

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA**

ANA LUIZA BATISTA DOS SANTOS

**METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE RISCO EM SPDA:
IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL E VALIDAÇÃO
POR ESTUDO DE CASO**

ILHA SOLTEIRA

2025

ANA LUIZA BATISTA DOS SANTOS

**METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE RISCO EM SPDA:
IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL E VALIDAÇÃO
POR ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -
UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão

Orientador

ILHA SOLTEIRA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

S237m Santos, Ana Luiza Batista.
Metodologia de gerenciamento de risco em spda: implementação de
ferramenta computacional e validação por estudo de caso / Ana Luiza Batista
Dos Santos . -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
66 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2025

Orientador: Fabio Bertequini Leão
Inclui bibliografia

1. Gerenciamento de risco. 2. Descargas Atmosféricas. 3. SPDA.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos dezessete dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e cinco, a discente Ana Luiza Batista dos Santos, matriculada sob o nº 171051671, tendo como banca examinadora seu orientador, o *Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão, o Doutor Lucas do Carmo Yamaguti e a Doutoranda Elis Caroline de Souza Trindade*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "**Metodologia de Gerenciamento de Risco em SPDA: Implementação de Ferramenta Computacional e Validação por Estudo de Caso**" obtendo a nota 10 (DEZ) e conceito APROVADA.

Fábio Bertequini Leão

Fábio Bertequini Leão

- orientador -

Ana Luiza Batista dos Santos

Ana Luiza Batista dos Santos

- discente -

Lucas do Carmo Yamaguti

Lucas do Carmo Yamaguti

- Membro da Banca -

Documento assinado digitalmente
 **ELIS CAROLINE DE SOUZA TRINDADE**
Data: 17/12/2025 15:15:01-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Elis Caroline de Souza Trindade

- Membro da Banca -

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que fizeram parte da minha vida ao longo desses anos. Ao meu pai, Rogério, e à minha mãe, Jociane, pelo apoio que muitas vezes eu nem mereci. À minha irmã, Yasmin, pelas verdades que precisei ouvir.

Ao meu amigo João, por estar ao meu lado quando eu já não conseguia mais estar por mim mesma.

E à Empresa Júnior Potencial, sem a qual eu jamais teria descoberto o quanto amo este curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Fábio pela paciência, pelo tempo, e por acreditar. À Empresa Júnior Potencial, onde tive meu primeiro contato com os sistemas de SPDA e descobri uma verdadeira paixão pela área.

Aos meus amigos Gabriela, Miguel, Beatriz, pela companhia e nas madrugadas desenvolvendo este projeto.

RESUMO

No presente trabalho é realizado um estudo acerca da elaboração do gerenciamento de risco de um projeto de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, com o desenvolvimento de uma ferramenta para o cálculo utilizando o google planilhas. Um estudo de caso é realizado a fins validativos da planilha, utilizando um exemplos de cálculo apresentados pela própria norma ABNT NBR 5419:2015-2. O gerenciamento de risco é realizado através de um cálculo complexo, normalmente comercializado através de *softwares* ou planilhas. O trabalho propõe uma ferramenta que, em conformidade com a metodologia estabelecida pela norma, permite ao usuário calcular os componentes de risco, identificar a necessidade de medidas de proteção e interpretar os resultados de forma clara e sistemática. O projeto foi elaborado com caráter didático, de modo a orientar o usuário no preenchimento de cada campo, na obtenção dos valores necessários e na compreensão de suas particularidades. A aplicação da ferramenta aos estudos de caso demonstra sua consistência e capacidade de apoiar processos decisórios em projetos de SPDA, configurando-se como uma alternativa acessível e tecnicamente alinhada aos requisitos normativos. A proposta da planilha objetiva democratizar do gerenciamento de risco e trazer acesso e conhecimentos sobre SPDA aos usuários.

Palavras-chave: Gerenciamento de Risco. Descargas atmosféricas. SPDA

ABSTRACT

In this undergraduate thesis, a study is carried out on the development of a risk management tool for Lightning Protection Systems (LPS), implemented using Google Sheets. The tool was validated through a case study based on two calculation examples provided by the Brazilian standard **ABNT NBR 5419:2015-2**. Given that LPS risk management involves complex calculations—usually performed via paid software—this work proposes an accessible alternative that strictly follows the regulatory methodology.

The developed tool allows users to calculate risk components, identify the necessity of protection measures, and interpret results systematically. Designed with a pedagogical approach, the spreadsheet guides the user through each field, explaining how to obtain necessary values and understand specific technical details. The application of the tool to the case studies demonstrated its consistency and its effectiveness in supporting decision-making processes. Ultimately, this project aims to democratize risk management and expand technical knowledge regarding lightning protection for all users.

Keywords: Risk Management. Lightning Strikes. LPS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de cargas elétricas no interior de uma nuvem	19
Figura 2 - Etapas de formação dos raios.....	19
Figura 3 - Etapas de formação dos raios.....	20
Figura 4 - Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto	21
Figura 5 - Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura ...	23
Figura 6 - Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos	24
Figura 7 - Métodos de Avaliação da Área AD.....	26
Figura 8 - Áreas de exposição equivalente (AD, ADJ, AM, AI e AL)	26
Figura 9 - Análise inicial de aplicabilidade dos riscos e definição de zonas	44
Figura 10 - Guia de preenchimento da planilha	45
Figura 11 - Área de exposição equivalente.....	46
Figura 12 - Representação de cálculo do Número de Eventos Perigosos	46
Figura 13 - Preenchimento de NG e nt	47
Figura 14 - Parâmetros para a avaliação de custos para a perda de patrimônio cultural.....	47
Figura 15 - Características gerais da estrutura	48
Figura 16 - Tensão suportável de impulso.....	48
Figura 17 - Fatores de ambiente, natureza e localização	49
Figura 18 - Probabilidades gerais de acordo com sistemas de proteção.	50
Figura 19 - Distâncias de Blindagem	51
Figura 20 - Fator Relevante à Tensão Suportável de Impulso	51
Figura 21 - Valores médio das perdas típicas	52
Figura 22 - Preenchimento de nz, tz e Análise de Blindagem da Zona.....	53
Figura 23 - Fatores de Correção de Linha por Zona	53
Figura 24 - Parâmetros Finais Individuais de Cada Zona.....	54
Figura 25 - Fatores de Blindagem e Probabilidade de Dano para as Linhas de Serviço.....	55
Figura 26 - Cálculo das Probabilidades de Danos.....	56
Figura 27 - Cálculo das Perdas.....	56
Figura 28 - Funcionalidade do cálculo de LB e LV para valores arbitrários de ct e cz	57
Figura 29 - Apresentação dos valores parciais de R1.....	57
Figura 30 - Fórmula em Excel para Cálculo de RC para a Zona 2	57
Figura 31 - Apresentação dos valores parciais de R2 e R3	58
Figura 32 - Apresentação valor final R2 e R3 e resultado do Gerenciamento	58
Figura 33 - Resultado Final Risco R1	59
Figura 34 - Resultado Final Risco R1 NBR 5419:2015-2 ANEXO E	60
Figura 35 - Área de exposição equivalente e Número de eventos perigosos	61
Figura 36 - Área de exposição equivalente e Número de eventos perigosos adquiridos através da planilha	62
Figura 37 - Características gerais do cálculo e componentes de R1	62
Figura 38 - Cálculo de R1	62
Figura 39 - Cálculo de R1 utilizando a planilha	63
Figura 40 - Sugestões de alterações risco R1.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores Típicos do Risco Tolerável.....	22
Tabela 2 - Fator de Localização	27
Tabela 3 - Fator tipo de Linha.....	27
Tabela 4 - Fator de instalação da linha CI	28
Tabela 5 - Fator ambiental da linha CE	29
Tabela 6 - Valores de probabilidade PTA	30
Tabela 7 - Valores de probabilidade PB de uma descarga na estrutura causar danos físicos.....	31
Tabela 8 - Valores de probabilidade de PSPD em função do NP para o qual os DPS foram projetado	32
Tabela 9 - Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento	32
Tabela 10 - Valor do Fator ks3 dependendo da fiação interna	34
Tabela 11 - Valores da probabilidade PTU	35
Tabela 12 - Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados.....	35
Tabela 13 - Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência Rs da blindagem.	36
Tabela 14 - Valores da probabilidade PLI dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso Uw	37
Tabela 15 - Fator de redução rt em função do tipo da superfície do solo ou piso	38
Tabela 16 - Fator de redução rp em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio	38
Tabela 17 - Fator de redução rf em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura	39
Tabela 18 - Fator hz aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial	39
Tabela 19 - Valores médios típicos de LT, LF e LO (Tipo de perda L1).....	40
Tabela 20 - Valores médios típicos de LF e LO (Tipo de perda L2)	41
Tabela 21 - Valores médios típicos de LF (Tipo de perda L3).	41
Tabela 22 - Valores médios típicos de LT, LF e LO (Tipo de perda L4).....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DPS	Dispositivos de Proteção contra Surtos
ELAT	Grupo de Eletricidade Atmosférica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
ZPR	Zonas de proteção contra descargas atmosféricas

LISTA DE SÍMBOLOS

AD	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas
ADJ	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente
AI	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha
AL	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha
AM	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura
CD	Fator de localização da estrutura
CE	Fator ambiental
CI	Fator de instalação da linha
CLD	Fator depende da blindagem, aterramento e isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha
CLI	Fator depende da blindagem, aterramento e isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha
CL	Fator tipo de linha
Ct	Valor total da edificação e seu conteúdo
cz	Valor do patrimônio cultura da zona
D1	Danos a humanos por choque elétrico
D2	Dano por circulação de corrente da descarga atmosférica, centelhamento e demais efeitos
D3	Danos a sistemas internos em função dos efeitos eletromagnéticos da descarga atmosférica
H	Altura (m)
HMÍN	Altura mínima da estrutura
HP	Altura da saliência da estrutura
ks	Tensão suportável pelos equipamentos
L	Comprimento (m)
L1	Perda de vida ou lesão irreversível em seres humanos
L2	Perda de serviço ao público
L3	Perda de patrimônio cultural
L4	Perda de valor econômico
LA	Perda por choque elétrico em seres vivos devido a descargas atmosféricas na estrutura
LB	Perda por danos físicos devido a descargas atmosféricas na estrutura
LC	Perda relacionada à falha dos sistemas internos devido a descargas atmosféricas na estrutura
LF	Perda típica por danos físicos

LM	Perda por falha em sistemas internos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura
LO	Perda típica por falha de sistemas internos
LT	Perda típica por choque elétrico
LU	Perda por choque elétrico devido a descargas atmosféricas na linha
LV	Perda por danos físicos devido a descargas atmosféricas na linha
LW	Perda por falha em sistemas internos devido a descargas atmosféricas na linha
LZ	Perda por falha em sistemas internos devido a descargas atmosféricas perto da linha
ND	Número de eventos perigosos para a estrutura
NDJ	Número de eventos perigosos para a estrutura adjacente
NG	Densidade de descargas atmosféricas para terra
NI	Número médio anual de eventos perigosos perto da linha
NL	Número médio anual de eventos perigosos na linha
NM	Número de eventos perigosos devido à descargas atmosféricas perto da estrutura
nt	Número total de pessoas na estrutura
nz	Número de pessoas na zona
PA	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura ser capaz de causar choque elétrico em seres vivos
PB	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura ser capaz de causar dano físico
PC	Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura ser capaz de causar falha em sistemas internos
PEB	Probabilidade de reduzir choque elétrico a seres vivos e danos físicos por descargas atmosféricas que atingem linhas que entram na estrutura
PLI	Probabilidade de reduzir falhas em sistemas internos por descargas próximas a linha
PM	Probabilidade de uma descarga atmosférica próximas a estrutura produzir falhas em sistemas internos
PMS	Probabilidade de redução de falhas em sistemas internos por descargas atmosféricas próximas a estrutura
PSPD	Probabilidade de reduzir falhas em sistemas internos quando um sistema coordenado de DPS está instalado
PTA	Probabilidade de redução de ferimento em seres vivos por uma descarga atmosférica na estrutura

PTU Probabilidade de redução da possibilidade de choque elétrico a seres vivos por descarga em linhas que entram na estrutura

PU Probabilidade de uma descarga atmosférica que atingem a linha que chega na estrutura causar choque elétrico a seres vivos

PV Probabilidade de uma descarga atmosférica que atingem a linha que chega na estrutura causar dano físico

PW Probabilidade de uma descarga atmosférica que atingem a linha que chega na estrutura causar danos a sistemas internos

PZ Probabilidade de descargas atmosféricas próximas a linha produzirem falhas em sistemas internos

R1 Risco de perdas ou lesão permanente em seres humanos

R2 Risco de perdas ao serviço público

R3 Risco de perdas do patrimônio cultural

R4 Risco de perdas de valor econômico

RA Componente de risco para choque elétrico dentro da estrutura, e até 3m fora no entorno dos condutores de descida, descargas atmosféricas diretamente na estrutura.

