

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ALLAN FELIPE WEBER MACAN  
LUIZ GUILHERME RANGEL LEMOS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANILHA DE CÁLCULO  
PARA PROJETOS EM SISTEMA DE PROTEÇÃO  
PARA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)**

**PONTA GROSSA**

**2021**

**ALLAN FELIPE WEBER MACAN** ✉  
**LUIZ GUILHERME RANGEL LEMOS** ✉

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANILHA DE CÁLCULO  
PARA PROJETOS EM SISTEMA DE PROTEÇÃO  
PARA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)**

**DEVELOPMENT OF A SPREADSHEET FOR PROJECTS IN  
PROTECTION SYSTEM FOR ATMOSPHERIC DISCHARGES**

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

Orientador: Prof. Dr. Josmar Ivanqui ✉

**PONTA GROSSA**

**2021**



Este Trabalho de Conclusão de Curso está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição–NãoComercial–SemDerivações 4.0 Internacional.

**ALLAN FELIPE WEBER MACAN  
LUIZ GUILHERME RANGEL LEMOS**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLANILHA DE CÁLCULO PARA PROJETOS EM  
SISTEMA DE PROTEÇÃO PARA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)**

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

Data de aprovação: 09/dezembro/2021

---

Josmar Ivanqui  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

---

Jeferson José Gomes  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

---

Percio Luiz Karan de Miranda  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

**PONTA GROSSA**

**2021**

Dedico este trabalho a minha família  
e aos meus amigos, pelos momentos  
de ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho não poderia ser finalizado sem a ajuda de diversas pessoas e/ou instituições às quais prestamos nossos agradecimentos.

Certamente, estes parágrafos não abrangem todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de nossas vidas. Portanto, desde já pedimos desculpas àquelas que não estão presentes entre estas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do nosso pensamento e gratidão.

As nossas famílias, pelo carinho, incentivo e total apoio em todos os momentos da nossa vida.

Ao nosso orientador, professor Josmar Ivanqui, que nos mostrou os caminhos a serem seguidos e pela confiança depositada.

A todos os outros professores e colegas do curso, que ajudaram de forma direta e indireta na realização e/ou conclusão deste trabalho.

A todos os demais que de alguma forma contribuíram para nosso crescimento pessoal e profissional.

## RESUMO

As descargas elétricas são um dos fatores naturais que mais atinge o Brasil e, como consequência, a sua população. Em todo o mundo existem normas responsáveis para minimizar as perdas geradas por essas descargas, e no Brasil não é diferente. A norma brasileira é semelhante á europeia com o objetivo de prevenir danos às pessoas e edificações e com base nessa norma o presente trabalho busca realizar o cálculo e a viabilidade de projetos contra descargas atmosféricas por meio de uma planilha confeccionada e testada pelos autores, onde será observado a automatização do processo, sua eficácia, além dos cálculos e a metodologia que foram aplicadas.

**Palavras-chave:** SPDA; descargas elétricas; automatização; gerenciamento de risco.

## **ABSTRACT**

Electrical discharges are one of the natural factors that most affects Brazil and, as a consequence, its population. All over the world there are responsible regulations to minimize the losses generated by these discharges, and in Brazil it is not different. The Brazilian standard is similar to the European one with the aim of preventing damage to people and buildings, and based on this standard, this work seeks to perform the calculation and feasibility of projects against lightning, through a spreadsheet made and tested by the authors, where the automation of the process will be observed. , its effectiveness, in addition to the calculations and methodology that were applied

**Keywords:** SPDA; electrical discharges; automation; risk management.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Incidência de descargas atmosféricas no Brasil em 2018 e 2019. . .	19
Figura 2 – Cidades com maiores índices de descargas atmosféricas por estado. . .	20
Figura 3 – Dados sobre mortes causadas por descargas atmosféricas no Brasil. . .	21
Figura 4 – Metodologia para avaliação de fonte de danos. . . . .	27
Figura 5 – Resultados Caso Base - TUPAN. . . . .	44
Figura 6 – Resultados obtidos após a Solução 1 - TUPAN. . . . .	45
Figura 7 – Resultados obtidos após a Solução 2 - TUPAN. . . . .	45
Figura 8 – Tela "Zonas"(TUPAN PLUS 2020). . . . .	61
Figura 9 – Tela "Dados Técnicos"lado esquerdo – Z1 Caso Base. . . . .	62
Figura 10 – Dados Técnicos"lado direito – Z1 Caso Base. . . . .	63
Figura 11 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z1 Caso Base. . . . .	64
Figura 12 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z1 Caso Base. . . . .	65
Figura 13 – Tela "Dados Técnicos"lado esquerdo - Z2 Caso Base. . . . .	66
Figura 14 – Tela "Dados Técnicos"lado direito - Z2 Caso Base. . . . .	67
Figura 15 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z2 Caso Base. . . . .	68
Figura 16 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z2 Caso Base. . . . .	69
Figura 17 – Tela "Dados Técnicos"lado esquerdo – Z3 Caso Base. . . . .	70
Figura 18 – Tela "Dados Técnicos"lado direito - Z3 Caso Base. . . . .	71
Figura 19 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z3 Caso Base. . . . .	72
Figura 20 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z3 Caso Base. . . . .	73
Figura 21 – Tela "Dados Técnicos"lado esquerdo – Z4 Caso Base. . . . .	74
Figura 22 – Tela "Dados Técnicos"lado direito - Z4 Caso Base. . . . .	75
Figura 23 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z4 Caso Base. . . . .	76
Figura 24 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z4 Caso Base. . . . .	77
Figura 25 – Tela "Dados Técnicos"lado esquerdo – Z5 Caso Base. . . . .	78
Figura 26 – Tela "Dados Técnicos"lado direito - Z5 Caso Base. . . . .	79
Figura 27 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z5 Caso Base. . . . .	80
Figura 28 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z5 Caso Base. . . . .	81
Figura 29 – Simulação de SPDA classe III no TUPAN PLUS 2020. . . . .	83
Figura 30 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de energia da Zona 3. . . . .	83
Figura 31 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de sinal da Zona 3. . . . .	84
Figura 32 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de energia da Zona 4. . . . .	84
Figura 33 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de sinal da Zona 4. . . . .	85
Figura 34 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de energia da Zona 5. . . . .	85
Figura 35 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de sinal da Zona 5. . . . .	86
Figura 36 – Simulação de SPDA classe IV e sistema de incêndio. . . . .	86
Figura 37 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de energia da Zona 3. . . . .	86
Figura 38 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de sinal da Zona 3. . . . .	87
Figura 39 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de energia da Zona 4. . . . .	87
Figura 40 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de sinal da Zona 4. . . . .	88
Figura 41 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de energia da Zona 5. . . . .	88
Figura 42 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de sinal da Zona 5. . . . .	89
Figura 43 – Caso II - Dados da estrutura. . . . .	91
Figura 44 – Caso II - Dados das linhas 1 conectadas à estrutura. . . . .	91
Figura 45 – Caso II - Dados das linhas 2 conectadas à estrutura. . . . .	92
Figura 46 – Caso II - Parâmetros da Zona 2. . . . .	92

Figura 47 – Caso II - Perda da vida humana L1. . . . .	93
Figura 48 – Caso II - Perda da vida humana L1 (Componente de risco). . . . .	93
Figura 49 – Caso II - Áreas de exposição da estrutura e das linhas conectadas. . . . .	94
Figura 50 – Caso II - Número de eventos perigosos por ano. . . . .	94
Figura 51 – Caso II - Valores de probabilidades de danos. . . . .	95
Figura 52 – Caso II - Resultado obtidos de R sem SPDA. . . . .	95
Figura 53 – Caso II - Resultado obtidos sem SPDA. . . . .	95
Figura 54 – Caso II - Solução 1 - Parâmetros da Zona 2 - modificados. . . . .	96
Figura 55 – Caso II - Resultado obtidos de R com as adequações da Solução 1. . . . .	96
Figura 56 – Caso II - Resultado obtidos com as adequações da Solução 1. . . . .	97
Figura 57 – Caso II - Solução 2 - Dados da estrutura. . . . .	97
Figura 58 – Caso II - Solução 2 - Parâmetros da zona 2. . . . .	97
Figura 59 – Caso II - Resultado obtidos de R com as adequações da Solução 2. . . . .	98
Figura 60 – Caso II - Resultado obtidos com as adequações da Solução 2. . . . .	98
Figura 61 – Caso II - Zona de estudo. . . . .	98
Figura 62 – Caso II - Tela de dados da estrutura . . . . .	99
Figura 63 – Caso II - Tela de influências ambientais. . . . .	100
Figura 64 – Caso II - Proteção contra tensão e passo de toque. . . . .	101
Figura 65 – Caso II - Resultado obtidos sem SPDA. . . . .	101
Figura 66 – Caso II - Tela de dados técnicos da estrutura - Solução 1. . . . .	102
Figura 67 – Caso II - Tela de influências ambientais - Solução 1. . . . .	103
Figura 68 – Caso II - Fatores de variação de perda - Solução 1. . . . .	104
Figura 69 – Caso II - Proteção contra tensão de passo - Solução 1. . . . .	105
Figura 70 – Caso II - Resultado obtidos de adequação da Solução 1. . . . .	105
Figura 71 – Caso II - Tela de dados da estrutura - Solução 2. . . . .	106
Figura 72 – Caso II - Tela de influências ambientais - Solução 2. . . . .	107
Figura 73 – Caso II - Proteção contra tensão de passo - Solução 2. . . . .	108
Figura 74 – Caso II - Fatores de variação de perda - Solução 2. . . . .	109
Figura 75 – Caso II - Resultado obtidos de adequação da Solução 2. . . . .	109
Fluxograma 1 – Fluxograma das fases de projeto . . . . .	25
Quadro 1 – Dados da estrutura . . . . .	33
Quadro 2 – Dados das linhas 1 conectadas à estrutura . . . . .	34
Quadro 3 – Dados das linhas 2 conectadas à estrutura . . . . .	34
Quadro 4 – Parâmetros Zona 1. . . . .	35
Quadro 5 – Perda da vida humana L1 da Zona 1. . . . .	35
Quadro 6 – Perda da vida humana L1 da Zona 1 (continuação). . . . .	36
Quadro 7 – Valores de probabilidade de danos na Zona 1. . . . .	37
Quadro 8 – Áreas de exposição da estrutura e das linhas conectadas. . . . .	37
Quadro 9 – Número de eventos perigosos por ano. . . . .	37
Quadro 10 – Dados de R obtidos sem SPDA. . . . .	37
Quadro 11 – Simulação da instalação de um SPDA classe III. . . . .	38
Quadro 12 – Simulação da instalação de DPS NP III na Zona 3. . . . .	38
Quadro 13 – Simulação da instalação de DPS NP III na Zona 4. . . . .	39
Quadro 14 – Simulação da instalação de DPS NP III na Zona 5. . . . .	39
Quadro 15 – Dados de R obtidos com as adequações da Solução 1. . . . .	39
Quadro 16 – Simulação da instalação de SPDA classe IV. . . . .	40
Quadro 17 – Simulação da instalação de DPS NP IV na Zona 3. . . . .	40
Quadro 18 – Simulação da instalação de DPS NP IV na Zona 4. . . . .	41

Quadro 19 – Simulação da instalação de DPS NP IV na Zona 5. . . . .	41
Quadro 20 – Dados de R obtidos com as adequações da Solução 2 . . . . .	41
Quadro 21 – Resultados obtidos sem SPDA. . . . .	43
Quadro 22 – Resultados obtidos com as adequações da Solução 1. . . . .	43
Quadro 23 – Resultados obtidos com as adequações da Solução 2 . . . . .	44
Quadro 24 – Parâmetros Zona 2 . . . . .	51
Quadro 25 – Perda da vida humana L1 da Zona 2. . . . .	51
Quadro 26 – Perda da vida humana L1 da Zona 2(continuação). . . . .	52
Quadro 27 – Valores de probabilidade de danos na Zona 2. . . . .	52
Quadro 28 – Parâmetros Zona 3. . . . .	53
Quadro 29 – Perda da vida humana L1 da Zona 3. . . . .	53
Quadro 30 – Perda da vida humana L1 da Zona 3(continuação). . . . .	54
Quadro 31 – Valores de probabilidade de danos na Zona 3. . . . .	55
Quadro 32 – Parâmetros Zona 4. . . . .	55
Quadro 33 – Perda da vida humana L1 da Zona 4. . . . .	56
Quadro 34 – Perda da vida humana L1 da Zona 4(continuação). . . . .	56
Quadro 35 – Valores de probabilidade de danos na Zona 4. . . . .	57
Quadro 36 – Parâmetros Zona 5. . . . .	57
Quadro 37 – Perda da vida humana L1 da Zona 5 . . . . .	58
Quadro 38 – Perda da vida humana L1 da Zona 5(continuação). . . . .	58
Quadro 39 – Valores de probabilidade de danos na Zona 5. . . . .	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes de risco . . . . .	29
Tabela 2 – Caso base - comparação do resultado final. . . . .	46
Tabela 3 – Caso II - comparação do resultado final. . . . .	46
Tabela 4 – Caso base - comparação do resultado, Norma x TUPAN x Planilha. . . . .	46
Tabela 5 – Caso II - comparação do resultado, Norma x TUPAN x Planilha. . . . .	46

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

### SIGLAS

DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
MPS	Medidas de Proteção Contra Surtos
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
ZPR	Zonas de Proteção Contra Raios

### ACRÔNIMOS

ALRISK	<i>Alternative Lightning Risk Calculation Software</i>
FAPESP	Fundação de Amparo À Pesquisa do Estado de São Paulo
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
NBR	Norma Brasileiras
SIRAC	<i>IEC Risk Assessment Calculator</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

### NOTAÇÕES

$D_1$	Ferimentos a Seres Vivos por Choque Elétrico
$D_2$	Danos Físicos
$D_3$	Falhas de Sistemas Eletroeletrônicos
$L_1$	Perda de Vida Humana
$L_2$	Perda de Serviço ao Público
$L_3$	Perda de Patrimônio Cultural
$L_4$	Perda de Valor Econômico
$L_X$	Perda Consequente a Danos Relevantes à Estrutura
$N_P$	Nível de Proteção
$N_X$	Número de Eventos Perigosos por Ano
$P_X$	Probabilidade de Danos Relevantes à Estrutura (Descargas Atmosféricas à Estrutura)
$R$	Risco
$R_1$	Risco de Perda de Vida Humana em uma Estrutura
$R_2$	Risco de Perda de Serviço ao Público em uma Estrutura
$R_3$	Risco de Perda de Patrimônio Cultural em uma Estrutura
$R_4$	Risco de Perda de Valor Econômico em uma Estrutura
$R_A$	Componente de Risco (Ferimentos a Seres Vivos – Descarga Atmosférica na Estrutura)
$R_B$	Componente de Risco (Danos Físicos na Estrutura – Descarga Atmosférica na Estrutura)
$R_C$	Componente de Risco (Falha dos Sistemas Internos – Descarga Atmosférica na Estrutura)
$R_M$	Componente de Risco (Falha dos Sistemas Internos – Descarga Atmosférica Perto da Estrutura)
$R_U$	Componente de Risco (Ferimentos a Seres Vivos – Descarga Atmosférica na Linha Conectada)
$R_V$	Componente de Risco (Danos Físicos na Estrutura – Descarga Atmosférica na Linha Conectada)
$R_W$	Componente de Risco (Falha dos Sistemas Internos – Descarga Atmosférica na Linha Conectada)
$R_Z$	Componente de Risco (Falha dos Sistemas Internos – Descarga Atmosférica Perto da Linha)
$S_1$	Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas na Estrutura
$S_2$	Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas Perto da Estrutura
$S_3$	Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas na Linha
$S_4$	Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas Perto da Linha
$S_L$	Seção de uma Linha
$Z_S$	Zonas de uma Estrutura

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	TEMA DA PESQUISA	15
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA	15
1.3	PROBLEMA	16
1.4	HIPÓTESE	16
1.5	JUSTIFICATIVA	16
1.6	OBJETIVO	17
1.6.1	Geral	17
1.6.2	Específico	17
1.7	METODOLOGIA	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>19</b>
2.1	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL	19
2.2	MERCADO DE <i>SOFTWARES</i> PARA ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE RISCO PARA SPDA	22
2.3	DESCRIÇÃO DA NORMA E MODELO DE IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	22
2.3.1	Princípios gerais	23
2.3.2	Gerenciamento de risco	24
2.3.3	Danos físicos a estruturas e perigos à vida	24
2.3.4	Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura	26
2.4	INTERPRETAÇÃO DOS TERMOS	26
2.4.1	Níveis de proteção	26
2.4.2	Fontes dos danos	27
2.4.3	Tipos de danos	27
2.4.4	Tipos de perda	28
2.4.5	Riscos e componentes de risco	28
2.4.6	Composição dos componentes de risco	29
2.5	ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RISCO	30
2.5.1	Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1)	30
2.5.2	Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2)	31
2.5.3	Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3)	31
2.5.4	Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)	31
2.5.5	Dividindo a estrutura em zonas (Zs)	32
2.5.6	Dividindo uma linha em seções (SL)	32
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>33</b>
3.1	APRESENTAÇÃO E MANIPULAÇÃO DAS PLANILHAS	33
3.1.1	Solução 1:	38
3.1.2	Solução 2:	39
3.2	VALIDAÇÃO COM O <i>SOFTWARE</i> TUPAN PLUS 2020	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>43</b>

4.1	CASO BASE - RESULTADOS DAS PLANILHAS . . . . .	43
4.1.1	Caso base: planilha - sem SPDA . . . . .	43
4.1.2	Caso base: planilha - solução 1 . . . . .	43
4.1.3	Caso base: planilha - solução 2 . . . . .	43
4.2	RESULTADOS OBTIDOS DO <i>SOFTWARE</i> TUPAN . . . . .	43
4.2.1	Caso base: TUPAN - sem SPDA . . . . .	44
4.2.2	Caso base: TUPAN - solução 1. . . . .	44
4.2.3	Caso base: TUPAN - solução 2 . . . . .	45
4.3	RESUMO . . . . .	45
4.4	DISCUSSÃO . . . . .	46
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>49</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS DA ZONA 2 A 5 . . . . .</b>	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE B – TELAS COM ALIMENTAÇÃO DE DADOS NO <i>SOFTWARE</i> TUPAN PLUS 2020 . . . . .</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE C – SOLUÇÃO 01 E 02 - CASO BASE UTILIZANDO O <i>SOFTWARE</i> TUPAN . . . . .</b>	<b>82</b>
C.1	SOLUÇÃO 01 . . . . .	83
C.2	SOLUÇÃO 02 . . . . .	83
	<b>APÊNDICE D – CASO II - APLICAÇÃO CASA DE CAMPO . . . . .</b>	<b>90</b>
D.1	CASO II - SOLUÇÃO 1 . . . . .	94
D.2	SOLUÇÃO 2 . . . . .	97

## 1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas são um dos fenômenos naturais que ocorrem em todos os lugares do mundo, principalmente em continentes com clima tropical, e dentre todos esses países o que mais tem sido afetado historicamente por raios é o Brasil.

