferramenta computacional	60
4.3	Funcionamento da ferramenta computacional	63
4.4	Validação da ferramenta computacional.....	66
4.4.1	Comparação de resultados entre softwares	67
4.5	Análise de resultados	68
4.6	Acesso ao Software	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	70
	APÊNDICE A.....	71
	ANEXO A	84

1.1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas, são fenômenos naturais perigosos, representando ameaças tanto para estruturas quanto para seres vivos. A norma brasileira encarregada de salvaguardar as edificações contra descargas atmosféricas é a NBR 5419. Esta norma aborda os possíveis danos, os riscos associados e fornece orientações sobre as proteções necessárias contratuais para cada eventos (ABNT, 2015).

Quando uma descarga atmosférica atinge uma estrutura, é difícil mensurar os danos causados à edificação e à vida das pessoas presentes e/ou nas proximidades. A instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, conforme preconizado pela norma, minimiza significativamente os riscos para a estrutura e para a vida humana. O Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), indica que o Brasil lidera em incidências de raios no mundo, com aproximadamente 78 milhões de descargas por ano. Portanto, a instalação adequada de sistemas de proteção torna-se crucial diante dessa realidade.

Considerando a importância dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, este trabalho concentra-se em mitigar o processo de gerenciamento de risco de uma estrutura em relação a descarga atmosférica, minimizando os erros relacionados aos cálculos envolvidos na análise de risco de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA). A análise de risco abrange diversos parâmetros, como a densidade das descargas atmosféricas na região, as características da estrutura, o perigo de impacto e o risco de incêndio (ABNT, 2015).

Com o intuito de realizar os cálculos de risco de forma mais precisa e rápida, propõe-se a utilização de um software desenvolvido em Python. Esta linguagem de programação de alto nível é reconhecida por sua facilidade e flexibilidade. O objetivo é criar um programa com uma interface gráfica única e intuitiva gerada pela biblioteca Tkinter, permitindo a interação com o responsável técnico por meio da seleção de parâmetros relacionadas à estrutura, localização, ambiente e riscos, baseadas nas informações da NBR 5419. Os dados inseridos

serão processados pelo programa, e os resultados serão apresentados de maneira clara e objetiva ao usuário.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como principal intuito simplificar, acelerar e aprimorar a análise de risco em sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Partindo do pressuposto de que a análise de risco e suas componentes demandam uma grande quantidade de cálculos e estão sujeitas a diversas variáveis, este estudo buscará minimizar erros nesses cálculos, priorizando a preservação da vida e das estruturas a serem protegidas. Além disso, este trabalho visa disponibilizar um software mais acessível para aqueles que desejam realizar uma análise de risco, uma vez que existem no mercado outras opções de empresas conceituadas, como a AltoQi, mas com um custo elevado. Dessa forma, este projeto busca proporcionar acessibilidade a um software de gerenciamento de risco para sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O propósito deste trabalho é criar um software que possa conduzir uma análise de risco em sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, aderindo aos princípios estabelecidos pela NBR 5419:2015. A meta é otimizar a avaliação de risco em SPDA, tornando-a mais ágil e eficiente em comparação com a análise de risco manual.

1.3.2 Objetivos Específicos

Alguns objetivos a serem cumpridos nesse trabalho de conclusão de curso:

- Fazer uma revisão bibliográfica da norma 5419:2015;
- Realizar um estudo sobre as descargas atmosféricas e sobre o sistema de proteção contra descargas atmosféricas;

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a linguagem de programação Python;
- Desenvolver um programa com interface amigável, utilizando a linguagem Python, para análise de risco em SPDA;
- Realizar os testes e analisar as comparações obtidas no programa;

1.4 METODOLOGIA

O presente estudo realizou um levantamento bibliográfico e uma revisão da teoria associada à "Proteção contra Descargas Atmosféricas - SPDA". O enfoque principal concentrou-se na norma 5419/2015, especialmente em sua parte 2, que aborda a análise de risco para edificações e estruturas diante de descargas atmosféricas.

O estudo normativo foi conduzido com o propósito de obter um amplo conjunto de informações para desenvolver um programa computacional. Esse programa, implementado em Python, oferece uma interface gráfica intuitiva para facilitar a gestão de riscos. A coleta de dados é realizada por meio da interação do usuário com a interface gerada pela biblioteca Tkinter. Esses dados incluem as características de dimensionamento e localização da estrutura selecionada, além das informações sobre seus ocupantes.

As demais entradas de dados no software seguem as diretrizes da norma 5419/2015. O usuário deverá inserir e selecionar a uma série de parâmetros solicitados na interface do software, assegurando a implementação do melhor sistema de proteção, alinhado aos riscos associados à estrutura em questão.

Após compilar todas as fórmulas e tabelas necessárias presentes na norma, procedeu-se à construção do código em Python. Para essa finalidade, optou-se pelo Visual Studio Code (VS Code), um dos editores gratuitos de código mais amplamente utilizado no mundo. A principal biblioteca utilizadas no VS Code foi o Tkinter, responsável por toda a interface gráfica da ferramenta computacional. Para validar a ferramenta computacional, foram conduzidos os testes em uma análise de risco no Juizado Especial de Feira de Santana – BA, realizada pela empresa Senemig Engenharia em 2021. A análise de risco deste trabalho teve como objetivo comparar os resultados com a análise conduzida por

eles, a fim de determinar se a estrutura necessitava ou não de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado em cinco capítulos, seguidos por referências bibliográficas, apêndices e anexos.

O primeiro capítulo consiste na introdução do trabalho, abordando as descargas atmosféricas em conjunto com sua norma regulamentadora, além de apresentar os objetivos e os problemas que o trabalho busca solucionar.

O segundo capítulo é dedicado às proteções contra descargas atmosféricas, abordando tanto os sistemas de proteção para a estrutura como a proteção dos sistemas internos da edificação.

O terceiro capítulo é dedicado ao gerenciamento de risco segundo a norma NBR 5419, sendo a espinha dorsal deste trabalho. Nele, são identificados os parâmetros e equações necessárias para realizar a análise de risco de uma edificação.

No quarto capítulo, o foco é na ferramenta computacional, abordando os procedimentos para sua elaboração, o uso de bibliotecas, os comandos mais utilizados, bem como os testes e discussões dos resultados obtidos.

No quinto capítulo, apresentam-se as considerações finais, descrevendo as contribuições da ferramenta computacional desenvolvida neste trabalho.

Na sequência, encontram-se as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho, o apêndice contendo o código da ferramenta computacional, e o anexo com os dados e informações necessários para realizar o teste comparativo e validar a ferramenta.

2 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) é o sistema responsável pela proteção de pessoas, prédios, instalações industriais, antenas, tanques e tubulações contra descargas atmosféricas e suas consequências (MAMEDE, 2017).

Os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas são dispositivos instalados na parte mais alta da estrutura direcionando a corrente criada pela descarga atmosférica a um caminho com menor resistência elétrica possível para a terra. Esse direcionamento de corrente faz com que a estrutura do local e as pessoas presentes, não sofram o dano ou minimizem o dano dessa corrente (MAMEDE, 2017).

2.1 Classe do SPDA

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas pode ser dividido em quatro classes. Conforme visto na Tabela 1, essas classes irão se diferenciar de acordo com suas características e pelo nível de proteção (NP) exigido em cada uma das classes de acordo com a ABNT NBR 5419-3.

Tabela 01: Classes de SPDA

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

Fonte: ABNT NBR 5419-3,2015

Conforme a NBR 5419, é possível analisar diversos parâmetros relacionados às descargas atmosféricas. É fundamental compreender que, como mencionado anteriormente, os níveis de proteção são indicados com base no risco de incidência de descargas atmosféricas em uma estrutura e local específicos.

Referente aos níveis, temos os níveis de I a IV indo do nível (I) onde o perigo é mais alto até o nível (IV) onde o perigo é considerado menor. Os parâmetros de máxima corrente estimada são importantes na hora de dimensionar a proteção daquele local.

2.2 Subsistema de capitação

O subsistema de capitação é de extrema importância visando a preservação física da estrutura, a capitação é o primeiro elemento do SPDA responsável pelo contato direto com a descarga atmosférica. É importante ressaltar que a capitação não é responsável por atrair as descargas elétricas, ela simplesmente intercepta devido ao seu posicionamento estratégico na estrutura (MAMEDE, 2017).

2.2.1 Posicionamento

O posicionamento dos componentes do subsistema de capitação é essencial para evitar o máximo possível de danos na estrutura, devem ser colocados no local mais alto e prioritariamente em cantos salientes, pontas expostas e beiradas. O posicionamento do subsistema de capitação é indicado e dimensionado de acordo a NBR 5419:2015 e os cálculos fundamentados pelo modelo eletromagnético adotado para a capitação (ABNT, 2015).

2.3 Métodos

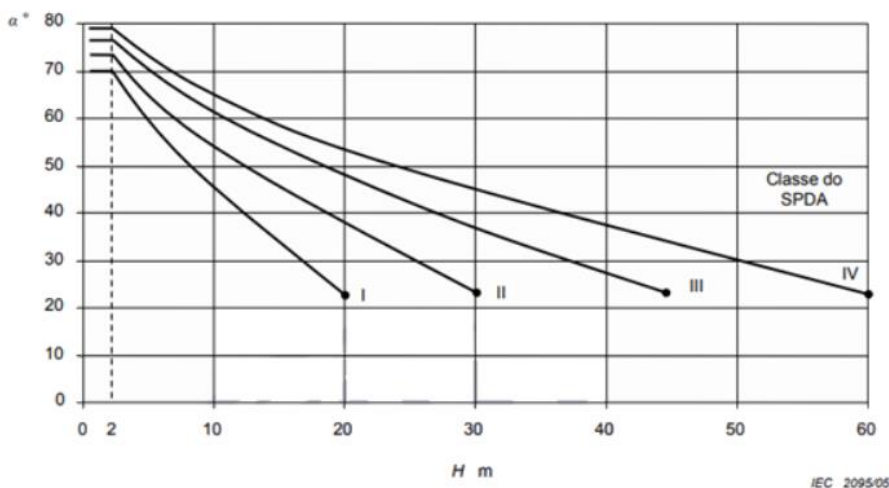
Segundo a NBR 5419-3:2015 foram definidos três métodos contra descargas atmosféricas sendo a principal diferença entre eles a forma do subsistema de capitação.

2.3.1 Método do ângulo de proteção

De acordo com Mamede (2018), o método consiste na determinação do volume de proteção proporcionado por um cone, no qual o ângulo da geratriz em relação à vertical varia conforme o nível de proteção desejado e a altura da construção (H_c) em questão. O método do ângulo de proteção, também conhecido como método de Franklin, apresenta variações em seu ângulo

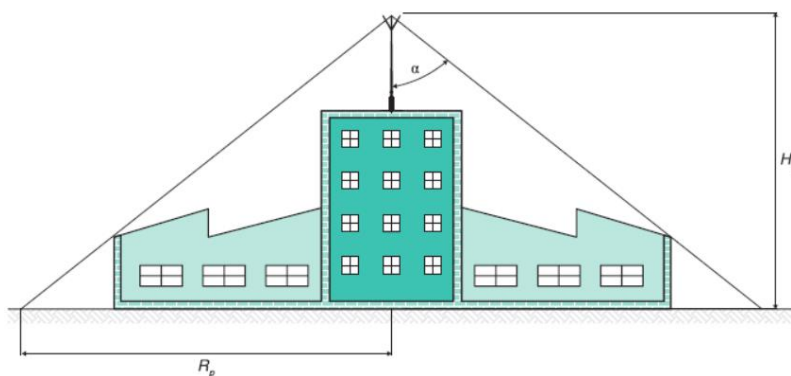
máximo de proteção conforme a classe do SPDA. A Figura 1 ilustra a relação entre altura e o ângulo de proteção para cada uma das classes. Já na Figura 2, é possível visualizar uma representação gráfica de um captor Franklin, onde seu ângulo de proteção é indicado por $\alpha(\alpha)$ e sua altura máxima (H_c).

Figura 1: Relação ângulo de proteção e altura



Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015

Figura 2: Ilustração do ângulo de proteção



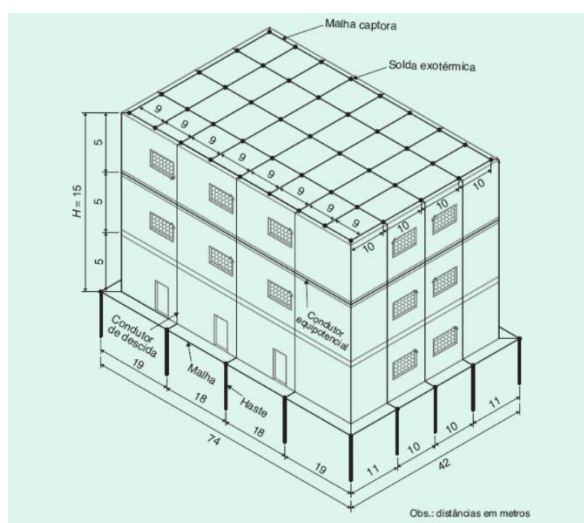
Fonte: MAMEDE 2018

2.3.2 Método das malhas

O método das malhas, ou método de Faraday, envolve a cobertura da parte superior da construção com uma malha metálica. Essa malha tem a

capacidade de anular a corrente elétrica em seu interior. Essa abordagem se baseia na teoria de que o campo eletromagnético será anulado no interior de uma estrutura ou superfície metálica quando percorrido por uma corrente elétrica, independentemente de sua intensidade (MAMEDE, 2017). O método das malhas é particularmente indicado para telhados horizontais planos, como ilustrado na Figura 3.

figura 3: Representação do método das malhas.

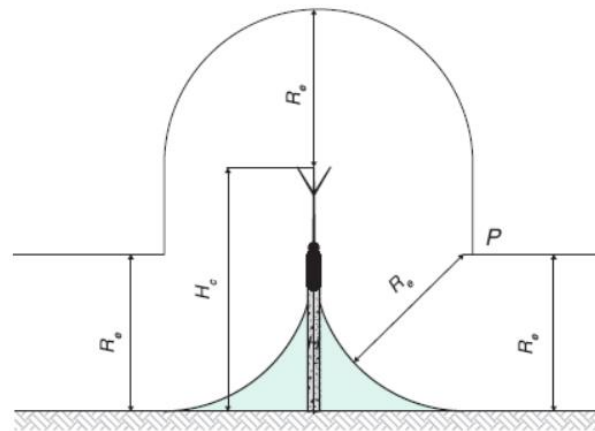


Fonte: MAMEDE 2017

2.3.3 Método da esfera rolante

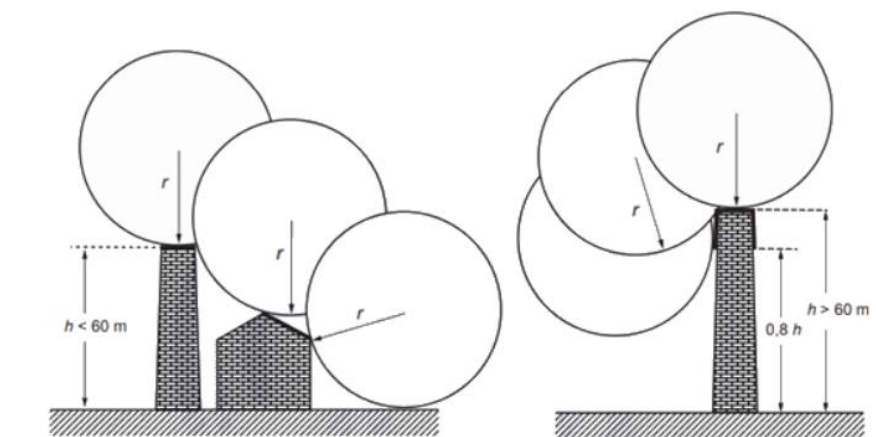
O método da esfera rolante, também conhecido como método eletrogeométrico, segundo Mamede (2017), baseia-se na delimitação do volume de proteção dos captosres de um SPDA. Esse método é capaz de traçar um raio de proteção a partir do captor. Dessa forma, é possível criar uma esfera fictícia de proteção contra descargas atmosféricas, tendo a ponta do subsistema de captação como o centro ou a base dessa esfera. O raio da esfera, assim como a distância das malhas no método de Faraday e o ângulo de proteção no método de Franklin, serão definidos pela classe do SPDA. O método da esfera rolante é representado nas figuras 4 e 5 a seguir.

Figura 4: Representação do método da esfera rolante I



Fonte: MAMEDE 2017

Figura 5: Representação do método da esfera rolante II



Fonte: NBR 5419-3:2015

2.4 Subsistema de descida

Segundo a NBR 5419-3, o subsistema de descida é a parte do SPDA externo responsável por guiar a corrente da descarga atmosférica desde o subsistema de captação até o subsistema de aterramento. O fio responsável por essa descida de corrente pode ser tanto de aço quanto de alumínio e é importante que essa corrente percorra o menor caminho possível.

2.5 Subsistema de aterramento

Conforme a norma, o subsistema de aterramento constitui o terceiro e último sistema, cuja função é dispersar na terra a corrente da descarga atmosférica. A eficiência desse subsistema está diretamente relacionada às dimensões que o compõem (MAMEDE, 2017).

2.6 Medidas de proteção contra surtos

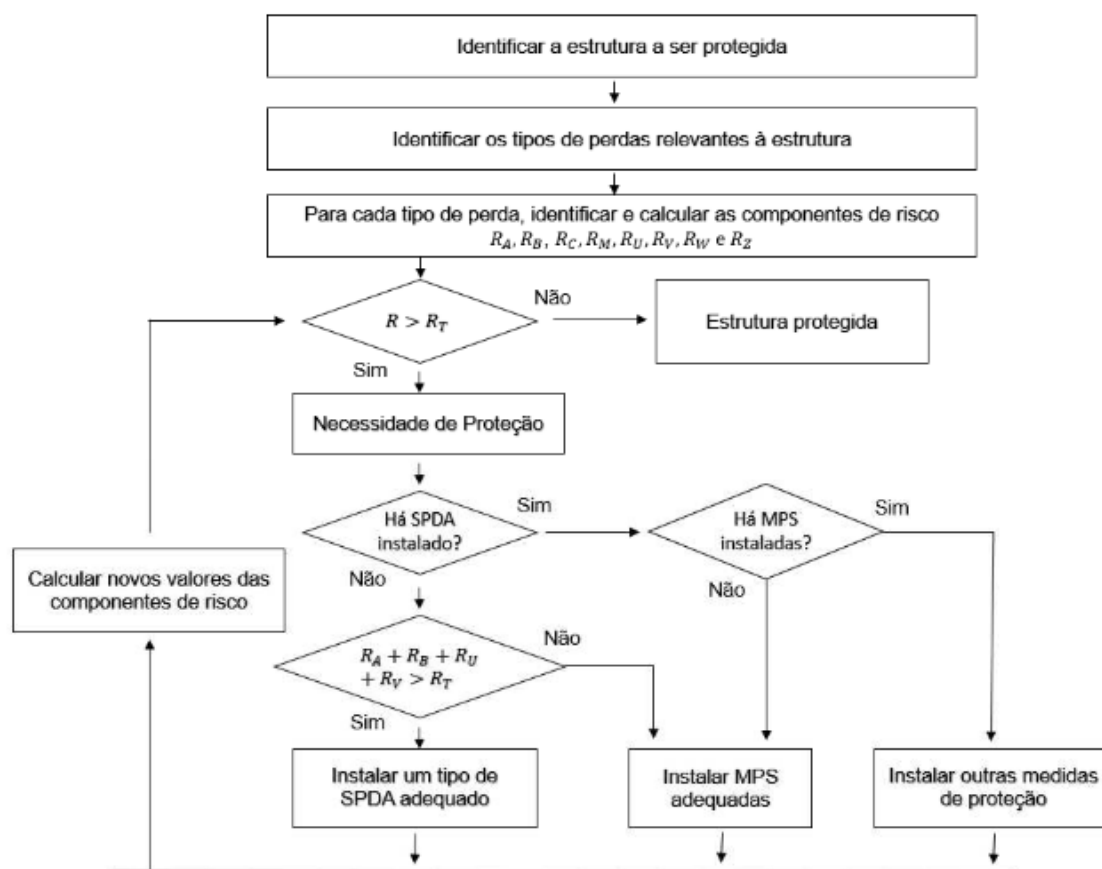
Quando se aborda a proteção contra descargas atmosféricas (PDA), há o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) externo, que engloba o subsistema de captação, o subsistema de descida e o subsistema de aterramento. Além disso, no âmbito da PDA, existe o sistema de proteção interno, que compreende medidas de proteção contra surtos (MPS) gerados pelas descargas atmosféricas (ABNT, 2015).

