

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Juliano Zanette Soares

Projeto de SPDA para uma Instalação Hospitalar

Florianópolis

2024

Juliano Zanette Soares

Projeto de SPDA para uma Instalação Hospitalar

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Mauricio Valencia Ferreira da Luz, Dr.
Coorientador: Prof. Diego Issicaba, Dr.

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra gerada pelo autor

Soares, Juliano Zanette
Projeto de SPDA para uma Instalação Hospitalar /
Juliano Zanette Soares ; orientador, Mauricio Valencia
Ferreira da Luz, coorientador, Diego Issicaba , 2024.
77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

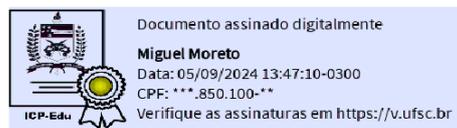
1. Engenharia Elétrica. 2. SPDA. 3. Gerenciamento de
Risco. I. Ferreira da Luz, Mauricio Valencia . II.
Issicaba , Diego. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

Juliano Zanette Soares

Projeto de SPDA para uma Instalação Hospitalar

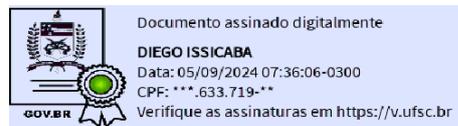
Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 04 de setembro de 2024.

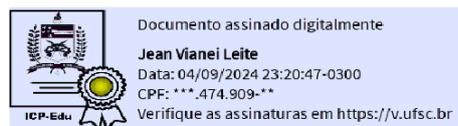


Prof. Miguel Moreto, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:



Prof. Diego Issicaba, Dr.
Coorientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Jean Viane Leite, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Geovane Romeu Ribeiro, M.Sc.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha mãe, irmã, avó e tias, que me ajudaram muito no processo para me tornar engenheiro eletricista pela UFSC. Dedico também ao meu pai e ao meu avô, que não estão mais presentes, e que sempre me ajudaram para que eu tivesse as melhores condições de estudo possíveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, especialmente à dona Mari, minha mãe, por toda ajuda durante este período de graduação.

Aos amigos que fiz durante todo esse período na universidade, pelas resenhas, festas, conversas e momentos de estudos.

Aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina, que se dedicam a transmitir conhecimentos e experiências aos os seus alunos.

Aos profissionais que encontrei durante meu período de estágio no hospital Nereu Ramos, que colaboraram muito na minha entrada no mercado de trabalho de engenharia elétrica com dicas, ensinamentos e experiências na área e que continuam a me ajudar até hoje, mesmo não trabalhando mais com os mesmos.

RESUMO

As descargas atmosféricas representam riscos significativos para os sistemas elétricos, podendo causar danos aos equipamentos e interrupções no fornecimento de energia. A implementação de medidas de proteção adequadas, como a instalação de sistemas de proteção contra raios, aterramento eficiente e dispositivos de proteção contra surtos, é fundamental para minimizar esses riscos. Neste contexto, o presente trabalho traz uma abordagem didática sobre as descargas atmosféricas e possíveis diminuições, ou até contenção, dos danos causados. Para isso, é realizada uma explicação sobre como se formam essas descargas e os altos valores de corrente elétrica proveniente das mesmas, juntamente com os conceitos que a norma NBR 5419 estabelece para diferenciar a fonte, o tipo de dano e suas prováveis perdas. Na execução do trabalho são aplicados os parâmetros atualizados da norma, que abrange os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, assim como o cálculo de gerenciamento de risco, onde é estabelecida a necessidade ou não do sistema de SPDA na estrutura. Por fim, o trabalho apresenta um estudo de caso realizado no Hospital São Francisco de Assis, localizado na cidade de Santo Amaro da Imperatriz, em Santa Catarina.

Palavras-chave: gerenciamento de risco; sistemas de proteção contra descargas atmosféricas; NBR 5419.

ABSTRACT

Lightning strikes pose significant risks to electrical systems, potentially causing damage to equipment and interruptions in power supply. Implementing appropriate protection measures, such as installing lightning protection systems, efficient grounding, and surge protection devices, is crucial to minimizing these risks. In this context, the present work offers an educational approach to understanding lightning strikes and possible methods to reduce or even contain the damage caused. It provides an explanation of how these discharges are formed and the high electrical currents associated with them, along with the concepts established by the NBR 5419 standard to differentiate the source, type of damage, and probable losses. The work applies the updated parameters of the standard, which covers lightning protection systems, as well as risk management calculations to determine the necessity of a Lightning Protection System (LPS) for the structure. Finally, the study includes a case study conducted at the Hospital São Francisco de Assis, located in the city of Santo Amaro da Imperatriz, in Santa Catarina.

Keywords: risk management; lightning protection system; NBR 5419.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formação das descargas atmosféricas.....	18
Figura 2 – Mapa de densidades de descargas atmosféricas.....	19
Figura 3 – Características de corrente de uma descarga atmosférica.....	21
Figura 4 – Aplicação do método da esfera rolante.....	24
Figura 5 – Aplicação do método de Franklin.....	25
Figura 6 – Aplicação do método das malhas.....	26
Figura 7 – Dimensionamento do ângulo para o método de Franklin.....	27
Figura 8 – Comprimento mínimo do eletrodo de aterramento.....	29
Figura 9 – Fluxograma para tomada de decisão.....	51
Figura 10 – Vista superior da edificação.....	52
Figura 11 – Parte 1 do gerenciamento de risco da estrutura total.....	54
Figura 12 – Parte 2 do gerenciamento de risco da estrutura total.....	54
Figura 13 – Parte 3 do gerenciamento de risco da estrutura total.....	55
Figura 14 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 1: Zona de exposição.....	56
Figura 15 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 1: Risco L1.....	56
Figura 16 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 1: Riscos L2 e L3.....	57
Figura 17 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 1: Risco L4.....	57
Figura 18 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Zona de exposição.....	59
Figura 19 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Risco L1.....	59
Figura 20 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Riscos L2 e L3.....	60
Figura 21 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Risco L4.....	61
Figura 22 – Resultado do gerenciamento de risco.....	61
Figura 23 – Parte 1 do novo gerenciamento de risco para estrutura total.....	62
Figura 24 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 1: Zona de exposição.....	63
Figura 25 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 1: Risco L1.....	63
Figura 26 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 1: Riscos L2 e L3.....	64
Figura 27 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 1: Risco L4.....	65
Figura 28 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 2: Zona de exposição.....	65
Figura 29 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 2: Risco L1.....	66
Figura 30 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 2: Riscos L2 e L3.....	66
Figura 31 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Risco L4.....	67
Figura 32 – Resultado do novo gerenciamento de risco.....	68

Figura 33 – Projeto da malha de captação.....	69
Figura 34 – Projeto com a colocação dos suportes.....	70
Figura 35 – Projeto com a colocação dos minicapttores.	71
Figura 36 – Colocação das descidas na edificação.....	73
Figura 37 – Conector bimetálico split-bolt.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre nível de proteção e classe de SPDA.....	22
Tabela 2 – Características de dimensionamento dos métodos de captação.....	26
Tabela 3 – Distâncias entre condutores de descidas e anéis condutores de acordo com nível de SPDA.....	28
Tabela 4 – Situações em que cada material poderá ser utilizado.	30
Tabela 5 – Dimensões mínimas dos materiais utilizados no SPDA.....	31
Tabela 6 – 2º parte da tabela 5.	31
Tabela 7 – Dimensões mínimas do eletrodo de aterramento utilizado no SPDA.....	32
Tabela 8 – Dimensões mínimas dos barramentos BEP e BEL.....	34
Tabela 9 – Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL).	35
Tabela 10 – Fontes de danos, tipos de danos e de perdas de acordo com o ponto de impacto.....	37
Tabela 11 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.....	43
Tabela 12 – Fatores que influenciam as componentes de risco.....	43
Tabela 13 – Continuação.	44
Tabela 14 – Componentes de risco para diferentes tipos de fontes e danos.....	48
Tabela 15 – Valores de risco tolerável.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEP Barramento de equipotencialização principal

BEL Barramento de equipotencialização local

DPS Dispositivo de proteção contra surtos

ELAT Grupo de Eletricidade Atmosférica

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEMP Pulso eletromagnético devido as descargas atmosféricas (lightning electromagnetic impulse)

MPS Medidas de proteção contra surtos

NBR Norma Brasileira Reguladora

NP Nível de proteção

SC Santa Catarina

SPDA Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

ZPR Zona de proteção contra Raios

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.1.3	Estrutura do documento	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	FORMAÇÃO DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	17
2.2	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL	18
2.3	TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	19
2.4	CARACTERÍSTICAS DAS CORRENTES DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	20
2.5	TENSÃO DE TOQUE.....	21
2.6	TENSÃO DE PASSO.....	21
2.7	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA).....	22
2.7.1	Classes de SPDA	22
2.7.2	Subsistema de captação	23
2.7.2.1	<i>Método da esfera rolante</i>	23
2.7.2.2	<i>Método do ângulo de proteção (Método de Franklin)</i>	24
2.7.2.3	<i>Método das malhas (Método da gaiola de Faraday)</i>	25
2.7.2.4	<i>Instalação do subsistema de captação</i>	27
2.7.3	Subsistema de descida	28
2.7.4	Subsistema de aterramento	29
2.7.5	Materiais utilizados no SPDA	30
2.7.5.1	<i>Dimensões dos materiais utilizados no sistema de SPDA</i>	30
2.7.5.2	<i>Fixação dos materiais do SPDA</i>	32
2.7.6	Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)	33

2.7.7	Equipotencialização.....	33
3	GERENCIAMENTO DE RISCO	35
3.1	DANOS E PERDAS.....	36
3.2	TIPOS DE DANOS	36
3.3	TIPOS DE PERDAS	36
3.4	RISCOS E COMPONENTES DE RISCO	37
3.4.1	Risco.....	37
3.4.2	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura.....	38
3.4.3	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura.....	39
3.4.4	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura.....	39
3.4.5	Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura.....	39
3.5	ANÁLISE DAS COMPONENTES DE RISCO.....	40
3.6	EQUAÇÕES DAS COMPONENTES DE RISCO	44
3.6.1	Equação geral.....	44
3.6.2	Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura (S1)	45
3.6.3	Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto da estrutura (S2)	46
3.6.4	Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura (S3).....	46
3.6.5	Análise dos componentes de risco devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura (S4)	47
3.7	ZONAS DE PROTEÇÃO CONTRA RAIOS	48

3.7.1	Estrutura com apenas 1 zona	48
3.7.2	Estrutura com mais de 1 zona	48
3.7.3	Análise geral.....	49
3.7.4	Determinação de área de exposição equivalente.....	49
3.8	RISCO TOLERÁVEL	50
3.9	PASSO A PASSO PARA AVALIAR A NECESSIDADE DE PROTEÇÃO	50
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	52
4.1	ESTUDO DE CASO	52
4.2	CÁLCULO DO GERENCIAMENTO DE RISCO DO SISTEMA ATUAL.....	53
4.2.1	Cálculo do gerenciamento de risco da estrutura total.....	53
4.2.2	Cálculo do gerenciamento de risco para a zona 1 (Hospital geral).....	55
4.2.3	Cálculo do gerenciamento de risco para a zona 2 (Centro Cirúrgico)	58
4.2.4	Resultado do gerenciamento de riscos das zonas juntas	61
4.3	CÁLCULO DO GERENCIAMENTO DE RISCO DO NOVO SISTEMA.....	62
4.3.1	Cálculo do gerenciamento de risco da estrutura total.....	62
4.3.2	Cálculo do novo gerenciamento de risco para a zona 1 (Hospital geral).....	63
4.3.3	Cálculo do novo gerenciamento de risco para a zona 2 (Centro Cirúrgico) ..	65
4.3.4	Resultado do novo gerenciamento de riscos das zonas juntas.....	67
4.4	PROJETO DE SPDA DA EDIFICAÇÃO.....	68
4.4.1	Projeto da malha de captação.....	68
4.4.2	Colocação dos suportes	70
4.4.3	Colocação dos minicaptadores.....	70
4.4.4	Colocação das descidas e aterramento.....	71
4.4.5	Coordenação do DPS.....	74
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74

1 INTRODUÇÃO

Devido as suas imprevisibilidade e aleatoriedade, as descargas atmosféricas configuram um grande risco tanto para as pessoas quanto para as edificações, por conta de suas elevadas correntes elétricas, as quais podem incidir por um determinado tempo de duração. Como não há uma maneira prática de impedir a formação dessas descargas, é necessário então estudar as causas desse fenômeno, suas implicações à sociedade em geral, e também as melhores medidas de proteção ou redução de danos que precisam ser adotadas em um determinado local. Uma maneira de realizar esse estudo é por meio da norma vigente no Brasil, a NBR 5419.

Nessa norma, define-se as descargas atmosféricas como descargas elétricas, que podem ser entre duas nuvens e também entre nuvem e terra, constituindo um ou alguns impulsos de muitos quiloamperes. A mesma norma ainda estabelece que os raios, vistos em dias de tempestades, podem ser compostos apenas por um ou vários desses impulsos elétricos.

Além da definição das descargas atmosféricas, a NBR5419 apresenta um sistema de captação e criação de um caminho, de baixa resistência elétrica, para o escoamento da corrente elétrica direto para o solo, o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Esse sistema tem como um dos objetivos aumentar a segurança dos sistemas de proteção fazendo um estudo de Gerenciamento de Risco, que permite identificar determinado local ou edificação que podem ser vulneráveis às descargas atmosféricas.

O foco principal deste estudo está centrado no gerenciamento de riscos associado a esse contexto. Isso envolve a análise probabilística das ocorrências de descargas atmosféricas em uma região específica, a avaliação da área exposta da estrutura e a implementação de medidas de proteção contra os surtos resultantes dessas descargas, incluindo o uso de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) e técnicas de blindagem eletrostática. Vale ressaltar que, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas não prevê uma proteção de 100% da edificação, mas caso seja elaborado de acordo com a NBR5419, esse índice pode chegar a até 98%.

A edificação que serviu para o estudo de caso é o Hospital São Francisco de Assis, que fica localizado na Rua Escrivão Alfredo Porto, número 99, no centro da cidade de Santo Amaro da Imperatriz, no estado de Santa Catarina. A mesma foi escolhida devida a sua importância na região de Santo Amaro da Imperatriz, a falta de um sistema de proteção contra descargas

atmosféricas na estrutura e também a facilidade de coleta de dados para o gerenciamento de risco e projeto de SPDA.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é apresentar o gerenciamento de risco e confeccionar o projeto de um SPDA para o hospital São Francisco de Assis, localizado em Santo Amaro da Imperatriz, em Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- Estudar os fundamentos da norma ABNT NBR5419,2015;
- Estudar o cálculo de gerenciamento de risco;
Estudar a metodologia para a confecção de um projeto de proteção contra descargas atmosféricas.

1.1.3 Estrutura do documento

O presente projeto está estruturado como segue: no capítulo 2 são apresentados conceitos e fundamentações teóricas correspondentes a descargas atmosféricas no Brasil, tipos de descargas atmosféricas, características das correntes das descargas atmosféricas, tensões de toque e passo, além do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas. O capítulo 3 apresenta os conceitos sobre gerenciamento de risco, como danos e perdas, tipos de danos e perdas, riscos e componentes de risco, a análise e equações das componentes de risco, zonas de proteção contra raios, risco tolerável e um passo a passo para avaliar a necessidade de proteção. O capítulo 4 descreve o procedimento metodológico do trabalho, com o enfoque no cálculo do gerenciamento de risco atual e para o novo sistema do hospital e o projeto de SPDA para a

estrutura. Finalmente, o capítulo 5 apresenta as considerações finais e conclusões sobre o estudo e também as sugestões de trabalhos futuros.

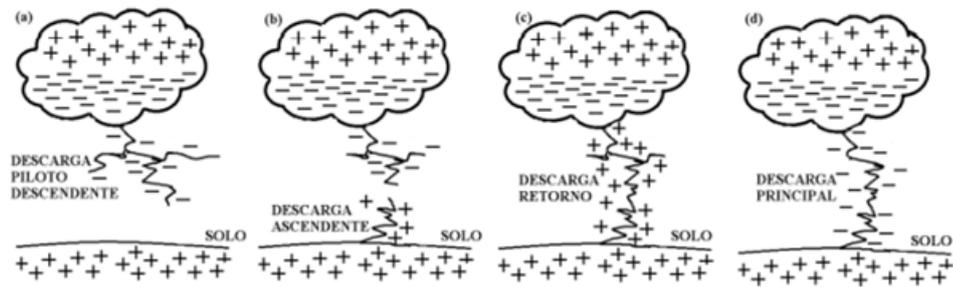
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta alguns conceitos necessários para compreensão do gerenciamento de risco e elaboração do projeto de SPDA.

2.1 FORMAÇÃO DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas, ou raios, são fenômenos naturais que ocorrem devido à acumulação de cargas elétricas em nuvens de tempestade, que por sua vez são formadas quando o ar quente e úmido sobe, resfria e condensa, formando gotículas de água e cristais de gelo, criando nuvens carregadas de partículas de água e gelo. Dentro dessas nuvens de tempestade, ocorre uma separação de cargas elétricas, que acontece quando o movimento de subida das partículas de água e gelo gera colisões face ao movimento de descida de gotas de água e granizo. Essas colisões geram uma separação de cargas, com as cargas positivas geralmente se acumulando no topo da nuvem e as cargas negativas se acumulando na base (SÉRVULO, 2016). Devido a essa separação de cargas, um campo elétrico se forma dentro da nuvem e entre a nuvem e a superfície da Terra. Quando a diferença de potencial elétrico se torna grande o suficiente para causar a ruptura da rigidez dielétrica do ar, ocorre uma descarga elétrica. À medida que o raio se move através da atmosfera, ele aquece o ar ao seu redor a temperaturas muito altas, fazendo com que os átomos de gás se ionizem, ou seja, percam ou ganhem elétrons. Isso cria um brilho intenso que é chamado de relâmpago. A Figura 1 ilustra como são formadas as descargas atmosféricas.