Portanto é de suma importância que as construções realizadas no território nacional utilizam regras para que essas descargas atmosféricas não causem ameaças para essas construções assim como para os objetos e seres vivos que estão dentro delas. Portanto no Brasil segue-se a norma vigente NBR 5419:2015, nela é descrito procedimentos e cálculos necessários para atender regras, que sejam seguidas na elaboração de um projeto para evitar perdas e danos causados por descargas atmosféricas, com isso surge os projetos de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).

Este trabalho visa confeccionar uma planilha automatizada que calcule o risco envolvido em uma descarga atmosférica, e dimensione o sistema de proteção adequado, suprimindo as necessidades do mercado que não foram contempladas com alguns *softwares* existentes no mercado atual, que serão detalhados mais adiante neste trabalho, além de propor uma metodologia mais próxima da norma, visando chegar em resultados mais próximos ao esperado por ela.

### 1.1 TEMA DA PESQUISA

Planilha automatizada para o cálculo de risco para sistemas de proteção contra descargas atmosférica (SPDA).

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A planilha será desenvolvida utilizando o software Microsoft Excel, seguindo a norma NBR 5419:2015 onde buscou-se atender a todos os requisitos propostos pela parte 2 da norma para projetar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e comparar os resultados obtidos com os exemplos da norma e com o software TUPAN PLUS 2020, já consolidado no mercado.

### 1.3 PROBLEMA

A norma NBR 5419:2015 visa descrever os requisitos necessários que uma estrutura deve cumprir para que esteja classificada como segura contra descargas atmosféricas.

Ampliando a discussão, a segunda parte desta norma fala sobre o gerenciamento de riscos no sistema proteção contra descargas atmosférica (SPDA). Esta etapa explica quais são os riscos, as causas e as perdas que envolvem os efeitos de uma descarga atmosférica na edificação.

Este é um processo complicado devido ao grande número de variáveis e possibilidades envolvidas.

Além disso, os *softwares* existentes são caros se levarmos em conta a utilização deles para cálculo de risco em poucos projetos como TUPAN custando 500,00 reais e o Pró-Elétrica custando 2300,00 reais. Outro ponto é que os softwares não conseguem suprir as necessidades da norma como o cálculo de mais de uma zona e uma metodologia diferente de cálculo de componente de risco em relação a norma, além de simplificar a análise de risco.

### 1.4 HIPÓTESE

O presente trabalho busca implementar uma planilha otimizada que certifique de proteger diversas estruturas contra descargas elétricas bem como calcular todas as variáveis que esse sistema exige para que proporcione um relatório final com todos os dados necessários para um SPDA ser corretamente implementado.

### 1.5 JUSTIFICATIVA

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), o Brasil é o país que mais sofre com perdas humanas e materiais devido a descargas atmosféricas. Sofremos no Brasil cerca de 50 milhões de raios por ano, e devido a isso cerca de 700 mil mortes por milhão de habitantes.

Frente a este problema surge a norma regulamentadora para a proteção contra descargas atmosféricas, a ABNT NBR 5419:2015, que visa proteger a vida das pessoas

e seus bens.

Este trabalho busca padronizar os caminhos que devem ser utilizados para a aplicação da NBR 5419:2015, fazendo um levantamento de todos os riscos e as variáveis plausíveis de se calcular e propor soluções para garantir que a norma esteja sendo cumprida, buscando diminuir o tempo de trabalho gasto nesse processo, assim como os erros que ocorrem com a elaboração manual.

## 1.6 OBJETIVO

### 1.6.1 Geral

Elaboração de uma planilha que promove o acesso para qualquer usuário desenvolver um projeto de SPDA seguindo a norma NBR 5419:2015.

### 1.6.2 Específico

1. Investigar o contexto de análise de risco para sistemas de proteção contra descargas atmosféricas no Brasil;
2. Explicar as quatro partes da norma NBR 5419:2015;
3. Definir as variáveis para cálculo dos riscos envolvidos em uma descarga atmosférica;
4. Simular em duas plataformas diferentes um estudo de caso de análise de risco dado pela norma; e
5. Analisar e validar os resultados obtidos dos casos propostos.

## 1.7 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, foi feito um levantamento bibliográfico com o objetivo de contextualizar o problema de descargas atmosféricas no Brasil e o mercado de *softwares* para análise e gerenciamento de risco para SPDA.

Também foi realizado um estudo a fundo sobre a NBR 5419:2015 para analisar todos os itens, separando em variáveis. Assim foi possível manipulá-los de forma a implementar de cada um deles em uma planilha que projete o SPDA de maneira

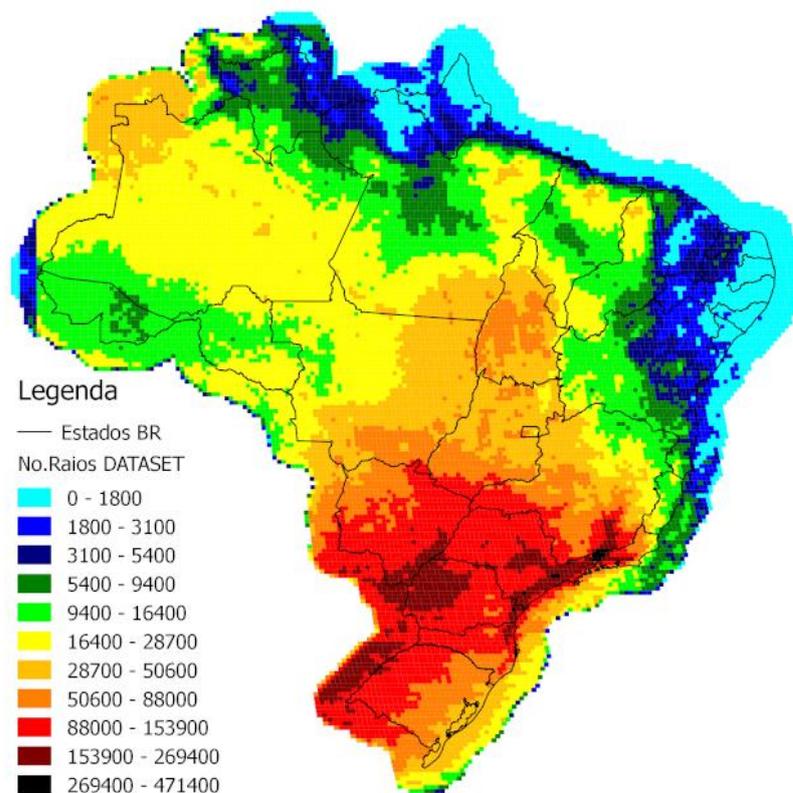
automatizada.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL

O Brasil é um dos países que mais sofre com descargas elétricas no mundo com uma média de 77,8 milhões de raios por ano segundo o INPE, a Figura 1 apresenta esses números que por sua vez aumentam sempre em anos que o país sofre com evento climáticos, tais como: La Niña e El Niño, conforme (CAZARRÉ, 2017). Outras variáveis como o desmatamento e o aumento da temperatura do planeta são fatores que estão ocasionando esse aumento no número de raios em 10 a 20 por cento ao ano, fato que é apontado pelo estudo da Fundação de Amparo À Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

**Figura 1 – Incidência de descargas atmosféricas no Brasil em 2018 e 2019.**

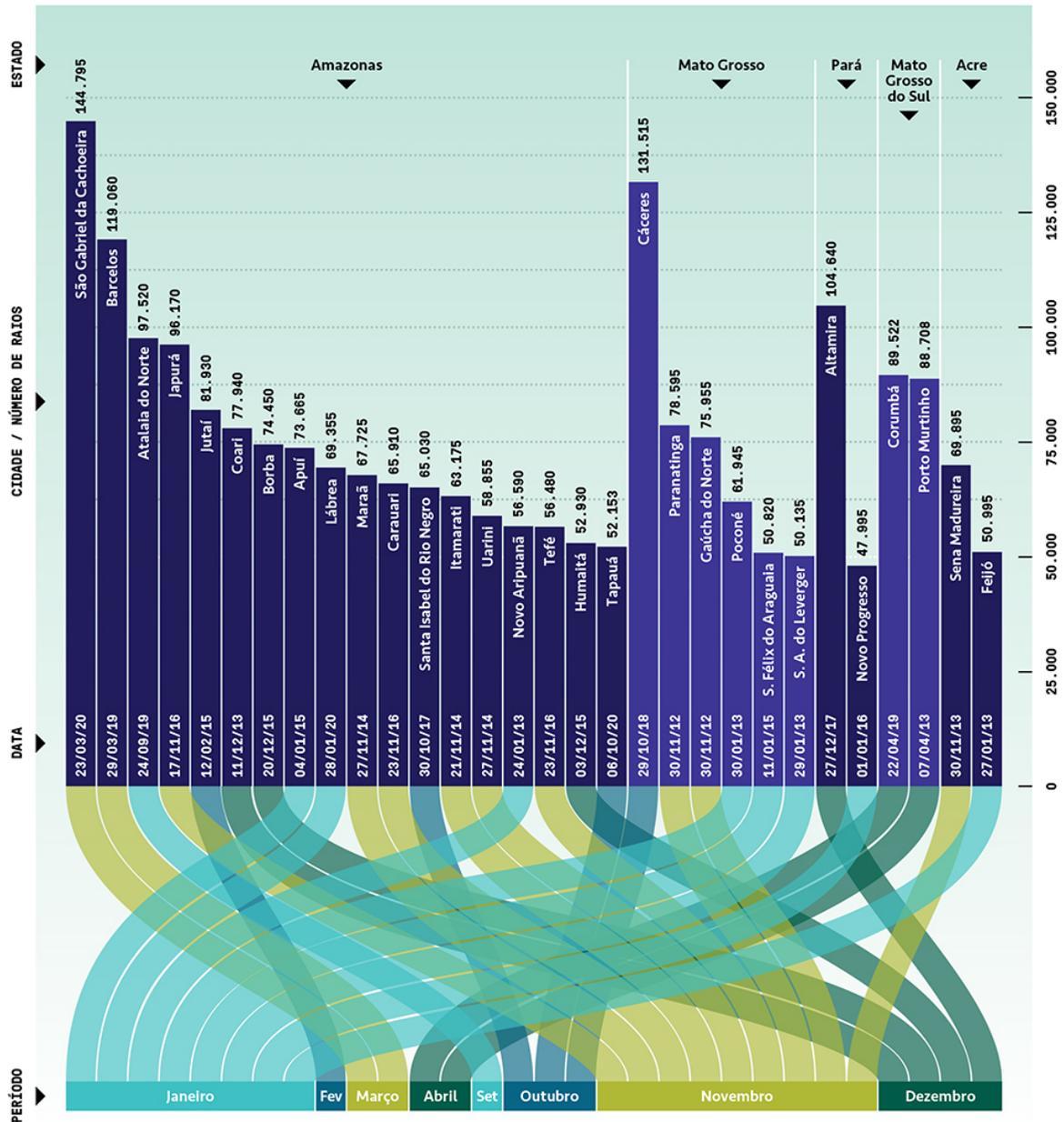


**Fonte: Reynol (2010).**

É possível observar na Figura 2 que as incidências de raios nos últimos anos afetam praticamente todas as regiões brasileiras com um grau elevado de descargas elétricas, além de observar as capitais que mais sofrem com descargas elétricas no

Brasil e em quais meses esses índices aumentam.

Figura 2 – Cidades com maiores índices de descargas atmosféricas por estado.

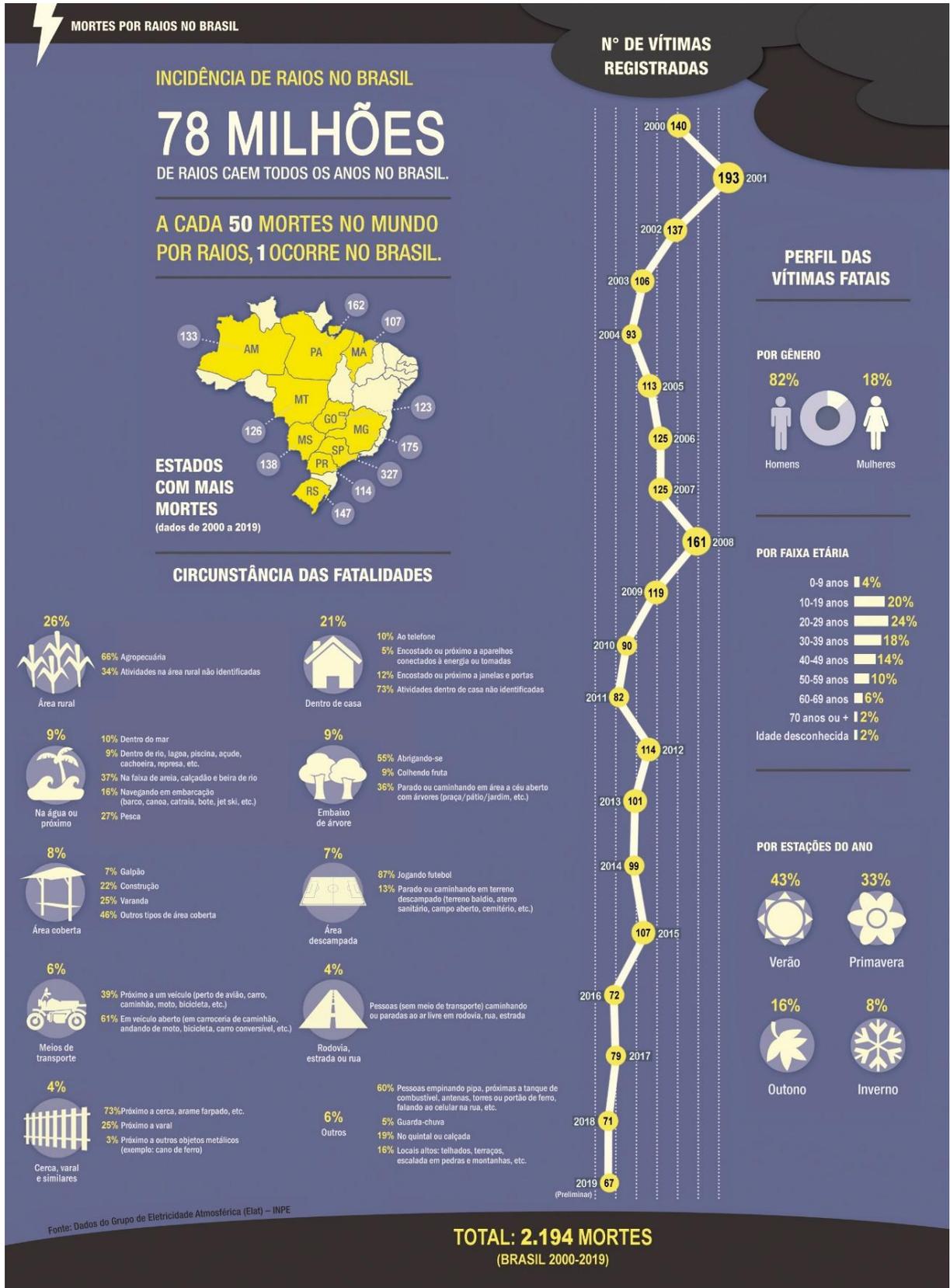


Fonte: Rossini (2021).

A Figura 3 ilustra um estudo do INPE que apresenta, de forma mais abrangente, dados sobre as mortes causadas por descargas atmosféricas no país, suas circunstâncias e características.

Para diminuir os danos causados por descargas elétricas no Brasil, seguem-se as diretrizes da norma NBR 5419:2015 onde é determinado uma série de critérios para que seja projetado um SPDA, o qual permite proteger as construções as pessoas e os

Figura 3 – Dados sobre mortes causadas por descargas atmosféricas no Brasil.



Fonte: INPE (2019).

seus bens presentes nessas edificações.

## 2.2 MERCADO DE *SOFTWARES* PARA ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE RISCO PARA SPDA

O nicho de *softwares* para análise e gerenciamento de riscos para SPDA já vem sendo explorado há algum tempo no país. Atualmente já existem versões disponíveis de diversos produtos como o *IEC Risk Assessment Calculator* (SIRAC), *Alternative Lightning Risk Calculation Software* (ALRISK), *RISK Multilingual* e TUPAN.

A maior parte dos produtos vem do uso da norma europeia e adaptada para a brasileira. Um dos primeiros softwares que buscava a análise e o cálculo de SPDA foi o SIRAC, trazido no Anexo J da norma europeia IEC 62305:2006. Com ele é possível calcular o SPDA de maneira simples, porém com limitações como a quantidade de variáveis calculadas, não gerando um resultado tão preciso para o cálculo do risco envolvido em uma descarga atmosférica. Outro fator negativo é que essa ferramenta possibilita apenas o cálculo de uma única zona.

Outros trabalhos surgiram a partir do citado acima e, segundo (FARIA, 2018), o que mais consegue suprir os requisitos que a norma impõe para o cálculo de SPDA é o TUPAN, que permite a manipulação de todos os parâmetros envolvidos nos cálculos de risco, a escolha das fontes de danos e os tipos de risco que deverão ser considerados.

## 2.3 DESCRIÇÃO DA NORMA E MODELO DE IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Para o desenvolvimento deste projeto necessitamos compreender todos os parâmetros exigidos da norma de proteção de estruturas contra descargas atmosféricas NBR 5419:2015, a fim de implementá-los na ferramenta que será desenvolvida.