Segundo a NBR 5419:2015 os sistemas elétricos e eletrônicos presentes na edificação e nas proximidades de uma estrutura impactada por uma descarga atmosférica estão suscetíveis a receber impulsos eletromagnéticos gerados pela descarga. A medida principal de proteção contra surtos envolve a implementação de sistemas coordenados de dispositivos de proteção contra surtos (DPS).

3 GERENCIAMENTO DE RISCO NBR 5419-2:2015

O gerenciamento de risco envolve a obtenção dos parâmetros e a manipulação dos conceitos por meio de equacionamentos do risco (NBR 5419-2:2015). O procedimento fundamental para esse gerenciamento consiste, inicialmente, em identificar as características da estrutura que será protegida. É necessário identificar e relacionar todos os tipos de perdas contidos nela para obter e avaliar os riscos correspondentes (R_x), conforme definido na sequência do capítulo. Após a obtenção dos valores dos riscos, procede-se à avaliação da necessidade de instalar um SPDA. Essa avaliação é conduzida pela comparação dos valores de risco obtidos com os riscos toleráveis (R_t) correspondentes a cada tipo de risco. Esses parâmetros de tolerância são estabelecidos na NBR 5419/2015 e são explicados ao longo deste capítulo. A figura 6 ilustra o fluxograma considerado pela norma para a obtenção do risco e a determinação da necessidade de proteção.

Figura 6 – Diagrama em blocos do gerenciamento de risco



Fonte: Modificado da NBR 5419-2.

3.1 Risco

Para determinar se a estrutura requer ou não proteção, é necessário realizar uma avaliação dos riscos, seguindo os passos estabelecidos na NBR 5419-2. Os riscos a seguir devem ser considerados em relação aos tipos de perdas associadas.

- R1: risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- R2: risco de perdas de serviços ao público;
- R3: risco de perdas do patrimônio cultural;
- R4: risco de perda de valores econômicos.

Os quatro tipos de risco mencionados anteriormente resultam da soma de suas componentes de risco (R_a , R_b , R_c , R_m , R_u , R_v , R_w e R_z), esses componentes de risco são definidos pelos equacionamentos estabelecidos pela NBR 5419/2015. As componentes de risco são riscos parciais obtidos por meio de análises isoladas, que são conduzidas para cada uma das diferentes fontes de danos (S_x) e para cada tipo de dano (D_x).

3.2 Fontes dos danos

De acordo com as diretrizes da norma NBR 5419-2 de 2015, a corrente da descarga atmosférica é reconhecida como a principal causa de danos em estruturas. As seguintes fontes se diferenciam pelo ponto de impacto:

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

3.3 Tipos de danos

Além das fontes de danos, os tipos de danos também influenciam nas análises de risco, sendo eles:

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

Danos do tipo D3 referem-se a ondas eletromagnéticas que interferem na estrutura em questão, podendo ocasionar disfunções ou perdas em equipamentos devido às sobretensões induzidas nas linhas que se conectam à estrutura.

3.4 Tipos de perdas

Segundo a norma, para cada tipo de dano, seja isolado ou combinado com outros, tem o potencial de resultar em diversas perdas para uma estrutura a ser protegida. A natureza dessas perdas pode variar de acordo com as características intrínsecas da estrutura e de seu conteúdo.

- L1: perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valor econômico (estrutura e seu conteúdo, assim como interrupções de atividades).

Após esclarecer os tipos de riscos, danos e perdas, examina-se na figura 7 a relação entre fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas.

Figura 7: Fontes de danos e correspondentes

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	← $R_A, R_B \text{ e } R_C$
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4	← R_M
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4	← $R_U, R_V \text{ e } R_W$
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4	← R_Z

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

Fonte: modificado da NBR 5419-1 de 2015.

3.5 Componentes de risco

Para conduzir a análise de risco no próximo capítulo, é essencial compreender todas as componentes de risco e suas conexões com as diversas fontes de danos, conforme as diretrizes da NBR 5419-2:2015.

3.5.1 Componentes de risco para uma descarga atmosférica diretamente na estrutura (S1)

RA: componente que relaciona a danos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas que contêm animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também aumentar;

RB: componente referente a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;

RC: componente que a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

3.5.2 Elementos de risco para uma descarga atmosférica próxima à estrutura (S2)

RM: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

3.5.3 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura (S3)

RU: componente que relaciona a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;

RV: componente que relaciona a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem ocorrer;

RW: componente que relaciona a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

3.5.4 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)

RZ: componente que relaciona a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

A análise de risco requer consideração de diversas componentes, sendo a Tabela 2, proveniente da NBR 5419-2, uma ferramenta esclarecedora para compreender como cada componente impacta em riscos específicos.

Tabela 2: Componente de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

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
Componente de risco	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
R1	X	X	X ^R	X ^R	X	X	X ^R	X ^R
R2		X	X	X		X	X	X
R3		X				X		
R4	X ^P	X	X	X	X ^P	X	X	X
R Somente para estruturas que colocam em risco diretamente a vida humana, como hospitais e lugares com risco de explosão. P Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.								

Fonte: Modificado da NBR 5419-2

3.5.5 Composição das componentes de risco

Para determinar cada tipo de risco, é necessário realizar a soma de todas as componentes associadas a ele. Assim, para calcular o risco (R1), emprega-se a equação (1). Os termos elevados à potência 1 são específicos para estruturas com risco de explosão e para hospitais equipados com dispositivos elétricos salvadores de vidas, ou outras estruturas nas quais a falha imediata dos sistemas internos possa colocar em risco a vida humana.

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

Continuando a mesma lógica, o cálculo do risco R2 é realizado por meio da equação (2), o risco R3 é determinado pela equação (3) e o risco R4 é

calculado com base na equação (4). Os termos elevados à potência 2 referem-se a propriedades onde há a possibilidade de perda de animais.

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

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

$$R4 = RA4^2 + RB4 + RC4 + RM4 + RU4^2 + RV4 + RW4 + RZ4 \quad (4)$$

Cada um dos riscos, R1, R2, R3 e R4, possui um valor de risco tolerável, representando uma tolerância estabelecida por um valor decimal específico para cada tipo de perda. Esses valores são determinados pela norma NBR 5419 e estão detalhadamente apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros dos riscos toleráveis

Risco Tolerável		RT
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}

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2019

Para a perda de valor econômico (L4), pode-se empregar o valor de 10^{-3} .

3.6 Composição geral das componentes de risco de acordo com a NBR 5419-2

Conforme mencionado anteriormente, o risco é caracterizado como a possível perda média anual em uma estrutura, resultante de descargas atmosféricas. Essa formulação tem como pilar fundamental a equação (5):

$$Rx = Nx \cdot Px \cdot Lx \quad (5)$$

Onde

- Rx: é a parcela de risco originada por um evento perigoso decorrente de uma eventual descarga atmosférica;
- Nx: representa a quantidade de eventos perigosos por ano;
- Px: é a probabilidade de dano à estrutura;
- Lx: é a perda consequente.

A equação geral se divide em oito tipos de componentes de risco, cada uma exigindo análises específicas para diferentes tipos de danos. As componentes incluem RA, RB, RC (descargas atmosféricas diretas), RM (descargas atmosféricas próximas), RU, RV, RW (descargas atmosféricas diretas em linhas de transmissão) e RZ (descargas atmosféricas próximas a essas linhas). Estas consideram não só tipos de incidência, mas também os danos à estrutura. Quando conectada a múltiplas linhas, o número de equações deve ser ajustado. O documento explora detalhadamente os cenários de incidência e os tipos de danos associados. A próxima seção aborda o número médio anual de eventos resultantes desses danos, causando diversas perdas.

3.6.1 Número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas (N_x)

De acordo com a norma NBR 5419-2, este parâmetro é subdividido em quatro áreas, cada uma correspondendo a uma das quatro fontes de danos (S_x). Para cada fonte de dano, é essencial determinar um valor anual de eventos perigosos.

3.6.1.1 Cálculo do número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas na estrutura (N_D)

A quantidade de eventos perigosos é influenciada pela localização geográfica da estrutura, devido à atividade atmosférica na região, e pelas características físicas da construção. Esse valor é determinado multiplicando a área de exposição equivalente da estrutura pela densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G). A obtenção da densidade (N_G) pode ser feita pelo site do ELAT (INPE) ou consultando o mapa isoceráunico nacional, presente na segunda parte da NBR 5419/2015. Em caso de indisponibilidade, é possível calcular utilizando a equação (7):

$$N_g = 0,1 \cdot N_{dta} \quad (7)$$

sendo N_{dta} o número de dias de tempestade anual na região.

Outro parâmetro necessário para o cálculo de N_D é o cálculo da área de exposição equivalente a estrutura selecionada, podendo ser considerada por duas formas distintas, sendo uma delas a forma retangular e outra a forma complexa. Segundo a NBR 5419-2:2015, para uma estrutura retangular isolada, a área de exposição equivalente será calculada pela equação (8):

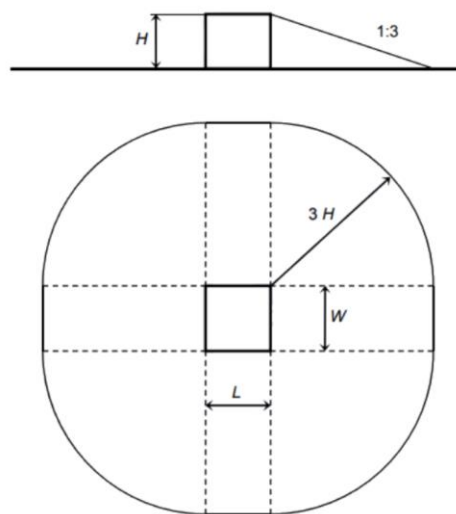
$$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2 \quad (8)$$

onde

- A_D é a área da estrutura equivalente, em m²;
- L é o comprimento da estrutura a ser protegida, em m;
- W é a largura da estrutura a ser protegida, em m;
- H é a altura da estrutura a ser protegida, em m.

Esses parâmetros de L , W e H estão sendo representados de forma mais clara na figura 8.

Figura 8: Estrutura isolada em solo plano.



Fonte: modificado da NBR 5419-2

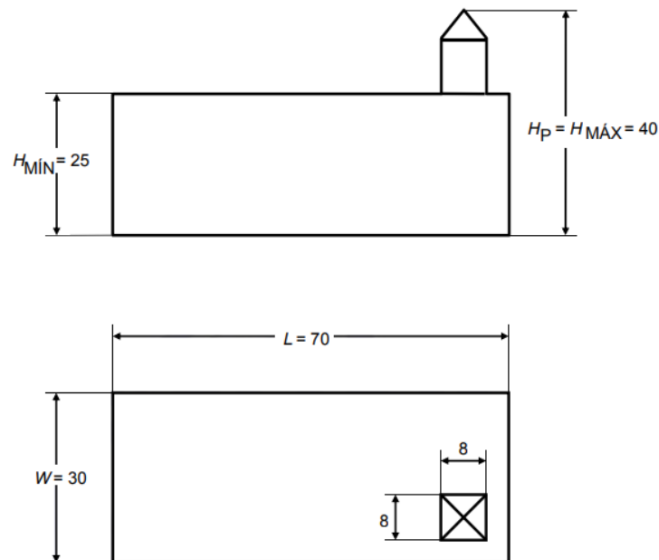
Caso a estrutura selecionada apresente uma configuração complexa, com projeções elevadas no telhado, conforme ilustrado na Figura 9, é necessário utilizar a seguinte fórmula para calcular a área:

$$A_D = \pi \cdot (3 \cdot H_p)^2 \quad (9)$$

onde

- A_D é a área da estrutura equivalente, em m^2 ;
- H_p é a altura máxima da estrutura em relação ao solo, sendo assim a soma da altura da estrutura e da altura da saliência, em m.

Figura 9: Estrutura com forma complexa.



Fonte: modificado da NBR 5419-2

Depois de expor os parâmetros vinculados à densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_G) e à área da estrutura equivalente (A_D), outro parâmetro crucial para o cálculo de (N_D) é o fator de localização (C_D).

Segundo a NBR 5419-2 o fator de localização (C_D) é a localização relativa à estrutura, esse fator define se a estrutura selecionada se localizar em um ambiente isolado ou com outros objetos próximos a ela. É possível obter esse valor observando a tabela 4.

Tabela 4 : Fator de localização relativa (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 objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Por último, o cálculo do número anual de eventos perigosos é obtido por meio dos parâmetros mencionados anteriormente, e inseridos na equação (10):

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

onde

- N_D : é o número de eventos perigosos para a estrutura, proveniente de descargas atmosféricas;
- N_G : é o valor anual de descargas para a terra, em (1/km² × ano);
- A_D : é a área de exposição equivalente da estrutura, em m²;
- C_D : é o fator de localização da estrutura obtido na tabela 2.

Além do cálculo do número de eventos perigosos diretamente na estrutura, é essencial calcular as descargas atmosféricas próximas à estrutura, aquelas diretamente nas linhas conectadas e próximas às linhas conectadas. Essas fontes de danos são representadas por (N_M), (N_L) e (N_I), respectivamente.

3.6.1.2 Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura (N_M)

O valor de (N_M) é calculado pela equação (11):

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6} \quad (11)$$

onde

- N_M : é o número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura;
- N_G : é o valor anual de descargas para a terra, expressa em (1/km² × ano);
- A_M : é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura, expressa em m².

A área de exposição equivalente A_M se estende a uma linha localizada a uma distância de 500 m do perímetro da estrutura, expressa pela fórmula (12).

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (L + W) + \pi \cdot 500^2 \quad (12)$$

3.6.1.3 Número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas que atingem as linhas conectadas a estrutura (N_L)

Para determinar o número médio anual de eventos perigosos diretamente a uma linha de alimentação energética ou uma linha que transporte qualquer tipo de sinal, é necessário aplicar a equação (13).

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (13)$$

onde

- N_L : é o número médio de sobretensões de amplitude igual ou superior a 1kV por ano, na seção da linha de energia ou sinal;
- N_G : é o valor anual de descargas para a terra no local da estrutura;
- A_L : é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha em questão;
- C_I : é o fator de instalação da linha de alimentação energética (tabela 5);
- C_E : é o fator ambiental referente a localidade da estrutura (tabela 7);
- C_T : é o fator do tipo de linha estabelecido pela norma (tabela 6).

Tabela 5: Fator de instalação da linha

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

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 6: Fator tipo de linha

Fator do tipo de linha	C_T
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 7: Fator ambiental

Fator ambiental da linha	C_E
Rural	1
suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbanos com edifícios mais altos que 20 m	0,01

Fonte: modificado da NBR 5419-2

A área de exposição a descargas atmosféricas equivalente referente a linha em análise (A_L), é definida pela equação (14):

$$A_L = 40 \cdot L_l \quad (14)$$

onde

○ L_l : é o comprimento da linha em análise, expressa em metros;

Se não houver identificação correta do comprimento da linha em análise, é usual representar esse comprimento de L_l como 1000 metros.

3.6.1.4 Número médio anual de eventos perigosos decorrentes de descargas atmosféricas que atingem áreas próximas às linhas conectadas à estrutura (N_I)

Para determinar o número médio anual de eventos perigosos próximos de uma linha de alimentação energética ou uma linha que transporte qualquer tipo de sinal, é necessário aplicar a equação (15).

$$N_I = N_G \cdot A_l \cdot C_l \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (15)$$

onde

- N_I : é o número médio de sobretensões de amplitude igual ou superior a 1kV por ano, na seção da linha de energia ou sinal;
- N_G : é o valor anual de descargas para a terra no local da estrutura;
- A_l : é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem as proximidades da linha em questão;
- C_l : é o fator de instalação da linha de alimentação energética (tabela 5);

- C_E : é o fator ambiental referente a localidade da estrutura (tabela 7);
- C_T : é o fator do tipo de linha estabelecido pela norma (tabela 6).

A área de exposição (A_I) pode ser calculada utilizando a seguinte equação:

$$A_I = 4000 \cdot L_l \quad (16)$$

onde

- L_l : é o comprimento da linha em análise, expressa em metros;

3.6.1.5 Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente (N_{DJ})

O número médio anual de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura conectada na extremidade de uma linha, N_{DJ} pode ser calculada como o produto:

$$N_{DJ} = N_G \cdot A_{DJ} \cdot C_{DJ} \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (17)$$

onde

- N_{DJ} : é o número médio anual de eventos perigosos devido à descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente;
- N_G : é o valor anual de descargas para a terra no local da estrutura;
- A_{DJ} : é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em m²;
- C_{DJ} : é o fator de localização da estrutura adjacente (ver tabela 4);
- C_T : é o fator tipo de linha (ver tabela 6).

3.6.2 Obtenção da probabilidade de danos (P_x)

Segundo a NBR 5419-2, após determinar o número de eventos perigosos por ano, é preciso calcular as probabilidades de danos de maneira específica para cada componente de risco. Isso deve levar em consideração análises agravantes e redutoras de risco, de acordo com as características da estrutura e de seus conteúdos. Tais características são representadas por meio de equações e tabelas, que serão apresentadas a seguir.

3.6.2.1 Cálculo da probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma estrutura e causar ferimentos a seres vivos (P_A)

A possibilidade de ocorrerem ferimentos graves, e até mesmo óbito, em seres vivos devido às tensões de passo e toque geradas por descargas atmosféricas está vinculada à probabilidade (P_A) desse evento. Essa probabilidade depende do tipo de sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) adotado e das medidas de proteção adicionais instaladas. O cálculo dessa probabilidade é realizado por meio da equação (18).

$$P_A = P_{ta} \cdot P_b \quad (18)$$

onde

- P_{ta} : é a probabilidade de uma pessoa estar exposta às tensões de passo e toque ocasionadas por raios em uma estrutura com proteções adicionais é indicada na Tabela 8;
- P_b : é a probabilidade de uma pessoa estar sujeita a tensões de passo e toque causadas por raios, levando em consideração a classe do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) instalado na estrutura e projetado para um determinado nível de proteção, é estabelecida por meio da Tabela 9.

Tabela 8: Medida de proteção adicional

Medida de proteção adicional	P_{ta}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica das partes expostas	10^{-2}
Equipotencialização efetiva do solo	10^{-2}
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 9: Probabilidade de dano sobre as medidas de proteção

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 natura		0,001

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Destacando que a classificação do SPDA está relacionada ao seu nível de proteção. Em outras palavras, quanto maior a eficácia da proteção, maior será a classificação, sendo a Classe I a mais eficiente e a Classe IV a menos eficiente.

3.6.2.2 Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma estrutura e causar danos físicos (P_B)

Para reduzir a probabilidade de danos físicos causados por raios, é aconselhável instalar um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Para determinar o valor dessa probabilidade, é suficiente aplicar o nível de proteção correspondente à estrutura, conforme indicado na Tabela 9.