Figura 1 – Formação das descargas atmosféricas.



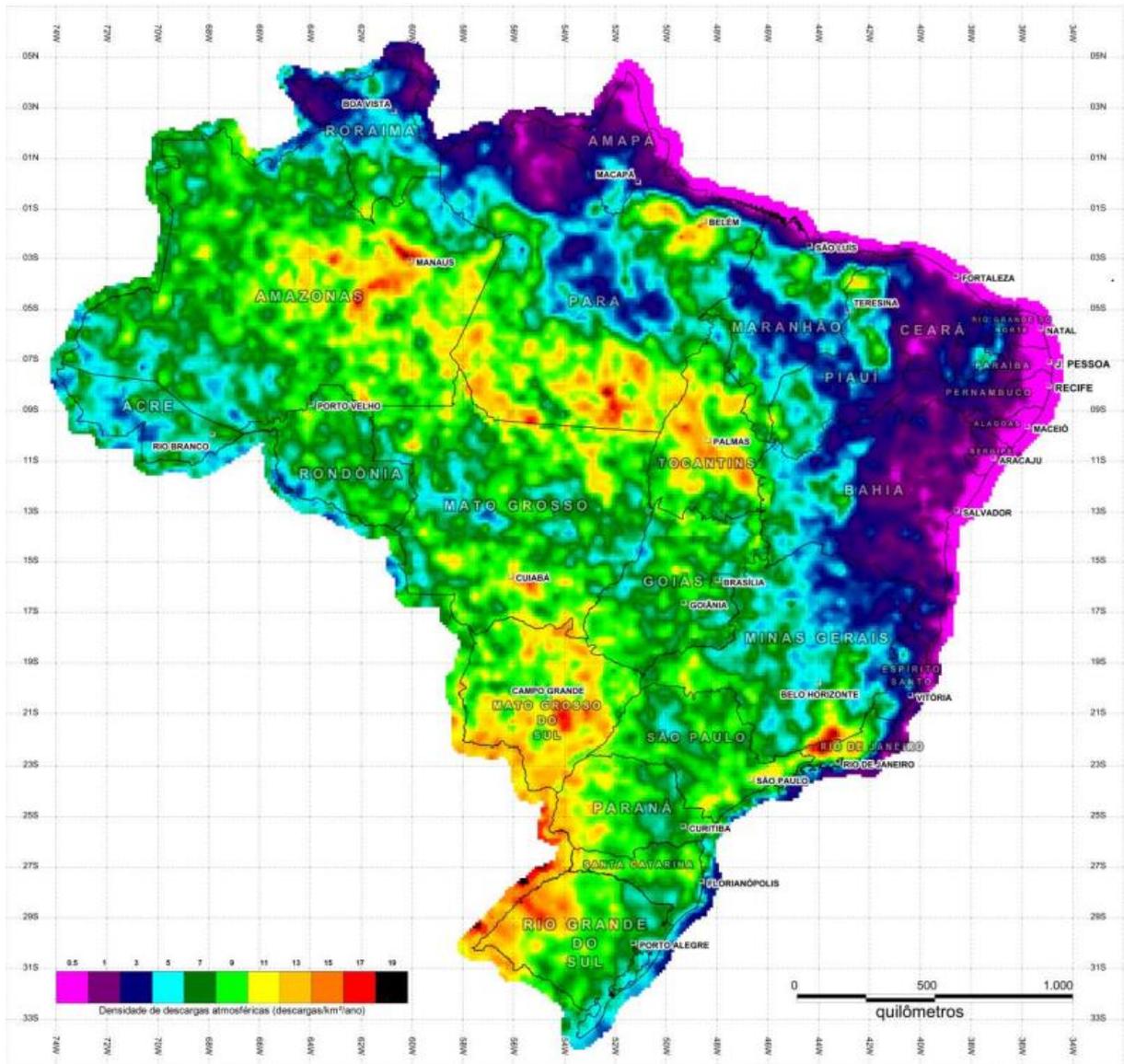
Fonte: Waltrick, 2018.

2.2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NO BRASIL

O Brasil é o país onde mais ocorrem as descargas atmosféricas do mundo, com cerca de 77,8 milhões anuais (INPE,2021). Segundo dados do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), a cada 50 mortes provocadas por raios no mundo, 2 são no país. Isso acontece porque o Brasil é um país tropical de dimensões continentais onde o calor favorece a ocorrência de tempestades.

Com o fato do Brasil ser um país com grandes dimensões, há várias regiões com diferentes números de incidência de raios ao longo de um ano. A Figura 2, retirada da NBR 5419, mostra exatamente isso, como cada região sofre com essas descargas.

Figura 2 – Mapa de densidades de descargas atmosféricas.



Fonte: Adaptado da NBR 5419.

2.3 TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas podem ser classificadas com base na polaridade da corrente (positiva ou negativa) e no ponto de encontro dos canais ionizados (ascendente ou descendente) (NETO, 2021), como segue:

- Positiva descendente: ocorre quando os canais se encontram próximos ao solo. Nesse caso, o topo da nuvem, carregado positivamente, se desloca em direção à base e se aproxima de alguma elevação, como uma montanha.
- Positiva ascendente: similar à situação anterior, porém, os canais se encontram próximos à nuvem.
- Negativa descendente: os canais se encontram próximos à terra, ocorrendo entre a base da nuvem e o solo.
- Negativa ascendente: o encontro dos canais ocorre próximo à nuvem, com a conexão se estabelecendo da base da nuvem, carregada negativamente, em direção à terra.

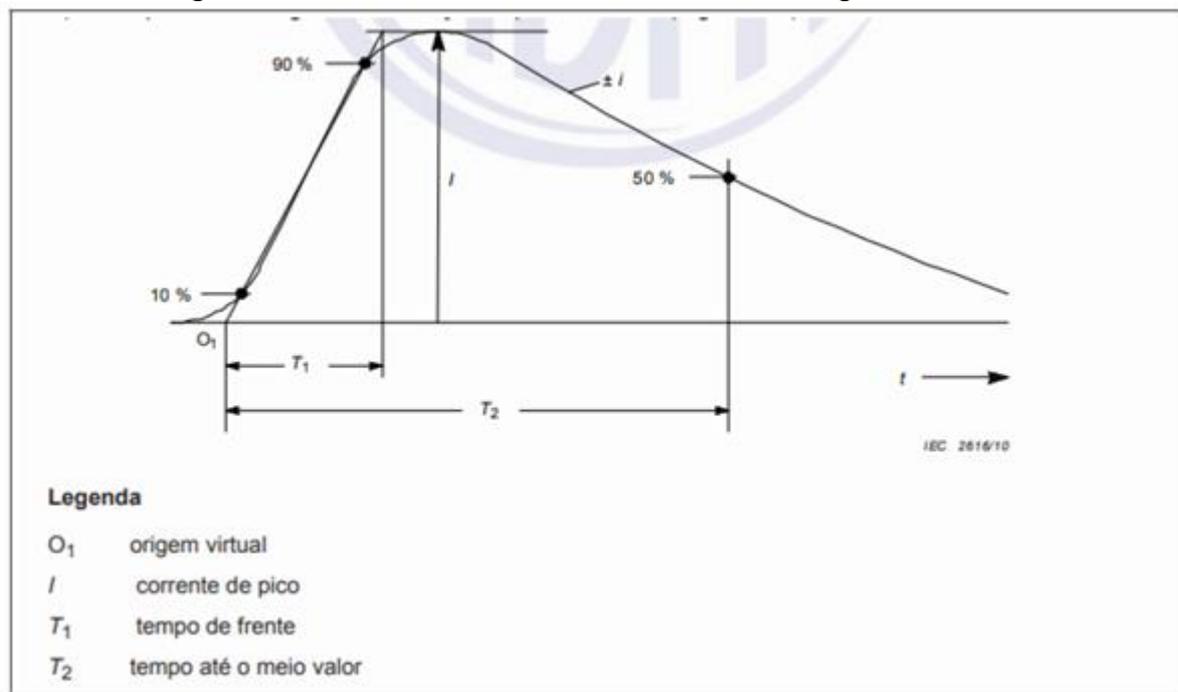
2.4 CARACTERÍSTICAS DAS CORRENTES DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

De acordo com a Figura 3, tem-se as características das correntes provenientes das descargas atmosféricas, onde se destacam os seguintes parâmetros:

- T1: tempo de frente da onda, que é o tempo para a corrente atingir o pico de seu valor;
- T2: tempo de decaimento, que é o tempo em que a onda atinge 50% do seu valor de pico;
- I: valor máximo da corrente.

A partir dos valores de T1 e T2 e usando a relação T1/T2, é possível saber qual o tipo de curva são empregados, sendo os de maiores incidências os 10/350 μ s, 8/20 μ s e 1,2/50 μ s. Esses valores de onda serão importantes mais a frente, para o correto dimensionamento dos DPS.

Figura 3 – Características de corrente de uma descarga atmosférica.



Fonte: NBR 5419.

2.5 TENSÃO DE TOQUE

A tensão de toque é a diferença de potencial elétrico que pode ser causada ao tocar em um objeto eletricamente carregado, como um aparelho elétrico ou uma superfície condutora exposta a uma fonte de eletricidade. Quando uma pessoa toca um objeto eletricamente carregado, a corrente elétrica pode fluir do objeto para o seu corpo, podendo resultar em diferentes tipos de danos, desde os mais simples, tais como um pequeno choque, ou mais perigosos, como queimaduras ou até mesmo paradas cardiorrespiratórias.

2.6 TENSÃO DE PASSO

A tensão de passo aparece quando, após uma descarga atmosférica no solo, há o surgimento de distribuições de potenciais na superfície. Se no momento da descarga os pés estiverem sobre a mesma linha ou se apenas um dos apoios estiver em contato com o solo, não haverá tensão de passo, já se alguém estiver se movimentando e acabar pisando em dois potenciais diferentes, vai se criar ali uma diferença de potencial, podendo causar os mesmos efeitos da tensão de toque.

2.7 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

Para prevenir, ou diminuir os danos causados por conta das descargas atmosféricas, é utilizado algum tipo de sistema contra as descargas. O sistema de SPDA pode ser estruturado por meio de 3 diferentes métodos, segundo a NBR 5419, sendo eles:

- Método do ângulo de proteção (Método de Franklin);
- Método das malhas (Gaiola de Faraday);
- Método da esfera rolante.

Além dos métodos separados, dependendo de como se dá a edificação e o modo de proteção necessário, a norma permite que mais de um método seja utilizado para a proteção do espaço.

2.7.1 Classes de SPDA

O nível de proteção que deve ser implementado, juntamente com a avaliação da estrutura onde será instalado o sistema de proteção contra descargas atmosféricas, são os elementos que definem a classe do SPDA que será escolhido para cada caso, conforme a Tabela 1, que foi retirada da norma.

Tabela 1 – Relação entre nível de proteção e classe de SPDA.

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

Fonte: NBR 5419.

Cada nível de proteção contém um conjunto de parâmetros das correntes provenientes das descargas atmosféricas, sendo a classe de nível I a mais robusta e a classe de nível IV a mais simples. Assim sendo, os níveis de SPDA podem ser divididos como:

- Nível IV: como é o nível mais baixo de proteção, deve ser utilizado em estruturas raramente ocupadas por pessoas e que não armazenam material combustível;
- Nível III: proteção leve a moderada, utilizado mais em edificações de uso comum;
- Nível II: como é um nível um pouco mais elevado de proteção, pode ser utilizado em construções com bens de grande valor ou que abriga um grande número de pessoas e que não representa risco para estruturas adjacentes;
- Nível I: como é o nível mais elevado de proteção, deve ser utilizado em estruturas de serviços estratégicos ou que apresentam risco para os arredores, tais como depósitos de explosivos, materiais sujeitos à explosão, material tóxico ao meio ambiente, etc. (SOUZA, 2022)

2.7.2 Subsistema de captação

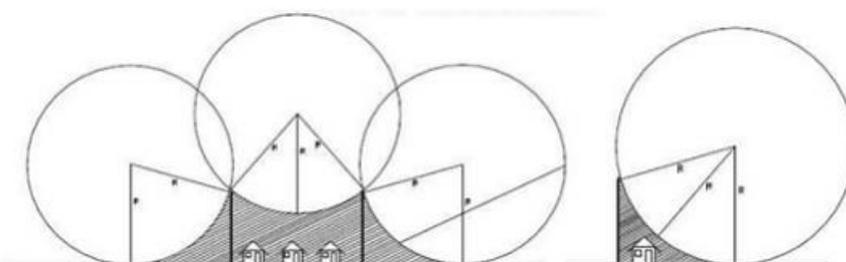
Os captadores podem ser classificados como naturais ou não naturais. Os captadores naturais são elementos condutores expostos às descargas atmosféricas e frequentemente são partes integrantes da edificação que se quer proteger como por exemplo: marquises, calhas e coberturas metálicas, nesse último caso, desde que esteja de acordo com a espessura mínima admitida pela norma, de acordo com o material que será utilizado. Já sobre os captadores não naturais, os terminais aéreos, também conhecidos como para-raios, são hastes condutoras projetadas para interceptar raios, prevenindo que atinjam diretamente a estrutura. Para garantir um nível máximo de proteção, os para-raios devem ser instalados nos pontos mais altos da estrutura (SÉRVULO, 2016). O posicionamento desses captadores, de acordo com a norma, precisa ser nos cantos, nas pontas e nas beiradas das edificações, tal qual o método de captação que foi escolhido, entre os 3 já citados anteriormente: método de Franklin, das malhas e da esfera rolante. Nas Tabelas 2 e 3 são mostradas as características de cada método, de acordo com a norma NBR 5419.

2.7.2.1 Método da esfera rolante

Esfera Rolante é uma técnica empregada para calcular a área de proteção de um SPDA. Esse método é baseado na ideia de que, se uma esfera imaginária (representando um raio) rolar sobre a superfície de um objeto, o volume de espaço que ela não alcança diretamente está protegido contra as descargas atmosféricas. A área protegida por um SPDA, de acordo com

esse método, é geralmente calculada levando em consideração a altura da estrutura protegida (por exemplo, um edifício), a altura do mastro do para-raios e a geometria do terreno circundante. O nível de SPDA determina o raio da esfera imaginária, enquanto o ponto mais alto do objeto a ser protegido define o ponto de partida para a esfera. Este método é mais utilizado em construções com altura mais elevada e/ou formas arquitetônicas complexas. A Figura 4 mostra um exemplo de aplicação do método.

Figura 4 – Aplicação do método da esfera rolante.



Fonte: (GUIMARÃES, 2024b)

2.7.2.2 Método do ângulo de proteção (Método de Franklin)

Este método é baseado na teoria de que a proteção eficaz contra descargas atmosféricas depende da capacidade do sistema de para-raios em criar um campo de proteção que intercepte o raio antes que ele atinja a estrutura que está sendo protegida.

Na prática, o Método do Ângulo de Proteção envolve o cálculo do ângulo de proteção, que é o ângulo formado entre o ponto mais alto da estrutura a ser protegida e os pontos de extremidade do sistema de para-raios (geralmente conectados a hastes de captação). Este ângulo é determinado com base em considerações geométricas e na altura do mastro do para-raios. A Figura 5 mostra, de forma simplória, como é aplicado o método de Franklin.

Figura 5 – Aplicação do método de Franklin.

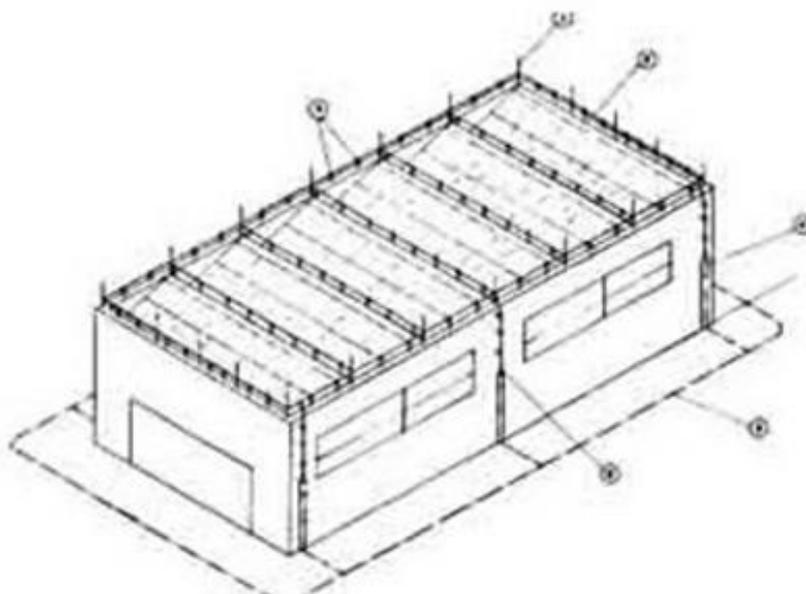


Fonte: (GUIMARÃES, 2024b).

2.7.2.3 Método das malhas (Método da gaiola de Faraday)

Este procedimento é recomendado para estruturas que possuem uma vasta extensão horizontal, ao contrário do Método de Franklin, e é especialmente adequado para salvaguardar superfícies laterais planas contra descargas atmosféricas. Ele envolve o emprego de uma malha de condutores dispostos a intervalos específicos, alinhados com o seu grau de proteção. A Figura 6 mostra como é disposto as malhas de captação utilizando o método da gaiola de Faraday.

Figura 6 – Aplicação do método das malhas.