RB Componente de risco para danos físicos, incêndio ou explosão (produzidos por centelhamento dentro da estrutura), descargas atmosféricas diretamente na estrutura

RC Componente de risco para danos a sistemas internos em função dos efeitos eletromagnéticos da descarga atmosférica que atinge diretamente a estrutura

rf Fator de redução de perda por danos físicos relativos a risco de incêndio ou explosão

RM Componente de risco para falhas de sistemas internos em função de pulsos eletromagnéticos devido a descargas atmosféricas perto da estrutura

rp Fator de redução de perda por danos físicos e medidas de minimização de impactos de incêndios

rt Fator de redução de perda pelo tipo de solo

RU Componente de risco relacionado a descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura, causar choque elétrico dentro da estrutura

RV Componente de risco relativo a danos físicos devido a corrente elétrica de descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura

RW Componente de risco relativo a danos de sistemas internos por sobretensões transmitidas a esta, por descargas atmosféricas nas linhas que chegam a estrutura

RZ Componente relacionado a descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura,

causar falhas em sistemas internos

S1 Descargas atmosféricas na própria estrutura

S2 Descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura

S3 Descargas atmosféricas nas tubulações metálicas e linhas elétricas que chegam na estrutura

S4 Descargas atmosféricas nas proximidades das tubulações metálicas e linhas elétricas que chegam na estrutura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	CONCEITOS E ESTRUTURA DE CÁLCULO PARA O GERENCIAMENTO DE RISCO EM SPDA.....	18
2.1	Introdução ao Modelo de Gerenciamento de Risco Segundo a NBR 5419-2.....	18
2.2	Descargas Atmosféricas: Formação e Parâmetros de Dano	18
2.3	Estrutura de Risco: Fontes de Dano, Tipos de Dano e Tipos de perdas.....	21
2.4	Cálculo dos Componentes de Risco (R_x).....	22
2.5	Número de Eventos Perigosos (N_X)	24
2.5.1	Número de eventos perigosos para a estrutura (N_D)	24
2.5.2	Número de eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente.....	27
2.5.3	Número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura	27
2.5.4	Número médio anual de eventos perigosos N_L devido a descargas atmosféricas na linha.....	28
2.5.6	Número médio anual de eventos perigosos N_I devido a descargas atmosféricas perto da linha	29
2.6	Avaliação da probabilidade (P_x) de danos	29
2.6.1	Probabilidade P_A de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	29
2.6.2	Probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos	31
2.6.3	Probabilidade P_M de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos.....	33
2.6.4	Probabilidade P_U de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico	34
2.6.5	Probabilidade P_V de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos	36
2.6.6	Probabilidade P_W de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas interno	36
2.6.7	Probabilidade P_Z de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos	37
2.7	Avaliação de perdas.....	37
2.7.1	Perda de vida humana (L_1).....	37

2.7.1.1 Perda por Choque Elétrico na Estrutura (LA) e na Linha (LU).....	37
2.7.1.2 Perda por Danos Físicos na Estrutura (LB) e na Linha (LV)	37
2.7.1.3 Perda por Falha em Sistemas Internos (LC, LM, LW, LZ)	38
2.7.1.4 Fatores de redução de perda	38
2.7.2 Perda inaceitável de serviço ao público (L2)	40
2.7.2.1 Perda por Danos Físicos na Estrutura (LB) e na Linha (LV)	40
2.7.2.2 Perda por Falha em Sistemas Internos (LC, LM, LW, LZ)	40
2.7.2.3 Fatores Típicos de Perda (LF e LO)	40
2.7.3 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)	41
2.7.3.1 Perda por Danos Físicos na Estrutura (LB) e na Linha (LV)	41
2.7.4 Perda Econômica (L4).....	41
2.7.4.1 Perda por Choque Elétrico na Estrutura (LA) e na Linha (LU)	41
2.7.4.2 Perda por Danos Físicos na Estrutura (LB) e na Linha (LV)	42
2.7.4.3 Perda por Falha em Sistemas Internos (LC, LM, LW, LZ)	42
2.7.4.4 Fatores econômicos	42
2.7.4.5 Fatores Típicos de Perda (LT, LF e LO).....	42
3 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA ONLINE DE CÁLCULO DE RISCO.....	44
3.1 Estrutura da Planilha de Gerenciamento de Risco	44
3.1.1 Aba 'Início': Identificação da Estrutura e Escopo de Risco.....	44
3.1.2. Aba 'AD - ND'	45
3.1.3. Aba: 'Dados Gerais'	46
3.1.4. Abas: 'ZONA 1', 'ZONA 2', 'ZONA 3', 'ZONA 4', 'ZONA 5'	52
3.1.5. Abas: 'Probabilidades Px e Perdas Lx'	56
4. ESTUDO DE CASO – EXEMPLO PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA BRASILÂNDIA	61
5. CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil apresenta alguns dos maiores índices de incidência de descargas atmosféricas no mundo, consequência direta de suas condições climáticas e geográficas. Com uma média anual de 77,8 milhões de descargas atmosféricas, o fenômeno provoca, em média, 110 mortes por ano no país. Assim, neste cenário, torna-se indispensável o estudo dos efeitos produzidos pelos raios e das medidas necessárias para minimizar seus danos (INPE, 2021).

Como descrito por Mamede Filho (2016) em *Instalações Elétricas Industriais*, as descargas atmosféricas representam uma das principais fontes de perturbações nas redes aéreas de transmissão e distribuição, podendo induzir surtos de tensão e comprometer a integridade de equipamentos elétricos. Quando atingem diretamente construções ou estruturas desprotegidas, podem causar prejuízos materiais significativos e colocar em risco a segurança de pessoas e animais. A adoção de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) busca reduzir esses riscos e preservar tanto as instalações quanto a vida.

Segundo Gomes (2023), a função do SPDA é conduzir a corrente elétrica da descarga atmosférica até o solo, de forma segura. O para-raios não impede a incidência da descarga na estrutura, ele apenas estabelece um caminho alternativo para que a corrente flua do ponto de captação até a malha de aterramento, minimizando danos materiais e riscos de acidentes.

Este trabalho tem como objetivo central democratizar o acesso ao processo de Gerenciamento de Risco em SPDA para estudantes de graduação, por meio do desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo automatizada.

Diante da alta complexidade dos cálculos matemáticos e da densidade normativa da NBR 5419-2, a pesquisa busca oferecer uma alternativa prática que traduza a teoria em uma planilha online do google acessível e didática. O objetivo é permitir que os alunos interessados na área compreendam a metodologia de análise de risco de forma clara e eficiente.

Além disso, o projeto visa consolidar uma base técnica operacional para a Empresa Júnior, fornecendo uma ferramenta pronta para uso que garanta precisão, segurança e rigor técnico na elaboração de diagnósticos e projetos reais de proteção contra descargas atmosféricas.

Reconhecendo a importância de um acesso facilitado e a necessidade de agilidade em processos de engenharia, esta ferramenta foi desenvolvida para ser leve e disponibilizada online.

A iniciativa visa fornecer um recurso prático para a fase inicial do projeto deSPDA, que, por sua natureza, demanda uma avaliação rigorosa do gerenciamento de riscos. Este procedimento não apenas estabelece as necessidades protetivas intrínsecas à estrutura, mas é fundamental para determinar o nível de proteção (NP) adequado, ou para confirmar se as medidas de proteção já implementadas são suficientes para atender aos requisitos da norma vigente, garantindo assim a segurança e a conformidade do projeto.

O presente trabalho está estruturado de maneira a guiar o desenvolvimento da pesquisa e da ferramenta técnica. No **Capítulo 2**, detalha-se o embasamento matemático e normativo do projeto, apresentando as equações para o cálculo de gerenciamento de risco, a definição de cada parâmetro e a explicação técnica de como cada risco é composto.

O **Capítulo 3** aborda o desenvolvimento prático da planilha, apresentando as imagens da ferramenta, sua organização em abas e o processo de construção da interface; neste mesmo capítulo, realiza-se a primeira validação através de um estudo de caso baseado em um exemplo da própria norma, garantindo que a planilha opera em conformidade com os padrões oficiais.

Dando continuidade, o **Capítulo 4** apresenta o estudo de caso real aplicado a um projeto da Prefeitura de Nova Brasilândia, no qual os dados do gerenciamento original são comparados com os resultados gerados pela planilha para validar sua precisão e eficácia em um cenário prático. Por fim, o **Capítulo 5** apresenta a conclusão do trabalho, reforçando o papel da ferramenta na democratização do conhecimento técnico e sua importância como base sólida para a estruturação e prestação de serviços da Empresa Júnior.

2 CONCEITOS E ESTRUTURA DE CÁLCULO PARA O GERENCIAMENTO DE RISCO EM SPDA

O dimensionamento do *SPDA* foi historicamente baseado em critérios determinísticos, como o método do ângulo de proteção. Contudo, a norma brasileira ABNT NBR 5419, em sua revisão de 2015, alinhou-se às diretrizes internacionais da série IEC 62305, instituindo um modelo de gerenciamento de risco probabilístico e quantitativo.

Este capítulo tem como objetivo apresentar os fundamentos conceituais e a estrutura matemática que regem essa nova abordagem, focando na determinação do Risco Calculado e sua comparação com o Risco Tolerável.

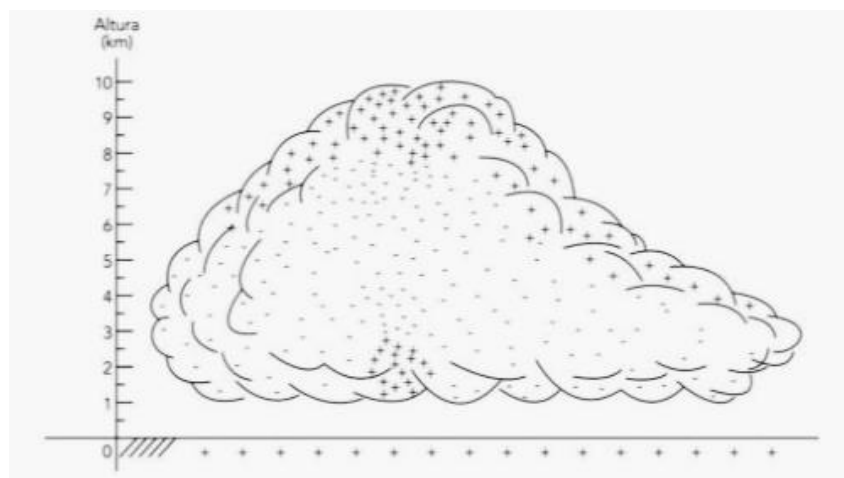
2.1 Introdução ao Modelo de Gerenciamento de Risco Segundo a NBR 5419-2

Historicamente, a decisão de instalar um *SPDA* baseava-se majoritariamente em critérios determinísticos, como a altura da edificação e sua tipologia. A NBR 5419, em sua revisão de 2015, alinhou-se às normas internacionais (série IEC 62305), adotando um modelo estritamente probabilístico e quantitativo. Neste novo paradigma, a instalação de um *SPDA* é contingente à comparação entre o Risco Calculado (R) e o Risco Tolerável (RT), sendo o Risco (R) a probabilidade esperada de perdas em um ano. Para que um projeto de *SPDA* possa ser desenvolvido, é preciso primeiramente entender a necessidade do projeto e suas especificações. Um sistema de proteção contra descargas atmosféricas requer a análise de riscos de ocorrência das descargas para a área específica de projeto. A NBR 5419-2 pré-determina a necessidade de instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas caso os riscos calculados sejam maiores ou iguais aos apresentados pela própria norma como riscos toleráveis.

2.2 Descargas Atmosféricas: Formação e Parâmetros de Dano

Descargas atmosféricas podem ser entendidas como um rompimento da isolamento do ar entre duas superfícies eletricamente carregadas com polaridades opostas. O processo tem sua gênese nas nuvens cumulonimbus, onde o ciclo da água e as correntes ascendentes de ar promovem uma separação de cargas. Na Figura 1 é possível observar o processo descrito (SOUZA *et al.*, 2021).

Figura 1-Distribuição de cargas elétricas no interior de uma nuvem



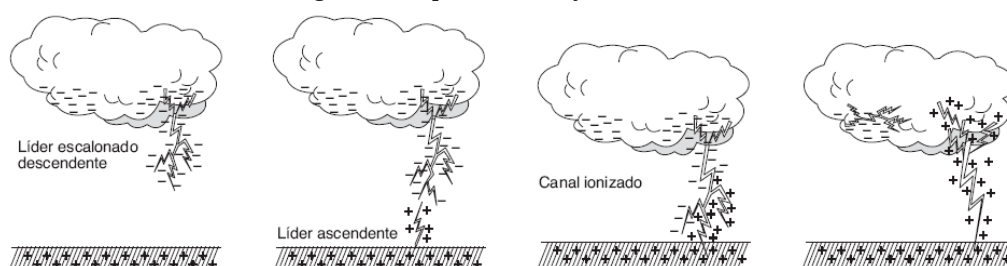
Fonte: (SOUZA *et al.*, 2021)

O ciclo da água e as intensas correntes ascendentes de ar (o ar quente subindo rapidamente) são os mecanismos que promovem a separação de cargas elétricas. À medida que o ar sobe, ele carrega gotículas de água e cristais de gelo para regiões muito frias da nuvem. Nessas alturas, partículas maiores e mais pesadas, como o granizo, colidem violentamente com os cristais de gelo menores e mais leves(SOUZA *et al.*, 2021).

As partículas pesadas tendem a adquirir carga negativa (Q-) e, pela força da gravidade, acumulam-se na base da nuvem e as partículas leves adquirem carga positiva (Q+) e são levadas para o topo da nuvem pelas correntes ascendentes. Essa redistribuição de cargas cria um gigantesco campo elétrico. A base da nuvem, induz uma carga positiva na superfície da Terra abaixo, estabelecendo o potencial elétrico necessário que rompe o isolamento do ar e desencadeia o raio. A descarga piloto – ao se aproximar do solo – induz um movimento ascendente de cargas de polaridade oposta (o líder ascendente), que é atraído pelo campo elétrico intenso(SOUZA *et al.*, 2021).

Quando o líder descendente e o líder ascendente se conectam, é estabelecido um canal ionizado de baixa resistência. Imediatamente, inicia-se o golpe de retorno, uma corrente excessivamente brilhante que se propaga rapidamente do solo para a nuvem. É esta fase do golpe de retorno que transporta a maior quantidade de energia e constitui o fenômeno visível e mais destrutivo do raio. Na Figura 2 podem ser visualizadas as etapas de formação dos raios (SOUZA *et al.*, 2021).

Figura 2- Etapas de formação dos raios



Fonte: (CREDER, 2022)

Para estimar a frequência de ocorrência de raios em uma determinada localização é utilizada a variável Densidade de Descargas Atmosféricas para o solo (NG). A NBR 5419 define este parâmetro como o número médio de descargas que atingem o solo por quilômetro quadrado por ano ($((raios / (km^2 \times ano)))$). É o principal dado de entrada para o cálculo da Frequência de Ocorrência de Descargas (N), determinando a probabilidade de a estrutura ser atingida. Na Figura 3 é ilustrado o mapa de isopletas de densidade de descargas atmosféricas para o Brasil, evidenciando as regiões com maior incidência do fenômeno. Conforme Creder (2022), o valor de NG deve ser obtido de forma precisa para garantir que o cálculo do risco seja fiel à exposição real da estrutura.