A norma NBR 5419:2015 é dividida em quatro partes, sendo eles:

1. princípios gerais;
2. gerenciamento do risco;
3. danos físicos a estruturas e perigos à vida; e
4. sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

### 2.3.1 Princípios gerais

Esta parte da norma (ABNT-NBR5419-1, 2015) esclarece que não existe formas de modificar os fenômenos climáticos naturais a ponto de se prevenir à ocorrência de descargas atmosféricas. Por isso, deve-se considerar meios de proteção a estes fenômenos.

Assim, por critérios de projetos, instalação e manutenção a norma ABNT NBR 5419 separa os riscos associados às descargas atmosféricas em dois grupos, sendo eles:

- Grupo 1: medidas de proteção a vida e danos físicos dentro de uma estrutura, seguindo as normas ABNT NBR 5419-3;
- Grupo 2: medidas de proteção para evitar falhas nos sistemas elétricos e eletrônicos dentro de uma estrutura, seguindo as normas ABNT NBR 5419-4.

Existem características nas estruturas que são relevantes para determinar o efeito causado pelas descargas atmosféricas. São elas:

- Construção;
- Função;
- Ocupante e conteúdo;
- Linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram a estrutura;
- Medidas de proteção existentes ou providas; e
- Dimensão de risco.

Nesta parte, a norma ainda cita como avaliar a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas, tanto de modo a reduzir as perdas de valor social quanto de para reduzir as perdas de valores econômicos.

Outro fator que é verificado na primeira parte da NBR 5419:2015 é a adoção de medidas de proteção para cada tipo de dano.

Por último, traz critérios básicos para que as estruturas estejam protegidas, explicando sobre os níveis de proteção, as zonas de proteção contra descargas atmosféricas e as proteções estruturais e de sistemas internos.

### 2.3.2 Gerenciamento de risco

A norma (ABNT-NBR5419-2, 2015) estabelece os requisitos para que seja realizada a análise de risco em uma estrutura.

Esta parte traz de forma específica a interpretação de cada termo referente às variáveis que serão calculadas na análise de risco, quais são as fontes e os tipos de danos, os tipos de perdas, os riscos envolvidos, suas componentes e sua composição.

Nesta etapa a norma também aborda o procedimento básico para que seja realizado o gerenciamento de risco, a determinação da estrutura a ser considerada para o cálculo das variáveis relevantes e o risco tolerável.

A segunda parte ainda explica como se faz a análise de cada componente de risco e sugere uma metodologia para tratar os parâmetros relevantes envolvidos e chegar a um nível de proteção eficaz para a estrutura estudada.

Com isso seguimos o Fluxograma 1 para planejar nossa planilha e implementar o cálculo de todos os riscos descritos na norma.

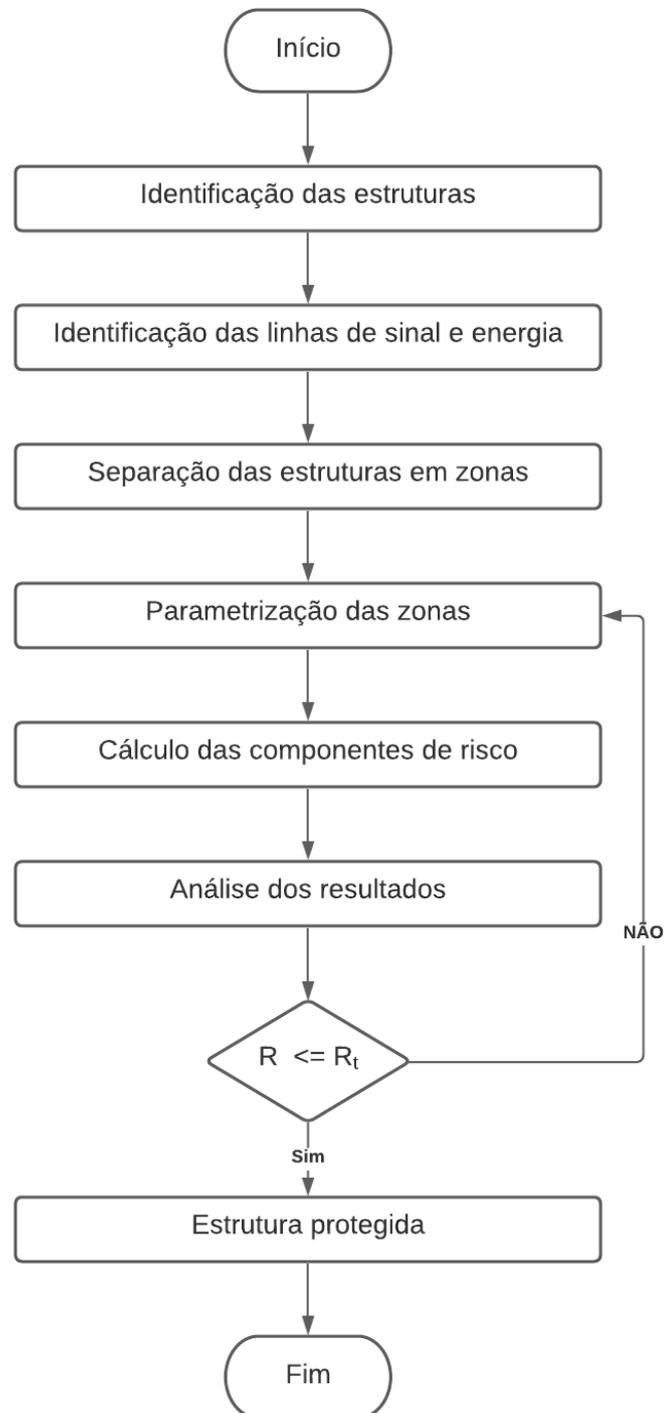
### 2.3.3 Danos físicos a estruturas e perigos à vida

Esta parte trata da proteção no interior e ao redor de uma estrutura, contra danos físicos e lesões aos seres vivos devido às tensões de toque e passo.

A (ABNT-NBR5419-3, 2015) traz comentários mais práticos em relação ao projeto de SPDA e suas classes.

Ela explica sobre os subsistemas do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (captação, descida e aterramento), suas formas de instalação e critérios para que realmente haja uma proteção caso ocorra um raio na estrutura ou suas proximidades.

Ainda na terceira parte, a norma especifica as dimensões e materiais a serem utilizados em cada subsistema do SPDA, formas de manutenção, documentação e intervalos de tempo entre cada inspeção no sistema de proteção.

**Fluxograma 1 – Fluxograma das fases de projeto**

**Fonte: autoria própria (2021).**

#### 2.3.4 Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

A última parte da norma (ABNT-NBR5419-4, 2015) fornece as informações necessárias para as Medidas de Proteção Contra Surtos (MPS).

Nesta parte a norma caracteriza as Zonas de Proteção Contra Raios (ZPR) dividindo-as em zonas externas e internas.

As medidas básicas de proteção dos sistemas elétricos e eletrônicos internos também são detalhadas na quarta parte da NBR.

Por fim, esta parte da NBR 5419:2015 traz os critérios para o aterramento e equipotencialização das partes metálicas internas à estrutura, além dos materiais e dimensões como ocorre na terceira parte desta norma.

### 2.4 INTERPRETAÇÃO DOS TERMOS

As descargas atmosféricas podem ser classificadas e calculadas de diferentes formas de acordo com as fontes de dano, os tipos de dano e os tipos de perda.

#### 2.4.1 Níveis de proteção

A NBR 5419 considera quatro níveis de proteção:

- Nível I;
- Nível II;
- Nível III; e
- Nível IV;

Onde uma estrutura que tenha SPDA de nível I é a mais protegida e a de nível IV recebe menor proteção contra possíveis descargas atmosféricas.

Estes níveis de proteção são determinados através da análise de risco e, para cada um, é fixado um conjunto de parâmetros referentes às correntes das descargas atmosféricas.

### 2.4.2 Fontes dos danos

A fonte do dano faz referência ao local onde acontece a descarga atmosférica.

São classificadas da seguinte maneira:

- $S_1$  Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas na Estrutura;
- $S_2$  Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas Perto da Estrutura;
- $S_3$  Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas na Linha; e
- $S_4$  Fonte de Dano – Descargas Atmosféricas Perto da Linha.

A Figura 4 ilustra as componentes de risco para cada uma das fontes de danos comentadas anteriormente.

**Figura 4 – Metodologia para avaliação de fonte de danos.**

Fonte de danos	$S_1$ 			$S_2$ 		$S_3$ 			$S_4$ 	
Comp. de risco	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$		
$R_1$ 										
$R_2$ 										
$R_3$ 										
$R_4$ 										

Fonte: Faria (2018).

### 2.4.3 Tipos de danos

A depender de algumas características da estrutura envolvida, classificam-se os tipos de dano, que são:

- $D_1$  Ferimentos a Seres Vivos por Choque Elétrico;
- $D_2$  Danos Físicos; e
- $D_3$  Falhas de Sistemas Eletroeletrônicos.

#### 2.4.4 Tipos de perda

Cada tipo de dano acarreta uma perda. Seja sozinho ou em conjunto com outro tipo. Para cada tipo de perda, deve-se calcular um risco  $R_1$ . Assim, classificam-se os principais tipos de perda como:

- $L_1$  Perda de Vida Humana;
- $L_2$  Perda de Serviço ao Público;
- $L_3$  Perda de Patrimônio Cultural; e
- $L_4$  Perda de Valor Econômico.

#### 2.4.5 Riscos e componentes de risco

Segundo a NBR 5419:2015-2, o Risco ( $R$ ) é um valor relativo a uma provável perda anual média. Os riscos são divididos em:

- $R_1$  Risco de Perda de Vida Humana em uma Estrutura;
- $R_2$  Risco de Perda de Serviço ao Público em uma Estrutura;
- $R_3$  Risco de Perda de Patrimônio Cultural em uma Estrutura; e
- $R_4$  Risco de Perda de Valor Econômico em uma Estrutura.

Para cada risco existente, calcula-se as componentes relacionadas aos tipos e fontes do dano. Ou seja, para o risco  $R_1$ , deve-se calcular todos os tipos de danos causados por cada fonte de dano. Abaixo são citadas as componentes existentes:

- $R_A$  Componente de Risco (Ferimentos a Seres Vivos – Descarga Atmosférica na Estrutura);
- $R_B$  Componente de Risco (Danos Físicos na Estrutura – Descarga Atmosférica na Estrutura);
- $R_C$  Componente de Risco (Falha dos Sistemas Internos – Descarga Atmosférica na Estrutura);
- $R_M$  Componente de Risco (Falha dos Sistemas Internos – Descarga Atmosférica Perto da Estrutura);
- $R_U$  Componente de Risco (Ferimentos a Seres Vivos – Descarga Atmosférica na Linha Conectada);
- $R_V$  Componente de Risco (Danos Físicos na Estrutura – Descarga Atmosférica na Linha Conectada);
- $R_W$  Componente de Risco (Falha dos Sistemas Internos – Descarga Atmosférica na Linha Conectada); e
- $R_Z$  Componente de Risco (Falha dos Sistemas Internos – Descarga Atmosférica Perto da Linha).

#### 2.4.6 Composição dos componentes de risco

Para os cálculos dos valores de riscos são feitas as somas de suas componentes relacionadas. Desta forma tem-se as seguintes fórmulas:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z \quad (1)$$

$$R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \quad (2)$$

$$R_3 = R_B + R_V \quad (3)$$

$$R_4 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z \quad (4)$$

A Equação (1), em que as componentes  $R_C$ ,  $R_M$ ,  $R_W$  e  $R_Z$  são calculadas somente quando há risco de perda de vida humana em caso de falhas nos sistemas eletroeletrônicos, por exemplo uma estrutura com risco de explosão ou hospitais, que se tem vidas dependendo do funcionamento de aparelhos.

No caso da Equação (4), as componentes  $R_A$  e  $R_U$  são utilizadas apenas em casos nos quais animais possam ser perdidos.

Na tabela 1 é possível visualizar de maneira mais sucinta as componentes e as formulas usadas para seus calculos

**Tabela 1 – Componentes de risco**

Componente	Eventos perigosos	Probabilidade de danos	Perda consequente	Fórmula geral
$R_A$	$N_D$	$P_A$	$L_A$	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$
$R_B$	$N_D$	$P_B$	$L_B$	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$
$R_C$	$N_D$	$P_C$	$L_C$	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$
$R_M$	$N_M$	$P_M$	$L_M$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$
$R_U$	$N_L + N_{DJ}$	$P_U$	$L_U$	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$
$R_V$	$N_L + N_{DJ}$	$P_V$	$L_V$	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$
$R_W$	$N_L + N_{DJ}$	$P_W$	$L_W$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$
$R_Z$	$N_I$	$P_Z$	$L_Z$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Fonte: Autoria própria (2021).

## 2.5 ANÁLISE DOS COMPONENTES DE RISCO

Para o cálculo de cada uma das componentes de risco são levados em conta 3 fatores:

- $N_X$  Número de Eventos Perigosos por Ano;
- $P_X$  Probabilidade de Danos Relevantes à Estrutura (Descargas Atmosféricas à Estrutura); e
- $L_X$  Perda Consequente a Danos Relevantes à Estrutura.

Em que o índice “X” depende da componente que está sendo calculada.

Em resumo, a equação básica para cálculo das componentes de risco é obtida por meio da equação Equação (5):

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

A definição de  $N_X$  se dá pela densidade de descargas atmosféricas, pelas características físicas da estrutura estudada, as vizinhanças, as linhas conectadas à ela e o solo.

O que influencia o valor da probabilidade de dano à estrutura ( $P_X$ ) são as características físicas dela e das linhas conectadas e as medidas de proteção existentes na edificação.

Por fim, o tipo de uso da estrutura, a frequência da permanência de pessoas, o tipo de serviço fornecido ao público, o valor dos bens afetados pelos danos de uma descarga e as medidas providenciadas para limitar a quantidade de perdas são os fatores que interferem no valor da perda  $L_X$ .

### 2.5.1 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1)

- a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico ( $D_1$ ), dado pela equação Equação (6):

$$R_A = N_A \times P_A \times L_A \quad (6)$$

- b) componente relacionado a danos físicos ( $D_2$ ), dado pela equação Equação (7):

$$R_B = N_B \times P_B \times L_B \quad (7)$$

- c) componente relacionado à falha de sistemas internos ( $D_3$ ), dado pela equação Equação (8):

$$R_C = N_C \times P_C \times L_C \quad (8)$$

#### 2.5.2 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2)

- a) componente relacionado à falha dos sistemas internos ( $D_3$ ), dados pela equação Equação (9):

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

#### 2.5.3 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3)

- a) componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico: ( $D_1$ ), dado pela equação Equação (10):

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

- b) componente relacionado a danos físicos ( $D_2$ ), dado pela equação Equação (11):

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

- c) componente relacionado à falha de sistemas internos ( $D_3$ ), dado pela equação Equação (12):

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

**NOTA 1:** Em casos onde não há estrutura adjacente,  $N_{DJ}$  (número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente) pode ser desprezado.

#### 2.5.4 Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)

- a) componente relacionado à falha dos sistemas internos ( $D_3$ ), dados pela equação Equação (13):

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

### 2.5.5 Dividindo a estrutura em zonas ( $Z_s$ )

A norma NBR 5419:2015-2 ainda cita a possibilidade de divisão da estrutura em zonas ( $Z_s$ ), para que haja um cálculo mais assertivo dos riscos envolvidos em cada uma. Ao dividir uma estrutura em mais de uma zona, deve-se calcular todas as componentes para cada uma das zonas.

Normalmente, as zonas são definidas por: tipo de solo, compartimentos à prova de fogo, blindagem espacial, leiaute dos sistemas internos, medidas de proteção existentes e valores de perda  $L_X$ .

### 2.5.6 Dividindo uma linha em seções ( $S_L$ )

Assim como a estrutura, as linhas conectadas também podem ser divididas em seções ( $S_L$ ), levando em consideração o tipo da linha, os fatores que interferem na área de exposição e as características da linha (blindagem, por exemplo).

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 APRESENTAÇÃO E MANIPULAÇÃO DAS PLANILHAS

Para verificar se o projeto proposto está apto a ser implementado, foi realizado uma comparação entre o TUPAN e a planilha desenvolvida pelos autores. Neste teste buscou-se observar se o presente trabalho além de atender todos os requisitos da norma também consegue obter resultados confiáveis em vários aspectos que serão analisados no decorrer das comparações, conforme (SANTOS, 2017).

Para as duas ferramentas foram realizados testes seguindo os exemplos da norma, onde será possível averiguar a precisão dos *softwares* e obter resultados mais satisfatórios para o projetista concluir sua análise.

Os parâmetros para a realização do teste foram retirados do anexo E da norma NBR 5419:2015-2 e são apresentados a seguir:

O estudo comparativo entre as duas ferramentas mostra um exemplo de um edifício de escritórios que denominaremos de "caso base". Nele são apresentados os dados que a norma traz para exemplificar um edifício com cinco zonas: área de entrada, jardim externo, arquivo, escritórios e centro de informática.

Os Quadros 1 a 3, apresentam a inserção dos dados, da estrutura e das linhas conectadas a ela, na planilha feita pelos autores.

**Quadro 1 – Dados da estrutura**

<b>Dados da estrutura</b>				
Parâmetro	Descrição	Símb	Valor	Referênc
Densidade de descargas atmosféricas	<a href="#">Pesquise aqui o índice Ng</a>	N <sub>G</sub>	4,00	
Dimensões da estrutura (m)	Estrutura regular			27471,46
	Comprimento	L	20,00	
	Largura	W	40,00	
	Altura	H	25,00	
	Área total com saliência, se possuir	A <sub>D</sub>	0,00	
Localização da estrutura	Estrutura isolada	C <sub>D</sub>	1,00	Tabela
SPDA Instalado	Estrutura não protegida por SPDA	P <sub>R</sub>	1,00	Tabela
Pessoas na estrutura	Número total de pessoas na estrutura	n <sub>t</sub>	200,00	

**Fonte: autoria própria (2021).**

Os Quadros 4 a 6 mostram a inserção dos parâmetros referentes à zona 1, bem como os resultados de risco de perda de vida humana, calculados pela planilha. Os dados para as zonas 2 à 5 são mostrados no Apêndice A.

O Quadro 7 apresenta os valores calculados da probabilidade de danos na zona 1. Os valores calculados das zonas 2 à 5 são mostrados no Apêndice A.