3.6.2.3 Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma estrutura e causar falhas em sistemas internos (P_C)

Com o intuito de reduzir a probabilidade de falhas em sistemas internos, como circuitos elétricos, eletrônicos, de controle e equipamentos de tecnologia da informação, é viável empregar um dispositivo de proteção contra sobretensão chamado (DPS) em uma configuração em cascata. É crucial garantir uma coordenação apropriada entre os elementos do sistema, cujos valores podem ser calculados utilizando a equação (19).

$$P_C = P_{spd} \cdot C_{LD} \quad (19)$$

O valor do P_{spd} é influenciado pelo sistema de coordenação dos DPS e pelo nível de proteção contra descarga atmosférica para o qual os DPS foram projetados. Para uma compreensão mais aprofundada desse aspecto, é

necessário realizar um estudo específico sobre os DPS. Os valores correspondentes a esse parâmetro podem ser encontrados na Tabela 10, levando em consideração o nível de proteção.

Por outro lado, o valor de CLD depende do nível de isolamento da linha de distribuição da estrutura, da blindagem aplicada à linha e do projeto de aterramento desenvolvido para proteção. Esses valores podem ser obtidos na Tabela 11, levando em consideração os tipos de linhas conectados à estrutura.

Tabela 10: Nível de proteção dos DPS.

Nível de proteção (NP)	P_{spd}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Para DPS com melhores características de proteção quando comparados com os requisitos definidos para NP I	0,005 - 0,001

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 11: Fatores em função de blindagens, 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
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 descarga atmosférica, 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

Fonte: modificado da NBR 5419-2

3.6.2.4 Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir um ponto próximo a estrutura e causar falhas em sistemas internos (P_M)

Quando não for instalado um sistema coordenado de DPS de acordo com os requisitos da ABNT NBR 5419-4, o valor de P_M será igual ao valor de F_{MS} . No entanto, quando um sistema coordenado de DPS de acordo com os requisitos da ABNT NBR 5419-4 estiver instalado, o valor de P_M será determinado pela equação (20).

$$P_M = P_{spd} \cdot P_{ms} \quad (20)$$

onde P_{spd} já foi declarado e P_{ms} é representado na equação (21):

$$P_{ms} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2 \quad (21)$$

onde

- K_{S1} : leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface. Seu valor deve ser igual ou inferior a 1;
- K_{S2} : leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface;
- K_{S3} : leva em consideração as características da fiação interna (ver tabela 12);
- K_{S4} : leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Os fatores K_{S1} , K_{S2} e K_{S4} são representados pelas equações (22), (23) e (24), respectivamente.

$$K_{S1} = 0,12 \cdot L_{m1} \quad (22)$$

$$K_{S2} = 0,12 \cdot L_{m2} \quad (23)$$

$$K_{S4} = \frac{1}{V_{tsi}} \quad (24)$$

onde

- L_{m1} e L_{m2} são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA tipo malha ou o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou o espaçamento entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural. Para blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1 mm, $K_{S1} = K_{S2} = 10^{-4}$;
- V_{tsi} é a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido, em kV.

Tabela 12: Fator em função dos cabos de instalação

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços	0,2

Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos	0,0001

Fonte: modificado da NBR 5419-2

3.6.2.5 Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar ferimentos por choque elétrico (P_U)

As probabilidades (P_U) de ferimentos a seres vivos dentro da estrutura, causados pela tensão de toque de uma descarga atmosférica em uma linha que penetra na estrutura, são determinadas por fatores como a blindagem da linha, a tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha, medidas de proteção como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta, e interfaces isolantes ou DPS utilizados para a ligação equipotencial na entrada da linha, de acordo com a ABNT NBR 5419-3.

Valor de P_U pode ser representado na equação (25):

$$P_U = P_{tu} \cdot P_{eb} \cdot P_{ld} \cdot C_{LD} \quad (25)$$

onde

- P_{tu} : depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Valores de P_{tu} são dados na tabela 13;
- P_{eb} : depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de P_{eb} são dados na tabela 14;
- P_{ld} : é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{ld} são dados na tabela 15;
- C_{LD} : foi definido anteriormente na tabela 11.

Tabela 13: Probabilidade de raio na linha conectada a estrutura causar choque a seres vivos.

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

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 14: Probabilidade para a qual os DPS foram projetados.

NP	P_{eb}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Os valores de P_{eb} podem ser reduzidos para DPS que tenham melhores características de proteção.	0,005 – 0,001

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 15: Probabilidade PLD 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	$5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20\Omega/\text{km}$	1	1	0,95	0,9	0,8

	barramento de equipotencialização do equipamento	$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		$R_S \leq 1\Omega/\text{km}$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: modificado da NBR 5419-2

O R_{sb} na tabela é a resistência da blindagem do cabo.

3.6.2.6 Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar danos físicos (P_V)

A probabilidade de danos físicos (P_V) causados por uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura depende das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou dos DPS instalados para as ligações equipotenciais na entrada da linha, de acordo com a ABNT NBR 5419-3. O cálculo do valor de (P_V) pode ser realizado utilizando a equação (26).

$$P_V = P_{eb} \cdot P_{ld} \cdot C_{LD} \quad (26)$$

onde

- P_{eb} : depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de P_{eb} são dados na tabela 14;
- P_{ld} : é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{ld} são dados na tabela 15;
- C_{LD} : foi definido anteriormente na tabela 11.

3.6.2.7 Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir uma linha e causar falhas nos sistemas internos da estrutura conectada a ela (P_W)

Os valores da probabilidade (P_W) de uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura causar uma falha nos sistemas internos dependem

das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado. O valor de (P_W) é dado pela equação (27):

$$P_W = P_{spd} \cdot P_{ld} \cdot C_{LD} \quad (27)$$

onde

- P_{spd} : depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Representado na tabela 10;
- P_{ld} : é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de P_{ld} são dados na tabela 15;
- C_{LD} : foi definido anteriormente na tabela 11.

3.6.2.8 Probabilidade de uma descarga atmosférica atingir um ponto próximo a uma linha e causar falha nos sistemas internos da estrutura conectada a ela (P_Z)

Os valores de probabilidade (P_Z) de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha de sistemas internos dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso do sistema conectado à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado. O valor de (P_Z) é dada pela equação (28):

$$P_Z = P_{spd} \cdot P_{li} \cdot C_{LI} \quad (28)$$

onde

- P_{spd} : depende do sistema coordenado de DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 e o nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados. Representado na tabela 10;
- P_{li} : é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos. Valores de P_{li} são dados na tabela 16;
- C_{LD} : é um fator que depende da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha. Ver tabela 11.

Tabela 16: Valores de probabilidade P_{li} dependendo da tensão suportável U_w .

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 sinal	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Fonte: modificado da NBR 5419-2

3.6.3 Obtenção dos valores médios da perda (L_x)

Referente a NBR 5419-2:2015, para adquirir os parâmetros mencionados na equação (5), é preciso calcular a perda L_x , que representa a média relativa de um tipo específico de dano para um evento perigoso causado por uma descarga atmosférica, levando em conta sua extensão e efeitos. Os valores dessa perda devem ser analisados e determinados por um projetista de SPDA, preferencialmente em conjunto com o proprietário da estrutura. Quando uma descarga atmosférica ocasiona danos não apenas à estrutura em si, mas também a estruturas próximas ou ao meio ambiente, como emissões químicas ou radioativas, é importante realizar uma avaliação mais conservadora que considere essa perda adicional.

3.6.3.1 Perda da vida humana (L_1)

Os cálculos dos valores de perda de vida humana são feitos de forma separada para cada tipo de dano. No caso do dano (D1), esses valores podem ser obtidos utilizando a equação (29).

$$L_a = L_u = r_t \cdot L_t \cdot \frac{N_z}{N_t} \cdot \frac{T_z}{8760} \quad (29)$$

onde o termo $(\frac{N_z}{N_t} \cdot \frac{T_z}{8760})$ é denominada fator de pessoas na zona e:

- L_a : são às perdas causadas por choque elétrico em seres vivos proveniente de raios diretamente na estrutura;
- L_u : são às perdas causadas por choque elétrico em seres vivos proveniente de raios nas linhas conectadas à estrutura;
- r_t : é o fator de redução de perdas de vidas humanas em função do tipo da superfície do solo ou piso da estrutura, devido a um evento

perigoso decorrente de uma descarga atmosférica. Representada na tabela 18;

- L_t : é o número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso. Dados na tabela 17;
- N_z : é o número de pessoas na zona;
- N_t : é o número total de pessoas na zona;
- T_z : é o tempo durante o qual as pessoas estão presentes na zona, em horas/ano.

Tabela 17: Tipos de perdas L1, para valores de L_t , L_f e L_o .

Tipos de danos	Valor de perda típica		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

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 18: Fator de redução r_t .

Tipo de superfície	Resistência de contato k Ω	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Mármore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}

Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}
---------------------------	------------	-----------

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Após apresentar a equação para o tipo de dano (D1), é possível definir a equação (30) para o tipo de dano (D2), que se refere aos danos físicos.

$$L_b = L_v = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_f \cdot \frac{N_z}{N_t} \cdot \frac{T_z}{8760} \quad (30)$$

onde

- L_b : corresponde às perdas causadas por danos físicos provenientes de raios diretamente a estrutura;
- L_v : corresponde às perdas causadas por danos físicos provenientes de raios diretamente nas linhas conectados à estrutura;
- r_p : é um fator de redução de perda devido a danos físicos dependendo das providencias tomadas para reduzir as consequências do incêndio (apresentada na tabela 19);
- r_f : é um fator de redução de perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura (tabela 20);
- h_z : é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente (tabela 21);
- L_f : é o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso. Ver tabela 17.

Tabela 19: Fator de redução r_p .

Providencias	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	0,2

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 20: Fator de redução r_f .

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

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Tabela 21: fator de redução h_z .

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

Fonte: modificado da NBR 5419-2

Por fim, ainda referente as perdas de vida humana, é fundamental realizar uma análise das perdas causadas por falhas em sistemas eletroeletrônicos (D3). Essa análise específica pode ser conduzida utilizando a equação (31).

$$L_c = L_m = L_w = L_z = L_o \cdot \frac{N_z}{N_t} \cdot \frac{T_z}{8760} \quad (31)$$

onde

- L_c : corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios diretamente na estrutura;
- L_m : corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios nas linhas conectadas à estrutura;
- L_w : corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios próximos das estrutura;
- L_z : corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios próximos das linhas conectadas à estrutura;
- L_o : é o número relativo médio típico de vítimas por falhas no sistema eletroeletrônico interno devido a um evento perigoso. Ver tabela 17.

3.6.3.2 Perda inaceitável de serviço ao público (L2)

As características da zona da estrutura afetam a perda de serviço ao público. Essas características levam em consideração os fatores de redução (r_p e r_f) mencionados na subseção anterior. O valor máximo de perda devido a danos na zona deve ser diminuído proporcionalmente à relação entre o número de usuários servidos pela zona (N_z) e o número total de usuários (N_t) servidos pela estrutura como um todo.

A perda inaceitável de serviço público é calculada exclusivamente para danos físicos (D2), e para danos de falhas de sistemas internos (D3). Os valores serão obtidos através das equações (32) e (33) respectivamente.

$$L_b = L_v = r_p \cdot r_f \cdot L_f \cdot \frac{N_z}{N_t} \quad (32)$$

$$L_c = L_m = L_w = L_z = L_o \cdot \frac{N_z}{N_t} \quad (33)$$

onde

- L_f : é o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso. Ver tabela 22;
- L_o : é o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante da falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso. Ver tabela 22;
- L_b : corresponde às perdas causadas por danos físicos provenientes de raios diretamente na estrutura;
- L_v : corresponde às perdas causadas por danos físicos provenientes de raios diretamente nas linhas conectadas à estrutura;
- L_c : corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios diretamente na estrutura;
- L_m : corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno proveniente de raios nas linhas conectadas à estrutura;
- L_w : corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios próximos da estrutura;
- L_z : corresponde às perdas causadas por falhas no sistema eletroeletrônico interno provenientes de raios próximos das linhas conectadas à estrutura.

Tabela 22: Tipo de perda, 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) falha de sistemas elétricos	L_o	10^{-2}	Gás, água, fornecimento de energia
		10^{-3}	TV, linhas de sinais

Fonte: modificado da NBR 5419-2

3.6.3.3 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)

As características da zona afetam a perda de patrimônio cultural. Essas características levam em consideração os fatores de redução (F_f e F_p). O valor máximo da perda devido a danos na zona deve ser diminuído proporcionalmente à relação entre o valor do patrimônio cultural na zona (C_z) e o valor total (C_t) da estrutura completa, incluindo a edificação e seu conteúdo.

Para as perdas em patrimônio cultural, é necessário calcular apenas os danos físicos (D2), e seus valores são obtidos pela equação (34):

$$L_b = L_v = r_p \cdot r_f \cdot L_f \cdot \frac{C_z}{C_t} \quad (34)$$

Sendo L_f o número relativo médio típico de todos os valores atingidos por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso. Este valor está na tabela 23.

Tabela 23 : Tipo de perda L3, valor de L_f .

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

Fonte: modificado da NBR 5419-2

3.6.3.4 Perdas médias econômicas (L4)

As características da zona afetam a perda de valores econômicos. Essas características levam em consideração os fatores de redução (r_t , r_f e r_p). O valor máximo da perda devido a danos na zona deve ser reduzido proporcionalmente à relação entre o valor relevante na zona e o valor total (C_t) da estrutura completa, que inclui animais, edificação, conteúdo e sistemas internos, incluindo suas atividades. O valor relevante da zona varia de acordo com o tipo de dano. No caso do dano D1 (ferimentos a seres vivos por choque elétrico), pode ser calculado utilizando a equação (35).

$$L_a = L_u = r_t \cdot L_t \cdot \frac{C_a}{C_t} \quad (35)$$

Sendo

- L_a : são às perdas econômicas causadas por choque elétrico proveniente de raios diretamente na estrutura;
- L_u : são às perdas econômicas causadas por choque elétrico proveniente de raios diretamente na estrutura;
- L_t : é o número relativo médio típico de todos os valores danificados por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso proveniente de um raio. Ver tabela 24;
- F_t : é o fator de redução de perdas de animais em função do tipo da superfície do solo ou piso da estrutura, devido a um evento perigoso decorrente de uma descarga atmosférica. Ver tabela 18;
- C_a : é o valor estimado dos animais da zona.

Para o dano D2 (danos físicos) será usada a seguinte equação (36):

$$L_b = L_v = r_p \cdot r_f \cdot L_f \cdot \frac{(C_a + C_b + C_c + C_s)}{C_t} \quad (36)$$

Sendo

- L_b : corresponde às perdas econômicas causadas por danos físicos provenientes de descargas atmosféricas diretamente na estrutura;
- L_v : corresponde às perdas econômicas causadas por danos físicos provenientes de descargas atmosféricas diretamente nas linhas conectadas a estrutura;
- r_p : é o fator de redução de perdas devido a danos físicos em função de determinadas providências de segurança, tais como extintores de incêndio, placas de aviso, entre outros. Representado na tabela 19;
- r_f : é o fator de redução de perdas em função dos danos físicos, dependendo dos riscos de explosões ou incêndios na estrutura. Tabela 20;
- L_f : é o número relativo médio típico de perdas econômicas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso. Representado na tabela 24;
- C_a é o valor dos animais na zona;
- C_b é o valor de edificações relevante na zona;
- C_c é o valor dos bens contidos na zona;

- C_s é o valor dos sistemas internos, incluindo suas atividades na zona;
- C_t é o valor total da estrutura, somando todas as zonas para animais, edificações, bens e sistemas internos e suas atividades.

Para o dano D3 (falha de sistemas internos) é utilizada a equação (37):

$$L_c = L_m = L_w = L_z = L_o \cdot \frac{C_s}{C_t} \quad (37)$$

onde o valor de L_o é encontrado na tabela 24.

Tabela 24: Tipo de perda L4, valores de L_t , L_f e L_o .

Tipo de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
(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

Fonte: modificado da NBR 5419-2

4 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

A ferramenta computacional foi construída com Python, utilizando o Visual Studio Code (VS Code), um popular editor de código gratuito. A principal biblioteca utilizada no código foi a Tkinter, responsável pela criação da interface gráfica.

4.1 Elaboração do código

A utilização dos elementos da biblioteca Tkinter na sequência adere às práticas convencionais para o desenvolvimento de interfaces gráficas. A classe “tk.Tk” é aplicada para criar a janela principal, conhecida como “root”. Dentro dessa janela, é possível conceber a interface gráfica desejada. Além disso, pode-se empregar o método “title” no objeto “root” para atribuir um título à janela. Outros métodos relevantes incluem o “root.iconbitmap”, que insere um ícone na barra de título, e o comando “root.state” com o parâmetro “zoomed” para maximizar a janela (Python Software Foundation, 2023).

Em seguida, a classe “tk.Frame” é utilizada para a criação de um painel onde serão inseridos os elementos para a interação do usuário com o software. Os elementos visíveis ao usuário são representados pela classe “tk.Label”, destinados à inserção de valores no software. O método “grid” é empregado para posicionar esses elementos dentro do frame desejado (Python Software Foundation, 2023).

A entrada dos dados é obtida por meio de dois elementos distintos da biblioteca Tkinter: o “tk.Entry”, utilizado para a inserção direta de números pelo usuário, e o “tk.Combobox”, empregado para a seleção de valores predefinidos pelo programador. A informação proveniente do “tk.Entry” pode ser empregada imediatamente no cálculo dos parâmetros do risco. No entanto, para o “tk.Combobox”, é essencial criar uma função que associe a seleção do parâmetro ao valor correspondente nas tabelas encontradas na NBR 5419. Essa associação é realizada utilizando o método “get()”, aplicável tanto ao “tk.Entry” quanto ao “tk.Combobox” (Python Software Foundation, 2023).

Os cálculos das variáveis de risco são realizados diretamente no código do programa, sem a necessidade de bibliotecas adicionais, exceto pela utilização

da biblioteca NumPy para obter o valor exato de pi, acessado através do comando “np.pi”.

Ao finalizar os cálculos, os resultados podem ser apresentados na interface gráfica por meio da classe “tk.Label”. Este fluxo de utilização dos elementos Tkinter atende às necessidades de interação do usuário e à exibição de resultados de maneira eficiente e organizada. Para obter informações adicionais sobre o código, é possível consultar a versão completa no Apêndice A (Python Software Foundation, 2023).

4.2 Interface da ferramenta computacional

A ferramenta computacional é intuitiva e de fácil compreensão, apresentando uma interface única que permite o acesso a todas as informações necessárias para o usuário. Foi desenvolvida de forma específica para receber dados diretamente do responsável técnico e, ao mesmo tempo, fornecer os resultados de risco. A Figura 10 ilustra a única interface do software, responsável por receber as informações e selecionar o risco desejado.