Figura 3- Etapas de formação dos raios



Fonte: CREDER (2022)

2.3 Estrutura de Risco: Fontes de Dano, Tipos de Dano e Tipos de perdas

A NBR 5419:2015 detalha que a corrente da descarga atmosférica é a principal fonte de dano, da seguinte maneira:

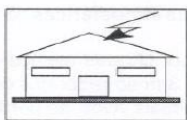
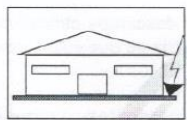
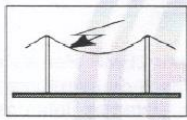
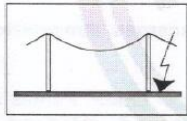
- S1: Descargas atmosféricas com impacto direto na estrutura;
- S2: Descargas atmosféricas nas proximidades da estrutura;
- S3: Descargas em linhas de energia ou comunicação conectadas à estrutura;
- S4: Descargas atmosféricas no solo próximo às linhas conectadas.

Essas fontes geram três tipos de danos principais, que a norma classifica como:

- D1: Ferimentos a seres vivos por choque elétrico;
- D2: Danos físicos (englobando incêndios, explosões e destruição estrutural);
- D3: Falhas de sistemas eletroeletrônicos (a queima de equipamentos e interrupção de serviços causadas por surtos).

Na Figura 4 é apresentado um esquema ilustrativo das fontes, tipos de danos e tipos de perda

Figura 4- Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto

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

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

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

Cada um desses danos, sozinho ou em combinação, pode levar a uma das quatro perdas primárias que se busca evitar: a perda de vida humana (L1), a perda de serviço público essencial (L2), a perda de patrimônio cultural (L3) e a perda de valor econômico (L4). Sendo os riscos associados a cada Perda ($R1$, $R2$, $R3$, $R4$), em essência, as probabilidades de que os danos se concretizem e causem o resultado indesejado. Para cada perda, na Tabela 1 é destacado o respectivo risco tolerável estabelecido pela norma.

Tabela 1 - Valores Típicos do Risco Tolerável

Tipo de Perda	Risco Tolerável (RT)
L1 – Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2 – Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3 – Perda de patrimônio cultural	10^{-4}
Observação: o risco tolerável para o tipo de perda L4 é fixado em 10^{-3} caso os dados para comparação custo/benefício não sejam fornecidos.	

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela 4)

Para cada um dos riscos, uma sequência de passos deve ser seguida para o cálculo (LOUREIRO, 2018).

- Identificação e cálculo de componentes que compõem o risco (R_x)
- Cálculo do risco total (R)
- Identificação do risco tolerável (RT)
- Comparação do risco calculado com o tolerável

2.4 Cálculo dos Componentes de Risco (R_x)

Seguindo para o primeiro passo do cálculo de cada risco, é preciso entender quais são as componentes que se dividem de acordo com as fontes de danos, seguindo a NBR 5419-2.

2.4.1 Componentes de Riscos Relacionados à Descargas na Estrutura (S1)

O componente RA , que é relativo aos ferimentos a seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descida. Resulta em perdas do tipo L1. Componente RB relativo a danos físicos (incêndio ou explosão) causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura. Pode levar a perdas de todos os tipos (L1, L2, L3, L4). Por fim, o componente RC relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP (Impulso Eletromagnético de Raio). Geralmente envolve perdas do tipo L2 e L4, podendo incluir L1 em casos de hospitais ou locais com risco de explosão (NBR 5419, 2015).

2.4.2 Componentes de Riscos Relacionados à Descargas Perto da Estrutura (S2)

Componente *RM* relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Semelhante ao *RC*, afeta as perdas L2 e L4, com a inclusão do tipo L1 em estruturas críticas (NBR 5419, 2015)

2.4.3 Componentes de Risco Relacionados à Descargas em Linha Conectada à Estrutura (S3):

Componente *RU* relativo aos ferimentos a seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1. O Componente *RV* relativo a danos físicos (incêndio ou explosão) devido à corrente transmitida pela linha, podendo ocorrer perdas de todos os tipos (L1, L2, L3, L4). E, por fim, o componente *RW*, relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas. Resulta em perdas L2 e L4, e L1 em estruturas críticas (NBR 5419, 2015).

2.4.4 Componentes de Risco Relacionados à Descargas Perto de Linha Conectada à Estrutura (S4):

Componente *RZ* relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura. Resulta em perdas L2 e L4, e L1 em estruturas críticas.

O risco total para cada tipo de perda é dado pela soma dos componentes relevantes, conforme a composição apresentada na Figura 5.

Figura 5- Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
Componente de risco	<i>R_A</i>	<i>R_B</i>	<i>R_C</i>	<i>R_M</i>	<i>R_U</i>	<i>R_V</i>	<i>R_W</i>	<i>R_Z</i>
Risco para cada tipo de perda								
<i>R₁</i>	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
<i>R₂</i>		*	*	*		*	*	*
<i>R₃</i>		*				*		
<i>R₄</i>	* b	*	*	*	* b	*	*	*

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

^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Fonte: NBR 5419-2 (Tabela 2)

Cada componente de *R_x* pode ser expressada pela relação apresentada na Equação (1).

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x \quad (1)$$

Com esta relação, o risco é analisado por:

- Número de Eventos Perigosos (N_x): Quantidade de vezes por ano que o evento perigoso pode afetar a estrutura. Cálculo ligado à densidade de descargas atmosféricas para a Terra da região e às particularidades do entorno.
- Probabilidade de Dano (P_x): Avalia a probabilidade de que o evento (N_x) cause dano físico ou falha de sistema, sendo diretamente influenciado pelas características construtivas da edificação.
- Perda Consequente (L_x): Estima a perda esperada, que varia dependendo do uso e da função da estrutura, seja em termos de vidas humanas ($L1$), interrupção de serviço ($L2$) ou prejuízo econômico ($L4$).

A formação de cada componente de risco é determinada pela tabela apresentada na Figura 6.

Figura 6- Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos

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

Fonte: NBR 5419-2 (Tabela 6) Parâmetros de cálculo

2.5 Número de Eventos Perigosos (NX)

O ponto de partida para a quantificação do risco é a determinação da Frequência de Eventos Perigosos (ND). Este parâmetro estima o número de descargas atmosféricas que se espera atingir a estrutura anualmente.

2.5.1 Número de eventos perigosos para a estrutura (ND)

A NBR 5419-2 define ND a partir de três variáveis primárias: a densidade de descargas atmosféricas para terra (NG), a área de exposição equivalente (AD) e o fator de localização da

estrutura (CD). A frequência de ocorrência do evento é dada conforme a Equação (2).

$$ND = NG.AD.CD.10^{-5} \quad (2)$$

A variável Densidade de Descargas Atmosféricas para Terra é expressa em descargas/(km^2 .ano). Embora o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do INPE seja a fonte dos dados primários, a NBR 5419 recomenda o uso dos valores específicos mostrados na própria norma para fins de projeto. A distribuição desse parâmetro no território brasileiro é ilustrada na Figura 3.

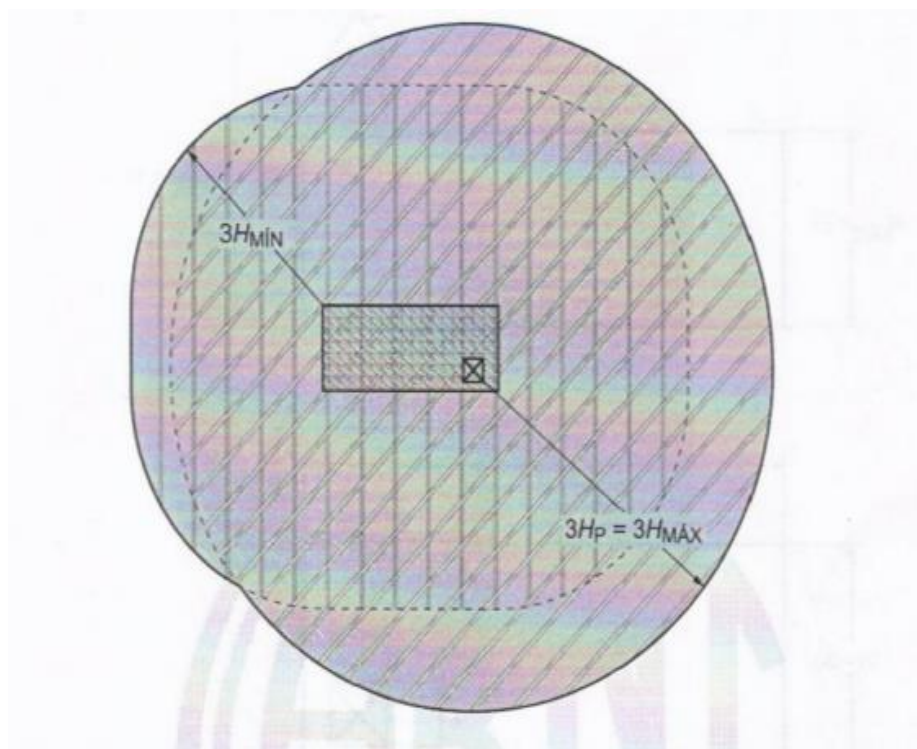
A(AD representa a superfície calculada considerada suscetível à incidência de descargas atmosféricas em uma estrutura. Para o cenário de estruturas retangulares isoladas em solo plano, a determinação de AD pode ser realizada tanto por métodos gráficos quanto analiticamente, empregando a Equação (3) Esta fórmula utiliza as dimensões físicas da edificação. Sendo, comprimento (L), largura (W) e altura (H).

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

Na eventualidade de a edificação apresentar uma geometria mais complexa, caracterizada pela presença de pontos ou elementos mais altos, a área de exposição deve ser avaliada por um processo de superposição gráfica, conforme detalhado na Figura 7. Nesses casos, a norma aceita uma aproximação que define AD como o maior valor entre duas análises distintas: o resultado obtido pela Equação (3) (empregando-se a altura mínima (H_{MIN}) da estrutura) e a área de exposição da saliência ($A'D$), calculada pela Equação (4) , que depende exclusivamente da altura:

$$A'D = \pi(3.HP)^2 \quad (4)$$

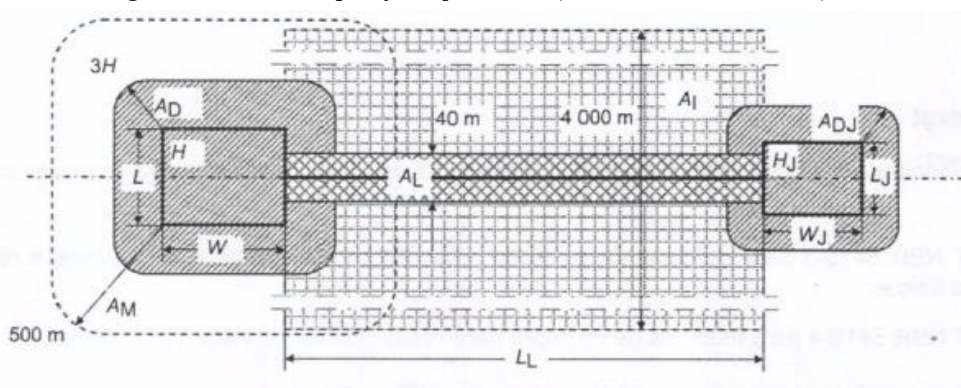
Figura 7 - Métodos de Avaliação da Área AD



Fonte: NBR 5419-2 (Figura A.3)

A área de exposição equivalente no decorrer do projeto deve ser lograda para: a estrutura (*AD*), estruturas adjacentes (*ADJ*), às proximidades da estrutura (*AM*), linhas de energia ou sinal (*AL*), e proximidades das linhas de energia ou sinal (*AI*), como exposto na Figura 8.

Figura 8- Áreas de exposição equivalente (*AD*, *ADJ*, *AM*, *AI* e *AL*)



Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Figura A.5)

Além da geometria, a probabilidade de incidência de raios é ajustada por *CD*. Este fator compensa a localização relativa da estrutura em seu entorno. Uma estrutura é classificada como exposta, por exemplo, se não houver outras edificações ou objetos significativos em suas

proximidades, considerando uma distância de até três vezes a sua própria altura.

Tabela 2 - Fator de Localização

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela 4)

2.5.2 Número de eventos perigosos *NDJ* para uma estrutura adjacente

O número de eventos perigosos associados à estrutura adjacente (*NDJ*), corresponde à estimativa anual de descargas atmosféricas capazes de atingir essa edificação em função da linha que a conecta à estrutura principal. A presença dessa conexão física altera o cenário de exposição, pois a linha funciona como um elemento adicional suscetível à incidência de descargas diretas ou à transferência de seus efeitos, fazendo com que a estrutura adjacente também precise ser incluída no cálculo do risco global. A NBR 5419 formaliza essa avaliação por meio da Equação (5)

$$NDJ = NG \times ADJ \times CDJ \times CT \times 10^{-6} \quad (5)$$

A etapa atual do processo passa a depender da seleção adequada do fator *CT*, que representa o tipo de linha que estabelece a ligação entre as duas estruturas. Esse fator, apresentado na Tabela 3, ajusta o cálculo para refletir o comportamento físico da linha diante de uma descarga atmosférica.

Tabela 3 - Fator tipo de Linha

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela A.3)

2.5.3 Número médio anual de eventos perigosos *NM* devido a descargas atmosféricas perto da estrutura

A NBR 5419-2:2015 estabelece o cálculo de *NM* pela Equação (6).

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

Esta área estendida considera uma linha de fronteira localizada a uma distância de 500m de todo o perímetro da estrutura, vide Figura 8. A área de exposição equivalente AM , em metros quadrados, é determinada pela Equação (7), que utiliza as dimensões de comprimento (L) e largura (W) da edificação principal para delinear essa zona de 500 metros.

$$AM = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (7)$$

2.5.4 Número médio anual de eventos perigosos NL devido a descargas atmosféricas na linha

O cálculo do Número Médio Anual de Eventos Perigosos Devido a Descargas Atmosféricas na Linha (NL) é essencial para quantificar a taxa de descargas que atingem a própria linha de energia ou sinal, antes que cheguem à estrutura. A NBR 5419-2:2015 permite avaliar NL para cada seção da linha, sendo determinado pela Equação (8).

$$NL = NG \times AL \times CI \times CT \times CE \times 10^{-6} \quad (8)$$

Sendo NL , o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1kV por ano na seção da linha. A Área de Exposição da Linha (AL) é calculada em função do seu comprimento (LL) em metros, de acordo com a Equação (9).

$$AL = 40 \times L \quad (9)$$

Caso o comprimento seja desconhecido, a NBR 5419-2 permite assumir um valor de $LL = 1000m$. O Fator de Instalação da Linha CI é alcançado através da análise da Tabela 4 e o Fator Ambiental da Linha, pela Tabela 5.