Quadro 2 – Dados das linhas 1 conectadas à estrutura

Linha 1				
Parâmetro	Descrição	Símb	Valor	Referên
Possui linha conectada?	Sim			
Comprimento da linha:	Se desconhecido, considerar 1000m	$L_{I/P}$	200	
Modo de instalação da linha:	Aéreo	$C_{I/P}$	1	Tabela
Tipo de linha:	Linha de energia em BT, telecomunicações ou dados	$C_{T/P}$	1	Tabela
Ambiente da linha:	Rural	$C_{E/P}$	1	Tabela
Blindagem da linha:	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou blindagem não interligada ao BEP do equipamento	$R_{S/P}$	-	Tabela B.8
Aterramento e isolamento da linha:	Linha aérea não blindada - Indefinida	$C_{LD/P}$	1	Tabela B.4
		$C_{LI/P}$	1	Tabela B.4
Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de 5 $\Omega$ /km, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm).				
Existe estrutura adjacente?	Não			
Dimensões da estrutura adjacente (m)	Comprimento da estrutura adjacente	$L_{J/P}$		0,00
	Largura da estrutura adjacente	$W_{J/P}$		
	Altura da estrutura adjacente	$H_{J/P}$		
	Área da estrutura adjacente (se complexa)	$A_{D,J/P}$	0	
Localização da estrutura adjacente:		$C_{D,J/P}$	0	
Tensão suportável do sistema interno	2,5	$U_{W/P}$	2,5	
	Parâmetros resultantes	$K_{S4/P}$	0,4	
	Probabilidade PLD dependendo da resistência da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso	$P_{LD/P}$	1	
Tipo de linha:	Linha de energia	$P_{L/P}$	0,3	

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 3 – Dados das linhas 2 conectadas à estrutura

Linha 2				
Parâmetro	Descrição	Símb	Valor	Referên
Possui linha conectada?	Sim			
Comprimento da linha:	Se desconhecido, considerar 1000m	$L_{I/T}$	1000	
Modo de instalação da linha:	Enterrado	$C_{I/T}$	0,5	Tabela
Tipo de linha:	Linha de energia em BT, telecomunicações ou dados	$C_{T/T}$	1	Tabela
Ambiente da linha:	Rural	$C_{E/T}$	1	Tabela
Blindagem da linha:	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou blindagem não interligada ao BEP do equipamento	$R_{S/T}$	-	Tabela B.8
Aterramento e isolamento da linha:	Linha enterrada não blindada - Indefinida	$C_{LD/T}$	1	Tabela
		$C_{LI/T}$	1	Tabela
Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de 5 $\Omega$ /km, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm).				
Existe estrutura adjacente?	Não			
Dimensões da estrutura adjacente (m)	Comprimento da estrutura adjacente	$L_{J/T}$	0	0,00
	Largura da estrutura adjacente	$W_{J/T}$	0	
	Altura da estrutura adjacente	$H_{J/T}$	0	
	Área da estrutura adjacente (se complexa)	$A_{D,J/T}$	0	
Localização da estrutura adjacente:	Estrutura isolada	$C_{D,J/T}$	1,00	
Tensão suportável do sistema interno	1,5	$U_{W/T}$	1,5	
	Parâmetros resultantes	$K_{S4/T}$	0,67	
	Probabilidade PLD dependendo da resistência da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso	$P_{LD/T}$	1	
Tipo de linha:	Linha de telecomunicações	$P_{L/T}$	0,5	

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 4 – Parâmetros Zona 1.

PARÂMETROS DA ZONA 1				
Identificação da Zona		Entrada (fora da edificação)		
Parâmetros de entrada		Comentários	Símbolo	Valor
Tipo de piso		Mármore, cerâmica	$r_f$	1,00E-03
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00
Risco de incêndio ou explosão		Explosão ou Incêndio - Nenhum	$r_f$	0,00E+00
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00
Blindagem espacial externa		Sem blindagem		
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y ( $X > 0$ , $Y > 1$ )	wm2	
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00
	$K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00	
Fiação interna	Linha 1	Não aplicável	$K_{S3/P}$	0,00E+00
	Linha 2	Não aplicável	$K_{S3/T}$	0,00E+00
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	$P_{EB}$	1,00E+00
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 5 – Perda da vida humana L1 da Zona 1.

L1 - Perda de vida humana					
		Descrição	Símbolo	Valor	
		Tipo de perigo especial	Sem perigo especial	$h_z$	1
Tipos de danos	D1 - Ferimentos	Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico D1	$L_{T1}$	1,00E-02	
	D2 - Danos físicos	Não aplicável	$L_{F1}$	0,00E+00	
	D3 - Falhas de sistemas internos	Não aplicável	$L_{O1}$	0,00E+00	
Pessoas na zona	Pessoas na zona	Número de pessoas na zona	$n_z$	4	
	Tempos de pessoas na zona	Tempo de permanência de pessoas em horas/dia	$t_h$	24	
		Tempo de permanência de pessoas em dias/ano	$t_{dia}$	365	
		Tempo de permanência de pessoas em horas/ano	$t_z$	8760	
Perdas típicas	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{A1}$	2,00E-07	
	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{B1}$	0,00E+00	
	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{C1}$	0	
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)		$L_{M1}$	0	
	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)		$L_{U1}$	2,00E-07	
	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{V1}$	0,00E+00	
	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{W1}$	0	
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)		$L_{Z1}$	0	

Fonte: autoria própria (2021).

**Quadro 6 – Perda da vida humana L1 da Zona 1(continuação).**

Componentes de risco	R <sub>A</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>A1</sub>	2,20E-08
	R <sub>B</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>B1</sub>	0,00E+00
	R <sub>C</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>C1</sub>	0,00E+00
	R <sub>M</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)	R <sub>M1</sub>	0,00E+00
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>U/P1</sub>	6,40E-09
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>U/T1</sub>	1,60E-08
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>U1</sub>	2,24E-08
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>V/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>V/T1</sub>	0,00E+00
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>V1</sub>	0,00E+00
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>W/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>W/T1</sub>	0,00E+00
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>W1</sub>	0,00E+00
	R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 1)	R <sub>Z/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 2)	R <sub>Z/T1</sub>	0
R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)	R <sub>Z1</sub>	0,00E+00	

**Fonte: autoria própria (2021).**

O Quadro 8 apresenta os valores referentes às áreas que a estrutura e as linhas conectadas estão expostas.

O Quadro 9 mostra o resultado dos cálculos do número de eventos que podem causar algum dano na estrutura por ano.

A partir dos resultados obtidos nos Quadros 10 e 21, sendo que esse último citado será analisado na Seção 4.1 de maneira a facilitar a comparação do resultado final, em que não há nenhuma medida de proteção instalada, é possível constatar que as maiores componentes do risco total são o  $R_B$  (49%) e  $R_V$  (50%). Estas componentes se dão, principalmente, pelo alto risco de incêndio que atinge a zona 3.

Segundo a NBR5419:2015-2, estas componentes podem ser reduzidas:

- Provendo ao edifício completo um SPDA e, conseqüentemente, uma ligação equipotencial na entrada;
- Provendo medidas de proteção contra incêndios na zona 3; e
- Provendo uma ligação equipotencial na entrada da edificação.

Quadro 7 – Valores de probabilidade de danos na Zona 1.

Avaliação da probabilidade de danos				
Descarga na estrutura	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	$P_A$	1,00E+00	B.1
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos	$P_B$	1,00	TAB - B.2
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 1	$P_{C/1P}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 2	$P_{C/2T}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos	$P_C$	1,00E+00	B.2
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/1P}$	0,00E+00	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/1P}$	0,00E+00	B.3
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/2T}$	0,00E+00	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/2T}$	0,00E+00	B.3
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_M$	0,00E+00	
Ferimentos a seres vivos por choque elétrico	LINHA 1	$P_{U/1P}$	1,00E+00	B.8
	LINHA 2	$P_{U/2T}$	1,00E+00	
Causar danos físicos	LINHA 1	$P_{V/1P}$	1,00E+00	B.9
	LINHA 2	$P_{V/2T}$	1,00E+00	
Falha de sistemas internos	LINHA 1	$P_{W/1P}$	1,00E+00	B.10
	LINHA 2	$P_{W/2T}$	1,00E+00	
Falha dos sistemas internos	LINHA 1	$P_{Z/1P}$	3,00E-01	B.11
	LINHA 2	$P_{Z/2T}$	5,00E-01	B.11

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 8 – Áreas de exposição da estrutura e das linhas conectadas.

Áreas de Exposição Equivalente da Estrutura e Linhas				
Estrutura	Área de exposição equivalente da estrutura	$A_D$	27471,46	A.2
	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura	$A_M$	845398,2	A.7
LINHA 1	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha	$A_{L/1P}$	8000	A.9
	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha	$\backslash$	8000000	A.11
	Área de exposição equivalente da estrutura adjacente	$A_{D/1P}$	0,00	A.2
LINHA 2	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha	$A_{L/2T}$	40000	A.9
	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha	$A_{T/2T}$	4000000	A.11
	Área de exposição equivalente da estrutura adjacente	$A_{D/2T}$	0,00	A.2

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 9 – Número de eventos perigosos por ano.

Número de eventos perigosos por ano				
Estrutura	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura	$N_D$	0,109886	A.4
	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto de uma estrutura	$N_M$	3,381593	A.6
LINHA 1	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta à linha 1	$N_{L/1P}$	0,032	A.8
	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto da linha 1	$N_{1P}$	3,2	A.10
	Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente	$N_{D/1P}$	0	A.5
LINHA 2	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta à linha 2	$N_{L/2T}$	0,08	A.8
	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto da linha 2	$N_{2T}$	8	A.10
	Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente	$N_{D/2T}$	0	A.5

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 10 – Dados de R obtidos sem SPDA.

Componentes de Risco Atual																
	Fontes de Dano															
	S1			S2			S3			S4						
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ								
R1	3,26E-08	0%	4,78E-05	49%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	3,33E-08	0%	4,87E-05	50%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R2	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R3	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R4	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%

Fonte: autoria própria (2021).

Dadas estas possibilidades, a norma sugere duas soluções:

### 3.1.1 Solução 1:

- Instalação de SPDA classe III; e
- Instalação de DPS projetados para nível de proteção ( $N_P$ ) III.

O Quadro 11, quando comparado ao Quadro 1, mostra a modificação do parâmetro “SPDA Instalado” de “Estrutura não protegida por SPDA” para “Estrutura protegida por SPDA Classe III”.

**Quadro 11 – Simulação da instalação de um SPDA classe III.**

Dados da estrutura				
Parâmetro	Descrição	Símb	Valor	Referênci
Densidade de descargas atmosféricas	<a href="#">Pesquise aqui o índice Ng</a>	$N_G$	4,00	
Dimensões da estrutura (m)	Estrutura regular			27471,46
	Comprimento	L	20,00	
	Largura	W	40,00	
	Altura	H	25,00	
	Área total com saliência, se possuir	$A_{DT}$	0,00	
Localização da estrutura	Estrutura isolada	$C_D$	1,00	Tabela
SPDA Instalado	Estrutura protegida por SPDA Classe III	$P_B$	0,10	Tabela
Pessoas na estrutura	Número total de pessoas na estrutura	$n_t$	200,00	

Fonte: autoria própria (2021).

Os Quadros 12 a 14 mostram, na penúltima linha, a instalação de um sistema de DPS com nível de proteção III nas zonas internas da estrutura conforme sugere a solução 1.

**Quadro 12 – Simulação da instalação de DPS NP III na Zona 3.**

PARÂMETROS DA Zona 3				
Identificação da Zona	Arquivo	Comentários	Símb	Valor
Parâmetros de entrada				
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	$r_f$	1,00E-05
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TLU}$	1,00E+00
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Alto	$r_f$	1,00E-01
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_b$	1,00E+00
Blindagem espacial externa		Sem blindagem		
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y ( $X > 0, Y > 1$ )	wm2	
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00
	$K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00	
Fiação interna	Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3P}$	2,00E-01
	Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3T}$	1,00E+00
Sistema de DPS	DPS	Classes - III-IV	$P_{EB}$	5,00E-02
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Após as modificações da classe do SPDA e do nível de proteção dos DPS, observados nos quadros citados a cima, são obtidos os resultados mostrados nos Quadros 15 e 22, sendo que esse último citado sera analisado na Seção 4.1. Analisando-

Quadro 13 – Simulação da instalação de DPS NP III na Zona 4.

PARÂMETROS DA ZONA 4					
Identificação da Zona		Escritórios			
Parâmetros de entrada		Comentários	Símb	Valor	
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	$r_f$	1,00E-05	
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00	
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00	
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Baixo	$r_f$	1,00E-03	
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00	
Blindagem espacial externa		Sem blindagem			
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1		
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y ( $X > 0, Y > 1$ )	wm2		
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00	
Fiação interna		$K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00	
		Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3P}$	2,00E-01
Sistema de DPS		Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3T}$	1,00E+00
		DPS	Classes - III-IV	$P_{EB}$	5,00E-02
		DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 14 – Simulação da instalação de DPS NP III na Zona 5.

PARÂMETROS DA ZONA 5					
Identificação da Zona		Centro de Informática			
Parâmetros de entrada		Comentários	Símb	Valor	
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	$r_f$	1,00E-05	
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00	
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00	
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Baixo	$r_f$	1,00E-03	
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00	
Blindagem espacial externa		Sem blindagem			
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1		
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y ( $X > 0, Y > 1$ )	wm2		
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00	
Fiação interna		$K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00	
		Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3P}$	2,00E-01
Sistema de DPS		Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3T}$	1,00E+00
		DPS	Classes - III-IV	$P_{EB}$	5,00E-02
		DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

os é possível perceber a redução considerável do risco total, tornando-o menor que o risco tolerável.

Quadro 15 – Dados de R obtidos com as adequações da Solução 1.

Componentes de Risco Atual																
	Fontes de Dano															
	S1				S2				S3				S4			
	RA		RB		RC		RM		RU		RV		RW		RZ	
R1	3,26E-09	0%	4,78E-06	66%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	2,29E-08	0%	2,43E-06	34%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R2	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R3	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R4	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%

Fonte: autoria própria (2021).

### 3.1.2 Solução 2:

- Instalação de SPDA Classe IV;
- Instalação de DPS com NP IV; e
- Instalação de sistema manual contra incêndio na zona 3.

O Quadro 16, quando comparado ao Quadro 1, mostra a modificação do parâmetro “SPDA Instalado” de “Estrutura não protegida por SPDA” para “Estrutura protegida por SPDA Classe IV”.

O Quadro 16 também mostra a modificação do parâmetro “Proteção contra incêndio” para “Elementos extintores manuais” como sugerido no item 3 da solução 2, dada pela NBR 5419:2015-2.

**Quadro 16 – Simulação da instalação de SPDA classe IV.**

Dados da estrutura				
Parâmetro	Descrição	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas (1/km <sup>2</sup> /ano)	<a href="#">Pesquise aqui o índice Ng</a>	N <sub>G</sub>	4,00	
Dimensões da estrutura (m)	Estrutura regular			27471,46
	Comprimento	L	20,00	
	Largura	W	40,00	
	Altura	H	25,00	
	Área total com saliência, se possuir	A <sub>T</sub>	0,00	
Localização da estrutura	Estrutura isolada	C <sub>D</sub>	1,00	Tabela A.1
SPDA Instalado	Estrutura protegida por SPDA Classe IV	P <sub>A</sub>	0,20	Tabela B.2
Pessoas na estrutura	Número total de pessoas na estrutura	n <sub>i</sub>	200,00	

Fonte: autoria própria (2021).

Os Quadros 17 a 19 mostram, na penúltima linha, a instalação de um sistema de DPS com nível de proteção IV nas zonas internas da estrutura conforme sugere a solução 2.

**Quadro 17 – Simulação da instalação de DPS NP IV na Zona 3.**

PARÂMETROS DA Zona 3				
Identificação da Zona	Arquivo		Símb	Valor
<b>Parâmetros de entrada</b>		<b>Comentários</b>		
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	r <sub>f</sub>	1,00E-05
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	P <sub>TA</sub>	1,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	P <sub>TU</sub>	1,00E+00
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Alto	r <sub>f</sub>	1,00E-01
Proteção contra incêndio		Elementos extintores manuais	r <sub>o</sub>	5,00E-01
		Sem blindagem		
Blindagem espacial externa		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y (X > 0, Y > 1)	wm2	
		K <sub>S1</sub> = 0,12*wm1	K <sub>S1</sub>	1,00E+00
		K <sub>S2</sub> = 0,12*wm2	K <sub>S2</sub>	1,00E+00
Fiação interna	Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	K <sub>S3P</sub>	2,00E-01
	Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	K <sub>S3T</sub>	1,00E+00
Sistema de DPS	DPS	Classes - III-IV	P <sub>EB</sub>	5,00E-02
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P <sub>SPD</sub>	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Os resultados obtidos a partir da aplicação da solução 2 estão apresentados nos Quadros 20 e 23, sendo que esse último citado será analisado na Seção 4.1. Assim como na solução anterior, as medidas tomadas diminuiram o risco total da estrutura, tornando-a protegida contra descargas atmosféricas.

Quadro 18 – Simulação da instalação de DPS NP IV na Zona 4.

PARÂMETROS DA ZONA 4				
Identificação da Zona		Escritórios		
Parâmetros de entrada		Comentários	Simb	Valor
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	$r_f$	1,00E-05
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Baixo	$r_f$	1,00E-03
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00
		Sem blindagem		
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
Blindagem espacial externa		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y (X > 0, Y > 1)	wm2	
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00
		$K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00
Fiação interna		Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3P}$
		Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3T}$
Sistema de DPS		DPS	Classes - III-IV	$P_{EB}$
		DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$
				1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 19 – Simulação da instalação de DPS NP IV na Zona 5.