Figura 10: Interface da ferramenta computacional

PROGRAMA SPDA - TCC MATHEUS PEREIRA E VITOR PRADO

coloque altura (m): 1
coloque largura (m): 1
coloque comprimento (m): 1
coloque a densidade da terra (kg/m³): 1
comprimento da linha (m): 1
Valor de ADI (Se houver estrutura adjacente): 1
Valor de CDI (Se houver estrutura adjacente): 1

Escolha o Tipo de Estrutura (AD): plana
Selecione o fator de localização (CD): estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças
Fator Instalação (CI): Enterrado
Fator Ambiental (CE): Suburbano
Fator Tipo de Linha (CT): Linha de energia ou sinal
Contém estrutura adjacente? Não

Medidas de proteção adicional (PTA): nenhuma medida de proteção
Nível de Proteção contra DA (PB):
Sistema Coordenado de DPS energia (SPDE):
Fator de Blindagem da Linha (CL/CCLD):
escolha a Tensão suportável da linha de sinal (Un):
Eficiência da Blindagem Por malha de blindagem interna a estrutura (KS2): 1
Tipo de Fiação interna de Energia (KS3):
Alertas e isolações (PTU):
Nível de Proteção (PEB):
Tensão suportável do circuito sinal interno (PLD):

Cálculo de Danos

Risco 1 Risco 2 Risco 3

Fator Ambiental (CE):
Fator Tipo de Linha (CT):
Linha de energia ou sinal:
comprimento da linha de sinal(m): 1

Sistema Coordenado de DPS energia (SPDE):
Fator de Blindagem da Linha (CL/CCLD):
Tensão suportável do circuito sinal interno (PLD):
Tipo de Fiação interna de Energia (KS3):
Nível de Proteção (PEB):
escolha a Tensão suportável da linha de sinal (Un):
Valor de ADI (Se houver estrutura adjacente): 1

Sem DPS
2,5 KV
1

Nenhuma medida de proteção
Sem DPS
Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo barramento.
Cascalho, tapete, carpete
Nenhuma providência
Incêndio - Alto
Industrial, comercial (I,T)
Outras partes do hospital (I,T)
Sem perigo especial

Número de pessoas na zona: 1
Número de pessoas na Estrutura: 1

Cálculo de Linhas de Sinal

Nenhuma sistema de DPS coordenado
Linha aérea não blindada com conexão indefinida
Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo barramento.
Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços

Sem DPS
Fator Instalação (CI): Enterrado
Alertas e isolações (PTU): Nenhuma medida de proteção
Valor de CDI (Se houver estrutura adjacente): 1

Fonte: Autores

O usuário da ferramenta computacional deve inserir os dados de acordo com as informações registradas sobre a estrutura. Para garantir uma melhor precisão do software, é essencial que o usuário insira/selecione todos os parâmetros solicitados. Isso é fundamental, pois, para realizar uma análise de risco precisa, é necessário declarar todas as variáveis que influenciam o cálculo das componentes de risco. As Figuras 11, 12 e 13 ilustram a forma que a inserção de dados no software é realizada, destacando apenas alguns parâmetros que influenciam para um cálculo preciso da análise de risco.

Figura 11: Inserção das dimensões da estrutura

altura da estrutura (m):	7.5
largura da estrutura (m):	46.97
comprimento da estrutura (m):	53.34

Fonte: Autores

Figura 12: Inserção do nível de proteção contra descargas atmosféricas (PB)

Estrutura não protegida	▼
Estrutura não protegida	
Estrutura protegida por SPDA Classe IV	
Estrutura protegida por SPDA Classe III	
Estrutura protegida por SPDA Classe II	
Estrutura protegida por SPDA Classe I	
Estrutura metálica contínua ou de concreto armado com um subsistema de captação conforme SPDA Classe I	
Estrutura metálica contínua ou de concreto armado com corbetura metálica e com um subsistema de captação	
Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de descargas	
Nenhuma medida de proteção	▼

Fonte: Autores

Figura 13: Inserção do fator de blindagem da linha (CLI / CLD)

Linha aérea não blindada com conexão Indefinida	▼
Linha aérea não blindada com conexão Indefinida	
Linha enterrada não blindada com conexão Indefinida	
Linha de energia com neutro multiterrado com nenhuma conexão	
Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não interligada ao barramento	
Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não interligada ao barramento	
Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interligada ao barramento	
Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interligada ao barramento	
Cabo protegido contra descargas atmosféricas com conexão blindagem interligada ao barramento	
Nenhuma linha externa sem conexão	
Qualquer tipo com conexão de interfaces isolantes	

----- Cálculo de Perdas -----

Fonte: Autores

As Figuras 11, 12 e 13 apresentam visualmente alguns dos elementos necessários para conduzir a análise de risco. Ao observar a interface completa do software na Figura 10, fica visível a quantidade de parâmetros requeridos para uma análise de risco completa. Após o usuário preencher e inserir todos os dados essenciais sobre a estrutura, a análise de risco pode ser realizada selecionando o tipo específico de risco desejado, e os resultados serão exibidos na tela correspondente. Conforme representado nas figuras 14.

Figura 14: Seleção do risco e resultados

Risco 1	Risco 2	Risco 3
<pre> ===== RISCO DE VIDA ===== ND = 5.4672 e-03 1/km²ano NL = 5.0800 e-03 1/km²ano NM = 1.1248 1/km²ano NI = 5.0800 e-01 1/km²ano NDJ = 0.0000 1/km²ano ===== PA = 1.0000 PB = 1.0000 PC = 1.0000 e-02 PM = 1.6000 e-03 PU = 1.0000 e-02 PV = 1.0000 e-02 PW = 1.0000 e-02 PZ = 3.0000 e-03 ===== LA = 1.5867 e-04 LB = 1.5867 e-04 LC = 0.0000 LM = 0.0000 LU = 1.5867 e-04 LV = 1.5867 e-04 LW = 0.0000 LZ = 0.0000 ===== RA = 8.6746 e-07 RB = 8.6746 e-07 RC = 0.0000 RM = 0.0000 RU = 1.6121 e-08 RV = 1.6121 e-08 RW = 0.0000 RZ = 0.0000 ===== R = 1.7672 e-06 ===== A ESTRUTURA ESTÁ PROTEGIDA! ===== </pre>	<pre> ===== DADOS DE LINHAS DE SINAIS ===== NLt = 5.0800 e-03 1/km²ano Nlt = 5.0800 e-01 1/km²ano NDJt = 0.0000 1/km²ano ===== PUt = 1.0000 e-02 PVt = 1.0000 e-02 PWt = 1.0000 PZt = 5.0000 e-01 ===== </pre>	

Fonte: Autores

4.3 Funcionamento da ferramenta computacional

Ao examinar os resultados apresentados na Figura 14, é possível identificar que a estrutura está adequadamente protegida. Em outras palavras, para os parâmetros registrados da estrutura, o valor do risco R1, registrado em aproximadamente 0.0000017672, é inferior ao limite de 0.00001 estipulado pela norma como risco tolerável para R1.

No entanto, é importante ressaltar que o valor calculado para R1 nem sempre estará dentro dos limites de risco toleráveis estabelecidos pela norma. A seguir, serão apresentados exemplos que ilustram o correto funcionamento da ferramenta computacional, especialmente nos casos em que o valor do risco ultrapassa os limites do risco tolerável.

Para alterar o resultado da análise de risco previamente conduzida, é necessário ajustar os parâmetros inseridos e reavaliar o risco. A Figura 15 representa uma modificação em um desses parâmetros. No exemplo anterior, os dados de altura da estrutura, apresentados na Figura 11, eram de 7 metros e 50 centímetros. Contudo, na Figura 15, a altura da estrutura foi alterada para 35 metros. Uma estrutura mais alta é apenas um dos fatores que contribuem para o aumento do risco de descargas atmosféricas. Essa alteração enfatiza a necessidade de medidas adicionais de proteção diante das novas condições.

Figura 15: Alteração de parâmetros

altura da estrutura (m):	35
largura da estrutura (m):	46.97
comprimento da estrutura (m):	53.34
densidade DA para Terra (NG) :	1.27

Fonte: Autores

Figura 16: Resultados da alteração de parâmetros

altura da estrutura (m):	35	Escolha o Tipo de Estrutura (AD):	plana
largura da estrutura (m):	46.97	Selecione o fator de localização (CD):	estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais l
comprimento da estrutura (m):	53.34	Fator Instalação (CI):	Aéreo
densidade DA para Terra (NG):	1.27	Fator Ambiental (CE):	Urbano
comprimento da linha (m):	1000	Fator Tipo de Linha (CT):	Linha de energia ou sinal
Valor de ADJ (Se houver estrutura adjacente):	0	Contém estrutura adjacente?	Não
Valor de CDJ (Se houver estrutura adjacente):	0		

nenhuma medida de proteção		Risco 1	Risco 2	Risco 3
Estrutura não protegida				
I				
Linha aérea não blindada com conexão indefinida				
2.5 KV				

1	Eficiência da Blindagem Por malha da Estrutura (KS1):	1
Cabo não Blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços		
Nenhuma medida de proteção		
I		
Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo barramento.		

Calculo de Perdas	
Agricultura, concreto	
instalações fixas manuais	
Incêndio - Normal	
Outros (L1)	
Não há risco de Explosões/hospitais	
Baixo nível de pânico	
Número de pessoas na zona:	357
Número de pessoas na Estrutura:	225

Calculo de Linha de Sinais	
nenhum sistema de DPS coordenado	
Linha aérea não blindada com conexão indefinida	

RISCO DE VIDA ND = 3.6961 e-02 1/km²ano NL = 5.0800 e-03 1/km²ano NM = 1.1248 1/km²ano NI = 5.0800 e-01 1/km²ano NDJ = 0.0000 1/km²ano PA = 1.0000 PB = 1.0000 PC = 1.0000 e-02 PM = 1.6000 e-03 PU = 1.0000 e-02 PV = 1.0000 e-02 PW = 1.0000 e-02 PZ = 3.0000 e-03 LA = 1.5867 e-04 LB = 1.5867 e-04 LC = 0.0000 LM = 0.0000 LU = 1.5867 e-04 LV = 1.5867 e-04 LW = 0.0000 LZ = 0.0000 RA = 5.8645 e-06 RB = 5.8645 e-06 RC = 0.0000 RM = 0.0000 RU = 1.6121 e-08 RV = 1.6121 e-08 RW = 0.0000 RZ = 0.0000 R = 1.1761 e-05 DEVE-SE MELHORAR A PROTEÇÃO DA ESTRUTURA
--

Fonte: Autores

A Figura 16 evidencia que, ao manter os parâmetros e aumentar a altura da edificação, a estrutura que anteriormente estava protegida ultrapassou o limite do risco tolerável. Diante desse cenário, torna-se imperativo adotar medidas adicionais de proteção para garantir a segurança da estrutura.

Com as modificações na dimensão da estrutura, o valor do risco R1 agora ultrapassa o limite aceitável pela norma. Para reduzir esse risco, é possível realizar ajustes nos parâmetros, visando diminuir o valor de R1.

Um parâmetro utilizado para reduzir o risco da estrutura é a implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Como evidenciado na Figura 17, a estrutura não estava protegida com SPDA. Na Figura 18, apresenta-se o resultado da análise de risco para os mesmos parâmetros, incluindo apenas a implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas classe IV.

Figura 17: Segunda alteração de parâmetros.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA TOCANTINS

altura da estrutura (m): 35
 largura da estrutura (m): 46.97
 comprimento da estrutura (m): 53.34
 densidade DA para Terra (NG): 1.27
 comprimento da linha (m): 1000
 Valor de ADJ (Se houver estrutura adjacente): 0
 Valor de CDI (Se houver estrutura adjacente): 0

Escolha o Tipo de Estrutura (AD): plana
 Selecione o fator de localização (CD): estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais t
 Fator Instalação (CI): Aéreo
 Fator Ambiental (CE): Urbano
 Fator Tipo de Linha (CT): Linha de energia ou sinal
 Contém estrutura adjacente? Não

Medidas de proteção adicional (PTA): nenhuma medida de proteção
 Nível de Proteção contra DA (PB): Estrutura não protegida

Sistema Coordenado de DPS energia (PSPD): I
 Fator de Blindagem da Linha (CLV/CLD): Linha aérea não blindada com conexão Indefinida
 escolha a Tensão suportável da linha de sinal (Uw): 2.5 KV
 eficiência da Blindagem Por malha de blindagem interna a estrutura (KS2): 1 Eficiência da Blindagem Por malha da Estrutura (KS1): 1

Tipo de Fiação interna de Energia (KS3): Cabo não Blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços
 Alertas e isolações (PTU): Nenhuma medida de proteção
 Nível de Proteção (PEB): I
 Tensão suportável do circuito sinal interno (PLD): Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo barramento.

redução perda de vida humana devido ao solo (rt): Agricultura, concreto
 perda por danos físicos dependendo de providências (rp): instalações fixas manuais
 redução perda por danos físicos devido ao risco de explosão (rf): Incêndio - Normal
 perda por danos físicos típico da estrutura (LF): Outros (L1)
 redução de perda por falhas de sistemas internos (LO): Não há risco de Explosões/hospitais
 aumento de perda por perigos especiais (Hz): Baixo nível de pânico

Número de pessoas na zona: 357
 Número de pessoas na Estrutura: 225

Tempo de permanência das pessoas na zona em horas por ano: 8760

Calculo de Perdas

Sistema Coordenado de DPS energia (PSPD): nenhum sistema de DPS coordenado
 Fator de Blindagem da Linha (CLV/CLD): Linha aérea não blindada com conexão Indefinida

Risco 1 Risco 2 Risco 3

RISCO DE VIDA
 ND = 3.6961 e-02 1/km²ano
 NL = 5.0800 e-03 1/km²ano
 NM = 1.1248 1/km²ano
 NI = 5.0800 e-01 1/km²ano
 NDJ = 0.0000 1/km²ano
 PA = 1.0000
 PB = 1.0000
 PC = 1.0000 e-02
 PM = 1.6000 e-03
 PU = 1.0000 e-02
 PV = 1.0000 e-02
 PW = 1.0000 e-03
 PZ = 3.0000 e-02
 LA = 1.5867 e-04
 LB = 1.5867 e-04
 LC = 0.0000
 LU = 1.5867 e-04
 LV = 1.5867 e-04
 LW = 0.0000
 LZ = 0.0000
 RA = 5.8645 e-06
 RB = 5.8645 e-06
 RC = 0.0000
 RM = 0.0000
 RU = 1.6121 e-08
 RV = 1.6121 e-08
 RW = 0.0000
 RZ = 0.0000

R = 1.1761 e-05
 DEVE-SE MELHORAR A PROTEÇÃO DA ESTRUTURA

Fonte: Autores

Figura 18: Resultados da segunda alteração de parâmetros.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA TOCANTINS

altura da estrutura (m): 35
 largura da estrutura (m): 46.97
 comprimento da estrutura (m): 53.34
 densidade DA para Terra (NG): 1.27
 comprimento da linha (m): 1000
 Valor de ADJ (Se houver estrutura adjacente): 0
 Valor de CDI (Se houver estrutura adjacente): 0

Escolha o Tipo de Estrutura (AD): plana
 Selecione o fator de localização (CD): estrutura cercada por objetos da mesma altura ou
 Fator Instalação (CI): Aéreo
 Fator Ambiental (CE): Urbano
 Fator Tipo de Linha (CT): Linha de energia ou sinal
 Contém estrutura adjacente? Não

Medidas de proteção adicional (PTA): nenhuma medida de proteção
 Nível de Proteção contra DA (PB): Estrutura protegida por SPDA Classe IV

Sistema Coordenado de DPS energia (PSPD): I
 Fator de Blindagem da Linha (CLV/CLD): Linha aérea não blindada com conexão Indefinida
 escolha a Tensão suportável da linha de sinal (Uw): 2.5 KV
 eficiência da Blindagem Por malha de blindagem interna a estrutura (KS2): 1 Eficiência da Blindagem Por malha da Estrutura (KS1): 1

Tipo de Fiação interna de Energia (KS3): Cabo não Blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços
 Alertas e isolações (PTU): Nenhuma medida de proteção
 Nível de Proteção (PEB): I
 Tensão suportável do circuito sinal interno (PLD): Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo barramento.

redução perda de vida humana devido ao solo (rt): Agricultura, concreto
 perda por danos físicos dependendo de providências (rp): instalações fixas manuais
 redução perda por danos físicos devido ao risco de explosão (rf): Incêndio - Normal
 perda por danos físicos típico da estrutura (LF): Outros (L1)
 redução de perda por falhas de sistemas internos (LO): Não há risco de Explosões/hospitais
 aumento de perda por perigos especiais (Hz): Baixo nível de pânico

Número de pessoas na zona: 357
 Número de pessoas na Estrutura: 225

Tempo de permanência das pessoas na zona em horas por ano: 8760

Calculo de Perdas

Sistema Coordenado de DPS energia (PSPD): nenhum sistema de DPS coordenado
 Fator de Blindagem da Linha (CLV/CLD): Linha aérea não blindada com conexão Indefinida

Risco 1 Risco 2

RISCO DE VIDA
 ND = 3.6961 e-02 1/km²ano
 NL = 5.0800 e-03 1/km²ano
 NM = 1.1248 1/km²ano
 NI = 5.0800 e-01 1/km²ano
 NDJ = 0.0000 1/km²ano
 PA = 2.0000 e-01
 PB = 2.0000 e-01
 PC = 1.0000 e-02
 PM = 1.6000 e-03
 PU = 1.0000 e-02
 PV = 1.0000 e-02
 PW = 1.0000 e-02
 PZ = 3.0000 e-03
 LA = 1.5867 e-04
 LB = 1.5867 e-04
 LC = 0.0000
 LU = 1.5867 e-04
 LV = 1.5867 e-04
 LW = 0.0000
 LZ = 0.0000
 RA = 1.1729 e-06
 RB = 1.1729 e-06
 RC = 0.0000
 RM = 0.0000
 RU = 1.6121 e-08
 RV = 1.6121 e-08
 RW = 0.0000
 RZ = 0.0000

R = 2.3780 e-06
 A ESTRUTURA ESTÁ PROTEGIDA!

Fonte: Autores

4.4 Validação da ferramenta computacional

Para validar a ferramenta computacional desenvolvida neste trabalho, realizou-se um teste de comparação com uma análise de risco realizada em um projeto de SPDA desenvolvido pela empresa Senemig Engenharia para o Juizado Especial de Feira de Santana. Todos os parâmetros aplicados nesse teste estão disponibilizados no Anexo A. Os resultados dessas análises estão representados nas Figuras 19 e 20.

Figura 19: Análise de risco Juizado Especial de Feira Santana

5.1.37.12) R1z

$$R1z = Ra + Rb + Ru + Rv + Rut + Rvt$$

$$R1z = 0.0009 \cdot 10^{-3} + 0.0009 \cdot 10^{-3} + 0.0001 \cdot 10^{-4} + 0.0001 \cdot 10^{-4} + 0.0001 \cdot 10^{-4} + 0.0001 \cdot 10^{-4}$$

$$R1z = 0.0018 \cdot 10^{-3}$$

6) Risco Total

6.1) R1

$$Ra + Rb = 0.0017 \cdot 10^{-3}$$

$$R1 = 0.0018 \cdot 10^{-3}$$

$$Rt1 = 1 \cdot 10^{-5}$$

$$R1 \leq Rt1$$

$$(Ra + Rb) \leq Rt1$$

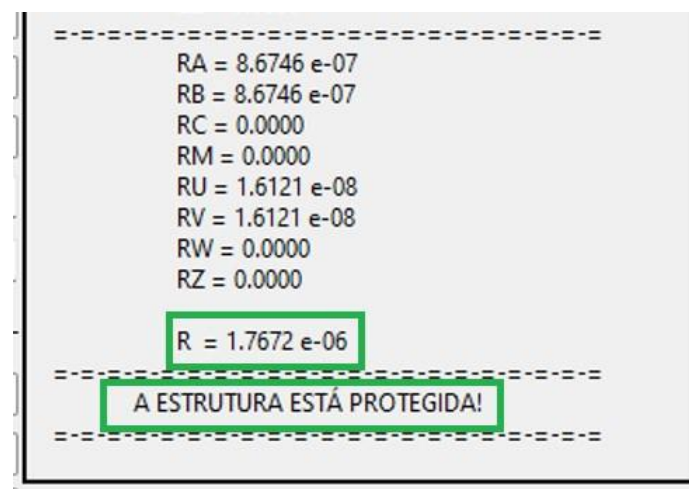
[OK]

6.2) Estrutura Protegida.

$$R1 \leq Rt1$$

Fonte: Senemig Engenharia

Figura 20: Análise de risco da ferramenta computacional desenvolvida



Fonte: Autores

Ao analisar e comparar as Figuras 19 e 20, observa-se que ambos os testes indicam que a estrutura está protegida. Quando calculado o valor do erro relativo entre o valor real 0.0000018 e o valor medido 0.0000017672, é possível encontrar um erro relativo de 1.822%. É um erro razoável considerando que o software desenvolvido possui uma maior precisão nas casas decimais.