Tabela 4 - Fator de instalação da linha CI

Roteamento	CI
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento	001

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela A.2)

Tabela 5 - Fator ambiental da linha CE

Ambiente	CE
Rural	1
Suburbano	0.5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m	0,01

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela A.4)

2.5.6 Número médio anual de eventos perigosos *NI* devido a descargas atmosféricas perto da linha

A avaliação do risco de perdas inclui a análise do Número Médio Anual de Eventos Perigosos Devido a Descargas Atmosféricas Perto da Linha (*NI*). Este valor representa a taxa de sobretensões induzidas na linha por raios que caem em suas proximidades. A NBR 5419-2:2015 permite avaliar *NI* para cada seção da linha utilizando a Equação (10).

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

O fator *AI* representa a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas para a terra perto da linha, expressa em metros quadrados. A área *AI* é determinada em função do comprimento da seção da linha (*LL*), assumindo uma largura de influência de 4000m, conforme a Equação (11).

$$AI = 4000 \times LL \quad (11)$$

Além da área de exposição, o cálculo de *NI* é modulado por três fatores críticos. O Fator de Instalação (*CI*) baseado na Tabela 4, o Fator Tipo de Linha (*CT*), detalhado na Tabela 3, e, por fim, o Fator Ambiental (*CE*), especificado na Tabela 5.

2.6 Avaliação da probabilidade (*Px*) de danos

A avaliação da probabilidade de danos (*PX*) representa a chance de uma descarga atmosférica causar danos físicos ou falhas em sistemas internos da estrutura. Este parâmetro permite quantificar a eficácia das medidas de proteção adotadas, variando de 0 a 1 conforme as características da edificação e as proteções instaladas, conforme as diretrizes da NBR 5419-2.

2.6.1 Probabilidade *PA* de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico

Os valores de *PA* decorrentes das tensões de toque e passo perigosas dependem diretamente do SPDA adotado e da eficácia das medidas de proteção adicionais implementadas (NBR 5419,

2015).

Esta probabilidade é calculada como o produto de dois fatores principais, conforme a Equação (12).

$$PA = PTA \times PB \quad (12)$$

O fator de Probabilidade de Tensão Adicional (*PTA*) está relacionado com as medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, tais como o uso de avisos de alerta, isolamento elétrico das partes expostas, equipotencialização efetiva do solo ou restrições físicas (NBR 5419, 2015).

Os valores de *PTA* são listados na Tabela 6, e caso mais de uma medida seja adotada, o valor final de *PTA* é o produto dos valores correspondentes.

Tabela 6 - Valores de probabilidade *PTA*

Medida de proteção adicional	PTA
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	0,1
Isolação Elétrica	0,01
Equipotencialização efetiva do solo	0,01
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B.1)

O Fator de Probabilidade de Nível de Proteção (*PB*), que reflete a mitigação do risco alcançada pelo SPDA instalado. O valor de *PB* depende diretamente do Nível de Proteção para o qual o SPDA foi projetado, seguindo as especificações da ABNT NBR 5419-3. Os valores de *PB* são descritos na Tabela 7. É crucial ressaltar que a eficácia das medidas de proteção na redução da probabilidade *PA* está condicionada a requisitos específicos. Essas medidas são efetivas apenas para estruturas que possuam um SPDA convencional, ou para aquelas que utilizam estruturas metálicas contínuas ou concreto armado como um SPDA natural. Em ambos os casos, a eficácia é garantida somente quando os rigorosos requisitos de interligação e aterramento, conforme estabelecido na ABNT NBR 5419-3, forem plenamente satisfeitos.

Tabela 7 - Valores de probabilidade PB de uma descarga na estrutura causar danos físicos

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B.2)

2.6.2 Probabilidade *PC* de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos

A análise de risco de perdas inclui a determinação da Probabilidade de uma Descarga Atmosférica em uma Estrutura Causar Falha a Sistemas Internos (*PC*). Essa falha pode ser desencadeada por sobretensões e sobrecorrentes geradas pela descarga, afetando equipamentos sensíveis. *PC* depende diretamente de Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS) e das condições de blindagem e interligação das linhas externas. A probabilidade é calculada como o produto dos fatores *PSPD* e *CLD*, conforme a Equação (13).

$$PC = PSPD \times CLD \quad (13)$$

O fator de Probabilidade de Sobrevivência do Dispositivo de Proteção (*PSPD*) está relacionado à eficácia do sistema coordenado de DPS instalado. Os valores de *PSPD* variam conforme *NP* para o qual os DPS foram projetados. Os valores de *PSPD* são detalhados na Tabela 8. O segundo fator, *CLD* (Fator de Blindagem e Cabos), leva em consideração as condições de blindagem, aterramento e isolamento das linhas externas conectadas à estrutura. A Tabela 9 apresenta os valores de *CLD* e *CLI* em função do tipo de linha externa (aérea, enterrada, blindada ou não) e da forma de conexão no ponto de entrada.

Tabela 8 - Valores de probabilidade de PSPD em função do NP para o qual os DPS foram projetados

NP	PSPD
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
L1	0,02
L	0,01
NOTA 2	0,005-0,001

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B.3)

Tabela 9 - Valores dos fatores CLD e CLI dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	CLD	CLI
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
Nenhuma linha externa	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	0	0

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B.4)

2.6.3 Probabilidade *PM* de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos

A Probabilidade de uma Descarga Atmosférica Perto de uma Estrutura Causar Falha em Sistemas Internos (*PM*) é um componente de risco que avalia a suscetibilidade dos equipamentos internos a sobretensões induzidas por raios que caem nas proximidades da edificação. Medidas de proteção como SPDA em malha, blindagens, precauções de roteamento de cabos, aumento da tensão suportável e interfaces isolantes são adequadas para reduzir *PM*. A probabilidade depende intrinsecamente das Medidas de Proteção Contra Surtos (MPS) adotadas. Quando um sistema coordenado de DPS conforme a ABNT NBR 5419-4 não está instalado, o valor de *PM* deve ser assumido como igual a *PMS*. No entanto, se um sistema coordenado de DPS estiver instalado, *PM* é determinado pelo produto do fator de sobrevivência do DPS e do fator de suscetibilidade do sistema, conforme a Equação (14).

$$PM = PSPD \times PMS \quad (14)$$

Para sistemas internos com equipamentos que não estão em conformidade com a suportabilidade de tensão dada nas normas específicas de produto, *PMS* deve ser assumido como 1. Caso contrário, é obtido pelo produto dos fatores *ks1* a *ks4*, conforme a Equação (15).

$$PMS = (ks1 \times ks2 \times ks3 \times ks4)^2 \quad (15)$$

O fator *ks1* avalia a eficiência da blindagem pela malha da estrutura ou SPDA na interface ZPR 0/1, e o *ks2* avalia a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna na interface ZPR X/Y. Já o fator *ks3* leva em consideração as características da fiação interna, vide Tabela 10, e *ks4* considera a tensão suportável de impulso (*UW*) do sistema a ser protegido, calculado pela Equação (16).

$$KS4 = 1/UW \quad (16)$$

Tabela 10 - Valor do Fator $ks3$ dependendo da fiação interna

Tipo de fiação interna	$ks3$
Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços - Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m ²).	1
Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços - Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m ²).	0.2
Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar laços - Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m ²).	0.01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos - Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.	0.0001

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B.5)

Os valores máximos de $ks1$ e $ks2$ são limitados, e podem ser avaliados em função da largura da malha (w_m), como nas Equações (17) e (18).

$$ks1 = 0,12 \times w_m1 \quad (17)$$

$$ks2 = 0,12 \times w_m2 \quad (18)$$

2.6.4 Probabilidade PU de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico

A Probabilidade de uma Descarga Atmosférica em uma Linha Causar Ferimentos a Seres Vivos por Meio de Choque Elétrico (PU) dentro da estrutura é determinada pela tensão de toque que adentra a edificação através da linha externa (energia ou sinal). Esta probabilidade depende das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos e das medidas de proteção, como restrições físicas, avisos visíveis de alerta, interfaces isolantes ou DPS na entrada da linha. O valor de PU é dado pelo produto de três fatores, conforme a Equação (19).

$$PU = PTU \times PEB \times PLD \quad (19)$$

O fator de Probabilidade de Tensão de Toque Adicional (PTU) depende das medidas de

proteção adicionais contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. A Tabela 11 lista os valores de *PTU*. Se mais de uma medida for adotada, o valor de *PTU* será o produto dos valores correspondentes.

Tabela 11 - Valores da probabilidade *PTU*

Medida de Proteção	PTU
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	0,1
Isolação Elétrica	0,01
Restrições Físicas	0

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B.6)

O fator *PEB* (Probabilidade de Equipamentos e Blindagem) depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas conforme a ABNT NBR 5419-3 e do *NP* para o qual o DPS foi projetado. Os valores de *PEB* são fornecidos na Tabela 12, e podem ser reduzidos se forem utilizados DPS com melhores características de proteção.

Tabela 12 - Valor da probabilidade *PEB* em função do *NP* para o qual os DPS foram projetados

NP	PEB
Sem DPS	1
III-IV	0,05
L1	0,02
L	0,01
NOTA 4	0,005 - 0,001

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B.7)

Por fim, a Probabilidade de Falha em Linha Conectada (*PLD*) é a probabilidade de falha dos sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada, dependendo das características da própria linha. Os valores de *PLD* são obtidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores da probabilidade PLD dependendo da resistência R_s da blindagem.

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B.8)

2.6.5 Probabilidade PV de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos

A Probabilidade de uma Descarga Atmosférica em uma Linha Causar Danos Físicos (PV) é avaliada pela Equação (20).

$$PV = PEB \times PLD \times CLD \quad (20)$$

Os fatores PEB e PLD são apresentados respectivamente nas Tabelas 12 e 13 e o Fator de Blindagem e Cabos (CLD) na Tabela 9.

2.6.6 Probabilidade PW de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas interno

A Probabilidade de uma Descarga Atmosférica na Linha Causar Falha de Sistemas Internos (PW) avalia o risco de que sobretensões conduzidas por linhas externas (energia ou sinal) atinjam e danifiquem equipamentos pertencentes à estrutura. Esta probabilidade é determinada pela Equação (21).

$$PW = PSPD \times PLD \times CLD \quad (21)$$

Os fatores $PSPD$ e PLD são apresentados respectivamente nas Tabelas 8 e 13.

2.6.7 Probabilidade PZ de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos

A probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos (PZ) é determinada conforme a Equação (22)

$$PZ = PSPD \times PLI \times CLI \quad (22)$$

O fator PLI (Probabilidade de Falha em Linha Induzida) representa a probabilidade de falha dos sistemas internos devido à sobretensão induzida pela descarga próxima, e é determinado conforme a Tabela 14.

Tabela 14 - Valores da probabilidade PLI dependendo do tipo da linha e da tensão suportável de impulso U_w

Tipo da Linha	Tensão suportável U_w em kV				
	1,00	1,5	2,5	4,00	6,00
Linhas de energia	1,00	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de sinais	1,00	0,5	0,2	0,08	0,04

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela B).

2.7 Avaliação de perdas

A quantidade de perda (LX) é o parâmetro na avaliação de risco conforme a NBR 5419-2 (2015) que representa a perda média esperada resultante de um tipo de dano específico. A avaliação deve ser realizada por zonas da estrutura. Os cálculos da quantidade de perda consideram o tempo de presença (tz) de pessoas na zona analisada, o número de pessoas na zona (nz) e o número total de pessoas na estrutura (nt). Além disso, são utilizados fatores de redução e multiplicação, como o número médio de vítimas por choque elétrico (LT), por danos físicos (LF) e por falha em sistemas internos (LO).

2.7.1 Perda de vida humana ($L1$)

A quantidade de perda é avaliada separadamente para cenários de choque elétrico (LA e LU), danos físicos (LB e LV) e falha em sistemas internos (LC , LM , LW , LZ).

2.7.1.1 Perda por Choque Elétrico na Estrutura (LA) e na Linha (LU)

Ambas as perdas por choque elétrico são calculadas pela Equação (23).

$$LA = rT \times LT \times (nz / nt) \times (tz / 8760) \quad (23)$$

2.7.1.2 Perda por Danos Físicos na Estrutura (LB) e na Linha (LV)

As perdas por danos físicos são calculadas pela Equação (24).

$$LB = LV = rP \times rF \times hZ \times LF \times (nZ / nT) \times (tZ / 8760) \quad (24)$$

2.7.1.3 Perda por Falha em Sistemas Internos (LC, LM, LW, LZ)

As perdas relacionadas à falha de sistemas internos (causadas por descargas na estrutura, perto da estrutura, na linha e perto da linha) são determinadas pela Equação (25), baseada na taxa de vítimas por falha de sistemas internos.

$$LC = LM = LW = LZ = LO \times (nZ / nT) \times (tZ / 8760) \quad (25)$$

2.7.1.4 Fatores de redução de perda

A determinação do fator rT em função do tipo de superfície do solo ou piso é apresentada na Tabela 15:

Tabela 15 - Fator de redução rT em função do tipo da superfície do solo ou piso

Tipo de superfície	Resistência de contato $k\Omega$	rT
Agricultura, concreto	≤ 1	0,01
Mármore, cerâmica	.1-10	0,001
Cascalho, tapete, carpete	10-100	0,0001
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	0,00001

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela C.3)

Quanto ao fator rP , pelas medidas de combate a incêndios, pode ser alcançado observando a Tabela 16:

Tabela 16 - Fator de redução rP em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio

Providências	Rp
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático	0,2
Estruturas com risco de explosão	1

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela C.4)

Logra-se o fator rF , pelo risco de incêndio ou explosão na estrutura, através da Tabela 17.

Tabela 17 - Fator de redução rf em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela C.5)

Por fim, o fator de aumento da perda (*hz*) é aplicado para considerar perigos especiais, como baixo, médio ou alto nível de pânico, ou dificuldade de evacuação, alcançado através da Tabela 18

Tabela 18 - Fator *hz* aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial

Tipo de perigo especial	Hz
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1000 pessoas)	10

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela C6)

2.7.1.5 Fatores Típicos de Perda de Vida Humana (*LT*, *LF* e *LO*)

A NBR 5419-2 quantifica a perda esperada por evento perigoso por meio de três fatores relativos médios típicos que representam a taxa de vítimas para cada tipo de dano. O número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (*LT*, Dano D1). O número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (*LF*, Dano D2), geralmente associados a incêndio ou explosão. E por

fim, o número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos (*LO*, Dano D3), tipicamente em sistemas críticos. Tais valores são quantificados através da Tabela 19.