Fonte: (GUIMARÃES, 2024b)

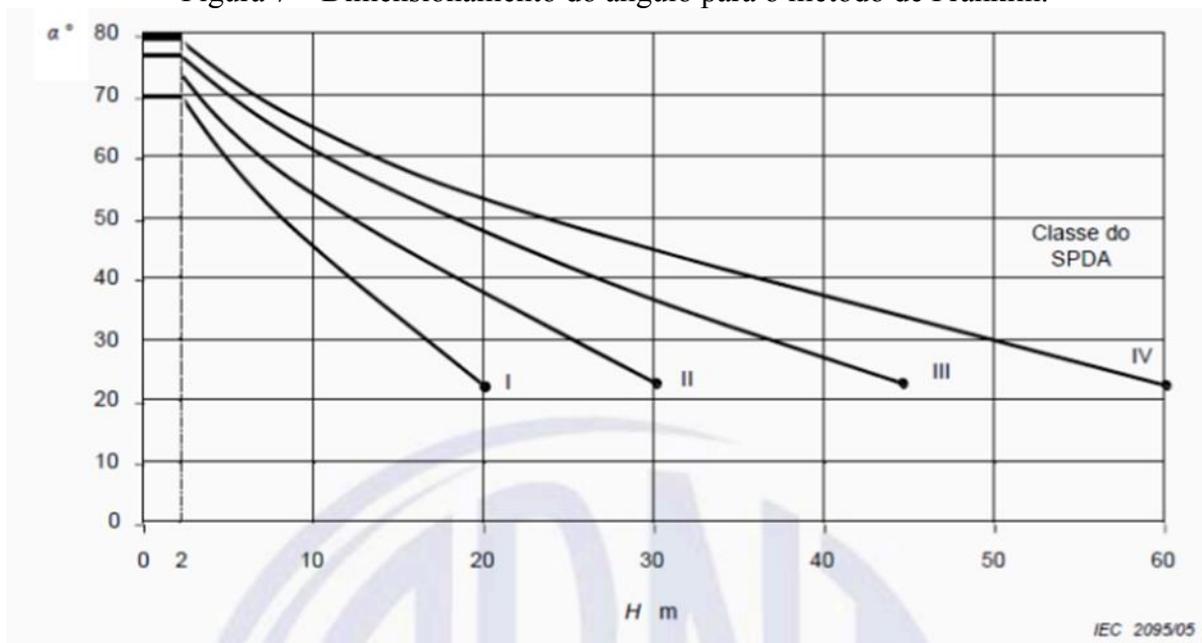
Na Tabela 2 são mostradas as características de dimensionamento para os métodos da esfera rolante e das malhas. Já na figura 7 mostra o ângulo de abertura do captor franklin em relação à altura de referência da parte da estrutura que necessita de proteção.

Tabela 2 – Características de dimensionamento dos métodos de captação.

-	Método de proteção		
	Classe do SPDA	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m
I	20	5 x 5	ver figura abaixo
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: NBR 5419

Figura 7 – Dimensionamento do ângulo para o método de Franklin.



Fonte: NBR 5419.

2.7.2.4 Instalação do subsistema de captação

A NBR 5419 estabelece alguns parâmetros quanto a instalação dos captadores de um SPDA não isolado na estrutura:

- Caso a cobertura seja feita por material não combustível, os condutores do subsistema de captação podem ser posicionados na superfície da cobertura;
- Caso a cobertura seja feita por material prontamente combustível, cuidados especiais devem ser tomados em relação à distância entre os condutores do subsistema de captação e o material. Para coberturas de sapé ou palha onde não sejam utilizadas barras de aço para sustentação do material, uma distância não inferior a 0,15 m é adequada. Para outros materiais combustíveis, 0,10 m;
- As partes facilmente combustíveis da estrutura a ser protegida não podem permanecer em contato direto com os componentes de um SPDA externo e não podem ficar abaixo de qualquer componente metálico que possa derreter ao ser atingido pela descarga atmosférica. Devem ser considerados componentes menos combustíveis como folhas de madeira.

2.7.3 Subsistema de descida

O subsistema de descida é a parte do SPDA externo destinada a conduzir a corrente de descarga atmosférica desde o subsistema captor até o subsistema de aterramento. Este elemento pode também estar embutido na estrutura através da descida estrutural, onde são utilizadas as próprias ferragens da construção para fazer o escoamento da corrente, desde que haja continuidade elétrica entre todos os trajetos da estrutura. Os subsistemas de descidas de para-raios podem ser compostos por cabos de cobre nu com 16 mm², caso a edificação tenha até 20 metros de altura, acima disso devem ser utilizados cabos para-raios de cobre nu com 35 mm² ou fitas de alumínio com 70 mm², com todas as descidas interligadas por anéis a cada 20 metros, conforme determina a norma técnica vigente. Também é possível o uso de aço, sendo o mesmo com espessura de 50 mm². Além disso, outro ponto que a norma especifica é que quanto maior for o número de condutores de descida instalados a um espaçamento regular em volta do perímetro interconectado pelos anéis condutores, maior será a redução da probabilidade de descargas atmosféricas e centelhamentos perigosos, facilitando a proteção das instalações internas. Alguns valores de distâncias entre condutores de descidas e anéis condutores são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Distâncias entre condutores de descidas e anéis condutores de acordo com nível de SPDA.

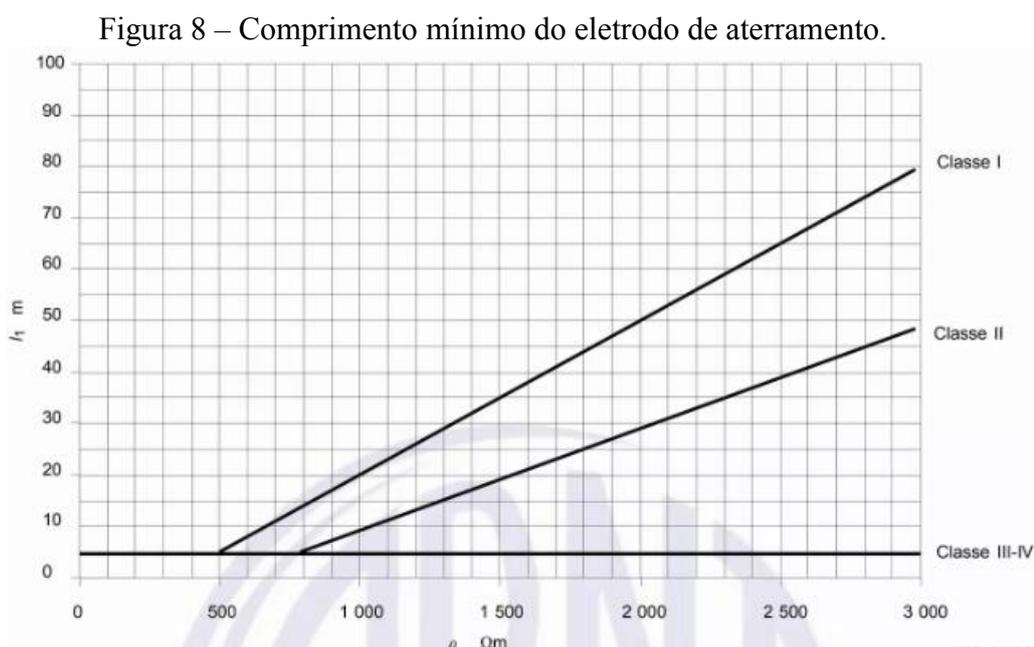
Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20
NOTA. É aceitável que o espaçamento dos condutores de descida tenha no máximo 20% além dos valores acima.	

Fonte: NBR 5419.

2.7.4 Subsistema de aterramento

O subsistema de aterramento consiste em elementos condutores enterrados ou embutidos nas fundações das edificações responsáveis por dissipar a corrente da descarga atmosférica no solo, também classificados em naturais e não naturais. Os naturais são elementos metálicos embutidos nas fundações das edificações e parte integrante delas e os não naturais são elementos condutores enterrados horizontalmente, verticalmente ou inclinado, instalados a ponto de que se deve obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local. Um único sistema de aterramento deve ser capaz de atender a proteção de descargas atmosféricas, sistema de energia elétrica, estruturas metálicas e sinais (TV a cabo, dados e etc.).

A norma NBR5419 declara que, caso não for possível fazer o aterramento estrutural, onde se utiliza as próprias ferragens da construção para dissipar a corrente, deve-se então instalar um anel ao redor de toda a edificação a ser protegida, a uma profundidade de, no mínimo, 0,5 metros, sendo utilizado, preferencialmente, um condutor de cobre nu 50 mm² e que, no máximo, 20% do comprimento total do anel possa estar ao ar livre (não enterrado). Outro ponto a se considerar para o eletrodo em anel é que o raio médio da área abrangida pelos eletrodos não pode ser inferior ao valor de comprimento mostrados na tabela Figura 8, de acordo com cada classe de SPDA.



Fonte: NBR 5419.

2.7.5 Materiais utilizados no SPDA

Os materiais utilizados na implementação do SPDA precisam ter algumas características específicas de condução elétrica, suportar grandes temperaturas e ter uma aplicação em cada situação, de acordo com a norma. A Tabela 4 mostra em qual situação cada material pode ser utilizado.

Tabela 4 – Situações em que cada material poderá ser utilizado.

Material	Utilização				Corrosão		
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumentado por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico
Cobre	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Não permitido	Boas em muitos ambientes	Compostos sulfurados Materias orgânicos Altos conteúdos de cloretos	-
Aço galvanizado a quente	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos	Cobre
Aço inoxidável	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Bom em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos	-
Aço revestido por cobre	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Não permitido	Bom em muitos ambientes	Compostos sulfurados	-
Alumínio	Maciço Encordoado	Não permitido	Não permitido	Não permitido	bom em atmosferas contendo baixas concentrações de sulfurados e cloreto	Soluções alcalinas	Cobre

NOTA 1 Esta tabela fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.
 NOTA 2 Condutores encordoados são mais vulneráveis à corrosão do que condutores sólidos. Condutores encordoados são também vulneráveis quando eles entram ou saem nas posições concreto/terra.
 NOTA 3 Aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.

Fonte: NBR 5419.

2.7.5.1 Dimensões dos materiais utilizados no sistema de SPDA

As tabelas 5 e 6 mostram o material, a área de seção dos condutores de captação, hastes captoras e os condutores de descidas, enquanto na tabela 7 são mostradas as dimensões do eletrodo de aterramento.

Tabela 5 – Dimensões mínimas dos materiais utilizados no SPDA.

Material	Configuração	Área da seção mínima <i>mm</i> ²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30% ^e	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64%	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm

Fonte: NBR 5419.

Tabela 6 – 2º parte da tabela 5.

Material	Configuração	Área da seção mínima <i>mm</i> ²	Comentários ^d
Aço galvanizado a quente ^a	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável ^c	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
<p>a - O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 [1].</p> <p>b - Aplicável somente a mini captotes. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.</p> <p>c - Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.</p> <p>d - Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.</p> <p>e - A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (International Annealed Copper Standard).</p>			
<p>NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.</p> <p>NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.</p>			

Fonte: NBR 5419.

Tabela 7 – Dimensões mínimas do eletrodo de aterramento utilizado no SPDA.

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordadoo ^c	-	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	-	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	-	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	-	
	Tubo ^{a b}	20 mm	-	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado a quente	Arredondado maciço ^{a b}	16 mm	-Diâmetro 10 mm	-
	Tubo ^{a b}	25 mm	-	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça ^a	-	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordadoo	-	70 mm ²	-
Aço cobreado	Arredondado Maciço ^d Encordadoo ^g	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável ^e	Arredondado maciço	15 mm	Diâmetro 10 mm	Espessura mínima de 2 mm
	Fita maciça		100mm ²	

a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323 [1].
b Aplicável somente a mini captotes. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.
c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.
d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.
e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela .
f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (International Annealed Copper Standard).
g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: NBR 5419.

2.7.5.2 Fixação dos materiais do SPDA

Os materiais que estão no SPDA precisam ser fixados de algumas formas, então a norma regulamentou, levando em consideração o sentido, a distância entre os fixadores e a rigidez mecânica de cada material, resultando na seguinte configuração:

- Até 1,0 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na horizontal;
- Até 1,5 m para condutores flexíveis (cabos e cordoalhas) na vertical ou inclinado;
- Até 1,0 m para condutores rígidos (fitas e barras) na horizontal;
- Até 1,5 m para condutores rígidos (fitas e barras) na vertical ou inclinado.

2.7.6 Dispositivos de proteção contra surtos (DPS)

O DPS é um dispositivo destinado a limitar as sobretensões e desviar correntes de surto, detectando a sobretensão e desviando-a para a terra, protegendo assim os equipamentos conectados ao sistema elétrico. Eles são comumente usados em instalações residenciais, comerciais e industriais para proteger dispositivos eletrônicos sensíveis, como computadores, televisores, sistemas de segurança, equipamentos de telecomunicações, entre outros.

O equipamento dispõe de três classes diferentes, sendo cada uma utilizada em diferentes pontos da instalação elétrica e com diferentes funções, sendo elas:

- Classe I: destinados à proteção contra sobretensões causadas por descargas atmosféricas diretas, possuem grande capacidade de escoamento. São recomendados para instalações em locais com alta exposição a descargas atmosféricas, especialmente na entrada da distribuição elétrica das edificações com SPDA. O DPS Classe I é caracterizado por uma onda de corrente de 10/350 μ s.
- Classe II: possuem uma capacidade de escoamento menor que a do Classe I e são recomendados para a proteção das instalações elétricas e equipamentos eletroeletrônicos em edificações sem SPDA, que podem sofrer os efeitos indiretos das descargas atmosféricas. O DPS Classe II é caracterizado por uma onda de corrente de 8/20 μ s.
- Classe III: destinado à proteção fina de receptores sensíveis (como computadores e carregadores de celular), possuem baixa capacidade de escoamento e devem ser instalados a jusante de um DPS Classe II. O DPS Classe III é caracterizado por uma onda de corrente combinada de 1,2/50 μ s e 8/20 μ s (SÉRVULO, 2016).

2.7.7 Equipotencialização

A equipotencialização em um SPDA é um processo crucial para garantir a eficácia e a segurança do sistema como um todo. O procedimento visa igualar o potencial elétrico de diferentes partes da estrutura e do seu entorno, reduzindo assim os riscos de danos causados por correntes de surto durante uma descarga atmosférica.

A equipotencialização é alcançada por meio da interconexão de todas as partes metálicas da estrutura e dos equipamentos associados ao SPDA, bem como por meio da conexão dessas partes a um sistema de aterramento comum, que pode ser tanto o barramento de equipotencialização local (BEL), ou também o barramento de equipotencialização principal (BEP), sendo esses barramentos interligados com o aterramento principal da edificação. Isso significa que todas as partes metálicas expostas, como dutos, estruturas metálicas, antenas e sistemas elétricos, devem ser conectadas entre si e ao sistema de aterramento de forma a criar um mesmo potencial elétrico.

Além disso, é importante que a equipotencialização seja estendida para áreas externas próximas à estrutura, como cercas, postes e sistemas de tubulação, para garantir que não haja diferenças significativas de potencial elétrico que possam criar pontos de tensão durante uma descarga atmosférica.

Ao garantir uma equipotencialização adequada, o SPDA pode direcionar com eficácia a corrente de descarga atmosférica para o solo de forma segura, protegendo tanto a estrutura quanto as pessoas e equipamentos dentro dela contra danos elétricos.

A Tabela 8 mostra as dimensões mínimas dos condutores que interligam os diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL).

Tabela 8 – Dimensões mínimas dos barramentos BEP e BEL.

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

Fonte: NBR 5419.

Os valores mínimos da seção reta dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização são fornecidos na Tabela 9.

Tabela 9 – Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas aos barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL).

Nível do SPDA	Material	Área da seção reta <i>mm²</i>
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	10
	Aço galvanizado a fogo	16

Fonte: NBR 5419.

3 GERENCIAMENTO DE RISCO

O gerenciamento de risco é uma parte muito importante dentro do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, já que é a partir dele que decisões para elaboração do projeto de SPDA devem ser tomadas, tais quais: Nível de SPDA, MPS, avisos que deverão ser instalados na edificação, entre outros. O objetivo final do gerenciamento, além do já citado, é proteger vidas, propriedades e equipamentos contra os efeitos prejudiciais das descargas atmosféricas, sempre em conformidade com a norma vigente, NBR 5419. O gerenciamento de risco em um SPDA envolve:

- Identificação dos riscos: isso inclui a análise das características do ambiente, como a frequência e intensidade das descargas atmosféricas, a localização e o tipo da estrutura a ser protegida, e a presença de equipamentos sensíveis que possam ser danificados pelas descargas elétricas;
- Avaliação dos riscos: os riscos são avaliados quanto à probabilidade de ocorrência e ao potencial impacto sobre a segurança das pessoas, a integridade das estruturas e o funcionamento dos equipamentos;
- Diminuição dos riscos: com base na análise de risco, são adotadas medidas para reduzir a probabilidade de ocorrência de descargas atmosféricas diretamente na estrutura e minimizar os danos em caso de impacto. Isso pode incluir a instalação adequada de para-raios, condutores de descida, sistemas de aterramento e dispositivos de proteção contra surtos;
- Monitoramento e manutenção: após a implementação das medidas de mitigação, é importante monitorar regularmente o funcionamento do SPDA e realizar manutenções periódicas para garantir sua eficácia contínua.

Para melhor entendimento do gerenciamento de risco, a norma apresenta algumas definições, para assim auxiliar, num momento posterior, o cálculo de risco.

3.1 DANOS E PERDAS

A corrente da descarga atmosférica é a principal fonte de dano. As seguintes fontes são distintas pelo ponto de impacto (analisar Tabela 10):

- S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;
- S3: descargas atmosféricas na linha;
- S4: descargas atmosféricas perto da linha.

3.2 TIPOS DE DANOS

A descarga atmosférica pode causar danos dependendo das características da estrutura a ser protegida. Algumas das características mais importantes são: tipos de construção, conteúdos e aplicações, tipo de serviço e medidas de proteção existentes.