4.4.1 Comparação de resultados entre softwares

Utilizando o mesmo exemplo como teste para realizar uma comparação adicional, foi necessário recorrer à utilização de um outro software para a comparação dos resultados. A planilha de gerenciamento de risco PROTEC-SPDA, cedido exclusivamente para fins comparativos neste trabalho, pelo engenheiro eletricista Esteyllis Paiva. Os resultados obtidos podem ser visualizados nas Figura 21.

Figura 21: Análise de risco PROTEC-SPDA

R1 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1- Estruturas	RA	8,73E-07
	RB	8,73E-07
	RC	0,00E+00
S2 -Perto da Estrutura	RM	0,00E+00
S3 - Na Linha	RU	1,61E-08
	RV	1,61E-08
	RW	0,00E+00
S4 -Perto da Linha	RZ	0,00E+00
R1 total:	R1t	1,78E-06

Fonte: Planilha de gerenciamento de risco PROTEC-SPDA

Ao analisar os resultados das Figuras 20 e 21, percebe-se uma maior aproximação entre os resultados. No entanto, ainda há uma pequena diferença,

a qual pode ser atribuída à precisão na aproximação das casas decimais de cada software.

4.5 Análise de resultados

Na etapa de validação da ferramenta computacional, ao testar o software com um projeto de SPDA do Juizado Especial de Feira de Santana, foram utilizados os parâmetros e dimensões informados no projeto como base para avaliar a ferramenta computacional desenvolvida neste trabalho. Os resultados foram satisfatórios, ambos indicando que a estrutura está adequadamente protegida, eliminando a necessidade de instalação de proteção contra descargas atmosféricas na edificação.

Posteriormente, realizou-se uma comparação dos resultados com a planilha de análise e gerenciamento de risco da PROTEC-SPDA, e o programa desenvolvido neste trabalho apresentou resultados ainda mais próximos em relação à comparação anterior. O software desenvolvido apresentou o risco R1 sendo 0.0000017672 e a planilha de gerenciamento de risco apresentou R1 como 0.00000178, apresentando um erro relativo entre os resultados de 0.72%. É possível afirmar que a pequena divergência nos valores ocorre devido à aproximação de algumas casas decimais. Apesar dessa divergência na exatidão dos valores, em todos os casos, a edificação escolhida não necessita de um SPDA.

4.6 Acesso ao Software

Para obter acesso à ferramenta computacional desenvolvida, é necessário enviar um e-mail solicitando o acesso ao software para o endereço programadespda1@gmail.com.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um software para análise de riscos em sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, seguindo a NBR 5419/2015. O software foi desenvolvido em Python, apresentando uma interface única e autoexplicativa. Concluiu-se que o equacionamento da análise de risco é bastante simples. No entanto, a complexidade da análise reside na quantidade de dados de entrada e nos diversos cálculos de componentes, o que a torna um processo extenso e cansativo. A análise pode se tornar ainda mais trabalhosa quando o resultado indicar um risco acima do tolerável, pois será necessário realizar alterações nas medidas de proteção para obter valores dentro da faixa aceitável pela NBR 5419/2015.

O software é uma ferramenta que auxilia o usuário a realizar uma análise de risco de forma mais rápida. No entanto, observa-se que o usuário precisa ter conhecimento técnico, dado o número de parâmetros técnicos que precisam ser inseridos no programa. Adicionalmente, a utilização eficiente do software resultará em economia para o projeto. Ao dimensionar corretamente o risco, evita-se o desperdício de material e tempo investido na proteção da estrutura. Uma análise completa possibilita a determinação adequada das medidas de proteção necessárias para a edificação.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-1**, Rio de Janeiro, 2015.
- [2] Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-2**, Rio de Janeiro, 2015.
- [3] Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-3**, Rio de Janeiro, 2015.
- [4] Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-4**, Rio de Janeiro, 2015.
- [5] FILHO, João Mamede. **Instalações elétricas industriais: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015**. 9o . ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- [6] GRUPO DE ELETRICA ATMOSFÉRICA. **Mortes por raios**. Instituto Nacional de pesquisas espaciais. Disponível em: <
<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/mortes.por.raios.-.infografico.php>
 >Acesso em 01 de fevereiro. de 2023.
- [7] PYTHON GERAL. **O que é Python?** Python.org. Disponível em:
<https://docs.python.org/pt-br/3/faq/general.html#what-is-python> . Acesso em: 25 de Out
 de 2022.
- [8] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. What is Python? Python 3.10.1 documentation. Disponível em: <https://docs.python.org/pt-br/3/faq/general.html#what-is-python> . Acesso em: 07 mar. 2023.
- [9] PYTHON TUTORIAL. Disponível em: <https://www.pythontutorial.net/> . Acesso em: 07 mar. 2023.
- [10] PYTHON TUTORIAL. Tutorial de Tkinter. Disponível em:
<https://www.pythontutorial.net/tkinter/> . Acesso em: 07 mar. 2023.

APÊNDICE A

```

1 import tkinter as tk
2 from tkinter import ttk
3 from tkinter import *
4 import numpy as np
5
6 def main_window():
7
8     def ad(value, height, width, length):
9         if value == 'plana':
10             ad = float(length)*float(width) + 2*(3*float(height))*(float(width)+float(len
11             gth))*2))
12         elif value == 'complexa':
13             ad = float(np.pi*(3*int(height))**2)
14             return ad
15
16     def cd(value):
17         if value == 'estrutura cercada por objetos mais altos':
18             return 0.25
19         elif value == 'estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos':
20             return 0.5
21         elif value == 'estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças':
22             return 1.0
23         elif value == 'estrutura isolada no topo de uma colina ou monte':
24             return 2.0
25
26     def ci(value):
27         if value == 'Aéreo':
28             return 1.0
29         elif value == 'Enterrado':
30             return 0.5
31         elif value == 'Cabos enterrados instalados dentro de uma malha de aterramento':
32             return 0.01
33
34     def cit(value):
35         if value == 'Aéreo':
36             return 1.0
37         elif value == 'Enterrado':
38             return 0.5
39         elif value == 'Cabos enterrados instalados dentro de uma malha de aterramento':
40             return 0.01
41
42     def nd():
43         ad_val = ad(ad_combo.get().replace(',','.'), height_entry.get().replace(',','.'), w
44         .replace(',','.'), length_entry.get().replace(',','.'))
45         cd_val = cd(cd_combo.get())
46         ng_val = float(ng_entry.get().replace(',','.'))
47         nd_val = float(ng_val*ad_val*cd_val*10**-6)
48         return nd_val
49
50     def am():
51         comprimento = float(width_entry.get().replace(',','.'))
52         largura = float(length_entry.get().replace(',','.'))
53         am_val = float(2*500*(comprimento+largura)) + np.pi*(500**2)
54         return am_val
55
56     def nm():
57         ng_val = float(ng_entry.get().replace(',','.'))
58         nm_val = ng_val*am()*10**-6
59         return nm_val
60
61     def nl():
62         ng_val = float(ng_entry.get().replace(',','.'))
63         ll = float(ll_entry.get().replace(',','.'))
64         al_val = 40 + ll
65         nl_val = ng_val*al_val*ci(ci_combo.get())*ce(ce_combo.get())*ct(ct_combo.get())*(10
66         return nl_val
67
68     def nlt():
69         ng_val = float(ng_entry.get().replace(',','.'))
70         llt = float(llt_entry.get().replace(',','.'))
71         alt_val = 40 + llt
72         nl_val = ng_val*alt_val*cit(cit_combo.get())*cet(cet_combo.get())*ctt(ctt_combo.get
73         return nl_val
74
75     def ni():
76         ng_val = float(ng_entry.get().replace(',','.'))
77         ll_val = float(ll_entry.get())
78         ai_val = 4000*ll_val
79         ni_val = ng_val*ai_val*ci(ci_combo.get())*ce(ce_combo.get())*ct(ct_combo.get())*(10
80         return ni_val
81
82     def nit():
83         ng_val = float(ng_entry.get().replace(',','.'))
84         llt_val = float(llt_entry.get())
85         ait_val = 4000*llt_val
86         nit_val = ng_val*ait_val*cit(cit_combo.get())*cet(cet_combo.get())*ctt(ctt_combo.ge
87         return nit_val
88
89     def ce(value):
90         if value == 'Rural':
91             return 1.0
92         elif value == 'Suburbano':
93             return 0.5
94         elif value == 'Urbano':
95             return 0.1
96         elif value == 'Urbano com edifícios mais altos que 20 m':
97             return 0.01
98
99     def cet(value):
100         if value == 'Rural':
101             return 1.0
102         elif value == 'Suburbano':
103             return 0.5
104         elif value == 'Urbano':
105             return 0.1
106         elif value == 'Urbano com edifícios mais altos que 20 m':
107             return 0.01
108
109     def ct(value):
110         if value == 'Linha de energia ou sinal':
111             return 1.0
112         elif value == 'Linhas de energia em AT (com transformador AT/BT)':
113             return 0.2
114
115     def ctt(value):
116         if value == 'Linha de energia ou sinal':
117             return 1.0

```

```

116         elif value == 'Linhas de energia em AT (com transformador AT/BT)':
117             return 0.2
118
119     def adjacente(value):
120         if value == 'Não':
121             return 0.0
122         elif value == 'Sim':
123             return 1.0
124
125     def ndj():
126         ng_val = float(ng_entry.get().replace(',', '.'))
127         ndj_val = ng_val*(float(adj_entry.get()))*(float(cdj_entry.get()))*ct(ct_combo.get()
128         *adjacente(adjacente_combo.get()))
129         return ndj_val
130
131     def ndjt():
132         ng_val = float(ng_entry.get().replace(',', '.'))
133         ndj_val = ng_val*(float(adjt_entry.get()))*(float(cdjt_entry.get()))*ctt(ctt_combo.
134         *adjacente(adjacente_combo.get()))
135         return ndj_val
136
137     def pta(value):
138         if value == 'nenhuma medida de proteção':
139             return 1.0
140         elif value == 'aviso de alerta':
141             return 10**-1
142         elif value == 'isolação elétrica':
143             return 10**-2
144         elif value == 'equipotencialização efetiva do solo':
145             return 10**-2
146         elif value == 'Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistem
147             return 0.0
148
149     def pb(value):
150         if value == ' Estrutura não protegida ':
151             return 1.0
152         elif value == ' Estrutura protegida por SPDA Classe IV ':
153             return 0.2
154         elif value == ' Estrutura protegida por SPDA Classe III ':
155             return 0.1
156         elif value == ' Estrutura protegida por SPDA Classe II ':
157             return 0.05
158         elif value == ' Estrutura protegida por SPDA Classe I ':
159             return 0.02
160         elif value == ' Estrutura metálica contínua ou de concreto armado com um subsistema
161             SPDA Classe I ':
162             return 0.01
163         elif value == ' Estrutura metálica contínua ou de concreto armado com corbetura met
164             de captação ':
165             return 0.001
166
167     def pspd(value):
168         if value == 'nenhum sistema de DPS coordenado':
169             return 1.0
170         elif value == 'III-IV':
171             return 0.05
172         elif value == 'II':
173             return 0.02
174         elif value == 'I':
175             return 0.01
176
177     elif value == 'Para DPS com melhores características de proteção quando comparados
178     definidos para NP I':
179         return 0.001
180
181     def pspdt(value):
182         if value == 'nenhum sistema de DPS coordenado':
183             return 1.0
184         elif value == 'III-IV':
185             return 0.05
186         elif value == 'II':
187             return 0.02
188         elif value == 'I':
189             return 0.01
190
191     elif value == 'Para DPS com melhores características de proteção quando comparados
192     definidos para NP I':
193         return 0.001
194
195     def cld(value):
196         if value == 'Linha aérea não blindada com conexão Indefinida':
197             return 1.0
198         elif value == 'Linha enterrada não blindada com conexão Indefinida':
199             return 1.0
200         elif value == 'Linha de energia com neutro multiterrado com nenhuma conexão':
201             return 1.0
202         elif value == 'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem nã
203             barramento':
204             return 1.0
205         elif value == 'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não in
206             return 1.0
207         elif value == 'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem in
208             return 1.0
209         elif value == 'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interl
210             return 1.0
211         elif value == 'Cabo protegido contra descargas atmosféricas com conexão blindagem i
212             :
213             return 0.0
214         elif value == 'Nenhuma linha externa sem conexão':
215             return 0.0
216         elif value == 'Qualquer tipo com conexão de interfaces isolantes':
217             return 0.0
218
219     def cldt(value):
220         if value == 'Linha aérea não blindada com conexão Indefinida':
221             return 1.0
222         elif value == 'Linha enterrada não blindada com conexão Indefinida':
223             return 1.0
224         elif value == 'Linha de energia com neutro multiterrado com nenhuma conexão':
225             return 1.0
226         elif value == 'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem nã
227             barramento':
228             return 1.0
229         elif value == 'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não in
230             return 1.0
231         elif value == 'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem in
232             return 1.0
233         elif value == 'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interl
234             return 1.0
235         elif value == 'Cabo protegido contra descargas atmosféricas com conexão blindagem i
236             :
237             return 0.0
238         elif value == 'Nenhuma linha externa sem conexão':

```

```

227         return 0.0
228     elif value == 'Qualquer tipo com conexão de interfaces isolantes':
229         return 0.0
230
231     def cli(value):
232         if value == 'Linha aérea não blindada com conexão Indefinida':
233             return 1.0
234         elif value == 'Linha enterrada não blindada com conexão Indefinida':
235             return 1.0
236         elif value == 'Linha de energia com neutro multiterrado com nenhuma conexão':
237             return 0.3
238         elif value == 'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem ná
barramento':
239             return 0.1
240         elif value == 'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não in
241             return 0.0
242         elif value == 'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem in
243             return 0.0
244         elif value == 'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interl
245             return 0.0
246         elif value == 'Cabo protegido contra descargas atmosféricas com conexão blindagem i
247     :
248         return 0.0
249     elif value == 'Nenhuma linha externa sem conexão':
250         return 0.0
251     elif value == 'Qualquer tipo com conexão de interfaces isolantes':
252         return 0.0
253
254     def clit(value):
255         if value == 'Linha aérea não blindada com conexão Indefinida':
256             return 1.0
257         elif value == 'Linha enterrada não blindada com conexão Indefinida':
258             return 1.0
259         elif value == 'Linha de energia com neutro multiterrado com nenhuma conexão':
260             return 0.3
261         elif value == 'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem ná
barramento':
262             return 0.1
263         elif value == 'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não in
264             return 0.0
265         elif value == 'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem in
266             return 0.0
267         elif value == 'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interl
268             return 0.0
269         elif value == 'Cabo protegido contra descargas atmosféricas com conexão blindagem i
270     :
271         return 0.0
272     elif value == 'Nenhuma linha externa sem conexão':
273         return 0.0
274     elif value == 'Qualquer tipo com conexão de interfaces isolantes':
275         return 0.0
276
277     def vtsi(value):
278         if value == '1.0 KV':
279             return 1.0
280         elif value == '1.5 KV':
281             return 1.5
282         elif value == '2.5 KV':
283             return 2.5
284         elif value == '4.0 KV':
285             return 4.0
286         elif value == '6.0 KV':
287             return 6.0
288
289     def vtsit(value):
290         if value == '1.0 KV':
291             return 1.0
292         elif value == '1.5 KV':
293             return 1.5
294         elif value == '2.5 KV':
295             return 2.5
296         elif value == '4.0 KV':
297             return 4.0
298         elif value == '6.0 KV':
299             return 6.0
300
301     def ks3(value):
302         if value == 'Cabo não Blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar
303             return 1.0
304         elif value == 'Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evit
305             return 0.2
306         elif value == 'Cabo não blindado - com preocupação no roteamento no sentido de evit
307             return 0.01
308         elif value == 'Cabo não blindado preocupação no roteamento no sentido de evitar laç
309             return 0.0001
310
311     def ptu(value):
312         if value == 'Nenhuma medida de proteção':
313             return 1.0
314         elif value == 'Avisos visíveis de alerta':
315             return 0.1
316         elif value == 'Isolação elétrica':
317             return 0.01
318         elif value == 'Restrições físicas':
319             return 0.0
320
321     def ptut(value):
322         if value == 'Nenhuma medida de proteção':
323             return 1.0
324         elif value == 'Avisos visíveis de alerta':
325             return 0.1
326         elif value == 'Isolação elétrica':
327             return 0.01
328         elif value == 'Restrições físicas':
329             return 0.0
330
331     def peb(value):
332         if value == 'Sem DPS':
333             return 1.0
334         elif value == 'III-IV':
335             return 0.05
336         elif value == 'II':
337             return 0.02
338         elif value == 'I':
339             return 0.01
340         elif value == 'Os valores de Peb reduzidos com os requisitos definidos para NP I':
341             return 0.001
342
343     def pebt(value):
344         if value == 'Sem DPS':
345             return 1.0

```

```

344         elif value == 'III-IV':
345             return 0.05
346         elif value == 'II':
347             return 0.02
348         elif value == 'I':
349             return 0.01
350         elif value == 'Os valores de Peb reduzidos com os requisitos definidos para NP I':
351             return 0.001
352
353     def pld(value):
354         vtsi_value = vtsi(vtsi_combo.get())
355         if value == 'linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligad
356             return 1.0
357         elif value == 'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo
358             Rsb < 20 Ohm/km -':
359             if vtsi_value == 1.0 or vtsi_value == 1.5:
360                 return 1.0
361             if vtsi_value == 2.5:
362                 return 0.98
363             if vtsi_value == 4.0:
364                 return 0.9
365             if vtsi_value == 6.0:
366                 return 0.8
367         elif value == 'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo
368             Rsb < 5 Ohm/km -':
369             if vtsi_value == 1.0:
370                 return 0.9
371             if vtsi_value == 1.5:
372                 return 0.8
373             if vtsi_value == 2.5:
374                 return 0.6
375             if vtsi_value == 4.0:
376                 return 0.3
377             if vtsi_value == 1.5:
378                 return 0.1
379         elif value == 'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo
380             Ohm/km -':
381             if vtsi_value == 1.0:
382                 return 0.6
383             if vtsi_value == 1.5:
384                 return 0.4
385             if vtsi_value == 2.5:
386                 return 0.2
387             if vtsi_value == 4.0:
388                 return 0.04
389             if vtsi_value == 1.5:
390                 return 0.02
391
392     def pldt(value):
393         vtsit_value = vtsit(vtsit_combo.get())
394         if value == 'linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligad
395             return 1.0
396         elif value == 'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo
397             Rsb < 20 Ohm/km -':
398             if vtsit_value == 1.0 or vtsit_value == 1.5:
399                 return 1.0
400             if vtsit_value == 2.5:
401                 return 0.98
402             if vtsit_value == 4.0:
403                 return 0.9
404             if vtsit_value == 6.0:
405                 return 0.8
406         elif value == 'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo
407             Rsb < 5 Ohm/km -':
408             if vtsit_value == 1.0:
409                 return 0.9
410             if vtsit_value == 1.5:
411                 return 0.8
412             if vtsit_value == 2.5:
413                 return 0.6
414             if vtsit_value == 4.0:
415                 return 0.3
416             if vtsit_value == 1.5:
417                 return 0.1
418         elif value == 'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo
419             Ohm/km -':
420             if vtsit_value == 1.0:
421                 return 0.6
422             if vtsit_value == 1.5:
423                 return 0.4
424             if vtsit_value == 2.5:
425                 return 0.2
426             if vtsit_value == 4.0:
427                 return 0.04
428             if vtsit_value == 1.5:
429                 return 0.02
430
431     def plip():
432         vtsi_value = vtsi(vtsi_combo.get())
433         if vtsi_value == 1.0 :
434             return 1.0
435         if vtsi_value == 1.5:
436             return 0.6
437         if vtsi_value == 2.5:
438             return 0.3
439         if vtsi_value == 4.0:
440             return 0.16
441         if vtsi_value == 6.0:
442             return 0.1
443
444     def plit():
445         vtsit_value = vtsit(vtsit_combo.get())
446         if vtsit_value == 1.0 :
447             return 1.0
448         if vtsit_value == 1.5:
449             return 0.5
450         if vtsit_value == 2.5:
451             return 0.2
452         if vtsit_value == 4.0:
453             return 0.08
454         if vtsit_value == 6.0:
455             return 0.04
456
457     def pms():
458         ks1_val = float(ks1_entry.get().replace(',','.'))
459         ks2_val = float(ks2_entry.get().replace(',','.'))
460         ks3_val = ks3(ks3_combo.get())
461         ks4_val = 1/(vtsi(vtsi_combo.get()))
462         pms_val = (ks1_val*ks2_val*ks3_val*ks4_val)**2
463         return pms_val
464