Tabela 19 - Valores médios típicos de LT, LF e LO (Tipo de perda L1)

Tipos de danos	Valor de perda típico		Tipo da estrutura
D1 Ferimentos	LT	0,01	Todos os tipos
D2 Danos físicos	LF	0,1	Risco de explosão
		0,1	Hospital, hotel, escola, edificio civico
		0,05	Entretenimento publico, igreja, museu
		0,02	Industrial, comercial
		0,01	Outros
D3 falhas de sistemas internos	LO	0,1	Risco de explosão
		0,01	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		0,001	Outras partes de hospital

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela C6)

2.7.2 Perda inaceitável de serviço ao público (L2)

A quantidade de perda é avaliada separadamente para cenários de danos físicos (*LB*, *LV*) e falhas de sistemas internos (*LC*, *LM*, *LZ*).

2.7.2.1 Perda por Danos Físicos na Estrutura (LB) e na Linha (LV)

As perdas por danos físicos são calculadas pela Equação (26).

$$LB = LV = rP \times rF \times LF \times (nZ)/(nT) \quad (26)$$

2.7.2.2 Perda por Falha em Sistemas Internos (LC, LM, LW, LZ)

As perdas relacionadas à falha de sistemas internos (causadas por descargas na estrutura, perto da estrutura, na linha e perto da linha) são determinadas pela Equação (27), baseada na taxa de vítimas por falha de sistemas internos

$$LC = LM = LW = LZ = LO \times (nZ / nT) \times (tZ / 8760) \quad (27)$$

2.7.2.3 Fatores Típicos de Perda (LF e LO)

Os fatores de perda *LF* e *LO* utilizados neste cálculo representam o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultante do dano físico (D2) e da falha de sistemas internos (D3),

respectivamente. Tais valores são quantificados através da Tabela 20.

Tabela 20 - Valores médios típicos de LF e LO (Tipo de perda L2)

Tipo de Dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2 Danos físicos	LF	0,1	Gás, água, fornecimento de energia
		0,01	TV, linhas de sinais
D3 falhas de sistemas internos	LO	0,01	Gás, água, fornecimento de energia
		0,001	TV, linhas de sinais

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela C8)

2.7.3 Perda inaceitável de patrimônio cultural (L3)

A quantidade de perda é avaliada separadamente para cenários de danos físicos (*LB*, *LV*)

2.7.3.1 Perda por Danos Físicos na Estrutura (*LB*) e na Linha (*LV*)

As perdas por danos físicos são calculadas pela Equação (28).

$$LB = LV = rP \times rF \times LF \times (cz)/(ct) \quad 28$$

2.7.3.2 Fator Típico de Perda (*LF*)

A quantificação se dá através da Tabela 21.

Tabela 21 - Valores médios típicos de LF (Tipo de perda L3).

Tipo de Dano	Valor da perda típica		Tipo de serviço
D2 Danos físicos	LF	0,1	Museu, galerias

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela C10)

2.7.4 Perda Econômica (L4)

A quantidade de perda é avaliada separadamente para cenários de choque elétrico (*LA* e *LU*), danos físicos (*LB* e *LV*) e falha em sistemas internos (*LC*, *LM*, *LW*, *LZ*).

2.7.4.1 Perda por Choque Elétrico na Estrutura (*LA*) e na Linha (*LU*)

Ambas as perdas por choque elétrico são calculadas pela Equação (29).

$$LA = rt \times LT \times (ca / ct^a) \quad (29)$$

2.7.4.2 Perda por Danos Físicos na Estrutura (LB) e na Linha (LV)

As perdas por danos físicos são calculadas pela Equação (30)

$$LB = LV = rP \times rF \times LF \times (ca \times cb \times cc \times cs) / ct^a \quad (30)$$

2.7.4.3 Perda por Falha em Sistemas Internos (LC, LM, LW, LZ)

As perdas relacionadas à falha de sistemas internos (causadas por descargas na estrutura, perto da estrutura, na linha e perto da linha) são determinadas pela Equação (31).

$$LC = LM = LW = LZ = LO \times (cs / ct^a) \quad (31)$$

2.7.4.4 Fatores econômicos

No caso da análise de perdas econômicas, há a necessidade do levantamento dos valores correspondentes à estrutura, normalmente realizado pelo proprietário. Estes parâmetros são utilizados para calcular as perdas esperadas (Lx) ou o nível de risco (Rx) da instalação. O parâmetro cb designa o valor da edificação, correspondendo ao custo de reposição da estrutura física da construção, sendo crucial para quantificar o prejuízo material direto. O cc, ou valor do conteúdo, representa o valor monetário de todos os bens móveis, mercadorias e estoque armazenados na zona. Em paralelo, o parâmetro cs, ou valor dos sistemas e atividades, engloba o valor financeiro dos equipamentos tecnológicos, máquinas e sistemas críticos, além do custo associado à indisponibilidade operacional que seria causada pela interrupção das atividades. O parâmetro ca, ou valor dos animais, é um parâmetro específico para contextos rurais ou agropecuários, quantificando o valor econômico da população de animais vivos presentes na zona. O valor total ct se dá através da soma dos valores de todos os ativos (ca, cb, cc e cs) contidos na zona de avaliação (NBR 5419, 2015).

2.7.4.5 Fatores Típicos de Perda (LT, LF e LO)

Tais valores são quantificados através da Tabela 22.

Tabela 22 - Valores médios típicos de LT, LF e LO (Tipo de perda L4)

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

Fonte: Adaptado de NBR 5419-2 (Tabela C12)

3 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA ONLINE DE CÁLCULO DE RISCO

3.1 Estrutura da Planilha de Gerenciamento de Risco

Este tópico detalha a lógica de funcionamento da ferramenta desenvolvida. A construção do projeto foi realizada de maneira virtual através do google planilhas com o objetivo de simplificar o projeto e democratizar o acesso. O desenvolvimento se deu a partir da análise e transferência das Equações e relações apresentadas no Capítulo 2, para a planilha.

3.1.1 Aba 'Início': Identificação da Estrutura e Escopo de Risco

A aba denominada 'Início', dá espaço à descrição do Tipo de Estrutura, fornecendo dados contextuais sobre a edificação, e a análise e seleção dos Riscos Aplicáveis, definindo quais tipos de perdas são relevantes para a estrutura em análise e a quantidade de zonas pré definidas pelo usuário, conforme os critérios da NBR 5419-2. Na Figura 9 é apresentada a interface dessa área na planilha, ilustrado o exemplo do estudo de caso que será apresentado neste trabalho "Casa de campo - exemplo nbr 5419:2015 ANEXO E".

Figura 9 - Análise inicial de aplicabilidade dos riscos e definição de zonas

Descrição do Tipo de Estrutura	
Casa de campo - exemplo nbr 5419:2015 anexo E	

Riscos aplicáveis	
R1	☒
R2	☐
R3	☐

Quantidade de Zonas
2
Z1 - Lado de Fora
Z2 - Cômodos

Fonte: Elaborado pelo autor

A divisão em Zonas é o procedimento padrão para definir as interfaces de risco e aplicar medidas de proteção coerentes (Ex: ZPR 0 é a área sob ameaça direta, ZPR 1 é a área interna protegida). Zonas são áreas da estrutura que compartilham as mesmas características de risco. A ferramenta suporta um máximo de 5 Zonas (Z1 a Z5). Esta quantidade é tipicamente suficiente para a maioria das edificações. O número selecionado em "Quantidade de Zonas" (Ex: 3) ATIVA as abas correspondentes (Z1, Z2, Z3). A ferramenta processará os dados das abas de Zonas que estiverem ativas.

Ainda nesta seção da planilha, encontra-se um guia de preenchimento, cujo modelo é parcialmente apresentado na Figura 10. Este guia acompanha o usuário oferecendo orientações sobre

o que deve ser inserido ou ignorado. Somente as células com fundo branco devem ser preenchidas. Estas representam os dados de entrada manual, como dimensões, fatores e parâmetros da estrutura. Em contrapartida, as células com fundo azul contém os cálculos automatizados da ferramenta e não

Figura 10- Guia de preenchimento da planilha

ABA INICIO	Descrição do Tipo de Estrutura: (Opcional) Utilize o campo para documentar brevemente o objeto de análise (ex: "Casa de Campo - NBR 5419 Anexo E").
	Definição dos Riscos Aplicáveis: A seleção correta nesta seção é fundamental, pois ela determina quais cálculos e abas de mitigação serão ativados. Selecionar o risco errado ou deixar de selecionar um risco aplicável resultará em um cálculo final impreciso. Não são excludentes, um ou mais riscos podem ser selecionados
	R1 (Perda de Vida Humana): Deve ser selecionado sempre que houver pessoas na estrutura (a menos que o foco seja estritamente apenas em bens/serviços). É o risco de maior prioridade pela Norma.
	R2 (Perda de Serviço Público Insustituível ou Patrimônio Cultural): Selecione se a estrutura abriga serviços essenciais (hospitais, controle de tráfego aéreo, energia) ou bens de alto valor patrimonial (museus, arquivos).
	R3 (Perda Econômica): Selecione se o objetivo é proteger ativos financeiros (máquinas caras, sistemas críticos) ou evitar grandes perdas de produção.
	Divisão em Zonas de Proteção contra Raios (ZPR): A divisão em Zonas é o procedimento padrão para definir as interfaces de risco e aplicar medidas de proteção coerentes (Ex: ZPR 0 é a área sob ameaça direta, ZPR 1 é a área interna protegida). Definição: Uma Zona (Z) é uma área que compartilha as mesmas características de risco (parâmetros de campo eletromagnético ou corrente de surto). Limitação da Ferramenta: A ferramenta suporta um máximo de 5 Zonas (Z1 a Z5). Esta quantidade é tipicamente mais do que suficiente para a maioria das edificações, como demonstrado nos anexos normativos que utilizam, por exemplo, apenas duas Zonas (Ex: ZPR 0 e ZPR 1). Regra de Preenchimento CRÍTICA: O número selecionado em "Quantidade de Zonas" (Ex: 3) ATIVA as abas correspondentes (Z1, Z2, Z3). A ferramenta SÓ processará os dados das abas de Zonas que estiverem ativas. É imperativo preencher APENAS as abas de Zonas selecionadas.

devem ser alteradas em nenhuma circunstância, garantindo a integridade dos resultados.

Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.2. Aba 'AD - ND'

Para área de exposição equivalente os valores de altura, largura e comprimento da estrutura (AD) e da estrutura adjacente (ADJ) são dados manuais assim como o comprimento da linha LL. Caso a estrutura possua formato retangular básico, preencher esses dados significa que os valores de AD, ADJ, AL, AI, AM vão ser preenchidos automaticamente através das fórmulas já citadas na revisão teórica. Se a estrutura possuir formato complexo, é necessário fazer análise e colocar o dado manualmente de acordo com a seção A.2.1.2 da NBR 5419:2015-2. Na Figura 11 é ilustrada esta área da planilha, onde pode-se observar que células em brancos são dados a serem preenchidos pelo usuário e células azuis são cálculos automáticos.

Figura 11 - Área de exposição equivalente

Estrutura retangular	☒
Ap	
L	15
H	6
VV	20
2577,87602	
AM	820398,1634
Energia	
ADJp	
L	0
H	0
VV	0
0	
LLp	1000
ALp	40000
Alp	4000000
Sinal	
ADJt	
L	0
H	0
VV	0
0	
LLt	1000
ALt	40000
Alt	4000000

Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto ao Número de Eventos Perigosos (Nx), que também está presente, conforme ilustrado na Figura 12, nada deve ser preenchido. O cálculo de Nx é realizado de forma automática e interna pela planilha. Os componentes calculados são: *ND* (descarga direta na estrutura), *NM* (descarga próxima à estrutura), *NADJ* (descarga próxima a estrutura adjacente), *NL* (descarga direta em linha de serviço) e *NI* (descarga próxima à linha de serviço).

Figura 12 - Representação de cálculo do Número de Eventos Perigosos

ND	0,0103
NM	3,281592654

Energia		Sinal	
NLp	0,08	NLt	0,16
Nlp	8	Nlt	16
Ndjp	0.0000	Ndjt	0.0000

Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.3. Aba: 'Dados Gerais'

A aba "Dados Gerais" exige o preenchimento de parâmetros que afetam globalmente o cálculo do risco de toda a estrutura.

Dois parâmetros cruciais para esta aba, que serão ilustrados na Figura 13, são *NG* e *nt*. Sendo que *NG* (Densidade de descargas atmosféricas para a terra) representa o número médio de raios por quilômetro quadrado por ano na localização, se fazendo necessário o preenchimento do valor correto

obtido a partir de dados geográficos ou mapas isocerânicos da região. Já o parâmetro nt (Número total de pessoas na estrutura) é vital para o cálculo do Risco de Perda de Vida Humana ($R1$), e exige que seja inserido o número máximo de pessoas que podem estar presentes na estrutura simultaneamente.

Figura 13 - Preenchimento de NG e nt

NG - Densidade de descargas atmosféricas para a terra
7,24
nt - Número total de pessoas na estrutura
1

Fonte: Elaborado pelo autor

A seção apresentada na Figura 14 é dedicada à avaliação do Risco de Perda de Serviço Público ou Patrimônio Cultural ($R2$) e só deve ser preenchida caso o risco $R2$ tenha sido selecionado na aba "Início". Entretanto, caso $R2$ não tenha sido selecionado e mesmo assim o usuário preencher estes dados, não serão observadas alterações, a não marcação de $R2$ é o suficiente para retirá-lo do cálculo final. Se a edificação for um museu, monumento, ou qualquer estrutura que contenha bens de valor cultural ou patrimonial, deve-se marcar a caixa de seleção correspondente. Esta marcação ativa os cálculos de risco relacionados à perda de patrimônio. Para o custo total do patrimônio cultural (ct) é necessário introduzir o valor total do patrimônio cultural (bens, acervos, ou estrutura) contido na edificação, geralmente expresso em unidades monetárias. E quanto ao custo do patrimônio cultural (cz), deve-se inserir o custo do patrimônio cultural contido especificamente dentro de cada zona em análise ($cz1$, $cz2$, etc.). A soma dos custos parciais nas zonas deve ser igual ao custo total.