Para aplicações práticas desta análise de risco, é usual distinguir entre três tipos básicos de danos os quais aparecem como consequência das descargas atmosféricas. Eles são os seguintes (analisar Tabela 10):

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

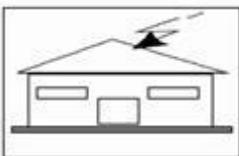
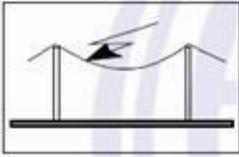
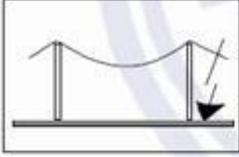
3.3 TIPOS DE PERDAS

Cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com outros, pode produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida. O tipo de perda pode acontecer dependendo das características da própria estrutura e do seu conteúdo. Os seguintes tipos de perdas devem ser levados em consideração (analisar Tabela 10):

- L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);

- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

Tabela 10 – Fontes de danos, tipos de danos e 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
<p>^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.</p> <p>^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.</p>			

Fonte: NBR 5419.

3.4 RISCOS E COMPONENTES DE RISCO

3.4.1 RISCO

Após a análise dos danos e tipos de danos, a NBR 5419 mostra também os riscos e suas componentes. O risco, representado por R, refere-se a uma média anual de perdas prováveis relativas. Para cada categoria de perda potencial na estrutura, é crucial avaliar o risco resultante.

Os riscos que devem ser avaliados são os seguintes:

- R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- R2: risco de perda de serviço ao público;
- R3: risco de perda de patrimônio cultural;
- R4: risco de perda de valores econômicos.

Para a avaliação dos riscos representados por R, é necessário identificar e calcular os componentes relevantes de risco (os quais dependem da fonte e do tipo de dano). Cada risco, R, resulta da soma dos seus componentes de risco. A norma define as seguintes componentes de riscos:

3.4.2 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura

- RA: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora das zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também aumentar;
- RB: componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;
- RC: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

3.4.3 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura

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

3.4.4 Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura.

- RU: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;
- RV: componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem ocorrer;
- RW: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

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

- RZ: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de

estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

3.5 ANÁLISE DAS COMPONENTES DE RISCO

A norma NBR 5419 lista as componentes de risco da seguinte forma:

- R1: Risco de perda de vida humana:

$$R1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (1)$$

sendo,

R_{A1} o valor da relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo que possam ocasionar a perda de vida humana;

R_{B1} o valor relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão que possam ocasionar a perda de vida humana;

R_{C1}^1 o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP que possam ocasionar a perda de vida humana, sendo o mesmo considerado apenas em estruturas com risco de explosão e hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas;

R_{U1} o valor relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura que possam ocasionar a perda de vida humana;

R_{V1} o valor relativo a danos físicos devidos à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas que possam ocasionar a perda de vida humana;

R_{W1}^1 o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e são transmitidas a mesma, que possam ocasionar a perda de vida humana, sendo o mesmo considerado apenas em estruturas com risco de explosão e hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas;

R_{Z1}^1 o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e são transmitidas a mesma, que possam ocasionar a perda de vida humana, sendo o mesmo considerado apenas em estruturas com risco de explosão e hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas.

- R2: Risco de perdas de serviço ao público:

$$R2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

sendo,

R_{B2} o valor relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão que possam ocasionar a perda de serviço ao público;

R_{C2} o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP que possam ocasionar a perda de serviço ao público;

R_{M2} componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP por meio de descargas pertos da linha que possam ocasionar a perda de serviço ao público;

R_{V2} o valor relativo a danos físicos devidos à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas que possam ocasionar a perda de serviço ao público;

R_{W2} o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e são transmitidas a mesma, que possam ocasionar a perda de serviço ao público;

R_{Z2} o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e são transmitidas a mesma, que possam ocasionar a perda de serviço ao público.

- R3: Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

sendo,

R_{B3} o valor relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão que possam ocasionar a perda de patrimônio cultural;

R_{V3} o valor relativo a danos físicos devidos à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas que possam ocasionar a perda de patrimônio cultural.

- R4: Risco de perdas de valor econômico:

$$R4 = R_{A4}^2 + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^2 + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

sendo,

R_{A4}^2 o valor da relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo que possam ocasionar a perda de valor econômico, sendo o mesmo considerado apenas para propriedades onde animais possam ser perdidos;

R_{B4} o valor relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão que possam ocasionar a perda de valor econômico;

R_{C4} o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP que possam ocasionar a perda de serviço de valor econômico;

R_{M4} o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP, através de descargas pertos da linha, que possam ocasionar a perda de valor econômico;

R_{U4}^2 o valor relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura que possam ocasionar a perda de valor econômico, sendo o mesmo considerado apenas para propriedades onde animais possam ser perdidos;

R_{V4} o valor relativo a danos físicos devidos à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas que possam ocasionar a perda de valor econômico;

R_{W4} o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e são transmitidas a mesma, que possam ocasionar a perda de valor econômico;

R_{Z4} o valor relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e são transmitidas a mesma, que possam ocasionar a perda de valor econômico.

A Tabela 11 mostra as componentes de risco que correspondem a cada tipo de perda.

Tabela 11 – 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
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Componente de risco								
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*	*	*		*	*	*
R_4	* b	*	*	*	* b	*	*	*

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

b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Fonte: NBR 5419.

As características da estrutura e de possíveis medidas de proteção que influenciam os componentes de risco para uma estrutura são dados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Fatores que influenciam as componentes de risco.

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X ^c	X ^c	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X

Fonte: NBR 5419.

Tabela 13 – Continuação.

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistema de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X
^a Somente para SPDA tipo malha externa. ^b Devido a ligações equipotenciais. ^c Somente se eles pertencem ao equipamento.								

Fonte: NBR 5419.

3.6 EQUAÇÕES DAS COMPONENTES DE RISCO

Após realizada a análise de cada componente de risco, precisa-se agora estudar as equações que regem cada uma delas. Nos tópicos seguintes, encontram-se as definições e equações que a norma NBR 5419 traz para cada componente.

3.6.1 Equação geral

Cada componente de risco listada nos itens anteriores pode ser descrita através da equação geral abaixo:

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

sendo,

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

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

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

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

- Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

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

sendo,

N_A o valor relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico devido ao número de eventos perigosos por ano;

P_A o valor relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico devido a probabilidade de dano à estrutura;

L_A o valor relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico devido a perda consequente.

- Componente relacionado a danos físicos (D2):

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

sendo,

N_B o valor relacionado a danos físicos devido ao número de eventos perigosos por ano;

P_B o valor relacionado a ferimentos a danos físicos devido a probabilidade de dano à estrutura;

L_B o valor relacionado a danos físicos devido a perda consequente.

- Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

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

sendo,

N_C o valor relacionado à falha de sistemas internos devido ao número de eventos perigosos por ano;

P_C o valor relacionado às falhas de sistemas internos devido a probabilidade de dano à estrutura;

L_C o valor relacionado às falhas de sistemas internos devido a perda consequente.

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

- Componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

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

sendo,

N_M o valor relacionado à falha de sistemas internos ocasionados por descargas perto da estrutura, devido ao número de eventos perigosos por ano;

P_M o valor relacionado a falhas de sistemas internos ocasionados por descargas perto da estrutura, devido a probabilidade de dano à estrutura;

L_M o valor relacionado a falhas de sistemas internos ocasionados por descargas perto da estrutura, devido a perda consequente.

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

Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

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

sendo,

N_L o número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma linha;

N_{DJ} o número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente;

P_U a probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas próximas a linha conectada à estrutura);

L_U a perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétricos (descargas na linha conectada à estrutura).

- Componente relacionado a danos físicos (D2):

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

sendo,

P_V a probabilidade de danos físicos na estrutura;

L_V a perda em uma estrutura devido a danos físicos.

- Componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

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

sendo,

P_W a probabilidade de falha nos sistemas internos devido a descargas na linha;

L_W a perda devido a falhas nos sistemas internos.

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

- Componente relacionado à falha dos sistemas internos (D3):

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

sendo,

N_I o número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha;

P_Z a probabilidade de falha nos sistemas internos devido a descargas próximas da linha conectada à estrutura;

L_Z a perda devido a falhas nos sistemas internos devido a descargas próximas da linha conectada à estrutura.

A Tabela 14 mostra um resumo das componentes de risco e suas respectivas equações.

Tabela 14 – Componentes de risco para diferentes tipos de fontes e danos.

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

Fonte: NBR 5419.

3.7 ZONAS DE PROTEÇÃO CONTRA RAIOS

Segundo a NBR 5419, caso a estrutura a ser protegida for dividida em zonas Z_S , cada componente de risco deve ser avaliado para cada zona separadamente. O risco total R da estrutura é a soma dos componentes de risco relevantes para as zonas Z_S que constituem a estrutura, como será mostrado nos subtópicos abaixo.

3.7.1 Estrutura com apenas 1 zona

Nas situações de estruturas que tenham apenas 1 zona, apenas uma variável fictícia Z_S é estabelecida para toda a estrutura. O risco R é determinado pela soma dos componentes de risco Z_X dessa zona. Optar por uma única zona pode resultar em medidas de proteção mais caras, uma vez que cada medida deve ser aplicada a toda a estrutura.

3.7.2 Estrutura com mais de 1 zona

Nas situações de estruturas que tenham mais de uma zona, a estrutura é fragmentada em múltiplas zonas Z_S . O risco para a estrutura é a soma dos riscos pertinentes de todas as zonas; em cada uma delas, o risco é a soma de todos os componentes de risco relevantes presentes. Essa divisão em zonas permite ao projetista considerar as particularidades de cada

região da estrutura na avaliação dos componentes de risco, e assim selecionar as medidas de proteção mais adequadas, adaptando-as zona por zona. Isso resulta na redução do custo total da proteção contra descargas atmosféricas.

3.7.3 Análise geral

Para se fazer uma análise geral das estruturas da edificação a ser protegida, a norma traz um critério para a avaliação das componentes de risco e seleção dos parâmetros relevantes que são envolvidos no cálculo do gerenciamento de risco, tais quais:

- Parâmetros relevantes ao número N de eventos perigosos;
- Parâmetros relevantes à probabilidade P de danos;
- Parâmetros relevantes à quantidade L de perdas.

Para componentes R_A, R_B, R_U, R_V, R_W e R_Z , somente um valor deve ser fixado em cada zona para cada parâmetro envolvido. Quando mais de um valor é aplicável, o maior deles deve ser escolhido.

3.7.4 Determinação de área de exposição equivalente

Algumas construções apresentam geometrias complexas, exigindo a determinação da sua área de exposição equivalente para garantir uma análise precisa dos riscos envolvidos. A norma NBR 5419 oferece métodos para obter esses parâmetros, porém, para os propósitos deste trabalho, será apresentado o método aplicado a estruturas com formato retangular. Isso porque estruturas complexas podem ser subdivididas em zonas com essa configuração, o que muitas vezes simplifica o cálculo da área de exposição. Em uma estrutura retangular isolada, localizada em um solo plano, a área de exposição é determinada por:

$$A_D = L \cdot W + (2 \cdot 3 \cdot H \cdot (L + W) + (\pi \cdot (3 \cdot H)^2)) \quad (14)$$

sendo,

L , o comprimento da edificação;

W , a largura;

H , a altura.

3.8 RISCO TOLERÁVEL

Os valores dos riscos R1 a R4 devem ser comparados com os valores do risco tolerável para possibilitar uma interpretação adequada e tomar decisões sobre a necessidade de melhorias ou implementação de medidas de proteção na estrutura. Os valores do risco tolerável estipulados pela NBR 5419 estão listados na Tabela 15. Note que, para a perda de valor econômico L4, a norma estabelece que não havendo valores disponíveis para a análise, deve ser utilizado o valor RT para L2.

Tabela 15 – Valores de risco tolerável.

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

Fonte: NBR 5419.

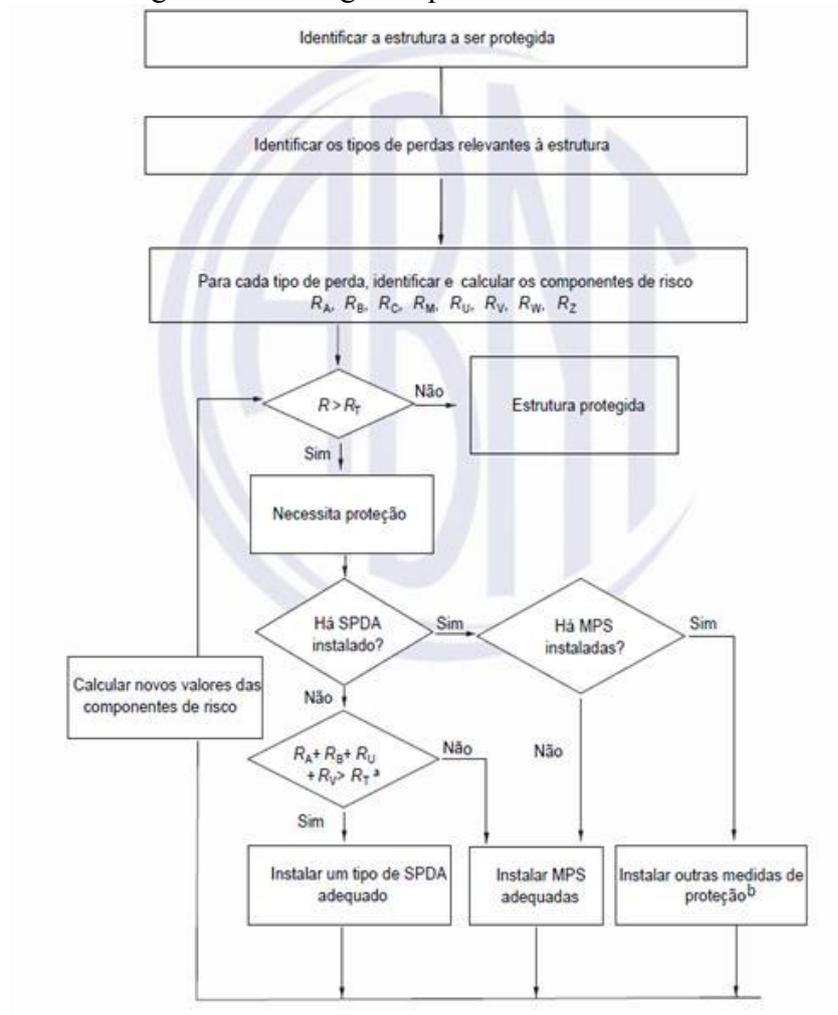
3.9 PASSO A PASSO PARA AVALIAR A NECESSIDADE DE PROTEÇÃO

Seguindo a NBR 5419, há um passo a passo para determinar cada tipo de risco a ser considerado, tomando como base a seguinte ordem:

- Identificação dos componentes R_X que compõe o risco;
- Cálculo dos componentes de risco identificados R_X ;
- Cálculo do risco total R;
- Identificação dos riscos toleráveis R_T ;
- Comparação do risco R com o valor do risco tolerável R_T ;
- Caso $R \leq R_T$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária.
- Caso $R > R_T$, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir $R \leq R_T$ para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

A Figura 9 mostra um fluxograma para melhor entender as decisões que precisam ser tomadas e selecionar as medidas de proteção cabíveis para cada cenário.

Figura 9 – Fluxograma para tomada de decisão.



Fonte: NBR 5419.

Nota: Se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário. Neste caso, apenas combinação de DPS de acordo com a NBR 5419 são suficientes.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 ESTUDO DE CASO

No início do estudo, foram obtidas informações sobre a estrutura do hospital e também informações econômicas pertinentes a equipamentos médico hospitalares e outros equipamentos que fazem parte do acervo.

O hospital se encontra em uma região de subidas e descidas, com construções adjacentes à sua volta, todas do mesmo tamanho ou menores, e possui um fluxo de, aproximadamente, 300 pessoas por dia, contando pacientes e funcionários. A edificação apresenta as seguintes medições:

Comprimento (L) = 57,16 m;

Largura (W) = 67,78 m;

Altura (H) = 12 m.

A Figura 10 mostra a vista superior da edificação.

Figura 10 – Vista superior da edificação.



Fonte: Google Earth (2024).

O hospital dispõe de um centro cirúrgico, um pós-operatório, que fica no mesmo setor, uma ala de internação e também os escritórios da administração. O estudo de caso sobre a proteção contra descargas atmosféricas inicia-se após uma análise crítica da norma ABNT NBR 5419:2015, que regulamenta os sistemas de SPDA. Os cálculos do gerenciamento de risco conduzirão os parâmetros e requisitos necessários para a elaboração de um projeto na edificação que apresente um eficiente sistema de proteção.

4.2 CÁLCULO DO GERENCIAMENTO DE RISCO DO SISTEMA ATUAL

Para o cálculo do gerenciamento de risco, a edificação foi dividida em apenas duas zonas, sendo a zona 1 o hospital de forma geral e a zona 2 um setor específico, que foi o centro cirúrgico, já que este apresenta movimentação constante de funcionários e pacientes em cirurgia, além de ter equipamentos de alta complexidade tecnológica e grande valor econômico.

Os cálculos foram elaborados a partir de uma planilha eletrônica de suporte (GUIMARÃES, 2024a) para fins de dar mais velocidade e precisão nos cálculos dos riscos e suas equações. A primeira parte dos cálculos tem por objetivo apresentar como está a situação atual do hospital, onde o mesmo não apresenta um SPDA, não havendo placas e avisos de periculosidade perto dos cabos de aterramento, roteamento integrados de cabos para assim evitar laços na edificação, sistema coordenado de DPS, entre outros. Já na segunda parte, são apresentados os cálculos já com possíveis correções que precisaram ser feitas para deixarem os Riscos Toleráveis dentro dos níveis estipulados pela norma e também as diretrizes que serão tomadas para a realização do projeto na edificação.

4.2.1 Cálculo do gerenciamento de risco da estrutura total

As Figuras 11, 12 e 13 dizem respeito, primeiramente, a edificação e seus parâmetros gerais, não separados por zonas. Nelas, são apresentados os parâmetros de entrada da planilha eletrônica, alguns comentários e a simbologia dos mesmos, além do valor que é colocado para o cálculo dos riscos posteriormente. Nesta primeira parte são examinadas algumas características da estrutura e do meio ambiente envolta da mesma e as linhas de energia e sinal que adentram na edificação.