```

```

459 def pm():
460     pm_value = pspd(pspd_combo.get())*pms()
461     return pm_value
462
463 def pa():
464     pa_val = float(pta(pta_combo.get())*pb(pb_combo.get()))
465     #print(pa_val)
466     return pa_val
467
468 def pc():
469     #print(f'valor cld {cld(cld_cli_combo.get())}, valor pspd = {pspd(pspd_combo.get())}
470     pc_value = cld(cld_cli_combo.get())*pspd(pspd_combo.get())
471     return pc_value
472
473 def pu():
474     pu_value = ptu(ptu_combo.get())*peb(peb_combo.get())*pld(pld_combo.get())*cld(cld_c
475     return pu_value
476
477 def put():
478     pu_value = ptut(ptut_combo.get())*pebt(pebt_combo.get())*pldt(pldt_combo.get())*cld
479     return pu_value
480
481 def pv():
482     pv_value = peb(peb_combo.get())*pld(pld_combo.get())*cld(cld_cli_combo.get())
483     return pv_value
484
485 def pvt():
486     pvt_value = pebt(pebt_combo.get())*pldt(pldt_combo.get())*cldt(cld_clit_combo.get())
487     return pvt_value
488
489 def pw():
490     pw_value = pspd(pspd_combo.get())*pld(pld_combo.get())*cld(cld_cli_combo.get())
491     return pw_value
492
493 def pwt():
494     pwt_value = pspdt(pspdt_combo.get())*pldt(pldt_combo.get())*cldt(cld_clit_combo.get
495     return pwt_value
496
497 def pz():
498     cli_val = cli(cld_cli_combo.get())
499     pz_val = pspd(pspd_combo.get())*plip()*cli_val
500     return pz_val
501
502 def pzt():
503     clit_val = clit(cld_clit_combo.get())
504     pzt_val = pspdt(pspdt_combo.get())*plit()*clit_val
505     return pzt_val
506
507 def calculate():
508     ral_val = nd()*pa()*lal()
509     rbl_val = nd()*pb(pb_combo.get())*lbi()
510     rcl_val = nd()*pc()*lcl()
511     rml_val = nm()*pm()*lml()
512     rup_val = (nl()+ndj())*pu()*lu1()
513     rut_val = (nlt()+ndjt())*put()*lu1()
514     ru1_val = rup_val+rut_val
515     rvp_val = (nlt()+ndjt())*pvt()*lv1()
516     rvt_val = (nlt()+ndjt())*pvt()*lv1()
517     rv1_val = rvp_val+rvt_val
518     rwo_val = (nl()+ndi())*pw()*lw1()
519     rwt_val = (nl()+ndj())*pw()*lw1()
520     rw1_val = rwp_val+rwt_val
521     rzp_val = ni()*pz()*lzi()
522     rzt_val = nit()*pzt()*lzi()
523     rz1_val = rzp_val+rzt_val
524     r1_val = ral_val+rbl_val+rcl_val+rml_val+ru1_val+rv1_val+rw1_val+rz1_val
525     if r1_val > 10**5:
526         alert = 'DEVE-SÉ MELHORAR A PROTEÇÃO DA ESTRUTURA'
527     else:
528         alert = 'A ESTRUTURA ESTÁ PROTEGIDA!'
529     if_value = lf_combo.get()
530     if lf_value != 'TV, linhas de sinais (L2)' and if_value != 'Gás, água, energia elét
531     text = f'''
532
533     RESCO DE VIDA
534
535     ND = {nd():.4e} 1/km²ano
536     NL = {nl():.4e} 1/km²ano
537     NM = {nm():.4e} 1/km²ano
538     NI = {ni():.4e} 1/km²ano
539     NDJ = {(ndj():.4e)} 1/km²ano
540
541     PA = {pa():.4e}
542     PB = {pb(pb_combo.get()):.4e}
543     PC = {pc():.4e}
544     PM = {pm():.4e}
545     PU = {pu():.4e}
546     PV = {pv():.4e}
547     PW = {pw():.4e}
548     PZ = {pz():.4e}
549
550     LA = {lal():.4e}
551     LB = {lbi():.4e}
552     LC = {lcl():.4e}
553     LM = {lml():.4e}
554     LU = {lu1():.4e}
555     LV = {lv1():.4e}
556     LW = {lw1():.4e}
557     LZ = {lzi():.4e}
558
559     RA = {ral_val:.4e}
560     RB = {rbl_val:.4e}
561     RC = {rcl_val:.4e}
562     RM = {rml_val:.4e}
563     RU = {ru1_val:.4e}
564     RV = {rv1_val:.4e}
565     RW = {rw1_val:.4e}
566     RZ = {rz1_val:.4e}
567
568     R = {r1_val:.4e}
569
570 {alert}
571
572     text = text.replace('e+00', '').replace('e', ' e')
573
574     text2=f'''
575
576     DADOS DE LINHAS DE SINAIS
577

```

```

578 -----
579 Nlt = {nlt():.4e} 1/km²ano
580 Nit = {nit():.4e} 1/km²ano
581 NDjt = {(ndjt()):.4e} 1/km²ano
582 -----
583 Put = {put():.4e}
584 Pvt = {pvt():.4e}
585 Pwt = {pwt():.4e}
586 Pzt = {pzt():.4e}
587 -----
588 """
589 text2 = text2.replace('e+00', '').replace('e', ' e')
590 else:
591 text = 'SELECIONE CORRETAMENTE (LP) E (LF)'
592 text2 = 'SELECIONE CORRETAMENTE (LP) E (LF)'
593 result_label.config(text=text)
594 result2_label.config(text=text2)
595
596 def calculate2():
597 rb2_val = nd()*pb_combo.get()*lb2()
598 rc2_val = nd()*pc()*lc2()
599 rm2_val = nm()*pm()
600 rv2_val = {n1()+ndj()*}pv()*lv2()
601 rw2_val = {n1()+ndj()*}pw()*lw2()
602 rz2_val = ni()*pz()*lz2()
603 r2_val = rb2_val+rc2_val+rm2_val+rv2_val+rw2_val+rz2_val
604 lf_value = lf_combo.get()
605 if r2_val > 10**-3:
606 alert = 'DEVE-SE MELHORAR A PROTEÇÃO DA ESTRUTURA'
607 else:
608 alert = ' A ESTRUTURA ESTÁ PROTEGIDA!'
609 if lf_value != 'Entretenimento público, igreja, museu (L1)' and lf_value != 'Indust
lf_value != 'Outros (L1)' and lf_value != 'Risco de explosão (L1)' and lf_value != 'Museus,
610 text = f"""
611 -----
612 RISCO DE PATRIMONIO
613 -----
614 ND = {nd():.4e} 1/km²ano
615 NL = {nl():.4e} 1/km²ano
616 NM = {nm():.4e} 1/km²ano
617 NI = {ni():.4e} 1/km²ano
618 NDj = {(ndj()):.4e} 1/km²ano
619 -----
620 PA = {pa():.4e}
621 PB = {pb(pb_combo.get()):.4e}
622 PC = {pc():.4e}
623 PM = {pm():.4e}
624 PU = {pu():.4e}
625 PV = {pv():.4e}
626 PW = {pw():.4e}
627 PZ = {pz():.4e}
628 -----
629 LA = 0.00
630 LB = {lb2():.4e}
631 LC = {lc2():.4e}
632 LM = {lm2():.4e}
633 LU = 0.00
634 LV = {lv2():.4e}
635 LW = {lw2():.4e}
636 LZ = {lz2():.4e}
637 -----
638 RA = 0.00
639 RB = {rb2_val:.4e}
640 RC = {rc2_val:.4e}
641 RM = {rm2_val:.4e}
642 RU = 0.00
643 RV = {rv2_val:.4e}
644 RW = {rw2_val:.4e}
645 RZ = {rz2_val:.4e}
646
647 R = {r2_val:.4e}
648 -----
649 {alert}
650 -----
651 """
652 text2=f"""
653 -----
654 RISCO DE PATRIMONIO
655 -----
656 Nlt = {nlt():.4e} 1/km²ano
657 Nit = {nit():.4e} 1/km²ano
658 NDjt = {(ndjt()):.4e} 1/km²ano
659 -----
660 Put = {put():.4e}
661 Pvt = {pvt():.4e}
662 Pwt = {pwt():.4e}
663 Pzt = {pzt():.4e}
664 -----
665 """
666 text2 = text2.replace('e+00', '').replace('e', ' e')
667 else:
668 text = 'SELECIONE CORRETAMENTE (LP) E (LF)'
669 text2 = 'SELECIONE CORRETAMENTE (LP) E (LF)'
670 result_label.config(text=text)
671 result2_label.config(text=text2)
672
673 def calculate3():
674 rb3_val = nd()*pb_combo.get()*lb3()
675 rv3_val = {n1()+ndj()*}pv()*lv3()
676 r3_val = rb3_val+rv3_val
677 value = lf_combo.get()
678 if r3_val > 10**-4:
679 alert = 'DEVE-SE MELHORAR A PROTEÇÃO DA ESTRUTURA'
680 else:
681 alert = ' A ESTRUTURA ESTÁ PROTEGIDA!'
682 if value != 'Entretenimento público, igreja, museu (L1)' and value != 'Industrial,
!= 'Outros (L1)' and value != 'Risco de explosão (L1)' and value != 'TV, linhas de sinais (
água, energia elétrica (L2)':
683 text = f"""
684 -----
685 RISCO DE CULTURAL
686 -----
687 ND = {nd():.4e} 1/km²ano
688 NL = {nl():.4e} 1/km²ano
689 NM = {nm():.4e} 1/km²ano
690 NI = {ni():.4e} 1/km²ano
691 NDj = {(ndj()):.4e} 1/km²ano
692 -----
693 PA = {pa():.4e}
694 PB = {pb(pb_combo.get()):.4e}

```

```

695         PC = {pc():.4e}
696         PM = {pm():.4e}
697         PU = {pu():.4e}
698         PV = {pv():.4e}
699         PW = {pw():.4e}
700         PZ = {pz():.4e}
701
702         LA = 0.00
703         LB = {lb3():.4e}
704         LC = 0.00
705         LM = 0.00
706         LU = 0.00
707         LV = {lv3():.4e}
708         LW = 0.00
709         LZ = 0.00
710
711         RA = 0.00
712         RB = {rb3_val:.4e}
713         RC = 0.00
714         RM = 0.00
715         RU = 0.00
716         RV = {rv3_val:.4e}
717         RW = 0.00
718         RZ = 0.00
719
720         R = {r3_val:.4e}
721
722 {alert}
723
724 """
725     text = text.replace('e+00', '').replace('e', ' e')
726     text2=f"""
727
728     RISCO DE PATRIMONIO
729
730     Nlt = {nlt():.4e}    1/km²ano
731     Nit = {nit():.4e}    1/km²ano
732     NDjt = {ndjt():.4e}  1/km²ano
733
734     Put = {put():.4e}
735     Pvt = {pvt():.4e}
736     Pwt = {pwt():.4e}
737     Pzt = {pzt():.4e}
738
739     text2 = text2.replace('e+00', '').replace('e', ' e')
740
741     else:
742         text = 'SELECIONE CORRETAMENTE (LP) E (LF)'
743         text2 = 'SELECIONE CORRETAMENTE (LP) E (LF)'
744         result_label.config(text=text)
745         result2_label.config(text=text2)
746
747 ##### FORMULAS #####
748
749 def rt(value):
750     if value == 'Agricultura, concreto':
751         return 10**-2
752     elif value == 'Mármore, cerâmica':
753         return 10**-3
754     elif value == 'Cascalho, tapete, carpete':
755         return 10**-4
756     elif value == 'Asfalto, linóleo, madeira':
757         return 10**-5
758
759 def rp(value):
760     if value == 'Nenhuma providência':
761         return 1.0
762     elif value == 'instalações fixas manuais':
763         return 0.5
764     elif value == 'Instalações fixas automáticas':
765         return 0.2
766
767 def rf(value):
768     if value == 'Explosão - Zonas 0, 20 e explosivos':
769         return 1.0
770     elif value == 'Explosão - Zonas 1, 21':
771         return 10**-1
772     elif value == 'Explosão - Zonas 2, 22':
773         return 10**-3
774     elif value == 'Incêndio - Alto':
775         return 10**-1
776     elif value == 'Incêndio - Normal':
777         return 10**-2
778     elif value == 'Incêndio - Baixo':
779         return 10**-3
780     elif value == 'Nenhum Risco':
781         return 0.0
782
783 def lt(value):
784     if value == 'Todos os tipos de estrutura (L1)':
785         return 10**-2
786     elif value == 'Risco de explosão (L1)':
787         return 10**-1
788     elif value == 'Hospital, hotel, escola, edifício cívico (L1)':
789         return 10**-1
790
791 def lf(value):
792     if value == 'Entretenimento público, igreja, museu (L1)':
793         return 5*10**-2
794     elif value == 'Industrial, comercial (L1)':
795         return 2*10**-2
796     elif value == 'Outros (L1)':
797         return 10**-2
798     elif value == 'Risco de explosão (L1)':
799         return 10**-1
800     elif value == 'Gás, água, energia elétrica (L2)':
801         return 10**-1
802     elif value == 'TV, linhas de sinais (L2)':
803         return 10**-2
804     elif value == 'Museus, galerias (L3)':
805         return 10**-1
806
807 def lo(value):
808     if value == 'Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital (L1)':
809         return 10**-2
810     elif value == 'Outras partes do hospital (L1)':
811         return 10**-3
812     elif value == 'Gás, água, energia elétrica (L2)':
813         return 10**-2
814     elif value == 'TV, linhas de sinais (L2)':
815         return 10**-3

```

```

815         elif value == 'Não há risco de Explosões/hospitais':
816             return 0.0
817
818     def hz(value):
819         if value == 'Sem perigo especial':
820             return 1.0
821         elif value == 'Baixo nível de pânico':
822             return 2.0
823         elif value == 'Nível médio de pânico':
824             return 5.0
825         elif value == 'Dificuldade de evacuação':
826             return 5.0
827         elif value == 'Alto nível de pânico':
828             return 10.0
829
830     def la1():
831         la1_val = rt(rt_combo.get())*lt(lt_combo.get())*(float(nz_entry.get()))*(float(tz_e
832         /(float(nt_entry.get())*(8760))
833         return la1_val
834
835     def lu1():
836         return la1()
837
838     def lb1():
839         lb1_val = rp(rp_combo.get())*rf(rf_combo.get())*hz(hz_combo.get())*lf(lf_combo.get(
840         *float(tz_entry.get()))
841
842         lb1_val = lb1_val/(float(nt_entry.get())*(8760))
843
844         return lb1_val
845
846     def lv1():
847         return lb1()
848
849     def lb2():
850         lb2_val = rp(rp_combo.get())*rf(rf_combo.get())*lf(lf_combo.get())*float(nz_entry.g
851         /(float(nt_entry.get())*(8760))
852         return lb2_val
853
854     def lv2():
855         return lb2()
856
857     def lb3():
858         #print()
859         lb3_val = rp(rp_combo.get())*rf(rf_combo.get())*lf(lf_combo.get())
860         return lb3_val
861
862     def lv3():
863         lv3_val = rp(rp_combo.get())*rf(rf_combo.get())*lf(lf_combo.get())*float()
864         return lv3_val
865
866     def lc1():
867         lc_val = lo(lo_combo.get())*float(nz_entry.get())*float(tz_entry.get())
868         lc_val = lc_val/(float(nt_entry.get())*(8760))
869         return lc_val
870
871     def lm1():
872         return lc1()
873
874     def lr1():
875         return lc1()
876
877     def lc2():
878         lc2_val = lo(lo_combo.get())*float(nz_entry.get())/(float(nt_entry.get()))
879         return lc2_val
880
881     def lm2():
882         return lc2()
883
884     def lw2():
885         return lc2()
886
887     def lz2():
888         return lc2()
889
890     ##### LAYOUT #####
891
892     def on_configure(event):
893         canvas.configure(scrollregion=canvas.bbox("all"))
894
895     root = tk.Tk()
896     root.title("PROGRAMA SPDA - TCC MATHEUS PEREIRA E VITOR PRADO")
897     root.iconbitmap('icon.ico')
898     root.state('zoomed') # Maximiza a janela
899
900     canvas = tk.Canvas(root)
901     canvas.pack(side=tk.LEFT, fill=tk.BOTH, expand=True)
902
903     # Barra de rolagem vertical
904     scrollbar_y = ttk.Scrollbar(root, command=canvas.yview)
905     scrollbar_y.pack(side=tk.RIGHT, fill=tk.Y)
906     canvas.configure(yscrollcommand=scrollbar_y.set)
907
908     # Barra de rolagem horizontal
909     scrollbar_x = ttk.Scrollbar(root, command=canvas.xview, orient=tk.HORIZONTAL)
910     scrollbar_x.pack(side=tk.BOTTOM, fill=tk.X)
911     canvas.configure(xscrollcommand=scrollbar_x.set)
912
913
914
915
916     frame = ttk.Frame(canvas)
917     canvas.create_window((0, 0), window=frame, anchor="nw")
918
919     frame.bind("<Configure>", on_configure)
920
921
922
923
924
925     img = PhotoImage(file='cabecalho.png')
926     image_label = ttk.Label(frame, image=img)
927     image_label.grid(column=0, row=0, padx=2, pady=2, rowspan=6)
928     height_label = ttk.Label(frame, text='altura da estrutura (m): ')
929     height_label.grid(column=1, row=0, padx=2, pady=2, sticky='w')
930     height_entry = ttk.Entry(frame, width= 10)
931     height_entry.insert(0,50)