Figura 14 - Parâmetros para a avaliação de custos para a perda de patrimônio cultural

Estrutura de relevância cultural	☐
Custo total do patrimônio cultural ct	
Custo do patrimônio cultural $z1cz$	
Custo do patrimônio cultural $z2cz$	
Custo do patrimônio cultural $z3cz$	
Custo do patrimônio cultural $z4cz$	
Custo do patrimônio cultural $z5cz$	

Fonte: Elaborado pelo autor

O preenchimento dos Fatores Qualitativos e de Ocupação, ilustrados na Figura 15, exige a marcação correta das caixas de seleção, pois elas ativam ou ajustam os fatores de correção de dano (K e C na NBR 5419-2) para refletir a sensibilidade da estrutura e seu conteúdo.

Figura 15 - Características gerais da estrutura

☐	Estrutura com risco de explosão
☐	Propriedade onde animais podem ser perdidos?
☐	Edificação é em concreto armado ou possui estrutura metálica eletricamente interligadas e aterrada?
☐	Hospital
☐	Estrutura quando a falha dos sistemas internos imediatamente podem colocar perigo à vida humana?
☐	Escola
☐	Edifício cívico
☐	Hotel
☐	Unidade de terapia intensiva/ Bloco cirúrgico de hospital
☐	Estrutura de cunho industrial/comercial
☐	Outras partes do hospital
☐	Museu, galerias

Fonte: Elaborado pelo autor

A seção de U_w , ilustrada na Figura 16, define a sensibilidade dos equipamentos internos à sobretensão. Deve ser selecionado um dos valores disponíveis (1kV, 1,5kV, 2,5kV, 4kV ou 6kV). O parâmetro U_w (energia) refere-se aos equipamentos ligados à rede elétrica e U_w (sinal) aos equipamentos conectados às linhas de sinal e telecomunicações.

Figura 16 - Tensão suportável de impulso

U_w(energia)		
1		☐
1,5		☐
2,5		☒
4		☐
6		☐
U_w(sinal)		
1		☐
1,5		☒
2,5		☒
4		☐
6		☐

Fonte: Elaborado pelo autor

A determinação de U_w deve ser baseada nas especificações do fabricante. Caso estes dados não estejam disponíveis, a NBR 5419-2 orienta o uso das Categorias de Sobretensão (CAT) para a rede de energia, as quais se relacionam com a localização do equipamento dentro da instalação: CAT IV (Geralmente 6 kV) é aplicável a equipamentos próximos à origem da instalação (entrada do

serviço, medidores); CAT III (Geralmente 4 kV) aplica-se a equipamentos em painéis de distribuição; CAT II (Geralmente 2,5 kV ou 1,5 kV) aplica-se a eletrodomésticos, ferramentas portáteis ou tomadas comuns; e CAT I (Geralmente 1kV) aplica-se a equipamentos eletrônicos sensíveis com proteção interna ou conectados após DPS.

A seção de Fatores de Correção de Risco, ilustrada na Figura 17, exige a seleção dos parâmetros que influenciam a frequência de eventos perigosos (Nx) e o risco global.

Figura 17 - Fatores de ambiente, natureza e localização

CD	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças ▾
	1
CDjp	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças ▾
	1
CDjt	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças ▾
	1
CTp	Linha de energia ou sinal ▾
	1
CTt	Linha de energia ou sinal ▾
	1
Cip	Enterrado ▾
	0,5
Cit	Aéreo ▾
	1
Cep	Rural ▾
	1
Cet	Rural ▾
	1

Fonte: Elaborado pelo autor

O fator *CD*, juntamente com seus variantes *CDjp* e *CDjt*, deve ser selecionado com base na vizinhança da estrutura. Sua finalidade é ajustar a exposição da edificação, sendo que o ambiente deve ser classificado como estrutura isolada, perto de objetos menores ou maiores, ou em área com alta densidade de edificações.

Os fatores *CT* e seus variantes *CTp* e *CTt* representam o Fator que considera a natureza da linha de serviço, ajustando a probabilidade de incidência de raio diretamente na linha, seja ela de energia elétrica ou de sinal/telecomunicações.

Os fatores *CI* e seus variantes *Cip* e *Cit* são os Fatores de Influência do Ambiente de Interconexão, os quais ajustam a exposição da linha com base no seu tipo de instalação. Deve-se selecionar se a linha é aérea (totalmente exposta) ou enterrada (parcialmente protegida).

Por fim, os fatores *CE* e seus variantes *CEp* e *CEt* são os Fatores de Ambiente, que ajustam a exposição da linha conforme a natureza do ambiente que ela atravessa. O analista deve selecionar se a linha percorre um ambiente rural (geralmente mais exposto) ou urbano (geralmente menos exposto).

Na Figura 18, ilustra-se as probabilidades gerais considerando as proteções existentes. O fator *PTA* (Probabilidade de falha de proteção contra choque elétrico) deve ser selecionado com base na eficácia do sistema de aterramento e equipotencialização do solo da estrutura. O parâmetro *PB* (Probabilidade de falha do SPDA) deve ser selecionado com base na presença e na classe do SPDA externo (captores, condutores de descida e aterramento). A seleção varia entre a ausência de SPDA e a presença de SPDA de Classes I a IV, sendo esta escolha fundamental para reduzir o risco. O fator *PEB* (Probabilidade de falha de blindagem) refere-se à proteção contra surtos na interface entre a Linha de Serviço e a estrutura. Deve ser selecionada a opção que descreve a presença e o tipo de DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) instalado, sendo a escolha crucial para a mitigação de danos em equipamentos. Quanto à *PTU* (Probabilidade de falha de terminais), é o fator que considera a falha de sistemas terminais ou sistemas internos devido a surtos conduzidos ou induzidos. Descreve as medidas de proteção aplicadas internamente, como roteamento blindado ou outras medidas de proteção eletromagnética.

Figura 18 - Probabilidades gerais de acordo com sistemas de proteção.

PTA	Equipotencialização efetiva do solo ▼			
	0,01000			
PB	Estrutura protegida por SPDA classe II ▼			
	0,05000			
PEB	Sem DPS ▼			
	1,00			
PTU	Nenhuma medida de proteção ▼			
	1	1	1	1
	1,000			

Fonte: Elaborado pelo autor

A seção de Distâncias de Blindagem (*wm1* e *wm2*), ilustrada na Figura 19, exige a inserção das dimensões críticas para o cálculo da probabilidade de falha de blindagem interna. O parâmetro *wm1* (Distância entre Estruturas Metálicas/Pilares) exige que seja inserida a distância média ou a

menor distância entre as partes condutoras naturais da estrutura, como pilares de concreto armado. Já o parâmetro *wm2* (Distância entre Condutores de Descida) exige que seja inserida a distância média ou a menor distância entre os condutores de descida do SPDA externo na periferia da edificação.

É crucial observar que o uso desses valores no cálculo de blindagem interna depende da correta seleção da terceira caixa da Figura 15, que questiona se a edificação é em concreto armado ou possui estrutura metálica eletricamente interligada e aterrada. A marcação desta caixa é o que ativa o modelo de blindagem natural da estrutura para o processamento dos valores na ferramenta.

Figura 19 - Distâncias de Blindagem

<i>wm1</i> - Distância entre Estruturas Metálicas/Pilares	3
<i>wm2</i> - Distância entre Condutores de Descida	6

Fonte: Elaborado pelo autor

A seção de Fator relevante à Tensão Suportável de Impulso do Sistema (*ks4*), que é apresentado como *ks4p* (para energia) e *ks4t* (para sinal) é ilustrada na Figura 20, e exhibe resultados automáticos da ferramenta e não exige preenchimento manual. São determinados diretamente pela NBR 5419-2 e representam a eficácia da proteção dos equipamentos internos contra surtos. O valor máximo deste fator é limitado a 1. O cálculo é baseado na Tensão Suportável *Uw* selecionada de maneira observável na Figura 16. É fundamental que, se existirem equipamentos com níveis diferentes de Tensão Suportável a Impulso em um sistema interno, deve ser escolhido o valor de *Uw* correspondente ao menor nível de Tensão Suportável.

Figura 20 - Fator Relevante à Tensão Suportável de Impulso

<i>ks4p</i>	<i>ks4t</i>
0,4	0,666666667

Fonte: Elaborado pelo autor

A seção de Fatores de Perda e Riscos Adicionais, ilustrada na Figura 21, é uma tabela de referência que exhibe os fatores de perda *LT*, *LF* e *LO* específicos para cada categoria de risco. Todos os valores contidos nesta seção são automáticos e são resultados da seleção da tipologia da estrutura feita em outras abas, não exigindo qualquer inserção de dados.. Esta seção organiza os fatores de perda necessários para o cálculo dos Riscos *R1* (Perda de Vida Humana), *R2* (Perda de Serviço Público ou Patrimônio Cultural) e *R3* (Perda Econômica) da seguinte forma: o rótulo *L1* (Perda de Vida Humana) agrupa os fatores *LT* (Fator de Perda de Serviço Total), *LF* (Fator de Perda por Danos Físicos) e *LO* (Fator de Perda por Falhas de Sistemas Internos). O valor de cada um desses fatores

(*LT, LF, LO*) é determinado pela norma NBR 5419-2 com base no tipo de estrutura selecionado pelo analista. O rótulo L2 (Perda Econômica/Patrimônio) é dividido em L2 Energia (*LFP, LOP*) e L2 Sinal (*LFT, LOT*), e exibe os valores de *LF* (Dano Físico) e *LO* (Falha de Sistemas Internos) que devem ser usados nos cálculos de *R2* e *R3*, ajustados conforme o tipo de serviço (energia ou sinal). Por fim, o rótulo L3 exibe o valor do fator *LF* (Fator de Perda por Danos Físicos) correspondente a riscos adicionais que afetam os cálculos finais de *R1*, *R2* e *R3*.

Figura 21 - Valores médio das perdas típicas

L1	LT	0,01
	LF	0,01
	LO	1
L2 (ENERGIA)	LF	0,1
	LO	0,01
L2 (SINAL)	LF	0,01
	LO	0,001
L3	LF	0

Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.4. Abas: 'ZONA 1', 'ZONA 2', 'ZONA 3', 'ZONA 4', 'ZONA 5'

A planilha de cálculo de risco está estruturada para comportar até cinco Zonas de Proteção contra o Raio (ZPR), designadas de ZONA 1 a ZONA 5. É fundamental que somente a quantidade de zonas que for definida e necessária para a estrutura em análise seja preenchida pelo analista. Zonas não utilizadas devem ser ignoradas, concentrando o foco naquelas que representam divisões relevantes para o cálculo de risco. A seguir, serão explicados os parâmetros de preenchimento específicos para cada Zona.

A seção ilustrada, referente aos fatores de ocupação e blindagem da Zona em análise, será apresentada na Figura 22.

O campo *nz* - Número total de pessoas na zona exige que o analista insira o número máximo de pessoas que podem estar presentes especificamente na zona que está sendo analisada (Zona 1, Zona 2, etc.). Este valor é fundamental para refinar o cálculo do Risco *R1* (Perda de Vida Humana) apenas para aquela área.

O campo *tz* - Tempo, durante o qual pessoas estão presentes na zona (horas/ano) exige que o analista insira o tempo, em horas anuais, em que as pessoas estão efetivamente presentes na zona. Este fator ajusta a probabilidade de falha do sistema causar dano a pessoas, considerando o tempo de

ocupação real.

O campo ZPR é envolvida por uma blindagem metálica contínua com espessura não inferior a 0,1 mm é uma caixa de seleção. O analista deve marcar esta caixa se a Zona de Proteção contra o Raio (ZPR) estiver efetivamente blindada por uma barreira metálica contínua. A marcação correta deste campo é crucial, pois ela reduz significativamente a probabilidade de danos por raios.

Figura 22 - Preenchimento de *nz*, *tz* e Análise de Blindagem da Zona

<i>nz</i> - Número total de pessoas na zona	0
<i>tz</i> - Tempo, durante o qual pessoas estão presentes na zona (horas/ano)	0
ZPR é envolvida por uma blindagem metálica contínua com espessura não inferior a 0,1 mm	☐

Fonte: Elaborado pelo autor

A seção referente aos Fatores de Correção de Linhas de Serviço da Zona, ilustrada na Figura 23, exige a avaliação de risco para a linha de serviço (energia ou sinal) especificamente na interface da Zona em análise.

Os fatores *CLDp* e *CLDt* (Fator de Correção da Linha de Serviço, tipo D) referem-se, respectivamente, à linha de Energia (p) e à linha de Sinal (t). Os fatores *CLIp* e *CLIt* (Fator de Correção da Linha de Serviço, tipo I) referem-se à influência da conexão da linha para a linha de Energia (p) e para a linha de Sinal (t). O preenchimento correto desses quatro fatores é crucial, pois eles ajustam a probabilidade de falha e de incidência de surtos que chegam à Zona através das linhas de serviço.

Figura 23 - Fatores de Correção de Linha por Zona

<i>CLDp</i>	Linha enterrada não blindada ▼
	Conexão na entrada - Indefinida ▼
	1
<i>CLDt</i>	Linha enterrada não blindada ▼
	Conexão na entrada - Indefinida ▼
	1
<i>CLIp</i>	Linha enterrada não blindada ▼
	Conexão na entrada - Indefinida ▼
	1
<i>CLIt</i>	Linha enterrada não blindada ▼
	Conexão na entrada - Indefinida ▼
	1

Fonte: Elaborado pelo autor

A seção ilustrada, que será apresentada na Figura 24, exibe diversos fatores de probabilidade de dano e de risco que são cruciais para a avaliação detalhada da Zona em análise, conforme a NBR 5419-2

Figura 24 - Parâmetros Finais Individuais de Cada Zona

PLdp	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento
	1,00000
PLdt	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento
	1,00000
PSPDp	Nenhum sistema de DPS coordenado
	1,000
PSPDt	Nenhum sistema de DPS coordenado
	1,000
KS3p	Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços - Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m ²).
	0,200
KS3t	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços - Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m ²).
	1,000
rt	Asfalto, linóleo, madeira
	0,00001
rp	Nenhuma providência
	1,00000
rf	Risco de incêndio - Baixo
	0,00100
hz	Sem perigo especial
	1,00000

Fonte: Elaborado pelo autor

Os fatores *PLDP* e *PLDT* (Probabilidade de Falha de Proteção na Linha de Serviço, tipo D) referem-se, respectivamente, às linhas de Energia (p) e de Sinal (t). Deve-se selecionar a opção que descreve se a linha é aérea ou enterrada e se a blindagem está devidamente interligada ao sistema de equipotencialização.