Na figura 11 são colocados o fator de localização da estrutura, que no caso é cercada por objetos da mesma altura, o que aumenta a probabilidade de dano, e também que não há um SPDA instalado na edificação.

Figura 11 – Parte 1 do gerenciamento de risco da estrutura total.

Tabela E.1: características da estrutura e meio ambiente (Toda Edificação)				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)	http://www.pabloguilmaraes-professor.com.br/eq-spda	N_G	4,98	
Dimensões da estrutura (m)	Estudo com formato prismático simples - quadrado ou retângulo	L	57,16	16941,49
		W	67,78	
		H	12,00	
	Caso a obra possua formas complexas, informe aqui o valor da área de exposição conforme A.2.1			
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_D	0,50000	Tab. A.1
SPDA instalado	Estrutura não protegida por SPDA	P_E	1,00000	Tab. B.2
Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)		n_t	300	

Fonte: Autor.

Nas Figuras 12 e 13 são calculadas as probabilidades de um dano ser causado na estrutura devido as características da linha de energia e sinal que adentram na edificação, sendo os fatores mais importantes o tipo de blindagem da linha e o fator ambiental em que ela se encontra.

Figura 12 – Parte 2 do gerenciamento de risco da estrutura total.

Tabela E.2: linha 01 (Ex.: Linha de Energia) (Toda Edificação)				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Possui esta linha?	SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura			
Comprimento (m) ^a	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)	$L_{L/p}$	1.000,00	
Fator de Instalação	Aéreo	$C_{V/p}$	1,00000	Tab. A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	$C_{T/p}$	0,20000	Tab. A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,50000	Tab. A.4
Blindagem da linha	Blindada e interligada ao mesmo barramento - $1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	$R_{S/p}$	$10\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	Tab. B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada blindada (energia ou sinal) # Blindagem INTERLIGADA	$C_{LD/p}$	1,00000	Tab. B.4
		$C_{LV/p}$	0,00000	
NOTA 5: * Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de 5 Ω/km , diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm). * Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de sinal utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1 mm). * Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de 1 Ω/km a 5 Ω/km .				
Estrutura adjacente	Nenhuma estrutura Adjacente	$L_{J/p}$	0,00000	Tamanho da estrutura
		$W_{J/p}$	0,00000	
		$H_{J/p}$	0,00000	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	$C_{DJ/p}$	0,00000	Tab. A.1
Tensão suportável do sist. interno (kV)	Tensão suportável UW - 6 kV	$U_{W/p}$	6,00000	Tab. B.8
	Parâmetros resultantes	$K_{S4/p}$	0,16667	Eq. (B.7)
	Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportável	$P_{LD/p}$	0,10000	Tab. B.8
Tipo da linha	Linhas de energia	$P_{LV/p}$	0,10000	Tab. B.9

^a Como o comprimento L_L da seção da linha é desconhecido, $L_L = 1.000$ m é assumido (ver A.4 e A.5).

Fonte: Autor.

Figura 13 – Parte 3 do gerenciamento de risco da estrutura total.

Tabela E.3: linha 02 (Ex.: Linha de Sinal) (Toda Edificação)				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Possui esta linha?	SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura			
Comprimento (m) ^a	Informe o comprimento da linha (m) - (quando não souber = 1.000)	L_{Lt}	1,0000	
Fator de Instalação	Aéreo	C_{It}	1,00000	Tab. A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia BT ou sinal	C_{Tt}	1,00000	Tab. A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,50000	Tab. A.4
Blindagem da linha	Blindada e interligada ao mesmo barramento - $5\Omega/\text{km} < RS \leq 20\Omega/\text{km}$	RS/t	$50\text{km} < RS \leq 20\Omega/\text{km}$	Tab. B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Linha enterrada não blindada # Indefinida	$C_{LD/t}$	1,00000	Tab. B.4
		C_{LIt}	1,00000	
NOTA 5: * Em áreas suburbanas/urbanas, uma linha de energia em BT utiliza tipicamente cabos não blindados enterrados enquanto que uma linha de sinal utiliza cabos blindados enterrados (com um mínimo de 20 condutores, uma resistência da blindagem de $5\Omega/\text{km}$, diâmetros do fio de cobre de 0,6 mm). *Em áreas rurais, uma linha de energia em BT utiliza cabos aéreos não blindados enquanto que as linhas de sinal utilizam cabos não blindados aéreos (diâmetro do fio de cobre: 1 mm). *Uma linha de energia de AT enterrada utiliza tipicamente um cabo blindado com uma resistência da blindagem da ordem de $1\Omega/\text{km}$ a $5\Omega/\text{km}$.				
Estrutura adjacente	Nenhuma estrutura Adjacente	L_{Jt}	0,00000	Informe os tamanhos da estrutura
		W_{Jt}	0,00000	
		H_{Jt}	0,00000	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_{DJt}	0,00000	Tab. A.1
Tensão suportável do sist. interno (kV)	Tensão suportável UW - 4 kV	U_{Wt}	4,00000	Tab. B.8
	Parâmetros resultantes	$KS4t$	0,25000	Eq. (B.7)
	Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportável	P_{LDt}	0,90000	Tab. B.8
Tipo da linha	Linhas de energia	P_{LIt}	0,16000	Tab. B.9

^a Como o comprimento L_L da seção da linha é desconhecido, $L_L = 1.000$ m é assumido (ver A.4 e A.5).

Fonte: Autor.

Com os dados em mãos sobre a parte da estrutura do hospital, separa-se essa estrutura nas zonas 1 e 2 e realiza-se os cálculos.

4.2.2 Cálculo do gerenciamento de risco para a zona 1 (hospital geral)

Abaixo, segue a realização dos cálculos da zona 1, que engloba toda a edificação (exceto Centro Cirúrgico), tanto interna como externa, onde estão incluídos o setor administrativo e recepção, emergência e salas de repouso. As Figuras 14 até 17 mostram os parâmetros de entrada que são utilizados no cálculo de gerenciamento de risco, e, através das equações apresentadas no presente trabalho, faz os cálculos de cada tipo de risco relacionado a cada tipo de perda.

Os cálculos realizados na Figura 14 estão relacionados às características da zona 01, sendo relevantes aqui o tipo de piso apresentado na zona, as medidas de proteção contra choques, que, se houverem, diminuem consideravelmente os riscos na edificação.

Figura 14 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 1: Zona de exposição.

ANÁLISE DA ZONA: Hospital Geral					
Características da Zona de Exposição - Zona 01 : Hospital Geral					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	r1	1,00E-03	Tab. C.3	
Proteção contra choque (desc. na estrut.)	Nenhuma medida de proteção	PTA	1,00	Tab. B.1	
Proteção contra choque (desc. na linha)	Nenhuma medida de proteção	PTU	1,00	Tab. B.6	
Risco de incêndio ou Explosão	Risco NORMAL de incêndio	r1	1,00E-02	Tab. C.5	
Proteção contra incêndio	extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrante	rp	0,50	Tab. C.4	
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2	Blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1 mm				
	wm1 (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA	wm1	0,00000	Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR5419-2	
	wm2 (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA	wm2	0,00000		
	Ks1 = 0,12 × wm1	Ks1	0,00010	Eq. (B.5)	
	Ks2 = 0,12 × wm2	Ks2	0,00010	Eq. (B.6)	
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	Ks3p	1,0000	Tab. B.5
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	Ks3t	1,0000	Tab. B.5
Sistema de DPS	DPS	DPS - III-IV	PEB	0,050	Tab. B.7
	DPS coordenados	Sistema de DPS coordenado - III-IV	PSPD	0,050	Tab. B.3

Fonte: Autor.

A Figura 15 apresenta os cálculos dos riscos relacionados ao tipo de perda L1. Aqui são atribuídos como perigos especiais: a dificuldade de evacuação devido a estrutura ser um edifício hospitalar, o número de pessoas na zona e o período em que ficam no hospital durante o ano, o que pode aumentar os riscos na zona específica.

Figura 15 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 1: Risco L1.

Tipos de Perdas inaceitável de vida Humana - L1 -Zona 01 : Hospital Geral						
	Tipo de perigo especial	Descrição (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	h _z	5,00	Tab. C.6	
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	D1 ferimentos # Todos os tipos		LT	1,00E-02		
	Danos Físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico, residências	LF1	1,00E-01	Tab. C.2	
	Falhas de sistemas int.	Outras partes de hospital	LO1	1,00E-03		
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo		n _z	265	informe os valores
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)		n ₁	300	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada		Thor	24	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada		Tdia	365	
	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso		t _z	8760		
Parâmetros resultantes L1	$LU = LA = r_1 \times LT \times n_z / n_1 \times t_z / 8760$		LU = LA	8,83E-06	Eq. (C.1)	
	$LB = LV = r_p \times r_1 \times h_z \times LF \times n_z / n_1 \times t_z / 8760$		LB = LV	2,21E-03	Eq. (C.3)	
	$LC1 = LM = LW = LZ = LO1 \times n_z / n_1 \times t_z / 8760$ - calcular quando man		LC = LM = LW = LZ	8,83E-04	Eq. (C.4)	
	RA = ND × PA × LA		RA	3,72E-07	(6)	
	RB = ND × PB × LB		RB	9,31E-05	(7)	
	RC = ND × PC × LC		RC	0,00E+00	(8)	
	RM = NM × PM × LM		RM	0,00E+00	(9)	
	RUP = (NLP + NDLP) × PUP × LU		RUP	8,79E-11	(10)	
	RUT = (NLT + NDLT) × PUT × LU		RUT	3,96E-08	(10)	
	RU = RUP + RUT		RU	3,97E-08	(10)	
	RVP = (NLP + NDLP) × PVP × LV		RVP	2,20E-08	(11)	
	RVIT = (NLT + NDLT) × PVIT × LV		RVIT	9,89E-06	(11)	
	RV = RVP + RVIT		RV	9,92E-06	(11)	
	RWP = (NLP + NDLP) × PWP × LW		RWP	8,79E-09	(12)	
	RWIT = (NLT + NDLT) × PWIT × LW		RWIT	3,96E-06	(12)	
	RW = RWP + RWIT		RW	3,97E-06	(12)	
	RZP = NLP × PZP × LZ		RZP	0,00E+00	(13)	
RZIT = NLT × PZIT × LZ		RZIT	7,04E-05	(13)		
RZ = RZP + RZIT		Rz	7,04E-05	(13)		

Fonte: Autor.

Na Figura 16 são mostrados os cálculos dos riscos relacionados ao tipo de perda L2 e L3. Nesse cálculo, é colocado que o hospital serve como um tipo de serviço ao público e a partir disso, são calculadas as componentes de risco. Já os riscos de perdas ao patrimônio cultural não foram contabilizados no estudo, já que o hospital não se trata de um edifício tombado.

Figura 16 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 1: Riscos L2 e L3.

Tipos de Perdas Inaceitável de serviço ao Público - L2 - Zona 01 : Hospital Geral					
L2: Perda em serviço ao público.	Atendimento ao público?	SIM, EXISTE atendimento ao público.			
	D2 danos físicos	Gás, água, fornecimento de energia	LF2	1,00E-01	
	D3 falhas de sistemas internos	Gás, água, fornecimento de energia	LO2	1,00E-02	Tab.C.8
Parâmetros resultantes L2 NOTA Para efeitos da ABNT NBR 5419, somente são considerados serviços ao público os suprimentos de água, gás, energia e sinais de TV e telecomunicações. (ABNT NBR 5419/01 - Item 5.2 - pág. 12)	$LB2 = LV = rp \times rf \times LF \times nZ / nt$		$LB = LV$		4,42E-04 Eq. (C.7)
	$LC2 = LM = LW = LZ = LO2 \times nZ / nt$		$LC = LM = LW = LZ$		8,83E-03 Eq. (C.8)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB	1,86E-05	(7)
	$RC = ND \times PC \times LC$		RC	0,00E+00	(8)
	$RM = NM \times PM \times LM$		RM	0,00E+00	(9)
	$RVIP = (NLP + NDJP) \times PVIP \times LV$		RVIP	4,40E-09	(11)
	$RVIT = (NLT + NDJT) \times PVIT \times LV$		RVIT	1,98E-06	(11)
	$Rv = RVIP + RVIT$		Rv	1,98E-06	(11)
	$RWIP = (NLP + NDJP) \times PWP \times LW$		RWIP	8,79E-08	(12)
	$RWIT = (NLT + NDJT) \times PWIT \times LW$		RWIT	3,96E-05	(12)
	$Rw = RWIP + RWIT$		Rw	3,97E-05	(12)
	$RZP = NVP \times PZP \times LZ$		RZP	0,00E+00	(13)
	$RZT = NVT \times PZT \times LZ$		RZT	7,04E-04	(13)
$Rz = RZP + RZT$		Rz	7,04E-04	(13)	
Tipos de perdas inaceitável de patrimônio cultural - L3 - Zona 01 : Hospital Geral					
Patrimônio cultural	Obra Comum: NÃO há risco de perda de patrimônio cultural		LF3	0,00000	Tab.C.10
Valores	Cz - valor do patrimonio cultural na zona (em milhões)		Cz	0,00000	Informe valores
	Ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)		Ct	50,00000	
Parâmetros resultantes L3	$LB3 = LV = rp \times rf \times LF \times Cz / Ct$		$LB = LV$		0,00E+00 Eq. (C.9)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB	0,00E+00	(7)
	$RVIP = (NLP + NDJP) \times PVIP \times LV$		RVIP	0,00E+00	(11)
	$RVIT = (NLT + NDJT) \times PVIT \times LV$		RVIT	0,00E+00	(11)
$Rv = RVIP + RVIT$		Rv	0,00E+00	(11)	

Fonte: Autor.

A Figura 17 mostra os cálculos dos riscos relacionados ao tipo de perda L4. Aqui, o parâmetro de entrada mais relevante para o gerenciamento de risco é o valor econômico interno a zona 1, sendo ele estrutural ou por meio dos equipamentos que compõem essa zona.

Figura 17 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 1: Risco L4.

Tipos de perdas inaceitável de valor econômico - L4 - Zona 01 : Hospital Geral				
Perdas Valor Econômico	COM avaliação econômica	rt	1,00E-03	
Danos Físicos	Hospital, industrial, museu, agricultura	LF4	5,00E-01	Tab. C.12
Esta zona contém Animais?	NÃO CONTÉM Animais nesta estrutura			
Valores	ca- Valor dos animais em uma zona, (em milhões)	ca	0,00000	informe valores
	ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)	ct	50,00000	
	LT - valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso	LT	1,00E-02	Tab. C.12
	Lo - valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso	Lo	1,00E-02	Tab. C.12
	cb - valor da edificação relevante à zona (em milhões)	cb	30,00000	informe valores
	cc - valor do conteúdo da zona (em milhões)	cc	10,00000	
	cs - valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona (em milhões)	cs	10,00000	
Parâmetros resultantes L4	$LA=LU = rt \times LT \times ca / ct$	LA	0,00E+00	Eq. (C.10)
	$LB = LV = rp \times rf \times LF \times (ca + cb + cc + cs) / ct$	LB	2,50E-03	Eq. (C.12)
	$LC = LM = LW = LZ = LO \times cs / ct$	LC	2,00E-03	Eq. (C.13)
	$RA=ND \times PA \times LA$	RA	0,00E+00	(6)
	$RB=ND \times PB \times LB$	RB	1,05E-04	(7)
	$RC=ND \times PC \times LC$	RC	0,00E+00	(8)
	$RM=NM \times PM \times LM$	RM	0,00E+00	(9)
	$RUP = (NUP + NDJP) \times PUP \times LU$	RUP	0,00E+00	(10)
	$RU/T = (NUT + NDJT) \times PUT \times LU$	RU/T	0,00E+00	(10)
	$RU = RUP+RU/T$	RU	0,00E+00	(10)
	$RVIP = (NUP + NDJP) \times PVIP \times LV$	RVIP	2,49E-08	(11)
	$RVIT = (NUT + NDJT) \times PVIT \times LV$	RVIT	1,12E-05	(11)
	$RV = RVIP+RVIT$	RV	1,12E-05	(11)
	$RWIP = (NUP + NDJP) \times PWiFi \times LW$	RWIP	1,99E-08	(12)
	$RWIT = (NUT + NDJT) \times PWiFi \times LW$	RWIT	8,96E-06	(12)
	$RW = RWIP+RWIT$	RW	8,96E-06	(12)
	$RZ/P = NUP \times PZ/P \times LZ$	RZ/P	0,00E+00	(13)
	$RZ/T = NUT \times PZ/T \times LZ$	RZ/T	1,59E-04	(13)
	$RZ = RZ/P+RZ/T$	RZ	1,59E-04	(13)

Fonte: Autor.

4.2.3 Cálculo do gerenciamento de risco para a zona 2 (centro cirúrgico)

Nesta seção, realiza-se os cálculos da zona 2, que engloba o centro cirúrgico, que contém 5 salas de cirurgia mais uma de pós-operatório. As Figuras 18 até 21 mostram os mesmos parâmetros que foram levantados para a primeira zona na seção anterior.

Os cálculos realizados na Figura 18 estão relacionados às características da zona 02, centro cirúrgico, sendo relevantes aqui o tipo de piso apresentado na zona e as medidas de proteção contra choques, que, se houverem, diminuem consideravelmente os riscos na edificação.

Figura 18 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Zona de exposição.