PARÂMETROS DA ZONA 5				
Identificação da Zona		Centro de Informática		
Parâmetros de entrada		Comentários	Simb	Valor
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	$r_f$	1,00E-05
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Baixo	$r_f$	1,00E-03
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00
		Sem blindagem		
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
Blindagem espacial externa		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y (X > 0, Y > 1)	wm2	
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00
		$K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00
Fiação interna		Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3P}$
		Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3T}$
Sistema de DPS		DPS	Classes - III-IV	$P_{EB}$
		DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$
				1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 20 – Dados de R obtidos com as adequações da Solução 2

Componentes de Risco Atual																
	Fontes de Dano															
	S1				S2				S3				S4			
	RA		RB		RC		RM		RU		RV		RW		RZ	
R1	6,53E-09	0%	5,16E-06	79%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	2,29E-08	0%	1,31E-06	20%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R2	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R3	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R4	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%

Fonte: autoria própria (2021).

### 3.2 VALIDAÇÃO COM O SOFTWARE TUPAN PLUS 2020

O teste do edifício de escritórios também foi feito utilizando o TUPAN PLUS 2020.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CASO BASE - RESULTADOS DAS PLANILHAS

#### 4.1.1 Caso base: planilha - sem SPDA

Quadro 21 – Resultados obtidos sem SPDA.

<b>Componentes de Risco Atual</b>		
<b>Resultado</b>		
<b>Risco Total</b>	<b>Risco Tolerável</b>	<b>Situação</b>
9,654E-05	1,00E-05	<b>Não protegido</b>
0,000E+00	1,00E-03	<b>Protegido</b>
0,000E+00	1,00E-04	<b>Protegido</b>
0,000E+00	1,00E-03	<b>Protegido</b>

Fonte: autoria própria (2021).

#### 4.1.2 Caso base: planilha - solução 1

Quadro 22 – Resultados obtidos com as adequações da Solução 1.

<b>Componentes de Risco Atual</b>		
<b>Resultado</b>		
<b>Risco Total</b>	<b>Risco Tolerável</b>	<b>Situação</b>
7,239E-06	1,00E-05	<b>Protegido</b>
0,000E+00	1,00E-03	<b>Protegido</b>
0,000E+00	1,00E-04	<b>Protegido</b>
0,000E+00	1,00E-03	<b>Protegido</b>

Fonte: autoria própria (2021).

#### 4.1.3 Caso base: planilha - solução 2

### 4.2 RESULTADOS OBTIDOS DO SOFTWARE TUPAN

Assim como na planilha, no TUPAN PLUS 2020 também foram aplicadas as Soluções 1 e 2 sugeridas pela norma no seu Apêndice C e o resultado final aparecem nas Figuras 6 e 7, respectivamente, para as Soluções 1 e 2.

Quadro 23 – Resultados obtidos com as adequações da Solução 2

Componentes de Risco Atual		
Resultado		
Risco Total	Risco Tolerável	Situação
6,505E-06	1,00E-05	Protegido
0,000E+00	1,00E-03	Protegido
0,000E+00	1,00E-04	Protegido
0,000E+00	1,00E-03	Protegido

Fonte: autoria própria (2021).

O TUPAN PLUS 2020 marca os valores acima do tolerável com um quadrado contornando-os. Assim como na planilha, tem-se um risco resultante menor que o tolerável, classificando a estrutura como protegida. O risco  $R_4$  fica acima do tolerável, porém a norma não obriga a tolerância e o cálculo deste risco e o exemplo foca apenas no risco  $R_1$ .

#### 4.2.1 Caso base: TUPAN - sem SPDA

Os resultados para o teste sem nenhuma medida de proteção são apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Resultados Caso Base - TUPAN.

Riscos	Valores toleráveis	Os valores abaixo devem ser multiplicados por $10^{-5}$					Total
		Zona Z1	Zona Z2	Zona Z3	Zona Z4	Zona Z5	
R1-Perda de vida humana	1	<0,1	<0,1	8,8756552258	0,7118097538	<0,1	9,65418604
R2-Perda de serviço ao	100	2,4070553604	1,2035276802	21,667036682	138,18957743	12,0915880	175,558785
R3-Perda de herança	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
R4-Perda de valor	<0,1	<0,1	231,44763080	276,60945533	83,387983874	83,3879838	674,833053
Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$		701826					

Fonte: autoria própria (2021).

#### 4.2.2 Caso base: TUPAN - solução 1.

Os resultados obtidos a partir das medidas sugeridas pela solução 1 são mostrados na Figura 6.

**Figura 6 – Resultados obtidos após a Solução 1 - TUPAN.**

Riscos		Os valores abaixo devem ser multiplicados por $10^{-5}$					
	Valores toleráveis	Zona Z1	Zona Z2	Zona Z3	Zona Z4	Zona Z5	Total
R1-Perda de vida humana	1	<0,1	<0,1	0,6635599225	<0,1	<0,1	0,72389228
R2-Perda de serviço ao	100	2,4070553604	1,2035276802	1,1932376676	6,9182697383	0,60534860	12,3274390
R3-Perda de herança	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
R4-Perda de valor	<0,1	<0,1	231,44763080	8,2888093020	4,1831349229	4,18313492	248,102709
Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$				258026			

Fonte: autoria própria (2021).

#### 4.2.3 Caso base: TUPAN - solução 2

A Figura 7 apresenta os resultados calculados pelo TUPAN PLUS 2020 para o caso de instalação da solução 2, dada pela norma. Assim como na solução 1 e no caso da planilha o risco fica abaixo do tolerável, o que significa que com as medidas apresentadas pela solução 2 a estrutura fica protegida contra descargas atmosféricas.

**Figura 7 – Resultados obtidos após a Solução 2 - TUPAN.**

Riscos		Os valores abaixo devem ser multiplicados por $10^{-5}$					
	Valores toleráveis	Zona Z1	Zona Z2	Zona Z3	Zona Z4	Zona Z5	Total
R1-Perda de vida humana	1	<0,1	<0,1	0,5515709111	<0,1	<0,1	0,61212304
R2-Perda de serviço ao	100	2,4070553604	1,2035276802	1,1372376676	6,9182697383	0,60534860	12,2714390
R3-Perda de herança	10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
R4-Perda de valor	<0,1	<0,1	231,44763080	7,5888093020	4,1831349229	4,18313492	247,402709
Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$				257298			

Fonte: autoria própria (2021).

### 4.3 RESUMO

Nas Tabela 2 e Tabela 3, todos os elementos numéricos são multiplicados por um fator  $10^{-5}$ , as mesmas comparam os resultados obtidos entre as duas ferramentas e os dados pela norma, além de apresentar o erro entre os valores encontrados pela planilha e o *software* TUPAN.

Com intuito de reforçar, a validação dos dados, os dados foram aplicados à uma

**Tabela 2 – Caso base - comparação do resultado final.**

Proteção	NBR 5419:2015	Planilha	TUPAN 2020	PLUS	Erro (%)
Sem proteção	9,650	9,654	9,654		0,0
Solução 1	0,722	0,724	0,724		0,0
Solução 2	0,648	0,650	0,612		5,85

**Fonte: autoria própria (2021).**

nova condição, casa de campo, ao qual denominamos Caso II. As principais informações foram trazidas no Apêndice D e o resumo da coletânea de dados é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 3 – Caso II - comparação do resultado final.**

Proteção	NBR 5419:2015	Planilha	TUPAN 2020	PLUS	Erro (%)
Sem proteção	2,51	2,506	0,25		90,02
Solução 1	0,223	0,223	<0,1		57,08
Solução 2	0,141	0,141	<0,1		29,08

**Fonte: autoria própria (2021).**

Para averiguar a maior proximidade da norma com a planilha deste trabalho, foi realizado cálculo de erros entre a norma e o TUPAN assim como entre a norma e a planilha na tabela 4 para o caso base, e na tabela 5 o mesmo cálculo de erro foi realizado para o caso II.

**Tabela 4 – Caso base - comparação do resultado, Norma x TUPAN x Planilha.**

Proteção	Erro Norma x TUPAN(%)	Erro Norma x Planilha (%)
Sem proteção	0.0414	0.0414
Solução 1	0,722	0.2770
Solução 2	5.5556	0.3077

**Fonte: autoria própria (2021).**

**Tabela 5 – Caso II - comparação do resultado, Norma x TUPAN x Planilha.**

Proteção	Erro Norma x TUPAN(%)	Erro Norma x Planilha (%)
Sem proteção	90.0398	0.1594
Solução 1	55.1570	0
Solução 2	29.0780	0

**Fonte: autoria própria (2021).**

#### 4.4 DISCUSSÃO

Nota-se uma grande proximidade dos valores, com algumas diferenças em relação à aproximação de valores durante os cálculos. Os testes anteriores permitem

perceber que a planilha confeccionada pelos autores é fiel à norma. Porém a NBR 5419:2015 não traz exemplos para colocar em teste os outros tipos de riscos (risco de perda de serviço ao público, risco de perda de patrimônio cultural e risco de perda de valor econômico) e foi encontrada bastante dificuldade para encontrar exemplos para estes tipos de riscos.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou que apesar do Brasil sofrer com constantes descargas elétricas em seu território ele também tem uma norma reguladora que consegue diminuir e evitar as perdas e danos causados por esse fenômeno. Assim o projeto proposto para produzir uma planilha automatizada que permita calcular o risco de sistemas de proteção contra descargas atmosférica (SPDA) foi executado com sucesso, pois as comparações realizadas permitem observar que os resultados foram compatíveis com a norma e as variáveis estudadas foram contempladas, observando-se uma performance mais satisfatória com softwares já consolidados no mercado, Com exceção da variável R4, que constatamos que necessita de uma visão muito minuciosa para ser implementada pois possui uma gama imensa de variáveis dentro de si, assim a implementação dessa variável, bem como uma análise financeira pode ser uma ideia de trabalhos futuros .

## REFERÊNCIAS

ABNT-NBR5419-1. **Proteção contra descargas atmosféricas**: Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ABNT-NBR5419-2. **Proteção contra descargas atmosféricas**: Parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ABNT-NBR5419-3. **Proteção contra descargas atmosféricas**: Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vista. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ABNT-NBR5419-4. **Proteção contra descargas atmosféricas**: Parte 4: Sistemas elétricos internos na estrutura. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

CAZARRÉ, M. **Brasil registra média de 78 milhões de raios por ano, diz Inpe**. [S. l.: s. n.], 2017. Agência Brasil. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-09/brasil-registra-media-de-78-milhoes-de-raios-por-ano-diz-inpe#>. Acesso em: 1 dez. 2021.

FARIA, S. A. d. **Metodologia de análise de risco de implantação de sistema de proteção contra descarga atmosférica**. 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, BH. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1457M.PDF>. Acesso em: 1 dez. 2021.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. [S. l.: s. n.], 2019. Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT). Mapa do Biênio 2018/2019. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/incidencia.de.descargas.no.pais.php>. Acesso em: 1 dez. 2021.

REYNOL, F. **Raios e mudanças climáticas**. [S. l.: s. n.], 2010. FAPESP. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/raios-e-mudancas-climaticas/11766/>. Acesso em: 1 dez. 2021.

ROSSINI, M. C. **Infográfico: em quais cidades caem mais raios no Brasil?** [S. l.: s. n.], 2021. Super Interessante. Disponível em: <https://super.abril.com.br/sociedade/infografico-em-quais-cidades-caem-mais-raios-no-brasil/>. Acesso em: 1 dez. 2021.

SANTOS, D. C. d. **Automatização do cálculo e da análise de risco da norma ABNT 5419:2015**. [S. l.: s. n.], 2017. Curso de engenharia elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/169316>. Acesso em: 1 dez. 2021.

**APÊNDICE A — DADOS DA ZONA 2 A 5**

Quadro 24 – Parâmetros Zona 2

PARÂMETROS DA ZONA 2				
Identificação da Zona		Jardim Interno		
Parâmetros de entrada		Comentários	Símbolo	Valor
Tipo de piso		Agricultura, concreto	$r_f$	1,00E-02
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Restrições físicas	$P_{TA}$	0,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha		Restrições físicas	$P_{TU}$	0,00E+00
Risco de incêndio ou explosão		Explosão ou Incêndio - Nenhum	$r_f$	0,00E+00
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00
Blindagem espacial externa		Sem blindagem		
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y ( $X > 0, Y > 1$ )	wm2	
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00
		$K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00
Fiação interna	Linha 1	Não aplicável	$K_{S3IP}$	0,00E+00
	Linha 2	Não aplicável	$K_{S3IT}$	0,00E+00
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	$P_{EB}$	1,00E+00
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 25 – Perda da vida humana L1 da Zona 2.

L1 - Perda de vida humana				
		Descrição	Símbolo	Valor
	Tipo de perigo especial	Sem perigo especial	$h_z$	1
Tipos de danos	D1 - Ferimentos	Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico D1	$L_{T1}$	1,00E-02
	D2 - Danos físicos	Não aplicável	$L_{F1}$	0,00E+00
	D3 - Falhas de sistemas internos	Não aplicável	$L_{O1}$	0,00E+00
Pessoas na zona	Pessoas na zona	Número de pessoas na zona	$n_z$	2
	Tempos de pessoas na zona	Tempo de permanência de pessoas em horas/dia	$t_h$	24
		Tempo de permanência de pessoas em dias/ano	$t_{dia}$	365
		Tempo de permanência de pessoas em horas/ano	$t_z$	8760
Perdas típicas	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{A1}$	1,00E-06
	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{B1}$	0,00E+00
	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{C1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)		$L_{M1}$	0
	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)		$L_{U1}$	1,00E-06
	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{V1}$	0,00E+00
	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{W1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)		$L_{Z1}$	0

Fonte: autoria própria (2021).

**Quadro 26 – Perda da vida humana L1 da Zona 2(continuação).**

Componentes de risco	R <sub>A</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>A1</sub>	0,00E+00
	R <sub>B</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>B1</sub>	0,00E+00
	R <sub>C</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>C1</sub>	0,00E+00
	R <sub>M</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)	R <sub>M1</sub>	0,00E+00
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>U/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>U/T1</sub>	0,00E+00
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>U1</sub>	0,00E+00
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>V/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>V/T1</sub>	0,00E+00
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>V1</sub>	0,00E+00
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>W/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>W/T1</sub>	0,00E+00
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>W1</sub>	0,00E+00
	R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 1)	R <sub>Z/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 2)	R <sub>Z/T1</sub>	0
	R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)	R <sub>Z1</sub>	0,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

**Quadro 27 – Valores de probabilidade de danos na Zona 2.**

Avaliação da probabilidade de danos				
Descarga na estrutura	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	P <sub>A</sub>	0,00E+00	B.1
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos	P <sub>B</sub>	1,00	TAB - B.2
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 1	P <sub>C1P</sub>	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 2	P <sub>C1T</sub>	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos	P <sub>C</sub>	1,00E+00	B.2
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	P <sub>MS/P</sub>	0,00E+00	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	P <sub>M1P</sub>	0,00E+00	B.3
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	P <sub>MS/T</sub>	0,00E+00	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	P <sub>M1T</sub>	0,00E+00	B.3
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	P <sub>M</sub>	0,00E+00	
Ferimentos a seres vivos por choque elétrico	LINHA 1	P <sub>U/P</sub>	0,00E+00	B.8
	LINHA 2	P <sub>U/T</sub>	0,00E+00	
Causar danos físicos	LINHA 1	P <sub>V/P</sub>	1,00E+00	B.9
	LINHA 2	P <sub>V/T</sub>	1,00E+00	
Falha de sistemas internos	LINHA 1	P <sub>W/P</sub>	1,00E+00	B.10
	LINHA 2	P <sub>W/T</sub>	1,00E+00	
Falha dos sistemas internos	LINHA 1	P <sub>Z/P</sub>	3,00E-01	B.11
	LINHA 2	P <sub>Z/T</sub>	5,00E-01	B.11

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 28 – Parâmetros Zona 3.

PARÂMETROS DA Zona 3				
Identificação da	Arquivo			
Parâmetros de entrada		Comentários	Símb	Valor
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	$r_f$	1,00E-05
Proteção contra choque - descarga na		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Alto	$r_f$	1,00E-01
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00
Blindagem espacial externa		Sem blindagem		
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR	wm2	
		$X/Y (X > 0, Y > 1)$		
		$K_{S1} = 0,12 * wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00
	$K_{S2} = 0,12 * wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00	
Fiação interna	Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3/P}$	2,00E-01
	Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3/T}$	1,00E+00
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	$P_{EB}$	1,00E+00
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 29 – Perda da vida humana L1 da Zona 3.

L1 - Perda de vida humana				
		Descrição	Símb	Valor
	Tipo de perigo especial	Baixo nível de pânico	$h_z$	2
Tipos de danos	D1 - Ferimentos	Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico D1	$L_{T1}$	1,00E-02
	D2 - Danos físicos	Industrial, comercial	$L_{F1}$	2,00E-02
	D3 - Falhas de sistemas internos	Não aplicável	$L_{O1}$	0,00E+00
Pessoas na zona	Pessoas na zona	Número de pessoas na zona	$n_z$	20
	Tempos de pessoas na zona	Tempo de permanência de pessoas em horas/dia	$t_h$	24
		Tempo de permanência de pessoas em dias/ano	$t_{dia}$	365
		Tempo de permanência de pessoas em horas/ano	$t_z$	8760
Perdas típicas	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{A1}$	1,00E-08
	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{B1}$	4,00E-04
	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{C1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)		$L_{M1}$	0
	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)		$L_{U1}$	1,00E-08
	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{V1}$	4,00E-04
	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{W1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)		$L_{Z1}$	0

Fonte: autoria própria (2021).

**Quadro 30 – Perda da vida humana L1 da Zona 3(continuação).**

Componentes de risco	R <sub>A</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>A1</sub>	1,10E-09
	R <sub>B</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>B1</sub>	4,40E-05
	R <sub>C</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)	R <sub>C1</sub>	0,00E+00
	R <sub>M</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)	R <sub>M1</sub>	0,00E+00
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>U/P1</sub>	3,20E-10
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>U/T1</sub>	8,00E-10
	R <sub>U</sub> - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>U1</sub>	1,12E-09
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>V/P1</sub>	1,28E-05
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>V/T1</sub>	3,20E-05
	R <sub>V</sub> - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>V1</sub>	4,48E-05
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 1)	R <sub>W/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 2)	R <sub>W/T1</sub>	0,00E+00
	R <sub>W</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)	R <sub>W1</sub>	0,00E+00
	R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 1)	R <sub>Z/P1</sub>	0,00E+00
	R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 2)	R <sub>Z/T1</sub>	0
	R <sub>Z</sub> - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)	R <sub>Z1</sub>	0,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 31 – Valores de probabilidade de danos na Zona 3.