Os fatores *PSPDp* e *PSPDt* (Probabilidade de Falha de Sistema de DPS Coordenado) referem-se, respectivamente, à linha de Potência e de Telecomunicações. Descreve o nível de coordenação e proteção oferecido pelos Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) instalados na Zona.

Os fatores $ks3p$ e $ks3t$ (Fator de Redução por Roteamento de Cabos) referem-se à linha de Energia (P) e de Sinal (T). Descreve a qualidade do roteamento dos cabos dentro da Zona. Esta seleção considera se os cabos são blindados, se estão sendo evitados grandes laços e se o roteamento está sendo feito em eletrodutos comuns ou separados.

Quanto ao parâmetro rT (Risco de Toque) refere-se ao tipo de revestimento do piso da Zona e o seu grau de isolamento (asfalto, linóleo, madeira, etc.). O Risco de Providência (rp) exige a seleção que descreve as medidas de segurança adotadas para evitar que pessoas toquem em partes condutoras expostas. O Risco de Fogo (rf) exige a seleção que descreve a probabilidade de início e propagação de incêndio na Zona (risco baixo, médio ou alto). Por fim, o fator hz (Risco de Perigo Adicional) exige a seleção que descreve a presença de perigos especiais, como ambientes explosivos ou materiais inflamáveis que podem agravar as consequências de um raio.

A seção ilustrada, que será apresentada na Figura 25, retorna o resultado dos fatores de blindagem e de probabilidade de dano para as linhas de serviço dentro da Zona em análise, conforme parâmetros já adicionados anteriormente. O fator $ks1$ (Fator de Redução por Blindagem Interna) reflete a proteção de linha de serviço na entrada da zona e é determinado pela eficácia do aterramento e da equipotencialização entre a blindagem da linha e a estrutura interna. O Fator de Redução por Blindagem Espacial ($ks2$) considera a blindagem espacial dentro da zona, como o uso de gaiolas de Faraday, paredes metálicas, ou outras blindagens que reduzem a interferência eletromagnética. Para a Probabilidade de Falha de Blindagem em Linha de Potência ($PLIp$) considera-se a probabilidade de falha da blindagem dos cabos de energia dentro da Zona. Este valor é crucial para a proteção contra surtos eletromagnéticos em cabos de energia. Por fim, quanto à Probabilidade de Falha de Blindagem em Linha de Telecomunicações ($PLIt$) observa-se a probabilidade de falha da blindagem dos cabos de sinal e telecomunicações (T). Este valor é fundamental para a proteção contra surtos em cabos de dados.

Figura 25 - Fatores de Blindagem e Probabilidade de Dano para as Linhas de Serviço

$ks1$
1
$ks2$
0,72
$PLIp$
0,3
$PLIt$
0,5

Fonte: Elaborado pelo autor

3.1.5. Abas: 'Probabilidades Px e Perdas Lx' e 'Avaliação de Riscos'

Os riscos $R1$, $R2$ e $R3$ são alcançados calculando os componentes de risco R_x . Como mostrado na Equação (1), R_x é dado pela multiplicação de N_x , P_x e L_x . Todos os dados de preenchimento manual já foram requeridos anteriormente. Com os valores logrados na aba de "Probabilidades Px e Perdas Lx" e os valores de N_x (que se encontram na aba AD-ND), é possível calcular os componentes R_x . Nas Figuras 26 e 27 são vistos, respectivamente, a tabela de cálculo das probabilidades e a tabela de cálculo das perdas para cada zona. Esses valores apresentados são referentes aos dados de entrada do ANEXO E da NBR 5419:2015-2, do exemplo casa de campo.

Figura 26 - Cálculo das Probabilidades de Danos

Px	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
PA = PTA * PB	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
PU/P = PTU * PEB * PLD/P * CLD/P	1	1	1	1	1
PU/T = PTU * PEB * PLD/T * CLD/T	1	1	0	0	0
PV/P = PEB * PLD/P * CLD/P	1	1	1	1	1
PV/T = PEB * PLD/T * CLD/T	1	1	0	0	0
PC/P = PSPD/P * CLD/P	1	1	0,01	0,01	0,01
PC/T = PSPD/T * CLD/T	1	1	0	0	0
PM/P = PSPD/P * PMS/P	0,00331776	0,00331776	0	0	0
PM/T = PSPD/T * PMS/T	0,082944	0,082944	0	0	0
PW/P = PSPD * PLD/P * CLD/P	1	1	0,01	0,01	0,01
PW/T = PSPD * PLD/T * CLD/T	1	1	0	0	0
PZ/P = PSPD * PLI/P * CLI/P	0,3	0,3	0,0006	0,0006	0,0006
PZ/T = PSPD * PLI/T * CLI/T	0,5	0,5	0,025	0,025	0,025
PC = 1 - (1 - PC/P) * (1 - PC/T)	1	1	0,01	0,01	0,01
PM = 1 - (1 - PM/P) * (1 - PM/T)	0,08598657171	0,08598657171	0	0	0
PMS/P = (KS1 * KS2 * KS3 * KS4)^2	0,00331776	0,00331776	0	0	0
PMS/T = (KS1 * KS2 * KS3 * KS4)^2	0,082944	0,082944	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27 - Cálculo das Perdas

Tipo de perda L1	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
LA = $rt * LT * nZ / nt * tZ / 8760$	0	0,0000001	0,000004	0,000004	0,000004
LU = $rt * LT * nZ / nt * tZ / 8760$	0	0,0000001	0,000004	0,000004	0,000004
LB = $LV = rp * rf * hZ * LF * nZ / nt * tZ / 8760$	0	0,0001	40	40	40
LC = $LM = LW = LZ = LO * nZ / nt * tZ / 8760$	0	1	40	40	40

Tipo de perda L2	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
LB = $LV = rp * rf * LF * nZ / nt$	0	0,0001	4	4	4
LC = $LM = LW = LZ = LO * nZ / nt$	0	0	0	0	0

Tipo de perda L3	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
LB = $LV = rp * rf * LF * cZ / ct$	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Fonte: Elaborado pelo autor

A seção de Tipo de Perda L3, ilustrada na Figura 27, apresenta inicialmente uma anomalia no cálculo devido a uma divisão pelo custo total do patrimônio cultural (ct), cujo valor é zero por não ser aplicável ao tipo de estrutura em análise (casa de campo). Entretanto, como o fator L3 é inerente ao cálculo do Risco $R3$ (Perda Econômica), o mecanismo da planilha utiliza a informação da Figura 9, onde o risco $R3$ não foi selecionado para análise, para garantir que o risco seja zerado. Desta forma, o erro de divisão por zero é contornado, e o risco final $R3$ é devidamente neutralizado. Para contextos

onde o ct é existente e aplicável, o fator de perda L3 retornará valores plausíveis e será ativado no cálculo do risco, conforme demonstrado em um teste realizado e apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Funcionalidade do cálculo de LB e LV para valores arbitrários de ct e cz

Tipo de perda L3	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
$LB = LV = rp * rf * LF * cz / ct$	0,00000025	0,00000025	0,00000025	0,000000125	0,000000125

Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Figura 29, é possível observar a tabela que exhibe as componentes de riscos e os valores parciais de $R1$. Conforme referenciado na Figura 5, os componentes RC , RM , RW e RZ são condicionais. A ativação desses componentes depende diretamente dos requisitos assinalados nas caixas de seleção da Figura 13. Especificamente, os mesmos somente integrarão o cálculo final do Risco $R1$ se a estrutura for classificada como de risco de explosão, ou for um hospital, ou ainda uma estrutura cuja falha dos sistemas internos possa imediatamente colocar em risco a vida humana. A fórmula de cálculo para cada componente em cada zona incorpora essa condicional. Na Figura 30, é possível visualizar a fórmula utilizada para calcular a componente RC da Zona 2, que demonstra o uso da função lógica. O início da fórmula, " $=SE(INÍCIO!F6 < 2...$ ", garante a funcionalidade de que, caso seja marcada apenas uma zona na aba "Início", os valores das componentes nas demais zonas serão zerados. Subsequentemente, a fórmula inclui a condicional que verifica se alguma das caixas de seleção com as características críticas mencionadas foi marcada; se afirmativo, a planilha procede ao cálculo da componente, caso contrário, o valor da célula é zerado.

Figura 29 - Apresentação dos valores parciais de $R1$

$Rx.10^{-5}$	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
$RA = ND * PA * LA$	0	0	0	0	0
$RU = ((NLp + ND.jp) * PU * LU) + ((NLt + ND.it) * PU * LU)$	0	0,0024	0	0	0
$RB = ND * PB * LB$	0	0,1031150408	0	0	0
$RV = ((NLp + ND.jp) * PV * LV) + ((NLt + ND.it) * PV * LV)$	0	2,4	0	0	0
$RC = ND * PC * LC$	0	0	0	0	0
$RM = NM * PM * LM$	0	0	0	0	0
$RW = ((NLp + ND.jp) * PW * LW) + ((NLt + ND.it) * PW * LW)$	0	0	0	0	0
$RZ = (Nlp * PZ * LZ) + (Nlt * PZ * LZ)$	0	0	0	0	0
$R1 = RA + RB + RC + RM + RU + RV + RW + RZ$	0	2,505515041	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30- Fórmula em Excel para Cálculo de RC para a Zona 2

$CIO!F6 < 2; 0; SE(OU('Dados Gerais'!B16; 'Dados Gerais'!B21; 'Dados Gerais'!B23; 'Dados Gerais'!B32); ('AD - *'PROBABILIDADES Px e PERDAS Lx'!E17*'PROBABILIDADES Px e PERDAS Lx'!E26)*10^5; 0))$

Fonte: Elaborado pelo autor

No caso específico deste exemplo da casa de campo, extraído da própria norma, os riscos $R2$ (Perda de Serviço Público ou Patrimônio Cultural) e $R3$ (Perda Econômica) não são considerados relevantes. Desta forma, os valores calculados para suas componentes, embora alguns deles

observáveis na Figura 31, são logicamente contornados no resultado final. A anulação desses riscos é verificável na Figura 32, onde o resultado final de *R2* e *R3* é apresentado para comparação com o Risco Tolerável, e ambos resultam em um valor nulo, confirmando que apenas o Risco *R1* é pertinente para a estrutura em questão.

Figura 31- Apresentação dos valores parciais de *R2* e *R3*

$Rx.10^{-5}$	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
$RB = ND * PB * LB$	0	0,00515575204	0	0	0
$RC = ND * PC * LC$	0	0	0	0	0
$RM = NM * PM * LM$	0	0	0	0	0
$RV = ((NLP + NDJP) * PV * LV) + ((NLT + NDJT) * PV * LV)$	0	2,4	0	0	0
$RW = ((NLP + NDJP) * PV * LV) + ((NLT + NDJT) * PV * LV)$	0	0	0	0	0
$RZ = (NLP * PZ * LZ) + (NLT * PZ * LZ)$	0	0	0	0	0
$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZ$	0	2,405155752	0	0	0

$Rx.10^{-5}$	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
$RB = ND * PB * LB$	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0
$RV = ((NLP + NDJP) * PV * LV) + ((NLT + NDJT) * PV * LV)$	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0
$R3 = RB + RV$	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 32 - Apresentação valor final *R2* e *R3* e resultado do Gerenciamento

$R2.10^{-5}$	0,0000000	Risco sem necessidade de adequação	
$Rt.10^{-3}$	1		

Impacto Relativo dos Componentes no Risco R2			
RB	0,00%	Não há componentes de risco ($R2 = 0$). O Nível de Proteção requerido é atingido sem medidas adicionais.	Não há componentes de risco ($R2 = 0$). O Nível de Proteção requerido é atingido sem medidas adicionais.
RC	0,00%		
RM	0,00%		
RV	0,00%		
RW	0,00%		
RZ	0,00%		

$R3.10^{-5}$	0,0000000	Risco sem necessidade de adequação	
$Rt.10^{-4}$	1		

Impacto Relativo dos Componentes no Risco R3			
RB	0,00%	Não há componentes de risco ($R3 = 0$). O Nível de Proteção requerido é atingido sem medidas adicionais.	Não há componentes de risco ($R3 = 0$). O Nível de Proteção requerido é atingido sem medidas adicionais.
RV	0,00%		

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 33, é apresentada a quantificação do Risco *R1*, o qual constitui o principal foco de interesse para esta estrutura. A mensagem em destaque na cor vermelha, que indica "Risco com necessidade de adequação", resulta da comparação entre o Risco *R1* calculado e o Risco Tolerável (*Rt*), cujo valor é exibido imediatamente abaixo. Quando o risco calculado excede o valor tolerável, a necessidade de implementação de medidas de adequação é confirmada.

Figura 33 - Resultado Final Risco R1

R1.10 ⁻⁵	2,5055150	Risco com necessidade de adequação
Rt.10 ⁻⁵	1	

Impacto Relativo dos Componentes no Risco R1		
RA	0,00%	O componente RV é o DOMINANTE. Focar a mitigação neste componente pode ser suficiente para atingir o Nível de Proteção. Ação Sugerida: Focar na redução de PEB, que se consegue com o reforço da equipotencialização e a instalação coordenada de DPS. Ver detalhes no Guia. O segundo componente mais relevante é RB. É possível fazer alterações focadas em PB (Choque Elétrico), para reduzir o risco de forma combinada com o principal. Sugestão de Ação: Aumentar a distância de separação (s) ou ligar condutores metálicos ao SPDA.
RU	0,10%	
RB	4,12%	
RV	95,79%	
RC	0,00%	
RM	0,00%	
RW	0,00%	
RZ	0,00%	

Fonte: Elaborado pelo autor

O processo de adequação é realizado pela análise das componentes de risco que apresentam valores não nulos (ou seja, que contribuem efetivamente para o risco final) e, com base na fórmula de cálculo respectiva, identificando quais parâmetros podem ser alterados para mitigar o valor total de *R1*.

A planilha executa uma análise automática para dois dos componentes de maior relevância. Ela identifica as duas maiores componentes em termos de contribuição percentual para o risco final (visto que o risco total é a somatória de todas), e, com base na fórmula desses componentes, avalia o que pode ser modificado ou não. Neste caso, o componente *RV* é o fator dominante e é definido pela Equação (32)

$$RV = ((NLp + NDJp) * PV * LV) + ((NLt + NDJt) * PV * LV) \quad (32)$$

É sabido que os fatores de frequência (*Nx*) não são passíveis de alteração, pois constituem características intrínsecas da estrutura, dependendo de suas dimensões, localização e das características da linha de serviço. Portanto, a análise se concentra nos fatores de probabilidade (*PV*) e de perda (*LV*).