ANÁLISE DA ZONA 2: Centro Cirúrgico					
Características da Zona de Exposição - Zona 02 : Centro Cirúrgico					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	r_1	1,00E-03	Tab. C.3	
Proteção contra choque (desc. na estrut.)	Nenhuma medida de proteção	P_{TA}	1,00	Tab. B.1	
Proteção contra choque (desc. na linha)	Nenhuma medida de proteção	P_{TU}	1,00	Tab. B.6	
Risco de incêndio ou Explosão	Risco NORMAL de Incêndio	r_f	1,00E-02	Tab. C.5	
Proteção contra incêndio	Nenhuma providência	r_p	1,00	Tab. C.4	
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2	SEM blindagem espacial				
	w_{m1} (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA	w_{m1}	0,00000	Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR5419-2	
	w_{m2} (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA	w_{m2}	0,00000		
	$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1}$	K_{S1}	1,00000	Eq. (B.5)	
	$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2}$	K_{S2}	1,00000	Eq. (B.6)	
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	K_{S3b}	1,0000	Tab. B.5
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	K_{S3a}	1,0000	Tab. B.5
Sistema de DPS	DPS	DPS - II	P_{EB}	0,020	Tab. B.7
	DPS coordenados	Sistema de DPS coordenado - III-IV	P_{SPO}	0,050	Tab. B.3

Fonte: Autor.

Na Figura 19 são mostrados os cálculos dos riscos relacionados ao tipo de perda L1. Aqui são atribuídos como perigos especiais: a dificuldade de evacuação devido a zona se tratar de um centro cirúrgico, tendo apenas uma entrada e saída, além do número de pessoas na zona e o período em que ficam no hospital durante o ano, o que pode aumentar os riscos na zona específica.

Figura 19 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Risco L1.

Tipos de Perdas Inaceitável de vida Humana - L1 - Zona 02: Centro Cirúrgico						
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	h_z	5,00	Tab. C.6	
		D1 ferimentos # Todos os tipos	L_T	1,00E-02		
		Danos Físicos	Hospital, hotel, escola, edifício clínico, residências	L_{F1}	1,00E-01	Tab. C.2
		Falhas de sistemas int.	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital	L_{O1}	1,00E-02	
	Fator para pessoas na Zona		Número de pessoas na zona de perigo	n_z	45	informe os valores
			Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	n_t	300	
			Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	T_{hor}	8	
		Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada	T_{dia}	365		
		Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	t_z	2920		
Parâmetros resultantes L1		$LU = LA = n_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	$LU = LA$	5,00E-07	Eq. (C.1)	
		$LB = LV = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760$	$LB = LV$	2,50E-04	Eq. (C.3)	
		$LC1 = LM = LW = LZ = L_{O1} \times n_z / n_t \times t_z / 8760$ - calcular quando mais de uma Zona	$LC = LM = LW = LZ$	5,00E-04	Eq. (C.4)	
		$RA = ND \times PA = LA$	RA	2,11E-08	(6)	
		$RB = ND \times PB = LB$	RB	1,05E-05	(7)	
		$RC = ND \times PC = LC$	RC	0,00E+00	(8)	
		$RM = NM \times PM = LM$	RM	1,02E-05	(9)	
		$RUP = (NLP + NDUF) \times PUP \times LU$	RUP	1,99E-12	(10)	
		$RU/T = (NLT + NDU/T) \times PWT \times LU$	RU/T	8,96E-10	(10)	
		$RU = RUP + RU/T$	RU	8,96E-10	(10)	
		$RVP = (NLP + NDUF) \times PVP \times LV$	RVP	9,96E-10	(11)	
		$RV/T = (NLT + NDU/T) \times PVT \times LV$	RV/T	4,48E-07	(11)	
		$RV = RVP + RV/T$	RV	4,49E-07	(11)	
		$RWP = (NLP + NDUF) \times PWP \times LW$	RWP	4,98E-09	(12)	
		$RWT = (NLT + NDU/T) \times PWT \times LW$	RWT	2,24E-06	(12)	
		$RW = RWP + RWT$	RW	2,25E-06	(12)	
		$RZP = NIP \times PZP \times LZ$	RZP	0,00E+00	(13)	
	$RZ/T = NIT \times PZ/T \times LZ$	RZ/T	3,98E-05	(13)		
	$RZ = RZP + RZ/T$	RZ	3,98E-05	(13)		

Fonte: Autor.

Na Figura 20 são mostrados os cálculos do risco relacionado do tipo de perda L2 e L3. No cálculo é colocado que a zona está dentro de uma edificação que serve como um tipo de serviço ao público e a partir disso, são calculadas as componentes de risco. Já os riscos de perdas ao patrimônio cultural não foram contabilizados no estudo.

Figura 20 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Riscos L2 e L3.

Tipos de Perdas inaceitável de serviço ao Público - L2 - Zona 02 : Centro Cirúrgico						
L2: Perda em serviço ao público.	Atendimento ao público?	SIM, EXISTE atendimento ao público.				
	D2 danos físicos	Gás, água, fornecimento de energia		LF2	1,00E-01	
	D3 falhas de sistemas internos	Gás, água, fornecimento de energia		L02	1,00E-02	
Parâmetros resultantes L2 NOTA Para efeitos da ABNT NBR 5419, somente são considerados serviços ao público os suprimentos de água, gás, energia e sinais de TV e telecomunicações. (ABNT NBR 5419/01 - Item 5.2 - pág. 12)	$LB2 = LV = ip \times if \times LF \times nZ / nt$		$LB = LV$		1,50E-04	Eq. (C.7)
	$LC2 = LM = LW = LZ = L02 \times nZ / nt$		$LC = LM = LW = LZ$		1,50E-03	Eq. (C.8)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB		6,33E-06	(7)
	$RC = ND \times PC \times LC$		RC		0,00E+00	(8)
	$RM = NM \times PM \times LM$		RM		3,07E-05	(9)
	$RVIP = (NUP + NDUIP) \times PVIP \times LV$		RVIP		5,97E-10	(11)
	$RVIT = (NUT + NDUIT) \times PVIT \times LV$		RVIT		2,69E-07	(11)
	$RV = RVIP + RVIT$		RV		2,69E-07	(11)
	$RWIP = (NUP + NDUIP) \times PWP \times LW$		RWIP		1,49E-08	(12)
	$RWIT = (NUT + NDUIT) \times PUIT \times LW$		RWIT		6,72E-06	(12)
	$RW = RWIP + RWIT$		RW		6,74E-06	(12)
	$RZP = NP \times PZP \times LZ$		RZP		0,00E+00	(13)
	$RZIT = NIT \times PZIT \times LZ$		RZIT		1,19E-04	(13)
	$RZ = RZP + RZIT$		RZ		1,19E-04	(13)

Tipos de perdas inaceitável de patrimonio cultural - L3 - Zona 02 : Centro Cirúrgico						
Patrimônio cultural	Obra Comum: NÃO há risco de perda de patrimônio cultural		LF3	0,00000	Tab. C.10	
Valores	Cz - valor do patrimonio cultural na zona (em milhões)		Cz	0,05000	informe valores	
	Ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)		Ct	50,00000		
Parâmetros resultantes L3	$LB3 = LV = ip \times if \times LF \times Cz / Ct$		$LB = LV$		0,00E+00	Eq. (C.9)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB		0,00E+00	(7)
	$RVIP = (NUP + NDUIP) \times PVIP \times LV$		RVIP		0,00E+00	(11)
	$RVIT = (NUT + NDUIT) \times PVIT \times LV$		RVIT		0,00E+00	(11)
$RV = RVIP + RVIT$		RV		0,00E+00	(11)	

Fonte: Autor.

Na Figura 21 são mostrados os cálculos do risco relacionado ao tipo de perda L4. Aqui, o parâmetro de entrada mais relevante para o gerenciamento de risco é o valor econômico interno a zona 2, principalmente por conta dos equipamentos mais sensíveis e maior complexidade tecnológica que há na zona especificada.

Figura 21 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Risco L4.

Tipos de perdas inaceitável de valor econômico - L4 - Zona 02 : Centro Cirúrgico				
Perdas Valor Econômico	COM avaliação econômica	rt	1,00E-03	
Danos Físicos	Hospital, industrial, museu, agricultura	Lf4	5,00E-01	Tab. C.12
Esta zona contém Animais?	NÃO CONTEM Animais nesta estrutura			
Valores	ca - Valor dos animais em uma zona. (em milhões)	ca	0,00000	informe valores
	ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)	ct	20,00000	
	Lt - valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso	Lt	1,00E-02	Tab. C.12
	Lo - valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso	Lo	1,00E-02	Tab. C.12
	cb - valor da edificação relevante à zona (em milhões)	cb	15,00000	
	cc - valor do conteúdo da zona (em milhões)	cc	2,50000	informe valores
Parâmetros resultantes L4	cs - valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona (em milhões)	cs	2,50000	
		LA	0,00E+00	Eq. (C.10)
		LB	5,00E-03	Eq. (C.12)
		LC	1,25E-03	Eq. (C.13)
	$RA=ND \times PA \times LA$	RA	0,00E+00	(6)
	$RB=ND \times PB \times LB$	RB	2,11E-04	(7)
	$RC=ND \times PC \times LC$	RC	0,00E+00	(8)
	$RM=NM \times PM \times LM$	RM	2,55E-05	(9)
	$RUP=(NLP+NDLP) \times PUP \times LU$	RUP	0,00E+00	(10)
	$RUT=(NLT+NDLT) \times PUT \times LU$	RUT	0,00E+00	(10)
	$RU=RUP/RUT$	RU	0,00E+00	(10)
	$RVP=(NLP+NDLP) \times PVP \times LV$	RVP	1,99E-08	(11)
	$RVT=(NLT+NDLT) \times PVT \times LV$	RVT	8,96E-06	(11)
	$Rv=RVP/RVT$	Rv	8,98E-06	(11)
	$RWP=(NLP+NDLP) \times PWP \times LW$	RWP	1,24E-08	(12)
	$RWT=(NLT+NDLT) \times PWT \times LW$	RWT	5,60E-06	(12)
	$RW=RWP/RWT$	RW	5,61E-06	(12)
	$RZP=NvP \times PZP \times LZ$	RZP	0,00E+00	(13)
	$RZT=NvT \times PZT \times LZ$	RZT	9,96E-05	(13)
	$Rz=RZP/RZT$	Rz	9,96E-05	(13)

Fonte: Autor.

4.2.4 Resultado do gerenciamento de riscos das zonas juntas

Após realização do gerenciamento de risco das zonas separadas, tem-se um “relatório” da edificação com os dados das zonas se complementando, como mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Resultado do gerenciamento de risco.

RESULTADO EDIFICAÇÃO COMPLETO												
Combinações e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)									Resultado			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ				
R1=	3,89E-07	1,01E-04	0,00E+00	7,95E-06	4,22E-08	1,10E-05	5,83E-06	1,01E-04	22,786 E-5	0,00022785773403479200	1,00E-05	SIM
R2=	-	2,35E-05	0,00E+00	2,38E-05	-	2,56E-06	4,58E-05	7,96E-04	0,892 E-3	0,00089221979425394600	1,00E-03	NÃO
R3=	-	0,00E+00	-	-	-	0,00E+00	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	0,00E+00	3,16E-04	0,00E+00	2,55E-05	0,00E+00	3,43E-05	1,49E-05	2,59E-04	0,65 E-3	0,00064988835901164000	1,00E-03	NÃO
R1 - Perda de Vida	Avaliação conforme 5.5			R1 - Perda de Vida								
	R>RT?			Sim - Necessita de Proteção								
	Há SPDA instalado?			NÃO								
	Instalar ou aumentar o nível de proteção do sistema de SPDA ou DPS, afim de reduzir o risco a nível tolerável.											
R2 - Perda Serviço Público	Avaliação conforme 5.5			R2 - Perda Serviço Público								
	R>RT?			Não - Estrutura protegida								
	Há SPDA instalado?			NÃO								
	Estrutura devidamente protegida.											
R4 - Perda Econômica	Avaliação conforme 5.5			R4 - Perda Econômica								
	R>RT?			Não - Estrutura protegida								
	Há SPDA instalado?			NÃO								
	Estrutura devidamente protegida.											

Fonte: Autor.

4.3 CÁLCULO DO GERENCIAMENTO DE RISCO DO NOVO SISTEMA

Após realização do primeiro cálculo de risco e sua análise final, foi visto que, apesar de estar com o risco acima do tolerável, poucas mudanças precisam ser feitas no projeto da edificação. Como mostrado na Figura 22, o risco mais considerável no cálculo do risco total é o RM, e, segundo as Tabelas 12 e 13, alguns modos de diminuir esse fator são: aumentar, tanto o nível de SPDA quanto a precaução de roteamento de cabos, fazendo com que se diminua a existência de laços entre os condutores e conseqüentemente diminui-se a chance de haver uma corrente induzida através dos mesmos.

Com base nisso, o cálculo de gerenciamento de risco para a aplicação do projeto de SPDA na edificação foi realizado da forma como segue nos próximos tópicos.

4.3.1 Cálculo do gerenciamento de risco da estrutura total

Como indicado pela Figura 23, a estrutura recebeu um SPDA mais robusto, agora de nível II, o que acarretará em alguns parâmetros específicos no projeto do sistema a ser implementado mais à frente. Nas partes 2 e 3 da estrutura não houve mudanças em relação ao cálculo realizado na seção 4.2.1. A Figura 23 mostra, nos comentários sobre os parâmetros de entrada, a mudança que foi realizada em relação ao cálculo anterior, que não tinha o SPDA instalado na edificação e agora é projetado um SPDA do tipo II.

Figura 23 – Parte 1 do novo gerenciamento de risco para estrutura total.

Tabela E.1: características da estrutura e meio ambiente (Toda Edificação)				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)	https://www.pabloguimaraes-professor.com.br/ng-spda	NG	4,98	
Dimensões da estrutura (m)	Estudo com formato prismático simples - quadrado ou retângulo	L	57,16	16941,49
		W	67,78	
		H	12,00	
	Caso a obra possua formas complexas, informe aqui o valor da área de exposição conforme A 2.1			
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	CD	0,50000	Tab. A.1
SPDA instalado	Estrutura protegida por SPDA II	Pe	0,05000	Tab. B.2
Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)		nt	300	

Fonte: Autor.

4.3.2 Cálculo do novo gerenciamento de risco para a zona 1 (hospital geral)

Junto com o aumento do nível de proteção, outras mudanças realizadas no gerenciamento de riscos foram, como destacados na Figura 24, a colocação de avisos de alerta perto dos fios de entrada da edificação, a colocação de extintores e alarmes manuais para a proteção contra incêndios. Além disso, como falado anteriormente, há uma preocupação maior no roteamento de cabos a fim de diminuir os laços e também houve uma mudança nos DPS, já que antes não havia e agora há um DSP do tipo II junto com sistema de DPS coordenado na estrutura.

Figura 24 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 1: Zona de exposição.

Características da Zona de Exposição - Zona 01 : Hospital Geral					
Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Ref.
Tipo de piso		Mármore, cerâmica	r_t	1,00E-03	Tab. C.3
Proteção contra choque (desc. na estrut.)		Avisos de alerta	P_{TA}	0,10	Tab. B.1
Proteção contra choque (desc. na linha)		Restrições físicas	P_{TU}	0,00	Tab. B.6
Risco de incêndio ou Explosão		Risco NORMAL de Incêndio	r_f	1,00E-02	Tab. C.5
Proteção contra incêndio		instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático a	r_p	0,20	Tab. C.4
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2		SEM blindagem espacial			
		w m1 (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA	w_{m1}	0,00000	Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR5419-2
		w m2 (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA	w_{m2}	0,00000	
		$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1}$	K_{S1}	1,00000	Eq. (B.5)
		$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2}$	K_{S2}	1,00000	Eq. (B.6)
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	$K_{S3/p}$	1,0000	Tab. B.5
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	$K_{S3/t}$	1,0000	Tab. B.5
Sistema de DPS	DPS	DPS - II	P_{EB}	0,020	Tab. B.7
	DPS coordenados	NOTA 2 - 0,005 - Sistema de DPS coordenado	P_{SPD}	0,005	Tab. B.3

Fonte: Autor.

Como mostram as Figuras 25, 26 e 27 os parâmetros de entrada para essa zona não foram modificados em relação ao cálculo da seção anterior, mas os riscos são alterados em decorrência da presença de um SPDA e também da inserção de DPS tipo I no quadro de distribuição da zona.

Figura 25 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 1: Risco L1.

Tipos de Perdas inaceitável de vida Humana - L1 -Zona 01 : Hospital Geral						
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	h_z	5,00	Tab C.6	
		D1 ferimentos # Todos os tipos	L_T	1,00E-02		
	Danos Físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico, residências	L_{F1}	1,00E-01	Tab C.2	
	Falhas de sistemas int.	Outras partes de hospital	L_{O1}	1,00E-03		
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo		n_z	265	informe os valores
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)		n_t	300	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada		$Thor$	24	
Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada			$Tdia$	365		
	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso		t_z	8760		
Parâmetros resultantes L1	$LU = LA = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$		$LU = LA$		8,83E-06	Eq. (C.1)
	$LB = LV = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760$		$LB = LV$		2,21E-03	Eq. (C.3)
	$LC1 = LM = LW = LZ = L_{O1} \times n_z / n_t \times t_z / 8760$ - calcular quando mais		$LC = LM = LW = LZ$		8,83E-04	Eq. (C.4)
	$RA = ND \times PA \times LA$		RA	1,86E-09	(6)	
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB	4,66E-06	(7)	
	$RC = ND \times PC \times LC$		RC	0,00E+00	(8)	
	$RM = NM \times PM \times LM$		RM	7,23E-08	(9)	
	$RUP = (NUP + NDUP) \times PUP \times LU$		RUP	0,00E+00	(10)	
	$RUT = (NUT + NOUT) \times PUT \times LU$		RUT	0,00E+00	(10)	
	$RU = RUP + RUT$		RU	0,00E+00	(10)	
	$RVIP = (NUP + NDUP) \times PVIP \times LV$		$RVIP$	8,79E-09	(11)	
	$RVIT = (NUT + NOUT) \times PVIT \times LV$		$RVIT$	7,92E-08	(11)	
	$Rv = RVIP + RVIT$		Rv	8,79E-08	(11)	
	$RWIP = (NUP + NDUP) \times PwIP \times LW$		$RwIP$	8,79E-10	(12)	
	$RWIT = (NUT + NOUT) \times PwIT \times LW$		$RwIT$	7,92E-09	(12)	
	$Rw = RWIP + RWIT$		Rw	8,79E-09	(12)	
	$RZP = NUP \times PzP \times LZ$		RzP	0,00E+00	(13)	
	$RZIT = NUT \times PzIT \times LZ$		$RzIT$	1,41E-07	(13)	
	$Rz = RZP + RZIT$		Rz	1,41E-07	(13)	

Fonte: Autor.