Avaliação da probabilidade de danos				
Descarga na estrutura	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	$P_A$	1,00E+00	B.1
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos	$P_B$	1,00	TAB - B.2
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 1	$P_{C/P}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 2	$P_{C/T}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos	$P_C$	1,00E+00	B.2
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/P}$	6,40E-03	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/P}$	6,40E-03	B.3
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/T}$	6,67E-01	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/T}$	6,67E-01	B.3
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_M$	6,69E-01	
Ferimentos a seres vivos por choque elétrico	LINHA 1	$P_{U/P}$	1,00E+00	B.8
	LINHA 2	$P_{U/T}$	1,00E+00	
Causar danos físicos	LINHA 1	$P_{V/P}$	1,00E+00	B.9
	LINHA 2	$P_{V/T}$	1,00E+00	
Falha de sistemas internos	LINHA 1	$P_{W/P}$	1,00E+00	B.10
	LINHA 2	$P_{W/T}$	1,00E+00	
Falha dos sistemas internos	LINHA 1	$P_{Z/P}$	3,00E-01	B.11
	LINHA 2	$P_{Z/T}$	5,00E-01	B.11

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 32 – Parâmetros Zona 4.

PARÂMETROS DA ZONA 4				
Identificação da	Escritórios		Símbolo	Valor
<b>Parâmetros de entrada</b>		<b>Comentários</b>		
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	$r_f$	1,00E-05
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Baixo	$r_f$	1,00E-03
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00
Blindagem espacial externa		Sem blindagem		
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y (X > 0, Y > 1)	wm2	
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$ $K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S1}$ $K_{S2}$	1,00E+00 1,00E+00
Fiação interna	Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3/P}$	2,00E-01
	Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3/T}$	1,00E+00
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	$P_{EB}$	1,00E+00
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	PSPD	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 33 – Perda da vida humana L1 da Zona 4.

L1 - Perda de vida humana				
		Descrição	Símbolo	Valor
	Tipo de perigo especial	Baixo nível de pânico	$h_z$	2
Tipos de danos	D1 - Ferimentos	Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico D1	$L_{T1}$	1,00E-02
	D2 - Danos físicos	Industrial, comercial	$L_{F1}$	2,00E-02
	D3 - Falhas de sistemas internos	Não aplicável	$L_{O1}$	0,00E+00
Pessoas na zona	Pessoas na zona	Número de pessoas na zona	$n_z$	160
	Tempos de pessoas na zona	Tempo de permanência de pessoas em horas/dia	$t_h$	24
		Tempo de permanência de pessoas em dias/ano	$t_{dia}$	365
		Tempo de permanência de pessoas em horas/ano	$t_z$	8760
Perdas típicas	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{A1}$	8,00E-08
	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{B1}$	3,20E-05
	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{C1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)		$L_{M1}$	0
	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)		$L_{U1}$	8,00E-08
	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{V1}$	3,20E-05
	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{W1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)		$L_{Z1}$	0

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 34 – Perda da vida humana L1 da Zona 4(continuação).

Componentes de risco	$R_A$ - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)	$R_{A1}$	8,79E-09
	$R_B$ - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)	$R_{B1}$	3,52E-06
	$R_C$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)	$R_{C1}$	0,00E+00
	$R_M$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)	$R_{M1}$	0,00E+00
	$R_U$ - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 1)	$R_{U/P1}$	2,56E-09
	$R_U$ - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 2)	$R_{U/T1}$	6,40E-09
	$R_U$ - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)	$R_{U1}$	8,96E-09
	$R_V$ - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 1)	$R_{V/P1}$	1,02E-06
	$R_V$ - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 2)	$R_{V/T1}$	2,56E-06
	$R_V$ - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)	$R_{V1}$	3,58E-06
	$R_W$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 1)	$R_{W/P1}$	0,00E+00
	$R_W$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 2)	$R_{W/T1}$	0,00E+00
	$R_W$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)	$R_{W1}$	0,00E+00
	$R_Z$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 1)	$R_{Z/P1}$	0,00E+00
	$R_Z$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 2)	$R_{Z/T1}$	0
	$R_Z$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)	$R_{Z1}$	0,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 35 – Valores de probabilidade de danos na Zona 4.

Avaliação da probabilidade de danos				
Descarga na estrutura	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	$P_A$	1,00E+00	B.1
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos	$P_B$	1,00	TAB - B.2
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 1	$P_{C/P}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 2	$P_{C/T}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos	$P_C$	1,00E+00	B.2
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/P}$	6,40E-03	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/P}$	6,40E-03	B.3
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/T}$	6,67E-01	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/T}$	6,67E-01	B.3
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_M$	6,69E-01	
Ferimentos a seres vivos por choque	LINHA 1	$P_{U/P}$	1,00E+00	B.8
	LINHA 2	$P_{U/T}$	1,00E+00	
Causar danos físico	LINHA 1	$P_{V/P}$	1,00E+00	B.9
	LINHA 2	$P_{V/T}$	1,00E+00	
Falha de sistemas ir	LINHA 1	$P_{W/P}$	1,00E+00	B.10
	LINHA 2	$P_{W/T}$	1,00E+00	
Falha dos sistemas	LINHA 1	$P_{Z/P}$	3,00E-01	B.11
	LINHA 2	$P_{Z/T}$	5,00E-01	B.11

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 36 – Parâmetros Zona 5.

PARÂMETROS DA ZONA 5				
Identificação da Zona	Centro de Informática			
Parâmetros de entrada	Comentários		Símb	Valor
Tipo de piso	Asfalto, linóleo, madeira		$r_f$	1,00E-05
Proteção contra choque - descarga na estrutura	Nenhuma medida de proteção		$P_{TA}$	1,00E+00
Proteção contra choque - descarga na linha	Nenhuma medida de proteção		$P_{TU}$	1,00E+00
Risco de incêndio ou explosão	Incêndio - Baixo		$r_f$	1,00E-03
Proteção contra incêndio	Nenhuma providência		$r_o$	1,00E+00
Blindagem espacial externa	Sem blindagem			
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1	
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y (X > 0, Y > 1)	wm2	
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$ $K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S1}$ $K_{S2}$	1,00E+00 1,00E+00
Fiação interna	Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3/P}$	2,00E-01
	Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3/T}$	1,00E+00
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	$P_{ER}$	1,00E+00
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 37 – Perda da vida humana L1 da Zona 5

L1 - Perda de vida humana				
		Descrição	Símb	Valor
	Tipo de perigo especial	Baixo nível de pânico	$h_z$	2
Tipos de danos	D1 - Ferimentos	Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico D1	$L_{T1}$	1,00E-02
	D2 - Danos físicos	Industrial, comercial	$L_{F1}$	2,00E-02
	D3 - Falhas de sistemas internos	Não aplicável	$L_{O1}$	0,00E+00
Pessoas na zona	Pessoas na zona	Número de pessoas na zona	$n_z$	14
	Tempos de pessoas na zona	Tempo de permanência de pessoas em horas/dia	$t_h$	24
		Tempo de permanência de pessoas em dias/ano	$t_{dia}$	365
		Tempo de permanência de pessoas em horas/ano	$t_z$	8760
Perdas típicas	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{A1}$	7,00E-09
	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{B1}$	2,80E-06
	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{C1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)		$L_{M1}$	0
	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)		$L_{U1}$	7,00E-09
	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{V1}$	2,80E-06
	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{W1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)		$L_{Z1}$	0

Fonte: autoria própria (2021).

Quadro 38 – Perda da vida humana L1 da Zona 5(continuação).

L1 - Perda de vida humana				
		Descrição	Símb	Valor
	Tipo de perigo especial	Baixo nível de pânico	$h_z$	2
Tipos de danos	D1 - Ferimentos	Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico D1	$L_{T1}$	1,00E-02
	D2 - Danos físicos	Industrial, comercial	$L_{F1}$	2,00E-02
	D3 - Falhas de sistemas internos	Não aplicável	$L_{O1}$	0,00E+00
Pessoas na zona	Pessoas na zona	Número de pessoas na zona	$n_z$	14
	Tempos de pessoas na zona	Tempo de permanência de pessoas em horas/dia	$t_h$	24
		Tempo de permanência de pessoas em dias/ano	$t_{dia}$	365
		Tempo de permanência de pessoas em horas/ano	$t_z$	8760
Perdas típicas	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{A1}$	7,00E-09
	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{B1}$	2,80E-06
	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{C1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)		$L_{M1}$	0
	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)		$L_{U1}$	7,00E-09
	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{V1}$	2,80E-06
	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{W1}$	0
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)		$L_{Z1}$	0

Fonte: autoria própria (2021).

**Quadro 39 – Valores de probabilidade de danos na Zona 5.**

<b>Avaliação da probabilidade de danos</b>				
Descarga na estrutura	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	$P_A$	1,00E+00	B.1
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos	$P_B$	1,00	TAB - B.2
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 1	$P_{C/P}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 2	$P_{C/T}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos	$P_C$	1,00E+00	B.2
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/P}$	6,40E-03	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/P}$	6,40E-03	B.3
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/T}$	6,67E-01	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/T}$	6,67E-01	B.3
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_M$	6,69E-01	
Ferimentos a seres vivos por choque elétrico	LINHA 1	$P_{U/P}$	1,00E+00	B.8
	LINHA 2	$P_{U/T}$	1,00E+00	
Causar danos físicos	LINHA 1	$P_{V/P}$	1,00E+00	B.9
	LINHA 2	$P_{V/T}$	1,00E+00	
Falha de sistemas internos	LINHA 1	$P_{W/P}$	1,00E+00	B.10
	LINHA 2	$P_{W/T}$	1,00E+00	
Falha dos sistemas internos	LINHA 1	$P_{Z/P}$	3,00E-01	B.11
	LINHA 2	$P_{Z/T}$	5,00E-01	B.11

Fonte: autoria própria (2021).

**APÊNDICE B — TELAS COM ALIMENTAÇÃO  
DE DADOS NO *SOFTWARE* TUPAN PLUS 2020**

A Figura 8 mostra a divisão das zonas Z1, Z2, Z3, Z4 e Z5 na tela “Zonas” do *software*.

**Figura 8 – Tela "Zonas"(TUPAN PLUS 2020).**

Zonas de estudo

Z5-Cinco zonas

Entrada Externa	jardim externo	arquivos	escritórios	centro de informática
Guardar Z1	Guardar Z2	Guardar Z3	Guardar Z4	Guardar Z5
Carregar Z1	Carregar Z2	Carregar Z3	Carregar Z4	Carregar Z5

Z1 Pertence à estrutura principal     Z2 Pertence à estrutura principal     Z3 Pertence à estrutura principal     Z4 Pertence à estrutura principal     Z5 Pertence à estrutura principal

**Fonte: autoria própria (2021).**

As Figura 9 e Figura 10 mostram a tela “Dados Técnicos”, que contempla os dados da estrutura, influências ambientais, medidas de proteção ou mitigação do risco, atributos das linhas conectadas e atributos da avaliação. Os valores dos campos são referentes à Zona 1.

Os dados de medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem, fatores de variação das perdas, e dimensionamento das perdas potenciais podem ser vistos na tela “Outros Dados” da ferramenta. Os valores referentes a estes dados para a Zona 1 são mostrados nas Figura 11 e Figura 12.

As Figura 13 e Figura 14 mostram as telas “Dados Técnicos” com os valores para a Zona 2.

Os valores mostrados nas Figura 15 e Figura 16 são da tela “Outros Dados”, da Zona 2.

As Figura 17 e Figura 18 mostram as telas “Dados Técnicos”, e as Figura 19 e Figura 20 a tela “Outros Dados”, com os valores da Zona 3.

As Figura 21 e Figura 22 mostram as telas “Dados Técnicos” para a Zona 4.

A tela “Outros Dados” com valores da Zona 4 são mostrados nas Figura 23 e Figura 24.

Para a zona Z5, a tela “Dados Técnicos” é mostrada nas Figura 25 e Figura 26. Já a tela “Outros Dados” pode ser vista nas Figura 27 e Figura 28.

**Figura 9 – Tela "Dados Técnicos" lado esquerdo – Z1 Caso Base.**

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal  [m<sup>2</sup>]

[Com ajuda para Cálculo de estruturas simples](#)

[Sem ajuda para Cálculo de estruturas simples](#)

---

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

[Ajuda para seleção dos campos](#)

Meios para reduzir as conseqüências de incêndio

---

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]

Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)

Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z1**

[Ajuda para seleção dos campos](#)

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 10 – Dados Técnicos"lado direito – Z1 Caso Base.

Influências ambientais	
Localização (cidade):	Instruções
Localização da estrutura:	
Estrutura isolada	
Frequência de raios(Ng):	4 [1/km <sup>2</sup> /ano]
Risco de incêndio ou explosão	
Nenhum	Avaliação NT nº14/2019
Atributos da avaliação	
Nome do projeto:	Edifício de Escritórios
Avaliador:	TCC
Atributos da linha de telecomunicação conectada	
Comprimento da linha conectada:	1000 [m]    área de exposição adjacente: 0 [m <sup>2</sup> ]
Fator ambiental (Ce)	Fator de instalação dos condutores (Ci)
Rural	Enterrado
Condição da blind., aterr. e isolamento	
Lin.enterrada não blindada. Conex.entrr. indefinida	
Tensão sup. impulso do sistema	
1,5kV	
DPS de acordo com nível de proteção	Fiação interna (Ks3)
Sem proteção coordenada com Df	Não blindado- precaução para evitar grandes
Ajuda para seleção dos campos	

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 11 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z1 Caso Base.**

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura:

Contra tensão de passo e toque na linha conectada:

Blindagem metálica contínua  Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1  [m] Wm2  [m]

---

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona  Tempo de exposição na zona(em horas por ano)

Número total de pessoas

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço

Última zona carregada na **Z1**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 12 – Tela "Outros Dados" lado direito - Z1 Caso Base.**

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso

Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Risco admissível

R1 (risco de perda de vida humana)	<input type="text" value="1"/>	Valores de norma
R2 (risco de perda de serviço ao público)	<input type="text" value="100"/>	
R3 (risco de perda de patrimônio cultural)	<input type="text" value="10"/>	
R4 (risco de perda de valor econômico)	<input type="text" value="0"/>	

$\times 10^{-5}$

---

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na	<input type="text" value="0"/>	Valor do conteúdo na zona	<input type="text" value="0"/>
Valor da edificação na zona	<input type="text" value="0"/>	Valor dos sistemas internos na zona	<input type="text" value="0"/>

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos	<input type="text" value="Nenhum risco"/>
Tipo da estrutura	<input type="text" value="Outros"/>

---

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona	<input type="text" value="0"/>	Valor total da edificação	<input type="text" value="0"/>
--------------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------------

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 13 – Tela "Dados Técnicos"lado esquerdo - Z2 Caso Base.**

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal  [m<sup>2</sup>]

Com ajuda para Cálculo de estruturas simples

Sem ajuda para Cálculo de estruturas simples

---

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Ajuda para seleção dos campos

Meios para reduzir as conseqüências de incêndio

---

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]

Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)

Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z2**

Ajuda para seleção dos campos

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 14 – Tela "Dados Técnicos" lado direito - Z2 Caso Base.

**Influências ambientais**

Instruções

Localização (cidade):

Localização da estrutura:

Frequência de raios(Ng):  [1/km<sup>2</sup>/ano]

---

**Risco de incêndio ou explosão**

Avaliação NT nº14/2019

---

**Atributos da avaliação**

Nome do projeto:

Avaliador:

---

**Atributos da linha de telecomunicação conectada**

Comprimento da linha conectada:  [m] Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce):  Fator de instalação dos condutores (Ci):

Condição da blind., aterr. e isolamento:

Tensão sup. impulso do sistema:

DPS de acordo com nível de proteção:  Fiação interna (Ks3):

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 15 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z2 Caso Base.**

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura: Restrições físicas ou estrutura como sist. descida

Contra tensão de passo e toque na linha conectada: Restrições físicas

Blindagem metálica contínua  Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1 8,3333 [m] Wm2 8,3333 [m]

Ajuda para definir largura da blindagem ou distância das descidas

---

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona 2 Tempo de exposição na zona(em horas por ano) 8760

Número total de pessoas 200

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas de

Tipo da estrutura Industrial, comercial

---

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço TV, linhas de telecomunicações

Última zona carregada na **Z2**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 16 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z2 Caso Base.**

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso

Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Risco admissível

R1 (risco de perda de vida humana)	<input type="text" value="1"/>	$\times 10^{-5}$	Valores de norma
R2 (risco de perda de serviço ao público)	<input type="text" value="100"/>		
R3 (risco de perda de patrimônio cultural)	<input type="text" value="10"/>		
R4 (risco de perda de valor econômico)	<input type="text" value="0"/>		

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na	<input type="text" value="0"/>	Valor do conteúdo na zona	<input type="text" value="1000000"/>
Valor da edificação na zona	<input type="text" value="20000000"/>	Valor dos sistemas internos na zona	<input type="text" value="5000000"/>

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona	<input type="text" value="0"/>	Valor total da edificação	<input type="text" value="0"/>
--------------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------------

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 17 – Tela "Dados Técnicos" lado esquerdo – Z3 Caso Base.

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal  [m<sup>2</sup>]

---

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Meios para reduzir as consequências de incêndio

---

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]

Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)

Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

Fiação interna (Ks3)

DPS de acordo com nível de proteção

Última zona carregada na **Z3**

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 18 – Tela "Dados Técnicos"lado direito - Z3 Caso Base.