O fator *PV* é dado pela Equação (20) e depende de: *PEB*, que está relacionado à presença de DPS, indicando uma possível alteração; *PLD*, que é uma característica da blindagem da linha, não configurando uma alteração imediata; e, por fim, *CLD*, que também se refere às características da linha.

Analisando o fator de perda *LV*, definido pela Equação (24), observa-se a dependência de *rp*, que representa as providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio, constituindo uma possível alteração. Também há dependência de *rf*, *hz* e *LF*, que não são passíveis de modificação, e ainda fatores como *nz*, *nt* e *tz*, relacionados à quantidade e ao tempo de permanência de pessoas na zona, sejam menos prováveis de serem alterados.

Consequentemente, o foco para a diminuição do Risco *RV* deve ser na instalação de DPS e na implementação de medidas de mitigação das consequências de incêndios. A planilha faz essa análise e

retorna uma dica do que se pode ser feito, e então, pode-se refazer os cálculos trocando apenas as mudanças que foram realizadas em termos de proteção e confirmar se de fato o valor do risco é agora menor do que o tolerável. Antes de fazer essa correção, na Figura 34 observa-se o valor do Risco R_1 (para os mesmos parâmetros) a fins comparativos.

Figura 34 - Resultado Final Risco R_1 NBR 5419:2015-2 ANEXO E

	Símbolo	Z_1	Z_2	Estrutura
D1 Ferimento	R_A	–	≈ 0	≈ 0
	$R_U = R_{U/P} + R_{U/T}$		0,002	0,002
D2 Danos físicos	R_B		0,103	0,103
	$R_V = R_{V/P} + R_{V/T}$		2,40	2,40
Total		–	2,51	$R_1 = 2,51$
Tolerável		$R_1 > R_T$: proteção contra descargas atmosféricas é requerida		$R_T = 1$

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

Comparando a Figuras 33, que apresenta o resultado do risco calculado pela ferramenta desenvolvida, com a Figura 34 que traz o mesmo resultado para os mesmos parâmetros, conclui-se que a ferramenta calculou de maneira correta o risco.

4. ESTUDO DE CASO – EXEMPLO PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA BRASILÂNDIA

Para exemplificar a aplicação prática das metodologias e análises descritas, será desenvolvido um Estudo de Caso focado no gerenciamento de risco de uma edificação pública.

O estudo de caso abordará o gerenciamento de risco de uma Prefeitura Municipal, localizada em Nova Brasilândia. O teste consiste em aplicar os dados do gerenciamento de risco existente (desenvolvido pela AMM Engenharia, conforme a NBR 5419/2015) na planilha de cálculo elaborada neste trabalho. Este estudo de caso considerou apenas a perda L1 (Perda de vida humana) e o risco $R1$, estabelecendo um Risco Tolerável (R_t) de 10^{-5} . A edificação principal tem dimensões de 131,5 metros de comprimento, 12,8 metros de largura e 6,35 metros de altura. Além disso, considerou-se uma densidade de descargas (NG) de 7 e um número de 50 pessoas com exposição ao risco de um ano ou 8760 horas. O objetivo é comparar se o resultado do Risco $R1$ e a necessidade de proteção mínima calculados pela planilha do estudo coincidem com o resultado obtido no gerenciamento de risco original.

Inseridos os dados presentes no documento é possível observar os resultados. Na Figura 35 pode-se ver os valores alcançados para as áreas de exposição equivalente e para os números de eventos perigosos, e na Figura 36, pode-se observar os mesmos dados presentes na planilha.

Figura 35- Área de exposição equivalente e Número de eventos perigosos

	SÍMBOLO	RESULTADO M²	REFERÊNCIA	EQUAÇÃO
Estrutura	AD	27859,044	(A.2)	$AD = L \times W + 2 \times (3XH) \times (L+W) + 3,14 \times (3 \times H)^2$
	AM	-	(A.7)	Não relevante
	AL/P	40000	(A.9)	$AL/P = 40 \times LL$
Linha de Energia	AI/P	4000000	(A.11)	$AI/P = 4000 \times LL$
	ADJ/P	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente
	AL/T	40000	(A.9)	$AL/T = 40 \times LL$
Telecom	AI/T	4000000	(A.11)	$AI/T = 4000 \times LL$
	ADJ/T	0	(A.2)	Nenhuma estrutura adjacente

	SÍMBOLO	RESULTADO M²	REFERÊNCIA	EQUAÇÃO
Estrutura	ND	0,195	(A.4)	$Nd = NG \times AD \times CD \times 10^{-6}$
	NM	-	(A.6)	Não relevante
	NL/P	0,014	(A.8)	$NL/P = NG \times AL/P \times CL/P \times CE/P \times CT/P \times 10^{-6}$
Linha de Energia	NI/P	1,4	(A.10)	$NI/P = NG \times AI/P \times CL/P \times CE/P \times CT/P \times 10^{-6}$
	NDJ/P	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente
	NL/T	0,028	(A.8)	$NL/T = NG \times AL/T \times CL/T \times CE/T \times CT/T \times 10^{-6}$
Telecom	NI/T	2,8	(A.10)	$NI/T = NG \times AI/T \times CL/T \times CE/T \times CT/T \times 10^{-6}$
	NDJ/T	0	(A.5)	Nenhuma estrutura adjacente

Fonte: Prefeitura Municipal de Nova Brasilândia (2024)

Figura 36- Área de exposição equivalente e Número de eventos perigosos adquiridos através da planilha

L	131,5		
H	6,35		
W	128		
27859,04183			
AM	1044898,163		
LLp	1000	LLt	1000
ALp	40000	ALt	40000
Alp	4000000	Alt	4000000
ND	0,1950		
NM	7,314287144		
Energia		Sinal	
NLp	0,014	NLt	0,028
Nlp	1,4	Nlt	2,8
Ndip	0,0000	Ndit	0,0000

Fonte: Elaborado pelo autor

Inicialmente, o relatório estabelece as características gerais do projeto e especifica que apenas o Risco *R1* será objeto de cálculo. Os componentes que constituem o Risco *R1* (*RA*, *RB*, *RU* e *RV*) são detalhados na Figura 37.

Figura 37- Características gerais do cálculo e componentes de R1

EDIFICAÇÃO:	PREFEITURA MUNICIPAL	LOCAL:	NOVA BRASILÂNDIA	Edificação Principal		Edificação Adjacente					
PERDAS:	L1			L=	131,5	L=					
RISCOS:	R1			W=	128	W=					
RSICO				H=	6,35	H=					
TOLERÁVEL:	10 ^ -5	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes									
COMPONENTES DE RISCO:	R1= RA + RB +RU +RV			OBS: A avaliação economica não foi requerida uma vez que o risco R4 para perdas economicas (L4) não ter sido considerado. Decisão tomada pelo projetista em função do tipo da edificação.							
LOCALIZAÇÃO:	Território plano sem estruturas na redondeza										
NG:	7	http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/									
N° PESSOAS:	50	Esse tbm é o número total de pessoas a seerem consideradas. Pois se assume que não haverá ninguém fora da edificação durante uma tempestade.")									
Exposição ao risco (h):	8760										

Fonte: AMM Engenharia (2024)

Ao analisar o risco efetivamente calculado na Figura 38, observa-se a presença da componente *RC*, que estava ausente na lista inicial (*RA*, *RB*, *RU* e *RV*). A inclusão de *RC* não é justificada, uma vez que ela tem como premissa o valor de *LO* (Perdas Econômicas), que é nulo. Com base na planilha desenvolvida neste projeto, a componente *RC* não se encaixa como parte de *R1* neste cenário, caracterizando a única discrepância relevante neste estudo.

Figura 38- Cálculo de R1

	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Estrutura
D1 Ferimento	RA	-	0,195	-	-	0,195
	RU = RU/P + RU/T	-	0,002	-	-	0,002
D2 Danos físicos	RB	-	0,195	-	-	0,195
	RV = RV/P + RV/T	-	0,002	-	-	0,002
D2 Danos físicos	RC	-	0,001	-	-	0,001
	RM	-	-	-	-	0,000
	RW = RW/P + RW/T	-	-	-	-	0,000
	RZ=RZ/P + RZ/T	-	-	-	-	0,000
Total		0,000	0,396	0,000	0,000	R1 = 0,396
Tolerável		PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NÃO É REQUERIDA				RT = 1

Fonte: AMM Engenharia (2024)

Na Figura 39, é apresentado o valor de $R1$ alcançado com a ferramenta desenvolvida neste

Figura 39- Cálculo de $R1$ utilizando a planilha

$Rx 10^{-5}$	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
$RA = ND * PA * LA$	0	0,1950132928	0	0	0
$RU = ((NLP + NDJp) * PU * LU) + ((NLT + NDJt) * PU * LU)$	0	0,0021	0	0	0
$RB = ND * PB * LB$	0	0,1950132928	0	0	0
$RV = ((NLP + NDJp) * PV * LV) + ((NLT + NDJt) * PV * LV)$	0	0,0021	0	0	0
$RC = ND * PC * LC$	0	0	0	0	0
$RM = NM * PM * LM$	0	0	0	0	0
$RW = ((NLP + NDJp) * PW * LW) + ((NLT + NDJt) * PW * LW)$	0	0	0	0	0
$RZ = (NIP * PZ * LZ) + (NIT * PZ * LZ)$	0	0	0	0	0
$R1 = RA + RB + RC + RM + RU + RV + RW + RZ$	0	0,3942265856	0	0	0

projeto.

Fonte: AMM Engenharia (2024)

Como já demonstrado anteriormente a ferramenta oferece sugestões de como diminuir o risco caso necessário. Na Figura 40 é mostrado o valor de $R1$ em um comparativo com o risco tolerável Rt e apesar de neste caso não haver necessidade de alteração, o proprietário pode optar por aumentar o nível de proteção, portanto ainda é mostrado como mitigar as maiores porcentagens dentre os componentes.

Figura 40- Sugestões de alterações risco $R1$

R1.10 ⁻⁵	0,3942266	Risco sem necessidade de adequação	
Rt.10 ⁻⁵	1		
Impacto Relativo dos Componentes no Risco R1			
RA	49,47%	O componente RA é o principal. A mitigação deve priorizar este componente e o segundo colocado. Ação Sugerida: Focar em PTA e PB (Choque/Incêndio).	O segundo componente mais relevante é RB. É possível fazer alterações focadas em PB (Choque Elétrico).
RU	0,53%		
RB	49,47%		
RV	0,53%		
RC	0,00%		
RM	0,00%		
RW	0,00%		
RZ	0,00%		

Fonte: Elaborado pelo autor

5. CONCLUSÃO

O presente Trabalho se dedicou inicialmente à fundamentação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Demonstrou-se que o SPDA transcende a mera instalação de captadores; ele é uma medida de segurança indispensável para a preservação do patrimônio e, da vida, considerando a anteriormente citada elevada incidência de raios no território nacional. Uma vez estabelecida a magnitude do risco imposto pelas descargas atmosféricas e a consequente necessidade de mitigação, o trabalho avançou para o cerne de sua proposta: a definição do gerenciamento de riscos.

Este gerenciamento é o que permite quantificar, de maneira precisa, se o risco total (R_t) tolerável, estabelecido pela norma ABNT NBR 5419, foi efetivamente atingido. Portanto, esta fase de análise inicial sustenta a tomada de decisão subsequente, garantindo que as medidas protetivas sejam proporcionais à estrutura avaliada. O segundo ponto central do desenvolvimento consistiu na introdução minuciosa de todos os conceitos inerentes ao cálculo do gerenciamento de riscos conforme a ABNT NBR 5419 e estabelecer o passo a passo da avaliação. Foi empreendido um esforço significativo para decompor as variáveis e os parâmetros, detalhando o significado de cada sigla, o método de cálculo para cada fórmula e, crucialmente, diferenciando o que é relevante e o que se torna não aplicável em cada cenário de risco específico.

Na seção seguinte, o trabalho culminou na apresentação da ferramenta de análise de gerenciamento de riscos desenvolvida. A planilha foi detalhada, demarcando claramente os campos de entrada de dados (preenchíveis) e os campos de resultados (automatizados). A validação inicial e fundamental da ferramenta foi realizada por meio da aplicação do exemplo da Casa de Campo, presente no Anexo E da norma, confirmando a precisão dos resultados e atestando a conformidade da lógica de cálculo implementada.

Finalmente, o trabalho ofereceu uma conferência breve, mas significativa, da planilha ao utilizá-la para avaliar um cenário real: o gerenciamento de risco da Prefeitura Municipal de Nova Brasilândia. Esta nova aplicação prática validou mais uma vez a aplicabilidade da ferramenta, comprovando sua capacidade de processar dados reais e fornecer um diagnóstico preciso. Em suma, este trabalho não apenas alcançou o objetivo de fundamentar e conceituar o gerenciamento de riscos, mas entregou uma ferramenta prática, testada e validada, apta a ser utilizada por profissionais da área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-2: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-3: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2015c.

ELAT - INPE. Mapa de raios em tempo real. ELAT - INPE, 2025. Disponível em: <<https://www.inpe.br/webelat/homepage/>>. Acesso em: 17 de nov. 2025.

ELAT - INPE. O que são raios negativos e positivos. ELAT - INPE, 2025. Disponível em: <<https://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>>. Acesso em: 17 de nov. 2025

GOMES, Patrick Anderson Pinheiro. Gerenciamento de risco para projeto SPDA: Um estudo de caso. 2023. 90 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

MARINHO, Danilo Lopes Moraes. Avaliação de risco de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. 2018. 113 f. Monografia (Graduação) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2018.

MOURA, Gabriel Fernandes de. Aplicação do método eletrogeométrico para projeto de SPDA em estruturas esféricas Complexas. Orientador: Fábio Isaac Ferreira. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2024.

NASCIMENTO NETO, Francisco Vieira do. Projeto de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas - SPDA de um posto de combustíveis em Cajazeiras-PB. 2024. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). - Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA BRASILÂNDIA. Gerenciamento de Riscos – SPDA (NBR 5419/2015): Relatório Técnico da Edificação. Nova Brasilândia, 2024. 3f.

SILVA, Járede Aguiar Sousa. Análise de conformidade de SPDA segundo a NBR 5419/2015: um estudo de caso. 2024.