Figura 26 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 1: Riscos L2 e L3.

Tipos de Perdas inaceitável de serviço ao Público - L2 - Zona 01 : Hospital Geral						
L2: Perda em serviço ao público.	Atendimento ao público?	SIM, EXISTE atendimento ao público.				
	D2 danos físicos	Gás, água, fornecimento de energia	$LF2$	1,00E-01		
	D3 falhas de sistemas internos	Gás, água, fornecimento de energia	$LO2$	1,00E-02	Tab C.8	
Parâmetros resultantes L2	$LB2 = LV = r_p \times r_f \times L_F \times n_z / n_t$		$LB = LV$		4,42E-04	Eq. (C.7)
	$LC2 = LM = LW = LZ = L_{O2} \times n_z / n_t$		$LC = LM = LW = LZ$		8,83E-03	Eq. (C.8)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB	9,31E-07	(7)	
	$RC = ND \times PC \times LC$		RC	0,00E+00	(8)	
	$RM = NM \times PM \times LM$		RM	7,23E-07	(9)	
	$RVIP = (NUP + NDUP) \times PVIP \times LV$		$RVIP$	1,76E-09	(11)	
	$RVIT = (NUT + NOUT) \times PVIT \times LV$		$RVIT$	1,58E-08	(11)	
	$Rv = RVIP + RVIT$		Rv	1,76E-08	(11)	
	$RWIP = (NUP + NDUP) \times PwIP \times LW$		$RwIP$	8,79E-09	(12)	
	$RWIT = (NUT + NOUT) \times PwIT \times LW$		$RwIT$	7,92E-08	(12)	
	$Rw = RWIP + RWIT$		Rw	8,79E-08	(12)	
	$RZP = NUP \times PzP \times LZ$		RzP	0,00E+00	(13)	
	$RZIT = NUT \times PzIT \times LZ$		$RzIT$	1,41E-06	(13)	
$Rz = RZP + RZIT$		Rz	1,41E-06	(13)		
Tipos de perdas inaceitável de patrimônio cultural - L3 - Zona 01 : Hospital Geral						
Patrimônio cultural	Obra Comum: NÃO há risco de perda de patrimônio cultural		$LF3$	0,00000	Tab C.10	
Valores	Cz - valor do patrimonio cultural na zona (em milhões)		Cz	0,00000	informe valores	
	Ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)		Ct	50,00000		
Parâmetros resultantes L3	$LB3 = LV = r_p \times r_f \times L_F \times Cz / Ct$		$LB = LV$		0,00E+00	Eq. (C.9)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB	0,00E+00	(7)	
	$RVIP = (NUP + NDUP) \times PVIP \times LV$		$RVIP$	0,00E+00	(11)	
	$RVIT = (NUT + NOUT) \times PVIT \times LV$		$RVIT$	0,00E+00	(11)	
	$Rv = RVIP + RVIT$		Rv	0,00E+00	(11)	

Fonte: Autor.

Figura 27 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 1: Risco L4.

Tipos de perdas inaceitável de valor econômico - L4 - Zona 01 : Hospital Geral				
Perdas Valor Econômico	COM avaliação econômica	rt	1,00E-03	
Danos Físicos	Hospital, industrial, museu, agricultura	LF4	5,00E-01	Tab. C.12
Esta zona contém Animais?	NÃO CONTÉM Animais nesta estrutura			
Valores	ca - Valor dos animais em uma zona, (em milhões)	ca	0,00000	informe valores
	ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)	ct	50,00000	
	LT - valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso	LT	1,00E-02	Tab. C.12
	Lo - valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso	Lo	1,00E-02	Tab. C.12
	cb - valor da edificação relevante à zona (em milhões)	cb	30,00000	
	cc - valor do conteúdo da zona (em milhões)	cc	10,00000	informe valores
Parâmetros resultantes L4	cs - valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona (em milhões)	cs	10,00000	
	$LA=LU = rt \times LT \times ca / ct$	LA	0,00E+00	Eq. (C.10)
	$LB = LV = rp \times rf \times LF \times (ca + cb + cc + cs) / ct$	LB	2,50E-03	Eq. (C.12)
	$LC = LM = LW = LZ = LO \times cs / ct$	LC	2,00E-03	Eq. (C.13)
	$RA=ND \times PA \times LA$	RA	0,00E+00	(6)
	$RB=ND \times PB \times LB$	RB	5,27E-06	(7)
	$RC=ND \times PC \times LC$	RC	0,00E+00	(8)
	$RM=NM \times PM \times LM$	RM	1,64E-07	(9)
	$RUIP = (NUIP + NDUIP) \times PUIP \times LU$	RUIP	0,00E+00	(10)
	$RUIT = (NUIP + NDUIP) \times PUIT \times LU$	RUIT	0,00E+00	(10)
	$RU = RUIP+RUIT$	RU	0,00E+00	(10)
	$RVIP = (NUIP + NDUIP) \times PVIIP \times LV$	RVIP	9,96E-09	(11)
	$RVIT = (NUIP + NDUIP) \times PVIIT \times LV$	RVIT	8,96E-08	(11)
	$RV = RVIP+RVIT$	RV	9,96E-08	(11)
	$RWIP = (NUIP + NDUIP) \times PWIP \times LW$	RWIP	1,99E-09	(12)
	$RWIT = (NUIP + NDUIP) \times PWIT \times LW$	RWIT	1,79E-08	(12)
	$RW = RWIP+RWIT$	RW	1,99E-08	(12)
	$RZIP = NUIP \times PZIP \times LZ$	RZIP	0,00E+00	(13)
	$RZIT = NUIP \times PZIT \times LZ$	RZIT	3,19E-07	(13)
	$RZ = RZIP+RZIT$	RZ	3,19E-07	(13)

Fonte: Autor.

4.3.3 Cálculo do novo gerenciamento de risco para a zona 2 (Centro Cirúrgico)

Como mostra a Figura 28, as mesmas mudanças realizadas na zona 1 foram também realizadas na zona 2.

Figura 28 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 2: Zona de exposição.

Características da Zona de Exposição - Zona 02 : Centro Cirúrgico					
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref.	
Tipo de piso	Mármore, cerâmica	rt	1,00E-03	Tab. C.3	
Proteção contra choque (desc. na estrut.)	Nenhuma medida de proteção	P _{TA}	1,00	Tab. B.1	
Proteção contra choque (desc. na linha)	Nenhuma medida de proteção	P _{TU}	1,00	Tab. B.6	
Risco de incêndio ou Explosão	Risco NORMAL de Incêndio	rf	1,00E-02	Tab. C.5	
Proteção contra incêndio	instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático a	rp	0,20	Tab. C.4	
Blindagem espacial Interna Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR 5419-2	SEM blindagem espacial				
	w _{m1} (m) são as larguras da blindagem em forma de grade, ou dos condutores de descidas do SPDA	w _{m1}	0,00000	Ver item "B.5" pag. 43 e 44 da NBR5419-2	
	w _{m2} (m) são as larguras da blindagem em forma de grade ou dos condutores de descidas do SPDA	w _{m2}	0,00000		
	$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1}$	K _{S1}	1,00000	Eq. (B.5)	
	$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2}$	K _{S2}	1,00000	Eq. (B.6)	
Fiação interna	Energia (LINHA 01)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	K _{S3p}	1,0000	Tab. B.5
	Sinal (LINHA 02)	Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços (a)	K _{S3t}	1,0000	Tab. B.5
Sistema de DPS	DPS	DPS - II	PEB	0,020	Tab. B.7
	DPS coordenados	Sistema de DPS coordenado - II	P _{SPD}	0,020	Tab. B.3

Fonte: Autor.

Como mostram as Figuras 29, 30 e 31 os parâmetros de entrada para essa zona não foram modificados em relação ao cálculo da seção anterior, mas os riscos são alterados em

decorrência da presença de um SPDA e também da inserção de DPS tipo II no quadro de distribuição da zona.

Figura 29 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 2: Risco L1.

Tipos de Perdas inaceitável de vida Humana - L1 - Zona 02: Centro Cirúrgico					
L1: perda de vida humana (C.3) - Entrada de Dados	Tipo de perigo especial	Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	hz	5,00	Tab. C.6
		D1 ferimentos # Todos os tipos	LT	1,00E-02	
	Danos Físicos	Hospital, hotel, escola, edifício chác, residências	LF1	1,00E-01	Tab. C.2
	Falhas de sistemas int.	Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital	LO1	1,00E-02	
	Fator para pessoas na Zona	Número de pessoas na zona de perigo	nz	45	informe os valores
		Número total de pessoas na estrutura inteira (ver norma de taxa de ocupação)	nt	300	
		Horas por dia em que a edificação se mantém ocupada	Thor	9	
Total em dias por ano que a edificação se mantém ocupada		Tdia	365		
	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso	tz	3285		
Parâmetros resultantes L1	$LU = LA = nt \times LT \times nz / nt \times tz / 8\ 760$		LU = LA	5,63E-07	Eq. (C.1)
	$LB = LV = rp \times rf \times hz \times LF \times nz / nt \times tz / 8\ 760$		LB = LV	1,41E-04	Eq. (C.3)
	$LC1 = LM = LW = LZ = LO1 \times nz / nt \times tz / 8\ 760$ - calcular quando mais de uma Zona		LC = LM = LW = LZ	5,63E-04	Eq. (C.4)
	$RA = ND \times PA \times LA$		RA	1,19E-09	(6)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB	2,96E-07	(7)
	$RC = ND \times PC \times LC$		RC	0,00E+00	(8)
	$RM = NM \times PM \times LM$		RM	1,84E-07	(9)
	$RUP = (NUP + NUP) \times PUP \times LU$		RUP	2,24E-12	(10)
	$RUT = (NUT + NUT) \times PUT \times LU$		RUT	2,02E-11	(10)
	$RU = RUP + RUT$		RU	2,24E-11	(10)
	$RVIP = (NUP + NUP) \times PVIP \times LV$		RVIP	5,60E-10	(11)
	$RVIT = (NUT + NUT) \times PVIT \times LV$		RVIT	5,04E-09	(11)
	$RV = RVIP + RVIT$		RV	5,60E-09	(11)
	$RWIP = (NUP + NUP) \times PWP \times LW$		RWIP	2,24E-09	(12)
	$RWIT = (NUT + NUT) \times PWT \times LW$		RWIT	2,02E-08	(12)
	$RW = RWIP + RWIT$		RW	2,24E-08	(12)
	$RZP = NIP \times PZP \times LZ$		RZP	0,00E+00	(13)
$RZIT = NIT \times PZIT \times LZ$		RZIT	3,58E-07	(13)	
$RZ = RZP + RZIT$		RZ	3,58E-07	(13)	

Fonte: Autor.

Figura 30 – Cálculo do novo gerenciamento de risco da zona 2: Riscos L2 e L3.

Tipos de Perdas inaceitável de serviço ao Público - L2 - Zona 02: Centro Cirúrgico					
L2: Perda em serviço ao público.	Atendimento ao público?	SIM, EXISTE atendimento ao público.			
	D2 danos físicos	Gás, água, fornecimento de energia	LF2	1,00E-01	
	D3 falhas de sistemas internos	Gás, água, fornecimento de energia	LO2	1,00E-02	Tab. C.8
Parâmetros resultantes L2 NOTA Para efeitos da ABNT NBR 5419, somente são considerados serviços ao público os suprimentos de água, gás, energia e sinais de TV e telecomunicações. (ABNT NBR 5419/01 - Item 5.2 - pág. 12)	$LB2 = LV = rp \times rf \times LF \times nz / nt$		LB = LV	7,50E-05	Eq. (C.7)
	$LC2 = LM = LW = LZ = LO2 \times nz / nt$		LC = LM = LW = LZ	1,50E-03	Eq. (C.8)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB	1,58E-07	(7)
	$RC = ND \times PC \times LC$		RC	0,00E+00	(8)
	$RM = NM \times PM \times LM$		RM	4,91E-07	(9)
	$RVIP = (NUP + NUP) \times PVIP \times LV$		RVIP	2,99E-10	(11)
	$RVIT = (NUT + NUT) \times PVIT \times LV$		RVIT	2,69E-09	(11)
	$RV = RVIP + RVIT$		RV	2,99E-09	(11)
	$RWIP = (NUP + NUP) \times PWP \times LW$		RWIP	5,97E-09	(12)
	$RWIT = (NUT + NUT) \times PWT \times LW$		RWIT	5,38E-08	(12)
	$RW = RWIP + RWIT$		RW	5,97E-08	(12)
	$RZP = NIP \times PZP \times LZ$		RZP	0,00E+00	(13)
	$RZIT = NIT \times PZIT \times LZ$		RZIT	9,56E-07	(13)
$RZ = RZP + RZIT$		RZ	9,56E-07	(13)	
Tipos de perdas inaceitável de patrimônio cultural - L3 - Zona 02: Centro Cirúrgico					
Patrimônio cultural	Obra Comum: NÃO há risco de perda de patrimônio cultural		LF3	0,00000	Tab. C.10
Valores	Cz - valor do patrimônio cultural na zona (em milhões)		Cz	0,05000	informe valores
	Ci - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhões)		Ci	50,00000	
Parâmetros resultantes L3	$LB3 = LV = rp \times rf \times LF \times Cz / Ci$		LB = LV	0,00E+00	Eq. (C.9)
	$RB = ND \times PB \times LB$		RB	0,00E+00	(7)
	$RVIP = (NUP + NUP) \times PVIP \times LV$		RVIP	0,00E+00	(11)
	$RVIT = (NUT + NUT) \times PVIT \times LV$		RVIT	0,00E+00	(11)
	$RV = RVIP + RVIT$		RV	0,00E+00	(11)

Fonte: Autor.

Figura 31 – Cálculo de gerenciamento de risco da zona 2: Risco L4.

Tipos de perdas inaceitável de valor econômico - L4 - Zona 02 : Centro Cirúrgico					
Perdas Valor Econômico	COM avaliação econômica	rt	1,00E-03		
Danos Físicos	Hospital, industrial, museu, agricultura	LF4	5,00E-01	Tab. C.12	
Esta zona contém Animais?	NÃO CONTÉM Animais nesta estrutura				
Valores	ca - Valor dos animais em uma zona, (em milhoes)	ca	0,00000	informe valores	
	ct - valor total da edificação e conteúdo da estrutura (soma de todas as zonas) (em milhoes)	ct	20,00000		
	LT - valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso	LT	1,00E-02	Tab. C.12	
	Lo - valor relativo médio típico de todos os valores danificados pela falha de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso	Lo	1,00E-02	Tab. C.12	
	cb - valor da edificação relevante à zona (em milhoes)	cb	15,00000		
	cc - valor do conteúdo da zona (em milhoes)	cc	2,50000	informe valores	
	cs - valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona (em milhoes)	cs	2,50000		
Parâmetros resultantes L4		LA	0,00E+00	Eq. (C.10)	
		LB	2,50E-03	Eq. (C.12)	
		LC	1,25E-03	Eq. (C.13)	
		RA	0,00E+00	(6)	
		RB	5,27E-06	(7)	
		RC	0,00E+00	(8)	
		RM	4,09E-07	(9)	
		RUP = (NLP + NDLP) × PUP × LU	RUP	0,00E+00	(10)
		RUT = (NLT + NDLT) × PUT × LU	RUT	0,00E+00	(10)
		RU = RUP+RUT	RU	0,00E+00	(10)
		RVP = (NLP + NDLP) × PVP × LV	RVP	9,96E-09	(11)
		RVT = (NLT + NDLT) × PVT × LV	RVT	8,96E-08	(11)
		RV = RVP+RV/T	RV	9,96E-08	(11)
		RWP = (NLP + NDLP) × PWP × LW	RWP	4,98E-09	(12)
		RWT = (NLT + NDLT) × PWT × LW	RWT	4,48E-08	(12)
		RW = RWP+RW/T	RW	4,98E-08	(12)
		RZP = NVP × PZP × LZ	RZP	0,00E+00	(13)
	RZT = NVT × PZT × LZ	RZT	7,96E-07	(13)	
	RZ = RZP+RZ/T	RZ	7,96E-07	(13)	

Fonte: Autor.

4.3.4 Resultado do novo gerenciamento de riscos das zonas juntas

Após as mudanças realizadas, e destacadas ao longo das últimas seções, a Figura 32 mostra o resultado obtido. Como esperado, o risco R1 abaixou com as alterações, o que também fez com que o risco total ficasse menor que o risco tolerável, mostrando que assim a edificação está segura contra possíveis descargas atmosféricas. Além de mostrar a segurança da estrutura, o novo gerenciamento de risco servirá de base para a próxima etapa do presente trabalho, que será a realização do projeto de SPDA, mostrada nos próximos tópicos.

Figura 32 – Resultado do novo gerenciamento de risco.

RESULTADO EDIFICAÇÃO COMPLETO												
Combinções e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)										Resultado		
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ				
R1=	2,78E-09	1,95E-06	0,00E+00	5,39E-06	5,92E-11	1,26E-07	8,91E-08	8,39E-07	0,84 E-5	0,00000839614872507431	1,00E-05	NÃO
R2=	-	4,22E-07	0,00E+00	2,76E-05	-	2,71E-08	4,57E-07	4,30E-06	0,033 E-3	0,00003281614119777680	1,00E-03	NÃO
R3=	-	0,00E+00	-	-	-	0,00E+00	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	0,00E+00	4,22E-06	0,00E+00	1,43E-05	0,00E+00	2,71E-07	2,37E-07	2,23E-06	0,021 E-3	0,00002126910695004640	1,00E-03	NÃO

R1 - Perda de Vida	Avaliação conforme 5.5	R1 - Perda de Vida
	R>RT?	Não - Estrutura protegida
	Há SPDA instalado?	Sim: Estrutura protegida por SPDA II
	Estrutura devidamente protegida.	