```

```

932 height_entry.grid(column=1,row=0,padx=2,pady=2)
933
934 width_label = ttk.Label(frame, text='largura da estrutura (m): ')
935 width_label.grid(column=1,row=1,padx=2,pady=2,sticky='w')
936 width_entry = ttk.Entry(frame,width= 10)
937 width_entry.insert(0,150)
938 width_entry.grid(column=1,row=1,padx=2,pady=2)
939
940 length_label = ttk.Label(frame, text='comprimento da estrutura (m): ')
941 length_label.grid(column=1,row=2,padx=2,pady=2,sticky='w')
942 length_entry = ttk.Entry(frame,width= 10)
943 length_entry.insert(0,10)
944 length_entry.grid(column=1,row=2,padx=2,pady=2)
945
946 ng_label = ttk.Label(frame, text='densidade DA para Terra (NG) : ')
947 ng_label.grid(column=1,row=3,padx=2,pady=2,sticky='w')
948 ng_entry = ttk.Entry(frame,width= 10)
949 ng_entry.insert(0,4)
950 ng_entry.grid(column=1,row=3,padx=2,pady=2)
951
952 ll_label = ttk.Label(frame, text='comprimento da linha (m):')
953 ll_label.grid(column=1,row=4,padx=2,pady=2,sticky='w')
954 ll_entry = ttk.Entry(frame,width= 10)
955 ll_entry.insert(0,500)
956 ll_entry.grid(column=1,row=4,padx=2,pady=2)
957
958 adj_label = ttk.Label(frame, text='Valor de ADJ (Se houver estrutura adjacente):')
959 adj_label.grid(column=1,row=5,padx=2,pady=2,sticky='w')
960 adj_entry = ttk.Entry(frame,width= 10)
961 adj_entry.insert(0,1)
962 adj_entry.grid(column=1,row=5,padx=2,pady=2)
963
964 cdj_label = ttk.Label(frame, text='Valor de CDJ (Se houver estrutura adjacente):')
965 cdj_label.grid(column=1,row=6,padx=2,pady=2,sticky='w')
966 cdj_entry = ttk.Entry(frame,width= 10)
967 cdj_entry.insert(0,1)
968 cdj_entry.grid(column=1,row=6,padx=2,pady=2)
969
970 #Tipo de estrutura
971 ad_label = ttk.Label(frame, text='Escolha o Tipo de Estrutura (AD):')
972 ad_label.grid(column=1,row=0,padx=2,pady=2,sticky='e')
973 ad_combo = ttk.Combobox(frame, width= 50,values=['plana', 'complexa'])
974 ad_combo.current(0)
975 ad_combo.grid(column= 2,row = 0,padx=2,pady=2,columnspan=2)
976
977 #CD
978 cd_label = ttk.Label(frame, text='Selecione o fator de localização (CD):')
979 cd_label.grid(column=1,row=1,padx=2,pady=2,sticky='e')
980 cd_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
981     'estrutura cercada por objetos mais altos',
982     'estrutura cercada por objetos da mesma altura ou
983     'estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinha
984     'estrutura isolada no topo de uma colina ou monte']
985
986 cd_combo.current(2)
987 cd_combo.grid(column=2,row=1,padx=2,pady=2,columnspan=2)
988
989 #CI
990 ci_label = ttk.Label(frame, text='Fator Instalação (CI):')
991 ci_label.grid(column=1,row=2,padx=2,pady=2,sticky='e')
992 ci_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
993     'Aéreo',
994     'Enterrado',
995     'Cabos enterrados instalados dentro de uma malha de
996
997 ci_combo.current(1)
998 ci_combo.grid(column=2,row=2,padx=2,pady=2,columnspan=2)
999
1000 #CE
1001 ce_label = ttk.Label(frame, text='Fator Ambiental (CE):')
1002 ce_label.grid(column=1,row=3,padx=2,pady=2,sticky='e')
1003 ce_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1004     'Rural',
1005     'Suburbano',
1006     'Urbano',
1007     'Urbano com edifícios mais altos que 20 m'],width=
1008
1009 ce_combo.current(1)
1010 ce_combo.grid(column=2,row=3,padx=2,pady=2,columnspan=2)
1011
1012 #CT
1013 ct_label = ttk.Label(frame,text='Fator Tipo de Linha (CT):')
1014 ct_label.grid(column=1,row=4,padx=2,pady=2,sticky='e')
1015 ct_combo = ttk.Combobox(frame,values=[
1016     'Linha de energia ou sinal',
1017     'Linhas de energia em AT (com transformador AT/BT)'
1018
1019 ct_combo.current(1)
1020 ct_combo.grid(column=2,row=4,padx=2,pady=2,columnspan=2)
1021
1022 #ADJ
1023 adjacente_label = ttk.Label(frame,text='Contém estrutura adjacente?')
1024 adjacente_label.grid(column=1,row=5,padx=2,pady=2,sticky='e')
1025 adjacente_combo = ttk.Combobox(frame,values=[
1026     'Não',
1027     'Sim'],width=50)
1028
1029 adjacente_combo.current(0)
1030 adjacente_combo.grid(column=2,row=5,padx=2,pady=2,columnspan=2)
1031
1032 #Calculo de Danos
1033 danos_label = ttk.Label(frame,text= '----- Calculo de Danos -----')
1034 danos_label.grid(column=0, row=7, padx=5, pady=5,columnspan=2,sticky='w')
1035
1036 pta_label = ttk.Label(frame, text='Medidas de proteção adicional (PTA):')
1037 pta_label.grid(column=0, row=8, padx=2, pady=2)
1038 pta_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1039     'nenhuma medida de proteção',
1040     'avisos de alerta',
1041     'isolação elétrica',
1042     'equipotencialização efetiva do solo',
1043     'Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida']
1044
1045 pta_combo.current(0)
1046 pta_combo.grid(column=1, row=8, padx=2, pady=2,sticky='e')
1047
1048 #PB
1049 pb_label = ttk.Label(frame, text='Nível de Proteção contra DA (PB):')
1050 pb_label.grid(column=0, row=9, padx=2, pady=2)
1051 pb_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1052     'Estrutura não protegida ',
1053     'Estrutura protegida por SPDA Classe IV ',
1054     'Estrutura protegida por SPDA Classe III ',
1055     'Estrutura protegida por SPDA Classe II ',
1056     'Estrutura protegida por SPDA Classe I ',
1057     'Estrutura metálica contínua ou de concreto armado com um subsistema de captação c
1058     'Estrutura metálica contínua ou de concreto armado com corbetura metálica e com um
1059 ], width=115)
1060
1061 pb_combo.current(0)
1062 pb_combo.grid(column=1, row=9, padx=2, pady=2,sticky='e')
1063
1064 #pspd
1065 pspd_label = ttk.Label(frame, text='Sistema Coordenado de DPS energia (PSPD):')
1066 pspd_label.grid(column=0, row=10, padx=2, pady=2)
1067 pspd_combo = ttk.Combobox(frame, values=[

```

```

1050         'nenhum sistema de DPS coordenado',
1051         'III-IV',
1052         'II',
1053         'I',
1054         'Para DPS com melhores características de proteção quando comparados com os requisitos', width=115)
1055     pspd_combo.current(0)
1056     pspd_combo.grid(column=1, row=10, padx=2, pady=2, sticky='e')
1057     #cld
1058     cld_cli_label = ttk.Label(frame, text='Fator de Blindagem da Linha (CLI\CLD):')
1059     cld_cli_label.grid(column=0, row=11, padx=2, pady=2)
1060     cld_cli_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1061         'Linha aérea não blindada com conexão indefinida',
1062         'Linha enterrada não blindada com conexão indefinida',
1063         'Linha de energia com neutro multiaterrado com nenhuma conexão',
1064         'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não interligada',
1065         'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não interligada ao b',
1066         'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interligada ao b',
1067         'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interligada ao barra',
1068         'Cabo protegido contra descargas atmosféricas com conexão blindagem interligada ao',
1069         'Nenhuma linha externa sem conexão',
1070         'Qualquer tipo com conexão de interfaces isolantes'], width=115)
1071     cld_cli_combo.current(0)
1072     cld_cli_combo.grid(column=1, row=11, padx=2, pady=2, sticky='e')
1073     #VSTI
1074     vtsi_label = ttk.Label(frame, text='escolha a Tensão suportável da linha de sinal (Uw):')
1075     vtsi_label.grid(column=0, row=12, padx=2, pady=2)
1076     vtsi_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1077         '1.0 KV',
1078         '1.5 KV',
1079         '2.5 KV',
1080         '4.0 KV',
1081         '6.0 KV'], width=115)
1082     vtsi_combo.current(2)
1083     vtsi_combo.grid(column=1, row=12, padx=2, pady=2, sticky='e')
1084     #ks1
1085     ks1_label = ttk.Label(frame, text='Eficiênc da Estrutura (KS1):')
1086     ks1_label.grid(column=1, row=13, padx=2, pady=2, sticky='w')
1087     ks1_entry = ttk.Entry(frame)
1088     ks1_entry.insert(0,1)
1089     ks1_entry.grid(column=1, row=13, padx=2, pady=2, sticky='e')
1090     #ks2
1091     ks2_label = ttk.Label(frame, text='Eficiência da Blindagem Por malha de blindagem intern')
1092     ks2_label.grid(column=0, row=13, padx=2, pady=2, sticky='e')
1093     ks2_entry = ttk.Entry(frame)
1094     ks2_entry.insert(0,1)
1095     ks2_entry.grid(column=1, row=13, padx=2, pady=2, sticky='w')
1096     #KS3
1097     ks3_label = ttk.Label(frame, text='Tipo de Fiação interna de Energia (KS3):')
1098     ks3_label.grid(column=0, row=14, padx=2, pady=2)
1099     ks3_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1100         'Cabo não Blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços',
1101         'Cabo não blindado - com preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes lac',
1102         'Cabo não blindado preocupação no roteamento no sentido de evitar laços',
1103         'Cabo blindado e cabos instalados em eletrodutos metálicos'], width=115)
1104     ks3_combo.current(0)
1105     ks3_combo.grid(column=1, row=14, padx=2, pady=2, sticky='e')
1106     #PTU
1107     ptu_label = ttk.Label(frame, text='Alertas e isolações (PTU):')
1108     ptu_label.grid(column=0, row=15, padx=2, pady=2)
1109     ptu_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1110         'Nenhuma medida de proteção',
1111         'Avisos visíveis de alerta',
1112         'Isolação elétrica',
1113         'Restrições físicas'], width=115)
1114     ptu_combo.current(0)
1115     ptu_combo.grid(column=1, row=15, padx=2, pady=2, sticky='e')
1116     #PEB
1117     peb_label = ttk.Label(frame, text='Nível de Proteção (PEB):')
1118     peb_label.grid(column=0, row=16, padx=2, pady=2)
1119     peb_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1120         'Sem DPS',
1121         'III-IV',
1122         'II',
1123         'I',
1124         'Os valores de PEB reduzidos com os requisitos definidos para NP I'], width=115)
1125     peb_combo.current(0)
1126     peb_combo.grid(column=1, row=16, padx=2, pady=2, sticky='e')
1127     #pld
1128     pld_label = ttk.Label(frame, text='Tensão suportável do circuito sinal interno (PLD):')
1129     pld_label.grid(column=0, row=17, padx=2, pady=2)
1130     pld_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1131         'Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo b',
1132         'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento -',
1133         'Ohm/km -',
1134         'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento -',
1135         'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento -', width=115)
1136     pld_combo.current(3)
1137     pld_combo.grid(column=1, row=17, padx=2, pady=2, sticky='e')
1138     #Calculo de perdas
1139     perdas_label = ttk.Label(frame, text='----- Calculo de Perdas -----')
1140     perdas_label.grid(column=0, row=19, padx=5, pady=5, columnspan=4, sticky='w')
1141     #RT
1142     rt_label = ttk.Label(frame, text='Fator redução perda de vida humana devido ao solo (rt)')
1143     rt_label.grid(column=0, row=20, padx=2, pady=2)
1144     rt_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1145         'Agricultura, concreto',
1146         'Mármore, cerâmica',
1147         'Casalho, tapete, carpete',
1148         'Asfalto, linóleo, madeira'], width=115)
1149     rt_combo.current(2)
1150     rt_combo.grid(column=1, row=20, padx=2, pady=2, sticky='e')
1151     #RP
1152     rp_label = ttk.Label(frame, text='Fator redução perda por danos físicos dependendo de pr')
1153     rp_label.grid(column=0, row=21, padx=2, pady=2)
1154     rp_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1155         'Nenhuma providência',
1156         'Instalações fixas manuais',
1157         'Instalações fixas automáticas'], width=115)
1158     rp_combo.current(0)
1159     rp_combo.grid(column=1, row=21, padx=2, pady=2, sticky='e')
1160     #RF
1161     rf_label = ttk.Label(frame, text='Fator redução perda por danos físicos devido ao risco')
1162     rf_label.grid(column=0, row=22, padx=2, pady=2, sticky='e')
1163

```

```

1164 rf_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1165     'Explosão - Zonas 0, 20 e explosivos',
1166     'Explosão - Zonas 1, 21',
1167     'Explosão - Zonas 2, 22',
1168     'Incêndio - Alto',
1169     'Incêndio - Normal',
1170     'Incêndio - Baixo',
1171     'Nenhum Risco'], width=115)
1172 rf_combo.current(3)
1173 rf_combo.grid(column=1, row=22, padx=2, pady=2, sticky='e')
1174
1175 #LT
1176 lt_label = ttk.Label(frame, text='Valor de perda por ferimentos típico da estrutura (LT)')
1177 lt_label.grid(column=0, row=23, padx=2, pady=2)
1178 lt_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1179     'Todos os tipos de estrutura (L1)',
1180     'Risco de explosão (L1)',
1181     'Hospital, hotel, escola, edifício cívico (L1)'
1182 ])
1183 lt_combo.current(0)
1184 lt_combo.grid(column=1, row=23, padx=2, pady=2, sticky='e')
1185
1186 #LF
1187 lf_label = ttk.Label(frame, text='Valor de perda por danos físicos típico da estrutura (LF)')
1188 lf_label.grid(column=0, row=24, padx=2, pady=2)
1189 lf_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1190     'Entretenimento público, igreja, museu (L1)',
1191     'Industrial, comercial (L1)',
1192     'Outros (L1)',
1193     'Risco de explosão (L1)',
1194     'Gás, água, energia elétrica (L2)',
1195     'TV, linhas de sinais (L2)',
1196     'Museus, galerias (L3)'], width=115)
1197 lf_combo.current(1)
1198 lf_combo.grid(column=1, row=24, padx=2, pady=2, sticky='e')
1199
1200 #Lo
1201 lo_label = ttk.Label(frame, text='Fator redução de perda por falhas de sistemas interno')
1202 lo_label.grid(column=0, row=25, padx=2, pady=2)
1203 lo_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1204     'Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico',
1205     'Outras partes do hospital (L1)',
1206     'Gás, água, energia elétrica (L2)',
1207     'TV, linhas de sinais (L2)',
1208     'Não há risco de Explosões/hospitais'], width=115)
1209 lo_combo.current(1)
1210 lo_combo.grid(column=1, row=25, padx=2, pady=2, sticky='e')
1211
1212 #hz
1213 hz_label = ttk.Label(frame, text='Fator aumento de perda por perigos especiais (Hz)')
1214 hz_label.grid(column=0, row=26, padx=2, pady=2)
1215 hz_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1216     'Sem perigo especial',
1217     'Baixo nível de pânico',
1218     'Nível médio de pânico',
1219     'Dificuldade de evacuação',
1220     'Alto nível de pânico'], width=115)
1221 hz_combo.current(0)
1222 hz_combo.grid(column=1, row=26, padx=2, pady=2, sticky='e')
1223
1224 nz_label = ttk.Label(frame, text='Número de pessoas na zona:')
1225 nz_label.grid(column=1, row=27, padx=2, pady=2, sticky='w')
1226 nz_entry = ttk.Entry(frame)
1227 nz_entry.insert(0, 1)
1228 nz_entry.grid(column=1, row=27, padx=2, pady=2, sticky='e')
1229
1230 nt_label = ttk.Label(frame, text='Número de pessoas na Estrutura:')
1231 nt_label.grid(column=1, row=28, padx=2, pady=2, sticky='w')
1232 nt_entry = ttk.Entry(frame)
1233 nt_entry.insert(0, 1)
1234 nt_entry.grid(column=1, row=28, padx=2, pady=2, sticky='e')
1235
1236 tz_label = ttk.Label(frame, text='Tempo de permanência das pessoas na zona em horas por')
1237 tz_label.grid(column=0, row=29, padx=5, pady=5, sticky='e')
1238 tz_entry = ttk.Entry(frame)
1239 tz_entry.insert(0, 1)
1240 tz_entry.grid(column=1, row=29, padx=5, pady=5, sticky='w')
1241
1242
1243
1244 #####
1245 sinal_label = ttk.Label(frame, text='Calculo de Linha de Sinais')
1246 sinal_label.grid(column=0, row=30, padx=5, pady=5, colspan=4, sticky='w')
1247
1248 #pspdt
1249 pspdt_label = ttk.Label(frame, text='Sistema Coordenado de DPS energia (PSPDT):')
1250 pspdt_label.grid(column=0, row=31, padx=2, pady=2)
1251 pspdt_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1252     'nenhum sistema de DPS coordenado',
1253     'III-IV',
1254     'II',
1255     'I',
1256     'Para DPS com melhores características de proteção quando comparados com os requisitos', width=115)
1257 pspdt_combo.current(0)
1258 pspdt_combo.grid(column=1, row=31, padx=2, pady=2, sticky='e')
1259
1260 #cld
1261 cld_clit_label = ttk.Label(frame, text='Fator de Blindagem da Linha (CLICLDt):')
1262 cld_clit_label.grid(column=0, row=32, padx=2, pady=2)
1263 cld_clit_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1264     'Linha aérea não blindada com conexão indefinida',
1265     'Linha enterrada não blindada com conexão indefinida',
1266     'Linha de energia com neutro multiterrestro com nenhuma conexão',
1267     'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não interligada',
1268     'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem não interligada ao b',
1269     'Linha enterrada blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interligada ao b',
1270     'Linha aérea blindada (energia ou sinal) com conexão blindagem interligada ao barra',
1271     'Cabo protegido contra descargas atmosféricas com conexão blindagem interligada ao',
1272     'Nenhuma linha externa sem conexão',
1273     'Qualquer tipo com conexão de interfaces isolantes'], width=115)
1274 cld_clit_combo.current(0)
1275 cld_clit_combo.grid(column=1, row=32, padx=2, pady=2, sticky='e')
1276
1277 #pldt
1278 pldt_label = ttk.Label(frame, text='Tensão suportável do circuito sinal interno (PLDt):')