Influências ambientais	
Localização (cidade):	Instruções
<input type="text"/>	
Localização da estrutura:	
<input type="text" value="Estrutura isolada"/>	
<p>Frequência de raios(Ng): <input type="text" value="4"/> [1/km<sup>2</sup>/ano]</p>	
Risco de incêndio ou explosão	
<input type="text" value="Incêndio Alto ou explosão (zonas 1, 21)"/>	Avaliação NT nº14/2019
Atributos da avaliação	
Nome do projeto:	<input type="text" value="Edifício de Escritórios"/>
Avaliador:	<input type="text" value="TCC"/>
Atributos da linha de telecomunicação conectada	
Comprimento da linha conectada: <input type="text" value="1000"/> [m]	rea de exposição adjacente: <input type="text" value="0"/> [m <sup>2</sup> ]
Fator ambiental (Ce) <input type="text" value="Rural"/>	Fator de instalação dos condutores (C) <input type="text" value="Enterrado"/>
Condição da blind., aterr. e isolamento <input type="text" value="Lin.enterrada não blindada. Conex.entrr. indefinida"/>	
Tensão sup. impulso do sistema <input type="text" value="1,5kV"/>	
DPS de acordo com nível de proteção <input type="text" value="Sem proteção coordenada com DI"/>	Fiação interna (Ks3) <input type="text" value="Não blindado- precaução para evitar grande:"/>
<input type="button" value="Ajuda para seleção dos campos"/>	

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 19 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z3 Caso Base.**

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura:

Contra tensão de passo e toque na linha conectada:

Blindagem metálica contínua  Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1  [m] Wm2  [m]

[Ajuda para definir largura da blindagem ou distância das descidas](#)

---

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona  Tempo de exposição na zona(em horas por ano)

Número total de pessoas

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço

Última zona carregada na **Z3**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 20 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z3 Caso Base.**

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso

Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Risco admissível

R1 (risco de perda de vida humana)

R2 (risco de perda de serviço ao público)

R3 (risco de perda de patrimônio cultural)   $\times 10^{-5}$

R4 (risco de perda de valor econômico)

---

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na  Valor do conteúdo na zona

Valor da edificação na zona  Valor dos sistemas internos na zona

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona  Valor total da edificação

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 21 – Tela "Dados Técnicos"lado esquerdo – Z4 Caso Base.**

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal  [m<sup>2</sup>]

---

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Meios para reduzir as conseqüências de incêndio

---

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]

Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)

Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

Fiação interna (Ks3)

DPS de acordo com nível de proteção

Última zona carregada na **Z4**

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 22 – Tela "Dados Técnicos"lado direito - Z4 Caso Base.

Influências ambientais

Instruções

Localização (cidade):

Localização da estrutura:

Frequência de raios(Ng):  [1/km<sup>2</sup>/ano]

---

Risco de incêndio ou explosão

Avaliação NT nº14/2019

---

Atributos da avaliação

Nome do projeto:

Avaliador:

---

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada:  [m] Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)  Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção  Fiação interna (Ks3)

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 23 – Tela "Outros Dados"lado esquerdo - Z4 Caso Base.**

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura:

Contra tensão de passo e toque na linha conectada:

Blindagem metálica contínua  Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1  [m] Wm2  [m]

[Ajuda para definir largura da blindagem ou distância das descidas](#)

---

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona  Tempo de exposição na zona(em horas por ano)

Número total de pessoas

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço

Última zona carregada na **Z4**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 24 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z4 Caso Base.**

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso

Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Risco admissível

R1 (risco de perda de vida humana)

R2 (risco de perda de serviço ao público)

R3 (risco de perda de patrimônio cultural)   $\times 10^{-5}$

R4 (risco de perda de valor econômico)

---

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na  Valor do conteúdo na zona

Valor da edificação na zona  Valor dos sistemas internos na zona

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona  Valor total da edificação

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 25 – Tela "Dados Técnicos"lado esquerdo – Z5 Caso Base.

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal  [m<sup>2</sup>]

Com ajuda para Cálculo de estruturas simples

Sem ajuda para Cálculo de estruturas simples

---

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Ajuda para seleção dos campos

Meios para reduzir as conseqüências de incêndio

---

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]

Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)

Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z5**

Ajuda para seleção dos campos

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 26 – Tela "Dados Técnicos" lado direito - Z5 Caso Base.

**Influências ambientais**

Instruções

Localização (cidade):

Localização da estrutura:

Frequência de raios(Ng):  [1/km<sup>2</sup>/ano]

---

**Risco de incêndio ou explosão**

Avaliação NT nº14/2019

---

**Atributos da avaliação**

Nome do projeto:

Avaliador:

---

**Atributos da linha de telecomunicação conectada**

Comprimento da linha conectada:  [m] Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce):  Fator de instalação dos condutores (Ci):

Condição da blind., aterr. e isolamento:

Tensão sup. impulso do sistema:

DPS de acordo com nível de proteção:  Fiação interna (Ks3):

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 27 – Tela "Outros Dados" lado esquerdo - Z5 Caso Base.**

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura:

Contra tensão de passo e toque na linha conectada:

Blindagem metálica contínua  Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1  [m] Wm2  [m]

[Ajuda para definir largura da blindagem ou distância das descidas](#)

---

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona  Tempo de exposição na zona(em horas por ano)

Número total de pessoas

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço

Última zona carregada na **Z5**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 28 – Tela "Outros Dados"lado direito - Z5 Caso Base.**

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso

Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Risco admissível

R1 (risco de perda de vida humana)	<input type="text" value="1"/>	Valores de norma
R2 (risco de perda de serviço ao público)	<input type="text" value="100"/>	
R3 (risco de perda de patrimônio cultural)	<input type="text" value="10"/>	
R4 (risco de perda de valor econômico)	<input type="text" value="0"/>	

$\times 10^{-5}$

---

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na	<input type="text" value="0"/>	Valor do conteúdo na zona	<input type="text" value="1000000"/>
Valor da edificação na zona	<input type="text" value="20000000"/>	Valor dos sistemas internos na zona	<input type="text" value="5000000"/>

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona	<input type="text" value="0"/>	Valor total da edificação	<input type="text" value="0"/>
--------------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------------

Fonte: autoria própria (2021).

**APÊNDICE C — SOLUÇÃO 01 E 02 - CASO  
BASE UTILIZANDO O *SOFTWARE* TUPAN**

## C.1 SOLUÇÃO 01

A Figura 29 mostra o caso da Solução 1, em que há a instalação de SPDA Classe III em toda a estrutura.

**Figura 29 – Simulação de SPDA classe III no TUPAN PLUS 2020.**

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Classe do SPDA III

Meios para reduzir as conseqüências de incêndio

Sem proteção

Fonte: autoria própria (2021).

As Figura 30 a Figura 35 simulam a instalação de DPS com NP III nas zonas Z1, Z2 e Z3.

**Figura 30 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de energia da Zona 3.**

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada: 200 [m]

Área de exposição adjacente: 0 [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce): Rural

Fator de instalação dos condutores (Ci): Aéreo

Condição da blind., aterr. e isolamento: Lin.aérea não blindada. Conex.ent. indefinida

Tipo de linha (Ct): Linha BT

Tensão sup. impulso do sistema: 2,5kV

DPS de acordo com nível de proteção: III-IV

Fiação interna (Ks3): Não blindado- sem precaução para evitar laços

Última zona carregada na **Z3**

Ajuda para seleção dos campos

Fonte: autoria própria (2021).

## C.2 SOLUÇÃO 02

Simulando a Solução 2, a Figura 36 mostra a instalação do SPDA de Classe IV na estrutura completa e dos extintores manuais na Zona 3.

As Figura 30 a Figura 35 simulam a instalação de DPS com NP III nas zonas Z1, Z2 e Z3.

**Figura 31 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de sinal da Zona 3.**

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Fiação interna (Ks3)

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 32 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de energia da Zona 4.**

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Tipo de linha (Ct)

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z4**   

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 33 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de sinal da Zona 4.**

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Fiação interna (Ks3)

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 34 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de energia da Zona 5.**

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Tipo de linha (Ct)

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z5**   

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 35 – Simulação da inserção de DPS NP-III na linha de sinal da Zona 5.**

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Fiação interna (Ks3)

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 36 – Simulação de SPDA classe IV e sistema de incêndio.**

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Meios para reduzir as conseqüências de incêndio

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 37 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de energia da Zona 3.**

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento     Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z3**   

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 38 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de sinal da Zona 3.**

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Fiação interna (Ks3)

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 39 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de energia da Zona 4.**

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Tipo de linha (Ct)

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z4**   

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 40 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de sinal da Zona 4.**

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Fiação interna (Ks3)

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 41 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de energia da Zona 5.**

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Tipo de linha (Ct)

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z5**   

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 42 – Simulação da inserção de DPS NP-IV na linha de sinal da Zona 5.**

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)     Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção     Fiação interna (Ks3)

Fonte: autoria própria (2021).

**APÊNDICE D — CASO II - APLICAÇÃO CASA DE CAMPO**

O próximo caso comparativo, além do caso base, "edifício de escritórios", desenvolvido no trabalho, entre as duas ferramentas foi o teste de "casa de campo", doravante denominado "Caso II". Nele são apresentados os dados que a norma traz para exemplificar uma casa de campo com duas zonas, a interna e a externa. Apesar desta divisão, a NBR ainda comenta que por não haver pessoas na zona externa durante um dia de chuva ela é desconsiderada.

**Figura 43 – Caso II - Dados da estrutura.**

Dados da estrutura				
Parâmetro	Descrição	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas	<a href="#">Pesquise aqui o índice Ng</a>	$N_G$	4,00	
Dimensões da estrutura (m)	Estrutura regular			2577,88
	Comprimento	L	15,00	
	Largura	W	20,00	
	Altura	H	6,00	
	Área total com saliência, se possuir	$A_D$	0,00	
Localização da estrutura	Estrutura isolada	$C_D$	1,00	Tabela A.1
SPDA Instalado	Estrutura não protegida por SPDA	$P_B$	1,00	Tabela B.2
Pessoas na estrutura	Número total de pessoas na estrutura	$n_i$	5,00	

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 44 – Caso II - Dados das linhas 1 conectadas à estrutura.**

Linha 1				
Parâmetro	Descrição	Símbolo	Valor	Referência
Possui linha conectada?	Sim			
Comprimento da linha:	Se desconhecido, considerar 1000m	$L_{L/P}$	1000	
Modo de instalação da linha:	Enterrado	$C_{I/P}$	0,5	Tabela A.2
Tipo de linha:	Linha de energia em BT, telecomunicações ou dados	$C_{T/P}$	1	Tabela A.3
Ambiente da linha:	Rural	$C_{E/P}$	1	Tabela A.4
Blindagem da linha:	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou blindagem não interligada ao BEP do equipamento	$R_{S/P}$	-	Tabela B.8
Aterramento e isolamento da linha:	Linha enterrada não blindada - Indefinida	$C_{L/D/P}$	1	Tabela B.4
		$C_{L/P}$	1	Tabela B.4
<p>Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de 5 <math>\Omega</math>/km, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm).</p> <p>Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de sinal utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1 mm).</p> <p>Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de 1 <math>\Omega</math>/km a 5 <math>\Omega</math>/km.</p>				
Existe estrutura adjacente?	Não			
Dimensões da estrutura adjacente (m)	Comprimento da estrutura adjacente	$L_{J/P}$		0,00
	Largura da estrutura adjacente	$W_{J/P}$		
	Altura da estrutura adjacente	$H_{J/P}$		
	Área da estrutura adjacente (se complexa)	$A_{D,J/P}$	0	
Localização da estrutura		$C_{D,J/P}$	0	
Tensão suportável do sistema	2,5	$U_{W/P}$	2,5	
	Parâmetros resultantes	$K_{S4/P}$	0,4	
	Probabilidade PLD dependendo da resistência da blindagem do cabo e	$P_{L,D/P}$	1	
Tipo de linha:	Linha de energia	$P_{L/P}$	0,3	

Fonte: autoria própria (2021).

A estrutura não apresenta nenhum risco de perda no serviço ao público, patrimônio cultural e econômica, portanto os seus valores foram nulos.

Figura 45 – Caso II - Dados das linhas 2 conectadas à estrutura.

Linha 2				
Parâmetro	Descrição	Símb	Valor	Referência
Possui linha conectada?	Sim			
Comprimento da linha:	Se desconhecido, considerar 1000m	$L_{L/T}$	1000	
Modo de instalação da linha:	Aéreo	$C_{L/T}$	1	Tabela A.2
Tipo de linha:	Linha de energia em BT, telecomunicações ou dados	$C_{T/T}$	1	Tabela A.3
Ambiente da linha:	Rural	$C_{F/T}$	1	Tabela A.4
Blindagem da linha:	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou blindagem não interligada ao BEP do equipamento	$R_{S/T}$	-	Tabela B.8
Aterramento e isolamento da linha:	Linha aérea não blindada - Indefinida	$C_{L/D/T}$	1	Tabela B.4
		$C_{L/T}$	1	Tabela B.4
<p>Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de 5 <math>\Omega</math>/km, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm).</p> <p>Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de sinal utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1 mm).</p> <p>Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de 1 <math>\Omega</math>/km a 5 <math>\Omega</math>/km.</p>				
Existe estrutura adjacente?	Não			
Dimensões da estrutura adjacente (m)	Comprimento da estrutura adjacente	$L_{J/T}$	0	0,00
	Largura da estrutura adjacente	$W_{J/T}$	0	
	Altura da estrutura adjacente	$H_{J/T}$	0	
	Área da estrutura adjacente (se complexa)	$A_{D,J/T}$	0	
Localização da estrutura	Estrutura isolada	$C_{D,J/T}$	1,00	
Tensão suportável do sistema	1,5	$U_{W/T}$	1,5	
	Parâmetros resultantes	$K_{S4/T}$	0,67	
	Probabilidade PLD dependendo da resistência da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso	$P_{LD/T}$	1	
Tipo de linha:	Linha de telecomunicações	$P_{L/T}$	0,5	

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 46 – Caso II - Parâmetros da Zona 2.

PARÂMETROS DA ZONA 2				
Identificação da	Jardim			
Parâmetros de entrada	Comentários	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Asfalto, linóleo, madeira	$r_f$	1,00E-05	
Proteção contra choque - descarga na estrutura	Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00	
Proteção contra choque - descarga na linha	Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00	
Risco de incêndio ou explosão	Incêndio - Baixo	$r_f$	1,00E-03	
Proteção contra incêndio	Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00	
Blindagem espacial externa	Sem blindagem			
	wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1		
	wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y (X > 0, Y > 1)	wm2		
	$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$	$K_{S1}$	1,00E+00	
	$K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S2}$	1,00E+00	
Fiação interna	Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3P}$	2,00E-01
	Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3/T}$	1,00E+00
Sistema de DPS	DPS	Sem DPS	$P_{EB}$	1,00E+00
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	$P_{SPD}$	1,00E+00

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 47 – Caso II - Perda da vida humana L1.

L1 - Perda de vida humana					
		Descrição	Símbolo	Valor	Referência
	Tipo de perigo especial	Sem perigo especial	$h_r$	1	
Tipos de danos	D1 - Ferimentos	Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico D1	$L_{T1}$	1,00E-02	
	D2 - Danos físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico, residência	$L_{F1}$	1,00E-01	
	D3 - Falhas de	Não aplicável	$L_{O1}$	0,00E+00	
Pessoas na zona	Pessoas na zona	Número de pessoas na zona	$n_z$	5	
	Tempos de pessoas na zona	Tempo de permanência de pessoas em horas/dia	$t_h$	24	
		Tempo de permanência de pessoas em dias/ano	$t_{dia}$	365	
		Tempo de permanência de pessoas em horas/ano	$t_z$	8760	
Perdas típicas	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{A1}$	1,00E-07	
	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{B1}$	1,00E-04	
	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)		$L_{C1}$	0	
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)		$L_{M1}$	0	
	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)		$L_{U1}$	1,00E-07	
	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{V1}$	1,00E-04	
	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)		$L_{W1}$	0	
	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)		$L_{Z1}$	0	

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 48 – Caso II - Perda da vida humana L1 (Componente de risco).

Componentes de risco	$R_A$ - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)	$R_{A1}$	1,03E-09	
	$R_B$ - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)	$R_{B1}$	1,03E-06	
	$R_C$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)	$R_{C1}$	0,00E+00	
	$R_M$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)	$R_{M1}$	0,00E+00	
	$R_U$ - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 1)	$R_{U/P1}$	8,00E-09	
	$R_U$ - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha 2)	$R_{U/T1}$	1,60E-08	
	$R_U$ - Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)	$R_{U1}$	2,40E-08	
	$R_V$ - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 1)	$R_{V/P1}$	8,00E-06	
	$R_V$ - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha 2)	$R_{V/T1}$	1,60E-05	
	$R_V$ - Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)	$R_{V1}$	2,40E-05	
	$R_W$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 1)	$R_{W/P1}$	0,00E+00	
	$R_W$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha 2)	$R_{W/T1}$	0,00E+00	
	$R_W$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)	$R_{W1}$	0,00E+00	
	$R_Z$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 1)	$R_{Z/P1}$	0,00E+00	
	$R_Z$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha 2)	$R_{Z/T1}$	0	
	$R_Z$ - Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)	$R_{Z1}$	0,00E+00	

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 49 – Caso II - Áreas de exposição da estrutura e das linhas conectadas.**

Áreas de Exposição Equivalente da Estrutura e Linhas				
Estrutura	Área de exposição equivalente da estrutura	$A_D$	2577,88	A.2
	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura	$A_M$	820398,163	A.7
LINHA 1	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha	$A_{L/P}$	40000	A.9
	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha	$A_{I/P}$	4000000	A.11
	Área de exposição equivalente da estrutura adjacente	$A_{DJP}$	0,00	A.2
LINHA 2	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha	$A_{L/T}$	40000	A.9
	Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha	$A_{I/T}$	4000000	A.11
	Área de exposição equivalente da estrutura adjacente	$A_{DJT}$	0,00	A.2

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 50 – Caso II - Número de eventos perigosos por ano.**

Número de eventos perigosos por ano				
Estrutura	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura	$N_D$	0,0103115	A.4
	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto de uma estrutura	$N_M$	3,28159265	A.6
LINHA 1	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta à linha 1	$N_{L/P}$	0,08	A.8
	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto da linha 1	$N_{I/P}$	8	A.10
	Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente	$N_{DJP}$	0	A.5
LINHA 2	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta à linha 2	$N_{L/T}$	0,16	A.8
	Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica perto da linha 2	$N_{I/T}$	16	A.10
	Número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente	$N_{DJT}$	0	A.5

Fonte: autoria própria (2021).

Após realizados os cálculos pela planilha, observou-se grande similaridade entre os resultados quando comparados aos da NBR. Algumas discordâncias foram percebidas devido às aproximações.

Resultado original

Na Tabela 5 a seguir é possível observar a equivalência do valor do risco  $R_1$  total de  $2,506 \times 10^{-5}$  com o valor apresentado pela norma, de  $2,51 \times 10^{-5}$ .