```

```

1278 pldt_label.grid(column=0, row=31, padx=2, pady=2)
1279 pldt_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1280     'Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com blindagem não interligada ao mesmo b
1281     'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento -
1282     'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento -
1283     'Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento -
1284     width=115])
1285 pldt_combo.current(0)
1286 pldt_combo.grid(column=1, row=31, padx=2, pady=2, sticky='e')
1287
1288 #KS3
1289 ks3t_label = ttk.Label(frame, text='Tipo de Fiação interna de Energia (KS3t):')
1290 ks3t_label.grid(column=0, row=32, padx=2, pady=2)
1291 ks3t_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1292     'Cabo não Blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços',
1293     'Cabo não blindado - com preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laç
1294     'Cabo não blindado preocupação no roteamento no sentido de evitar laços',
1295     'Cabo blindado e cabos instalados em eletrodutos metálicos'], width=115)
1296 ks3t_combo.current(0)
1297 ks3t_combo.grid(column=1, row=32, padx=2, pady=2, sticky='e')
1298
1299 #PEBT
1300 pebt_label = ttk.Label(frame, text='Nível de Proteção (PEBT):')
1301 pebt_label.grid(column=0, row=33, padx=2, pady=2)
1302 pebt_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1303     'Sem DPS',
1304     'III-IV',
1305     'II',
1306     'I',
1307     'Os valores de Peb reduzidos com os requisitos definidos para NP I'], width=30)
1308 pebt_combo.current(0)
1309 pebt_combo.grid(column=1, row=33, padx=2, pady=2, sticky='w')
1310 #CIt
1311 cit_label = ttk.Label(frame, text='Fator Instalação (CIt):')
1312 cit_label.grid(column=0, row=33, padx=2, pady=2)
1313 cit_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1314     'Aéreo',
1315     'Enterrado',
1316     'Cabos enterrados instalados dentro de uma malha de
1317     cit_combo.current(1)
1318 cit_combo.grid(column=1, row=33, padx=2, pady=2, sticky='e')
1319 #VSI
1320 vtsit_label = ttk.Label(frame, text='escolha a Tensão suportável da linha de sinal (Uvt
1321 vtsit_label.grid(column=0, row=34, padx=2, pady=2)
1322 vtsit_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1323     '1.0 KV',
1324     '1.5 KV',
1325     '2.5 KV',
1326     '4.0 KV',
1327     '6.0 KV'], width=30)
1328 vtsit_combo.current(2)
1329 vtsit_combo.grid(column=1, row=34, padx=2, pady=2, sticky='w')
1330 #PTUT
1331 ptut_label = ttk.Label(frame, text='Alertas e isolações (PTUT):')
1332 ptut_label.grid(column=0, row=34, padx=2, pady=2)
1333 ptut_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1334     'Nenhuma medida de proteção',
1335     'Avisos visíveis de alerta',
1336     'Isolação elétrica',
1337     'Restrições físicas'], width=48)
1338 ptut_combo.current(0)
1339 ptut_combo.grid(column=1, row=34, padx=2, pady=2, sticky='e')
1340 #CE
1341 cet_label = ttk.Label(frame, text='Fator Ambiental (CEt):')
1342 cet_label.grid(column=0, row=35, padx=2, pady=2)
1343 cet_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1344     'Rural',
1345     'Suburbano',
1346     'Urbano',
1347     'Urbano com edifícios mais altos que 20 m'], width=50)
1348 cet_combo.current(1)
1349 cet_combo.grid(column=1, row=35, padx=2, pady=2, columnspan=2)
1350 #CT
1351 ctt_label = ttk.Label(frame, text='Fator Tipo de Linha (CTt):')
1352 ctt_label.grid(column=0, row=35, padx=2, pady=2)
1353 ctt_combo = ttk.Combobox(frame, values=[
1354     'Linha de energia ou sinal',
1355     'Linhas de energia em AT (com transformador AT/BT)']
1356 ctt_combo.current(0)
1357 ctt_combo.grid(column=1, row=35, padx=2, pady=2, columnspan=2)
1358 #ADJT
1359 adjt_label = ttk.Label(frame, text='Valor de ADJT (Se houver estrutura adjacente):')
1360 adjt_label.grid(column=0, row=35, padx=2, pady=2)
1361 adjt_entry = ttk.Entry(frame, width=40)
1362 adjt_entry.insert(0,1)
1363 adjt_entry.grid(column=1, row=35, padx=2, pady=2, sticky='w')
1364 #CDJT
1365 cdjt_label = ttk.Label(frame, text='Valor de CDJT (Se houver estrutura adjacente):')
1366 cdjt_label.grid(column=0, row=35, padx=2, pady=2)
1367 cdjt_entry = ttk.Entry(frame, width=40)
1368 cdjt_entry.insert(0,1)
1369 cdjt_entry.grid(column=1, row=35, padx=2, pady=2, sticky='e')
1370 #lIt
1371 llt_label = ttk.Label(frame, text='comprimento da linha de sinal(m):')
1372 llt_label.grid(column=0, row=35, padx=2, pady=2, sticky='w')
1373 llt_entry = ttk.Entry(frame, width=10)
1374 llt_entry.insert(0,1)
1375 llt_entry.grid(column=1, row=35, padx=2, pady=2, sticky='e')
1376 #####
1377 #CALCULO DE R1
1378 button = ttk.Button(frame, text="Risco 1", command=calculate)
1379 button.grid(column=2, row=8, sticky='w', columnspan=2)
1380 #CALCULO DE R2
1381 button2 = ttk.Button(frame, text="Risco 2", command=calculate2)
1382 button2.grid(column=2, row=8, columnspan=2)
1383 #CALCULO DE R3
1384 button3 = ttk.Button(frame, text="Risco 3", command=calculate3)
1385 button3.grid(column=2, row=8, sticky='e', columnspan=2)
1386 #CA
1387 result_label = ttk.Label(frame, text="")
1388 result_label.grid(column=2, row=9, rowspan=22, columnspan=1) # Posiciona o label para n
1389 result2_label = ttk.Label(frame, text="")
1390 result2_label.grid(column=5, row=9, rowspan=7, columnspan=1) # Posiciona o label para n
1391 borda_superior = Frame(frame, height=2, bg='black')
1392 borda_inferior = Frame(frame, height=2, bg='black')
1393 borda_esquerda = Frame(frame, width=2, bg='black')
1394 borda_esquerda.grid(row=7, column=2, rowspan=24, sticky='nsw')

```

```

1396     borda_direita = Frame(frame, width=2, bg='black')
1397     borda_direita.grid(row=7, column=4, rowspan=24, sticky='nse')
1398     borda_superiort = Frame(frame, height=2, bg='black')
1399     borda_superiort.grid(row=9, column=4, columnspan=3, sticky='ewn')
1400     borda_inferiort = Frame(frame, height=2, bg='black')
1401     borda_inferiort.grid(row=16, column=4, columnspan=3, sticky='ews')
1402     borda_direitat = Frame(frame, width=2, bg='black')
1403     borda_direitat.grid(row=9, column=6, rowspan=8, sticky='nse')
1404     root.mainloop()
1405
1406
1407 if __name__ == '__main__':
1408     main_window()

```

ANEXO A

NBR-5419:2015

SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas)

Projeto: JUIZADO DE FEIRA DE SANTANA

1) Densidade e descargas atmosféricas para a terra [Ng]

$Ng = 1,27$ [Descargas / km^2 /ano]
 Fonte = Mapa - Brasil

2) Geometria da Estrutura

Comprimento [L] = 53.34 m
 Largura [W] = 46.97 m
 Altura [H] = 7.5 m

3) Ad - Área de exposição equivalente [em m^2]

$Ad = L + W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 * H)^2$
 $Ad = 53.34 + 46.97 + 2 * (3 * 7.5) * (53.34 + 46.97) + 3.14159 * (3 * 7.5)^2$
 $Ad = 8609.76 m^2$

4) Fatores de Ponderação

4.1) Fator de Localização da Estrutura PRINCIPAL - Cd (Tabela A.1)

Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos
 $Cd = 0.5$

4.2) Comprimento da Linha de Energia

$L1 = 1000$ [m]

4.3) Fator de Instalação da Linha ENERGIA - Ci (Tabela A.2)

Aéreo
 $Ci = 1.0$

4.4) Fator do Tipo de Linha ENERGIA - Ct (Tabela A.3)

Linha de Energia ou Sinal
 $Ct = 1.0$

4.5) Fator Ambiental da Linha ENERGIA - Ce (Tabela A.4)

Urbano
 $Ce = 0.1$

4.6) Comprimento da Linha de Sinal

$L1t = 1000$ [m]

4.7) Fator de Instalação da Linha SINAL - Cit (Tabela A.2)

Aéreo

$C_{it} = 1.0$

4.8) Fator do Tipo de Linha SINAL - C_{tt} (Tabela A.3)

Linha de Energia ou Sinal
 $C_{tt} = 1.0$

4.9) Fator Ambiental da Linha SINAL - C_{et} (Tabela A.4)

Urbano
 $C_{et} = 0.1$

4.10) N_d - Número de Eventos Perigosos para a Estrutura [por ano]

$N_d = N_g * A_d * C_d * 10^{-6}$
 $N_d = 0.00547$

4.11) N_m - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura [por ano]

$N_m = N_g * A_m * 10^{-6}$
 $A_m = 2 * 500 * (L + W) + P_i * 500^2$
 $A_m = 885708.16$
 $N_m = 1.12485$

4.12) N_l - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha de Energia [por ano]

$N_l = N_g * A_l * C_i * C_e * C_t * 10^{-6}$
 $A_l = 40 * L_l$
 $A_l = 40000$
 $N_l = 0.00508$

4.13) N_i - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha de Energia [por ano]

$N_i = N_g * A_i * C_i * C_e * C_t * 10^{-6}$
 $A_i = 4000 * L_l$
 $A_i = 4000000$
 $N_i = 0.508$

4.14) N_{lt} - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas na linha SINAL [por ano]

$N_{lt} = N_g * A_l * C_{it} * C_{et} * C_{tt} * 10^{-6}$
 $A_{lt} = 40 * L_{lt}$
 $A_{lt} = 40000$
 $N_{lt} = 0.00508$

4.15) N_{it} - Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas atmosféricas perto da linha SINAL [por ano]

$N_{it} = N_g * A_{it} * C_{it} * C_{et} * C_{tt} * 10^{-6}$
 $A_{it} = 4000 * L_{it}$
 $A_{it} = 4000000$
 $N_{it} = 0.508$

4.16) Proteção da Estrutura - P_b (Tabela B.2)

Estrutura não protegida por SPDA
 $P_b = 1$

4.17) Tipo de linha externa Energia - Cld e Cli (Tabela B.4)

Linha aérea não blindada
 $Cld = 1$
 $Cli = 1$

4.18) Tipo de linha externa SINAL - Cldt e Clit (Tabela B.4)

Linha aérea não blindada
 $Cldt = 1$
 $Clit = 1$

4.19) Ks1

Ks1: leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1;
 Dentro de uma ZPR, em uma distância de segurança do limite da malha no mínimo igual à largura da malha W_m ,
 fatores $Ks1$ e $Ks2$ para SPDA ou blindagem tipo malha espacial podem ser avaliado como: $Ks1 = 0,12 \times W_m1$
 $Ks1 = 1$

4.20) Uw Energia

Uw: é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).
 $U_w = 2.5$

4.21) Ks4 Energia

Ks4: leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido. $Ks4 = 1 / U_w$
 $Ks4 = 0.4$

4.22) Uwt Sinal

$U_{wt} = 1.5$

4.23) Ks4t Sinal

$Ks4t = 0.67$

4.24) Nível de Proteção NP - Peb (Tabela B.7)

DPS Classe I
 $P_{eb} = 0.01$

4.25) Roteamento, blindagem e interligação ENERGIA - Pld (Tabela B.8)

Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento ($U_w=2.5$)
 $Pld = 1$

4.26) Roteamento, blindagem e interligação SINAL - Pldt (Tabela B.8)

Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo

barramento de equipotencialização do equipamento (Uw=1.5)
 $P_{ldt} = 1$

4.27) Pv - Probabilidade de Descarga na linha de Energia Causar danos físicos

$P_v = P_{eb} * P_{ld} * C_{ld}$
 $P_v = 0.01$

4.28) Pvt - Probabilidade de Descarga na linha de Sinal Causar danos físicos

$P_{vt} = P_{eb} * P_{ldt} * C_{ldt}$
 $P_{vt} = 0.01$

5) Zonas da Edificação

5.1) Zona: Z1 (entrada área fora da edificação)

5.1.1) Número de pessoas na Zona

$n_z = 357$

5.1.2) Número total de pessoas na Estrutura

$n_t = 225$

5.1.3) Tempo de presença das pessoas na Zona (h/ano)

$t_z = 8760$

5.1.4) Tempo de presença das pessoas em locais perigosos fora da estrutura (h/ano)

$t_e = 0$

5.1.5) L1 - Perda de vida humana incluindo ferimento permanente

Considerar

5.1.6) L2 - Perda inaceitável de serviço ao público

Desprezar

5.1.7) L3 - Perda inaceitável de patrimônio cultural

Desprezar

5.1.8) L4 - Perda econômica

Desprezar

5.1.9) Risco de Explosão / Hospitais

Não

5.1.10) Medidas de Proteção (descargas na linha) - Ptu (Tabela B.6)

Nenhuma medida de proteção
 $P_{tu} = 1$

5.1.11) K_{s2}

$K_{s2} = 1$

5.1.12) Nível de Proteção NP ENERGIA - P_{spd} (Tabela B.3)

DPS Classe I
 $P_{spd} = 0.01$

5.1.13) Fiação Interna ENERGIA - K_{s3} (Tabela B.5)

Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços
 Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios
 (área do laço da ordem de 50 m²)
 $K_{s3} = 1$

5.1.14) Nível de Proteção NP SINAL - P_{spdt} (Tabela B.3)

Nenhuma sistema de DPS coordenado
 $P_{spdt} = 1$

5.1.15) Fiação Interna SINAL - K_{s3t} (Tabela B.5)

Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços
 Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios
 (área do laço da ordem de 50 m²)
 $K_{s3t} = 1$

5.1.16) P_c - Probabilidade de Descarga na Estrutura causar Danos em sistemas internos

$P_c = P_{spd} * C_{ld}$
 $P_c = 0.01$

5.1.17) P_{ct} - Probabilidade de Descarga na Estrutura causar Danos em sistemas internos SINAL

$P_{ct} = P_{spdt} * C_{ldt}$
 $P_{ct} = 1$

5.1.18) P_{ms}

$P_{ms} = (K_{s1} * K_{s2} * K_{s3} * K_{s4})^2$
 $P_{ms} = 0.16$

5.1.19) P_{mst}

$P_{mst} = (K_{s1} * K_{s2} * K_{s3t} * K_{s4t})^2$
 $P_{mst} = 0.4489$

5.1.20) P_m - Probabilidade de Descarga perto da Estrutura causar Danos em sistemas internos

$P_m = P_{spd} * P_{ms}$
 $P_m = 0.0016$

5.1.21) P_{mt} - Probabilidade de Descarga perto da Estrutura causar Danos em sistemas

internos SINAL

```
Pmt = Pspdt * Pmst
Pm = 0.4489
```

5.1.22) Pu - Probabilidade de Descarga na linha causar ferimentos a seres vivos por choque

```
Pu = Ptu * Peb * Pld * Cld
Pu = 0.01
```

5.1.23) Put - Probabilidade de Descarga na linha causar ferimentos a seres vivos por choque SINAL

```
Put = Ptu * Peb * Pldt * Cldt
Put = 0.01
```

5.1.24) Pw - Probabilidade de Descarga na linha Causar falha de sistemas internos

```
Pw = Pspd * Pld * Cld
Pw = 0.01
```

5.1.25) Pwt - Probabilidade de Descarga na linha Causar falha de sistemas internos SINAL

```
Pwt = Pspdt * Pldt * Cldt
Pwt = 1
```

5.1.26) Pli

```
Pli para Uw = 2.5 kV
Pli = 0.3
```

5.1.27) Plit

```
Plit para Uwt = 1.5 kV
Plit = 0.5
```

5.1.28) Pz - Probabilidade de Descarga perto da linha Causar falha de sistemas internos

```
Pz = Pspd * Pli * Cli
Pz = 0.003
```

5.1.29) Pzt - Probabilidade de Descarga perto da linha Causar falha de sistemas internos SINAL

```
Pzt = Pspdt * Plit * Clit
Pzt = 0.5
```

5.1.30) Medidas de Proteção (descargas na estrutura) - Pta (Tabela B.1)

```
Nenhuma medida de Proteção
Pta = 1
```

5.1.31) Tipo de superfície do solo ou piso - Fator de redução rt (Tabela C.3)

```
Agricultura, concreto (Resistência de contato <= 1 ohm)
rt = 0.01
```

5.1.32) Providências para reduzir consequências de incêndio - Fator de redução rp (Tabela

C.4)

Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente,
instalações de alarme manuais, hidrantes. compartimentos à prova de fogo,
rotas de escape
 $r_p = 0.5$

5.1.33) Risco de incêndio ou explosão na estrutura - Fator de redução r_f (Tabela C.5)

Incêndio: Risco Normal
 $r_f = 0.01$

5.1.34) Perigo Especial - Fator h_z (Tabela C.6)

Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)
 $h_z = 2$

5.1.35) P_a - Probabilidade de Descarga na estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque

$P_a = P_{ta} * P_b$
 $P_a = 1$

5.1.36) L_1 - Perda de vida humana incluindo ferimento permanente**5.1.36.1) L_t**

$L_t = 0.01$

5.1.36.2) D_2 - Danos Fisicos - L_f (Tabela C.2)

Outros
 $L_f = 0.01$

5.1.36.3) D_3 - Falhas de sistemas internos - L_o (Tabela C.2)

Não Aplicável
 $L_o = 0$

5.1.36.4) L_a

$L_a = r_t * L_t * (n_z / n_t) * (t_z / 8760)$
 $L_a = 0.00016$

5.1.36.5) L_u

$L_u = L_a = 0.00016$

5.1.36.6) L_b

$L_b = r_p * r_f * h_z * L_f * (n_z / n_t) * (t_z / 8760)$
 $L_b = 0.00016$

5.1.36.7) L_v

$L_v = L_b = 0.00016$

5.1.36.8) L_c

$L_c = L_o * (nz / nt) * (tz / 8760)$
 $L_c = 0$

5.1.36.9) $L_m L_w L_z$

$L_m = L_w = L_z = L_c = 0$

5.1.37) Riscos da Zona

5.1.37.1) R_a

$R_a = Nd * Pa * La$
 $R_a = 0.00547 * 1 * 0.00016$
 $R_a = 0.0009 * 10^{-3}$

5.1.37.2) R_b

$R_b = Nd * Pb * Lb$
 $R_b = 0.00547 * 1 * 0.00016$
 $R_b = 0.0009 * 10^{-3}$

5.1.37.3) R_c

$R_c = Nd * Pc * Lc$
 $R_c = 0.00547 * 0.01 * 0$
 $R_c = 0$

5.1.37.4) R_m

$R_m = Nm * Pm * Lm$
 $R_m = 1.12485 * 0.0016 * 0$
 $R_m = 0$

5.1.37.5) R_u

$R_u = (Nl + Ndj) * Pu * Lu$
 $R_u = (0.00508 + 0) * 0.01 * 0.00016$
 $R_u = 0.0001 * 10^{-4}$

5.1.37.6) R_{ut}

$R_{ut} = (Nlt + Ndj) * Put * Lu$
 $R_{ut} = (0.00508 + 0) * 0.01 * 0.00016$
 $R_{ut} = 0.0001 * 10^{-4}$

5.1.37.7) R_v

$R_v = (Nl + Ndj) * Pv * Lv$
 $R_v = (0.00508 + 0) * 0.01 * 0.00016$
 $R_v = 0.0001 * 10^{-4}$

5.1.37.8) R_{vt}

$R_{vt} = (Nlt + Ndj) * Pvt * Lv$

$$Rvt = (0.00508 + 0) * 0.01 * 0.00016$$

$$Rvt = 0.0001 * 10^{-4}$$

5.1.37.9) Rw

$$Rw = (Nl + Ndj) * Pw * Lw$$

$$Rw = (0.00508 + 0) * 0.01 * 0$$

$$Rw = 0$$

5.1.37.10) Rwt

$$Rwt = (Nlt + Ndj) * Pwt * Lw$$

$$Rwt = (0.00508 + 0) * 1 * 0$$

$$Rwt = 0$$

5.1.37.11) Rz

$$Rz = Nl * Pz * Lz$$

$$Rz = 0.508 * 0.003 * 0$$

$$Rz = 0$$

5.1.37.12) R1z

$$R1z = Ra + Rb + Ru + Rv + Rut + Rvt$$

$$R1z = 0.0009 * 10^{-3} + 0.0009 * 10^{-3} + 0.0001 * 10^{-4} + 0.0001 * 10^{-4} + 0.0001 * 10^{-4}$$

$$+ 0.0001 * 10^{-4}$$

$$R1z = 0.0018 * 10^{-3}$$

6) Risco Total**6.1) R1**

$$Ra + Rb = 0.0017 * 10^{-3}$$

$$R1 = 0.0018 * 10^{-3}$$

$$Rt1 = 1 * 10^{-5}$$

$$R1 \leq Rt1$$

$$(Ra + Rb) \leq Rt1$$

$$[OK]$$

6.2) Estrutura Protegida.

$$R1 \leq Rt1$$

Arquivo: E:\PROJETOS\JUIZADO FEIRA DE SANTANA\APOIO CAD\ESTUDOS\MARCO\JUIZADO DE FEIRA DE SANTANA-Terreo - SPDA.rtf