#### D.1 CASO II - SOLUÇÃO 1

Porém, apesar dos resultados serem iguais, a estrutura se encontra “Não protegida” pelo fato deste valor ser maior do que o risco tolerável de  $1,00 \times 10^{-5}$  é necessário que medidas sejam tomadas para diminuir o risco  $R_1$ .

**Figura 51 – Caso II - Valores de probabilidades de danos.**

Avaliação da probabilidade de danos				
Descarga na estrutura	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	$P_A$	1,00E+00	B.1
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos	$P_B$	1,00	TAB - B.2
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 1	$P_{C/P}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos linha 2	$P_{C/T}$	1,00E+00	
	Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos	$P_C$	1,00E+00	B.2
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/P}$	6,40E-03	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/P}$	6,40E-03	B.3
	Probabilidade de reduzir PM dependendo da blindagem, cabeamento e da tensão suportável do equipamento	$P_{MS/T}$	6,67E-01	B.4
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_{M/T}$	6,67E-01	B.3
	Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	$P_M$	6,69E-01	
Ferimentos a seres vivos por choque elétrico	LINHA 1	$P_{U/P}$	1,00E+00	B.8
	LINHA 2	$P_{U/T}$	1,00E+00	
Causar danos físicos	LINHA 1	$P_{V/P}$	1,00E+00	B.9
	LINHA 2	$P_{V/T}$	1,00E+00	
Falha de sistemas internos	LINHA 1	$P_{W/P}$	1,00E+00	B.10
	LINHA 2	$P_{W/T}$	1,00E+00	
Falha dos sistemas internos	LINHA 1	$P_{Z/P}$	3,00E-01	B.11
	LINHA 2	$P_{Z/T}$	5,00E-01	B.11

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 52 – Caso II - Resultado obtidos de R sem SPDA.**

Componentes de Risco Atual																
	Fontes de Dano															
	S1				S2				S3				S4			
	RA	RB	RC		RM		RU		RV		RW		RZ			
R1	1,03E-09	0%	1,03E-06	4%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	2,40E-08	0%	2,40E-05	96%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R2	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R3	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R4	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 53 – Caso II - Resultado obtidos sem SPDA.**

Componentes de Risco Atual			
Resultado			
Risco Total	Risco Tolerável		Situação
2,506E-05	1,00E-05		Não protegido
0,000E+00	1,00E-03		Protegido
0,000E+00	1,00E-04		Protegido
0,000E+00	1,00E-03		Protegido

Fonte: autoria própria (2021).

A norma sugere a instalação de DPS de nível de proteção IV na entrada das linhas - sinal e energia - conectadas à residência, para proteger as linhas de energia e telefones na casa, buscando reduzir os valores de PEB entre 1 a 0,05 assim como os valores de  $P_U$  e  $P_V$ .

#### Modificação de Parâmetros

Feita a modificação nos parâmetros da zona 2 (área interna), é possível notar a diminuição de  $PEB = 0,05$ .

**Figura 54 – Caso II - Solução 1 - Parâmetros da Zona 2 - modificados.**

PARÂMETROS DA ZONA 2					
Identificação da	Jardim				
<b>Parâmetros de entrada</b>		<b>Comentários</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>
Tipo de piso		Asfalto, linóleo, madeira	$r_t$	1,00E-05	
Proteção contra choque - descarga na estrutura		Nenhuma medida de proteção	$P_{TA}$	1,00E+00	
Proteção contra choque - descarga na linha		Nenhuma medida de proteção	$P_{TU}$	1,00E+00	
Risco de incêndio ou explosão		Incêndio - Baixo	$r_f$	1,00E-03	
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	$r_p$	1,00E+00	
Blindagem espacial externa		Sem blindagem			
		wm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 0/1	wm1		
		wm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR X/Y ( $X > 0, Y > 1$ )	wm2		
		$K_{S1} = 0,12 \cdot wm1$ $K_{S2} = 0,12 \cdot wm2$	$K_{S1}$ $K_{S2}$	1,00E+00 1,00E+00	
Fiação interna	Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m <sup>2</sup>	$K_{S3/P}$	2,00E-01	
	Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m <sup>2</sup>	$K_{S3/T}$	1,00E+00	
Sistema de DPS	DPS	Classes - III-IV	$P_{EB}$	5,00E-02	
	DPS coordenados	Classes - III-IV	$P_{SPD}$	5,00E-02	

Fonte: autoria própria (2021).

#### Resultado Solução 1

Após a alteração do DPS obteve-se o seguinte resultado. É possível notar que o risco  $R_1$  total fica próximo ao resultado da norma.

**Figura 55 – Caso II - Resultado obtidos de R com as adequações da Solução 1.**

Componentes de Risco Atual																
	Fontes de Dano															
	S1			S2			S3			S4						
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ								
R1	1,03E-09	0%	1,03E-06	##	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	1,20E-09	0%	1,20E-06	54%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R2	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R3	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R4	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%

Fonte: autoria própria (2021).

Figura 56 – Caso II - Resultado obtidos com as adequações da Solução 1.

Componentes de Risco Atual			
Resultado			
Risco Total		Risco Tolerável	Situação
2,233E-06		1,00E-05	Protegido
0,000E+00		1,00E-03	Protegido
0,000E+00		1,00E-04	Protegido
0,000E+00		1,00E-03	Protegido

Fonte: autoria própria (2021).

## D.2 SOLUÇÃO 2

Outra sugestão apontada pela norma foi além da colocação do DPS, a instalação de um SPDA classe IV para reduzir o PB para 0,2.

Modificação de parâmetros

SPDA Instalado para SPDA Classe IV

Figura 57 – Caso II - Solução 2 - Dados da estrutura.

Dados da estrutura				
Parâmetro	Descrição	Símbol	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas	<a href="#">Pesquise aqui o índice Ng</a>	$N_g$	4,00	
Dimensões da estrutura (m)	Estrutura regular			2577,88
	Comprimento	L	15,00	
	Largura	W	20,00	
	Altura	H	6,00	
	Área total com saliência, se possuir	$A_{PT}$	0,00	
Localização da estrutura	Estrutura isolada	$C_D$	1,00	Tabela A.1
SPDA Instalado	Estrutura protegida por SPDA Classe IV	$P_B$	0,20	Tabela B.2
Pessoas na estrutura	Número total de pessoas na estrutura	$n_t$	5,00	

Fonte: autoria própria (2021).

Sistema de DPS Classe IV

Figura 58 – Caso II - Solução 2 - Parâmetros da zona 2.

PARÂMETROS DA ZONA 2					
Identificação da Zona		Área Interna			
Parâmetros de entrada	Comentários		Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso	Astato, linóleo, madeira		$f_1$	1,00E-05	
Proteção contra choque - descarga na estrutura	Nenhuma medida de proteção		$P_{TA}$	1,00E+00	
Proteção contra choque - descarga na linha	Nenhuma medida de proteção		$P_{TL}$	1,00E+00	
Risco de incêndio ou explosão	Incêndio - Baixo		$f_0$	1,00E-03	
Proteção contra incêndio	Nenhuma providência		$f_p$	1,00E+00	
Blindagem espacial externa	Sem blindagem				
	sm1 - largura da blindagem por malha da estrutura, SPDA ou outra blindagem na interface ZPR 01		wm1		
	sm2 - largura da blindagem por malha de blindagem interna a estrutura na interface ZPR 30Y (X > 0, Y > 1)		wm2		
	$K_{S1} = 0,12 \cdot \text{sm1}$		$K_{S1}$	1,00E+00	
$K_{S2} = 0,12 \cdot \text{sm2}$		$K_{S2}$	1,00E+00		
Fiação interna	Linha 1	Cabo não blindado - área do laço na ordem 10m²	$K_{S3P}$	2,00E-01	
	Linha 2	Cabo não blindado - área do laço na ordem 50m²	$K_{S3T}$	1,00E+00	
Sistema de DPS	DPS	Classes - III-IV	$P_{2a}$	5,00E-02	
	DPS coordenados	Classes - III-IV	$P_{2b}$	5,00E-02	

Fonte: autoria própria (2021).

Resultado Solução 2

Após a análise do resultado obtido é possível perceber grande fidelidade entre os riscos totais da planilha e da norma.

**Figura 59 – Caso II - Resultado obtidos de R com as adequações da Solução 2.**

Componentes de Risco Atual																
Fontes de Dano																
	S1			S2			S3			S4						
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ								
R1	2,06E-10	0%	2,06E-07	##	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	1,20E-09	0%	1,20E-06	85%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%
R2	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%										
R3	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%										
R4	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%	0,00E+00	0%										

Fonte: autoria própria (2021).

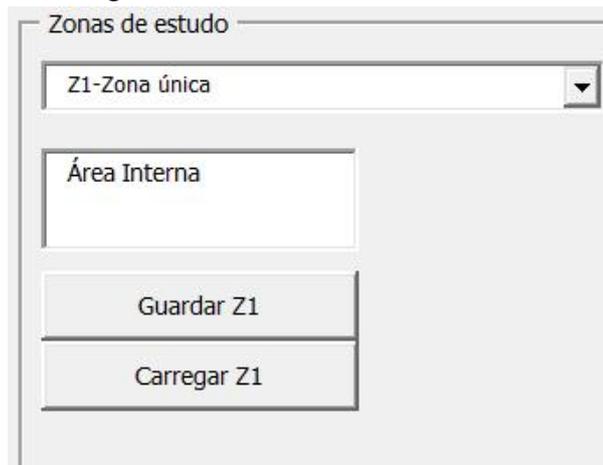
**Figura 60 – Caso II - Resultado obtidos com as adequações da Solução 2.**

Componentes de Risco Atual			
Resultado			
Risco Total	Risco Tolerável		Situação
1,408E-06	1,00E-05		Protegido
0,000E+00	1,00E-03		Protegido
0,000E+00	1,00E-04		Protegido
0,000E+00	1,00E-03		Protegido

Fonte: autoria própria (2021).

A seguir utilizamos o *software* TUPAN PLUS 2020 para a implementação do gerenciamento de risco, o mesmo exemplo da casa de campo foi utilizado para comparação.

**Figura 61 – Caso II - Zona de estudo.**



Fonte: autoria própria (2021).

Considerando apenas os dados de entrada é possível notar uma diferença nos resultados do TUPAN quando comparado aos obtidos com a planilha e a norma.

Com as alterações sugeridas pela norma nota-se que o risco se torna tolerável, mas a precisão dos resultados é baixa.

**Figura 62 – Caso II - Tela de dados da estrutura**

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal  [m<sup>2</sup>]

Com ajuda para Cálculo de estruturas simples

Sem ajuda para Cálculo de estruturas simples

---

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Ajuda para seleção dos campos

Meios para reduzir as conseqüências de incêndio

---

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]

Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)

Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z1**

Ajuda para seleção dos campos

Fonte: autoria própria (2021).

Modificando os parâmetros para o Solução 2, da norma, mais uma vez é possível notar que o risco fica tolerável, porém é possível notar a baixa precisão

**Figura 63 – Caso II - Tela de influências ambientais.**

<b>Influências ambientais</b>	
Localização (cidade):	Instruções
Localização da estrutura:	
<input type="text" value="Estrutura isolada"/>	
Freqüência de raios(Ng): <input type="text" value="4"/> [1/km <sup>2</sup> /ano]	
<b>Risco de incêndio ou explosão</b>	
<input type="text" value="Incêndio Baixo ou explosão (zonas 2,22)"/>	Avaliação NT nº14/2019
<b>Atributos da avaliação</b>	
Nome do projeto:	<input type="text" value="Teste Casa de Campo"/>
Avaliador:	<input type="text" value="TCC - Allan e Luiz Guilherme"/>
<b>Atributos da linha de telecomunicação conectada</b>	
Comprimento da linha conectada:	<input type="text" value="1000"/> [m]    área de exposição adjacente: <input type="text" value="0"/> [m <sup>2</sup> ]
Fator ambiental (Ce)	Fator de instalação dos condutores (Ci)
<input type="text" value="Rural"/>	<input type="text" value="Aéreo"/>
Condição da blind., aterr. e isolamento	
<input type="text" value="Lin.aérea não blindada. Conex.entrr. indefinida"/>	
Tensão sup. impulso do sistema	
<input type="text" value="1,5kV"/>	
DPS de acordo com nível de proteção	Fiação interna (Ks3)
<input type="text" value="Sem proteção coordenada com DI"/>	<input type="text" value="Não blindado- precaução para evitar grandes"/>
Ajuda para seleção dos campos	

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 64 – Caso II - Proteção contra tensão e passo de toque.**

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura:

Contra tensão de passo e toque na linha conectada:

Blindagem metálica contínua  Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1  [m] Wm2  [m]

---

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona  Tempo de exposição na zona(em horas por ano)

Número total de pessoas

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço

Última zona carregada na **Z1**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 65 – Caso II - Resultado obtidos sem SPDA.**

Riscos

**Os valores abaixo devem ser multiplicados por 10<sup>-5</sup>**

	Valores toleráveis	Zona Z1	Total
R1-Perda de vida humana	1	0,25281461	0,25281461
R2-Perda de serviço ao	100	<input type="text" value="317,78610427"/>	<input type="text" value="317,786104"/>
R3-Perda de herança	10	<0,1	<0,1
R4-Perda de valor	<0,1	<0,1	<0,1
		Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$	<input type="text" value="0"/>

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 66 – Caso II - Tela de dados técnicos da estrutura - Solução 1.**

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal  [m<sup>2</sup>]

Com ajuda para Cálculo de estruturas simples

Sem ajuda para Cálculo de estruturas simples

---

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Ajuda para seleção dos campos

Meios para reduzir as consequências de incêndio

---

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]

Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)

Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

DPS de acordo com nível de proteção

Fiação interna (Ks3)

Última zona carregada na **Z1**

Ajuda para seleção dos campos

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 67 – Caso II - Tela de influências ambientais - Solução 1.**

Influências ambientais

Instruções

Localização (cidade):

Localização da estrutura:

Frequência de raios(Ng):  [1/km<sup>2</sup> /ano]

---

Risco de incêndio ou explosão

Avaliação NT nº14/2019

---

Atributos da avaliação

Nome do projeto:

Avaliador:

---

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]    Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce):

Fator de instalação dos condutores (Ci):

Condição da blind., aterr. e isolamento:

Tensão sup. impulso do sistema:

DPS de acordo com nível de proteção:

Fiação interna (Ks3):

Ajuda para seleção dos campos

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 68 – Caso II - Fatores de variação de perda - Solução 1.**

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso

Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Risco admissível

R1 (risco de perda de vida humana)

R2 (risco de perda de serviço ao público)

R3 (risco de perda de patrimônio cultural)   $\times 10^{-5}$

R4 (risco de perda de valor econômico)

---

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na  Valor do conteúdo na zona

Valor da edificação na zona  Valor dos sistemas internos na zona

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona  Valor total da edificação

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 69 – Caso II - Proteção contra tensão de passo - Solução 1.**

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura:

Contra tensão de passo e toque na linha conectada:

Blindagem metálica contínua  Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1  [m] Wm2  [m]

---

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona  Tempo de exposição na zona(em horas por ano)

Número total de pessoas

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço

Última zona carregada na **Z1**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 70 – Caso II - Resultado obtidos de adequação da Solução 1.**

Riscos			
	Valores toleráveis	Zona Z1	Total
		<b>Os valores abaixo devem ser multiplicados por 10<sup>-5</sup></b>	
R1-Perda de vida humana	1	<0,1	<0,1
R2-Perda de serviço ao	100	15,899101142	15,8991011
R3-Perda de herança	10	<0,1	<0,1
R4-Perda de valor	<0,1	<0,1	<0,1
		Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$ <input type="text" value="0"/>	

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 71 – Caso II - Tela de dados da estrutura - Solução 2.**

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal  [m<sup>2</sup>]

---

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

Classe do SPDA IV

Meios para reduzir as consequências de incêndio

Sem proteção

---

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada:  [m]

Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce)

Fator de instalação dos condutores (Ci)

Condição da blind., aterr. e isolamento

Tipo de linha (Ct)

Tensão sup. impulso do sistema

Fiação interna (Ks3)

DPS de acordo com nível de proteção

Última zona carregada na **Z1**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 72 – Caso II - Tela de influências ambientais - Solução 2.**

**Influências ambientais**

Instruções

Localização (cidade):

Localização da estrutura:

Frequência de raios(Ng):  [1/km<sup>2</sup>/ano]

---

**Risco de incêndio ou explosão**

Avaliação NT nº14/2019

---

**Atributos da avaliação**

Nome do projeto:

Avaliador:

---

**Atributos da linha de telecomunicação conectada**

Comprimento da linha conectada:  [m] Área de exposição adjacente:  [m<sup>2</sup>]

Fator ambiental (Ce):  Fator de instalação dos condutores (Ci):

Condição da blind., aterr. e isolamento:

Tensão sup. impulso do sistema:

DPS de acordo com nível de proteção:  Fiação interna (Ks3):

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 73 – Caso II - Proteção contra tensão de passo - Solução 2.**

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura:

Contra tensão de passo e toque na linha conectada:

Blindagem metálica contínua  Sem blindagem metálica

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1  [m] Wm2  [m]

---

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona  Tempo de exposição na zona(em horas por ano)

Número total de pessoas

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço

Última zona carregada na **Z1**

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 74 – Caso II - Fatores de variação de perda - Solução 2.**

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso

Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Risco admissível

R1 (risco de perda de vida humana)

R2 (risco de perda de serviço ao público)

R3 (risco de perda de patrimônio cultural)   x 10<sup>-5</sup>

R4 (risco de perda de valor econômico)

Valores de norma

---

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na  Valor do conteúdo na zona

Valor da edificação na zona  Valor dos sistemas internos na zona

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos

Tipo da estrutura

---

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona  Valor total da edificação

Fonte: autoria própria (2021).

**Figura 75 – Caso II - Resultado obtidos de adequação da Solução 2.**

Riscos	Valores toleráveis	Os valores abaixo devem ser multiplicados por 10 <sup>-5</sup>		Total
		Zona Z1		
R1-Perda de vida humana	1	<0,1		<0,1
R2-Perda de serviço ao	100	15,890851939		15,8908519
R3-Perda de herança	10	<0,1		<0,1
R4-Perda de valor	<0,1	<0,1		<0,1
Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$		0		

Fonte: autoria própria (2021).