R2 - Perda Serviço Público	Avaliação conforme 5.5	R2 - Perda Serviço Público
	R>RT?	Não - Estrutura protegida
	Há SPDA instalado?	Sim: Estrutura protegida por SPDA II
	Estrutura devidamente protegida.	

R4 - Perda Econômica	Avaliação conforme 5.5	R4 - Perda Econômica
	R>RT?	Não - Estrutura protegida
	Há SPDA instalado?	Sim: Estrutura protegida por SPDA II
	Estrutura devidamente protegida.	

Fonte: Autor.

4.4 PROJETO DE SPDA DA EDIFICAÇÃO

Na presente seção, é apresentado um passo a passo de como é elaborado um projeto de SPDA a partir das informações e dos dados obtidos no gerenciamento de risco e averiguando sempre as tabelas para o melhor dimensionamento possível do sistema de captação, descidas, aterramento e coordenação de DPS's na estrutura, buscando deixar a edificação o mais seguro possível contra as descargas atmosféricas.

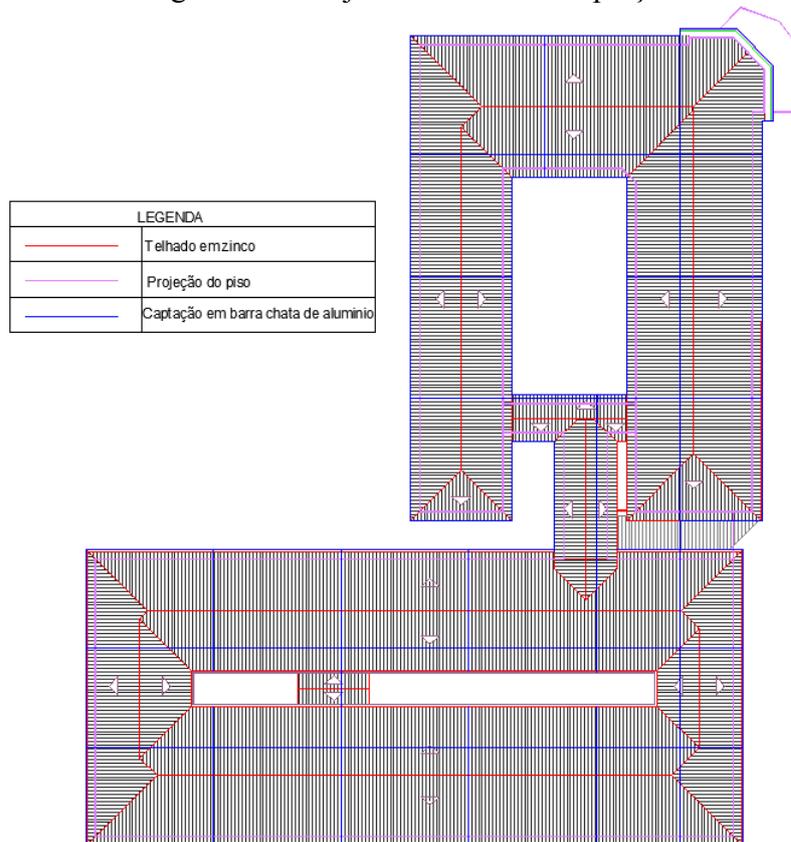
4.4.1 Projeto da malha de captação

A primeira etapa da especificação sistema de proteção da edificação é decidir o tipo de captação que será utilizado. Sabendo-se que o hospital tem grandes dimensões de comprimento e largura, e não possui uma altura elevada, além de que o telhado da edificação é de zinco e não tem a espessura mínima para ser utilizada com captor natural, foi escolhido então o método das malhas (ou gaiola de Faraday).

Como mostrado na Tabela 2, da seção de mesmo valor, o espaçamento máximo entre os condutores da malha deve ser de 10 metros. Logo, com as informações obtidas e utilizando

o *software* AUTOCAD, foi projetada a malha de acordo com a Figura 33. Faz-se relevante também decidir qual o tipo de material será utilizado na composição da “gaiola”, e no presente trabalho são utilizadas barras chatas de alumínio. A escolha desse material se dá pela conveniência de instalação do mesmo, já que para curvas e descidas a barra chata de alumínio requer menos materiais e trabalho do que, por exemplo, os cabos de cobre, já que estes precisam da colocação de guias e serem esticados e posicionados em linhas retas. Além disso, outros dois motivos foram examinados para utilização desse material: as barras chatas de alumínio possuem um custo menor que as cordoalhas de cobre nu e também há o risco de furto, já que cabos de cobre são muito visados devido ao seu valor de venda.

Figura 33 – Projeto da malha de captação.

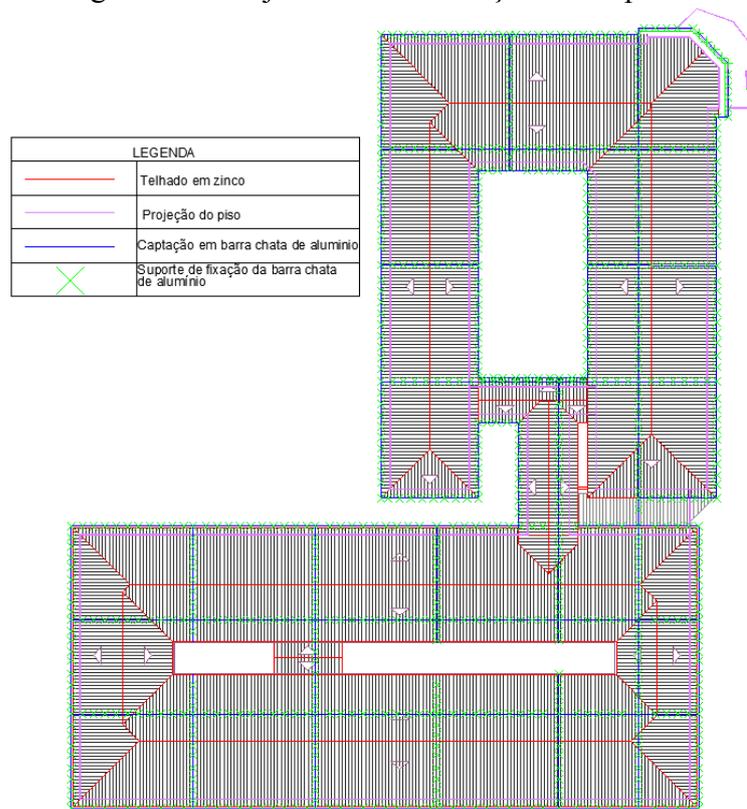


Fonte: Autor.

4.4.2 Colocação dos suportes

Feita a malha na parte superior da edificação, o passo seguinte é definir como fixar a mesma no telhado, dando uma maior fixação, já que o telhado não é de formato regular, e sim composto por descidas e subidas. Para isso, foram especificados suportes guias isoladores para as barras chatas ao redor da “gaiola”. A distância máxima entre elas deve ser de 1,5 metros, o que está dentro do valor utilizado no projeto, que foi de 1 metro. A Figura 34 mostra como ficou a edificação após a colocação dos suportes.

Figura 34 – Projeto com a colocação dos suportes.



Fonte: Autor.

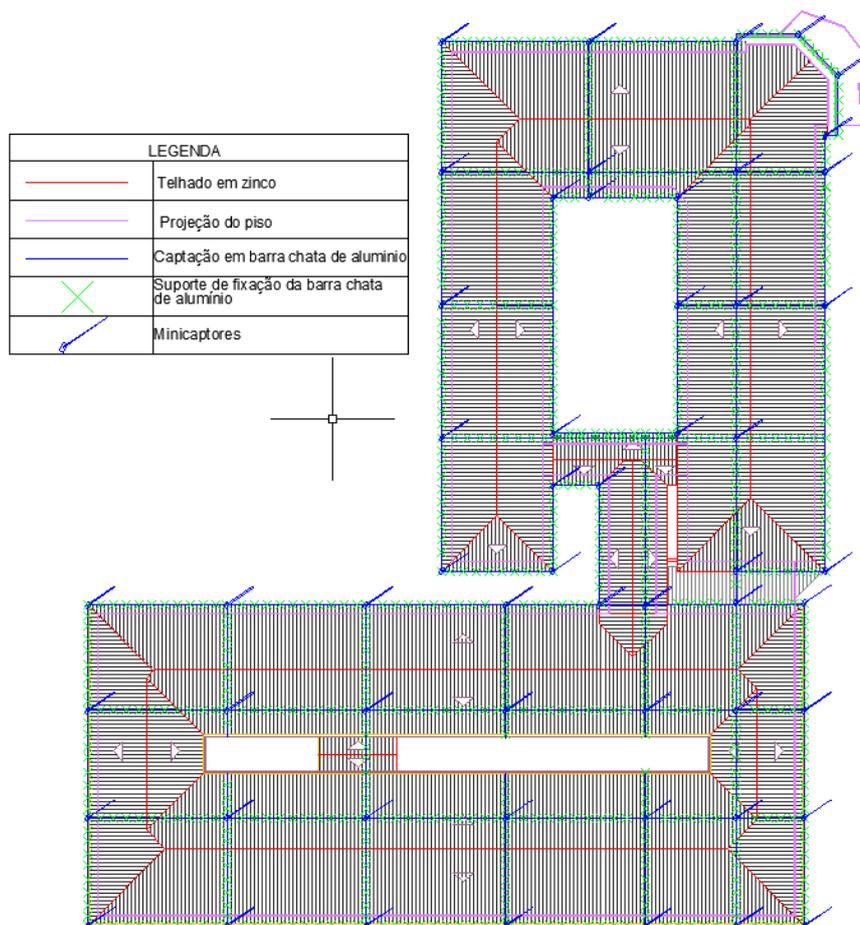
4.4.3 Colocação dos minicaptores

Com a malha e os suportes já projetados e fixados na edificação, a próxima etapa é colocar os minicaptores. O tipo de minicaptor escolhido foram os fabricados em barra chata de

alumínio, por serem mais baratos, com altura de 30 centímetros cada. A instalação desses minicaptadores foi especificada em todas as quinas da edificação e também nas junções entre as barras chatas.

O uso desses minicaptadores, no caso do projeto em que já há a malha como sistema de captação, é opcional, e aqui foi escolhido utilizar os mesmos para uma proteção maior, já que se trata de uma edificação mais antiga e de grande serviço e valor para a cidade.

Figura 35 – Projeto com a colocação dos minicaptadores.



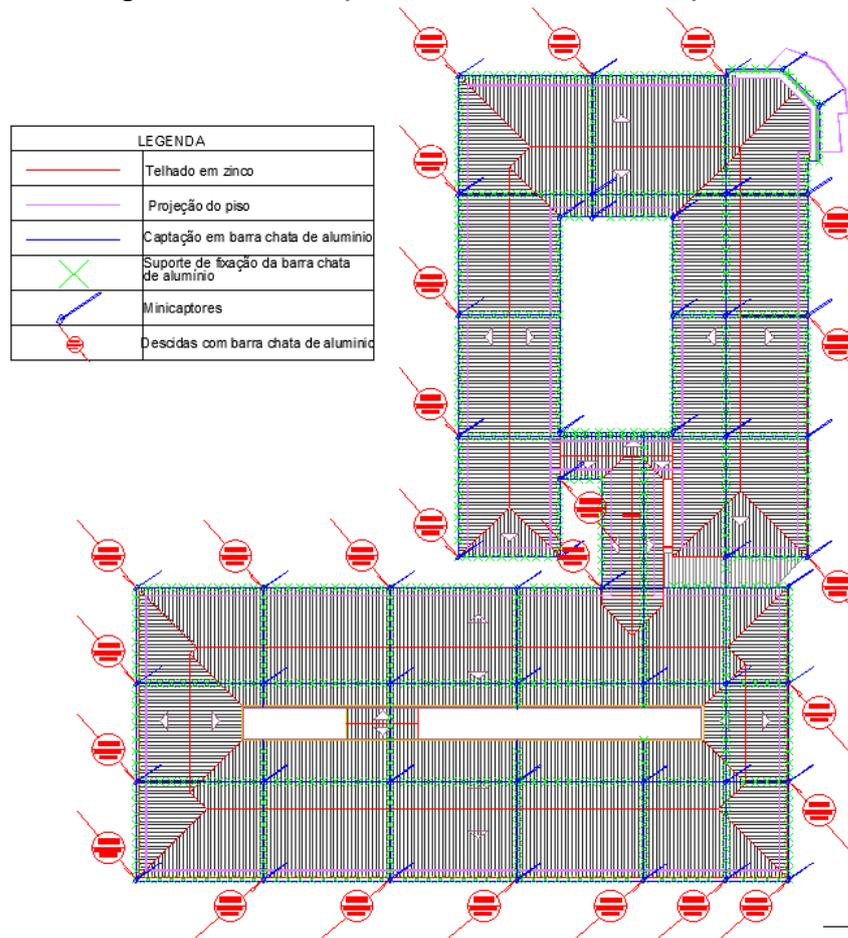
Fonte: Autor.

4.4.4 Colocação das descidas e aterramento

O hospital já dispõe de um sistema de aterramento que é configurado por meio de cinco hastes horizontais colocadas em linha e cabo de cobre nu de 50 mm². Foram realizadas algumas medições da resistência de aterramento e o valor da mesma é baixo, 1,42 ohms, o que implica que o aterramento não precisa de reparos.

Como a estrutura tem partes em que está diretamente ligada à rua e às calçadas, não foi possível fazer um anel de aterramento para ligar diretamente com as descidas do SPDA. Com isso, a solução encontrada foi fazer as descidas em barra chata de alumínio, sendo as mesmas conectadas nos minicaptos como mostrado em vermelho na Figura 36. As barras chatas precisam, de acordo com a norma, ter uma seção transversal de, no mínimo, 70 mm² e sua espessura não pode ser menor que 3 mm. Após instaladas as barras de descidas, se conecta as mesmas a um cabo de cobre nu de 50 mm² de seção transversal e, por meio da utilização de um conector bimetálico split-bolt, mostrado na Figura 37 um exemplo, fazer a conexão com as vigas baldrame da estrutura, fazendo com que a malha de aterramento seja de modo estrutural, desde que haja continuidade garantida entre as ferragens da estrutura, garantindo assim um grande caminho para o escoamento das correntes oriundas das descargas atmosféricas. A utilização do conector bimetálico se dá, pois, devido as características de alumínio e cobre, os dois materiais não podem ser acoplados diretamente, causando a destruição do alumínio (Oliveira, 2021), o que pode ocasionar a descontinuidade entre os materiais e impedindo o escoamento correto das correntes. Além disso, os condutores de descida precisam ser isolados com uma camada de no mínimo 3 mm de material isolante desde o solo até, no mínimo, 3 metros de altura (Oliveira, 2021). Para isso, será utilizado um eletroduto de PVC pesado, fixado com 2 abraçadeiras tipo D espaçadas de 1,5 metros.

Figura 36 – Colocação das descidas na edificação.



Fonte: Autor.

Figura 37 – Conector bimetálico split-bolt.



Fonte: Site da empresa Multi Elétrica.

4.4.5 Coordenação do DPS

Outro tópico importante na elaboração do projeto de SPDA é a escolha dos dispositivos de proteção contra surtos. Como a edificação foi separada em duas zonas diferentes, foram escolhidos dois DPS's distintos. Um DPS do tipo I para a zona da edificação geral, e um DPS do tipo II para a zona do Centro Cirúrgico. A ligação desses dispositivos deve ser feita nos quadros de distribuição de cada zona, sendo necessária a ligação do DPS da zona do Centro Cirúrgico ao barramento de proteção do seu respectivo quadro. Além disso, esse barramento precisa ser interligado com o barramento de equipotencialização principal (BEP) que se encontra no quadro geral da edificação, que, dada a escolha de separações das zonas, é também o quadro que abrigará o DPS do tipo I. As seções mínimas, recomendadas tanto pela NBR 5419 quanto pela NBR 5410, são de 6 mm² entre o DPS e o barramento de proteção no quadro do Centro Cirúrgico, 16 mm² entre o barramento de proteção desse quadro até o BEP, e de 16 mm² entre o DPS tipo II e o barramento de proteção do quadro geral, sendo esse mais robusto devido a ser o barramento principal de toda a edificação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um sistema de SPDA bem projetado, estruturado e executado é de suma importância nas edificações, ainda mais quando se trata de alguma que seja de grande relevância numa cidade pequena, como foi o caso do trabalho apresentado. A execução do conjunto formado entre gerenciamento de risco, projeto de SPDA e também pelas medidas de proteção contra surtos, todos baseados na NBR 5419, dá mais segurança para todos, tanto órgãos públicos e privados que investem para manter o funcionamento do hospital, quanto para a população, que sabe que quando, ou se, houver descargas atmosféricas, o sistema projetado será capaz de proteger a edificação, mantendo o pleno funcionamento para atender a todos que precisam de atendimento.

Pensando nisso, o trabalho teve como objetivo mostrar de maneira didática e prática, todos os passos necessários para se ter uma edificação protegida contra descargas atmosféricas de acordo a norma. No cálculo de gerenciamento de riscos, foram apresentados parâmetros que

interferem nos cálculos de riscos para determinadas situações e suas possíveis soluções e maneiras de diminuir, ou até evitar, possíveis problemas para as pessoas, ou estruturas. Na parte mais prática, a elaboração de projeto, foi apresentada uma maneira de como se fazer um projeto para edificações mais simples, com uma forma geométrica não complexa, com edifício já construído, e dimensionamento de materiais e dispositivos que possam ser utilizados nesses casos.

Como sugestões de trabalhos futuros que poderão dar sequência ao estudo apresentado no presente trabalho sugere-se:

- Aplicações de gerenciamento de risco e projeto de SPDA em outros tipos de edificações, tais como prédios comerciais e residenciais, galpões, subestações abrigadas, entre outros;
- Aplicações de outros métodos de captação, descidas e aterramento em diferentes projetos;
- Estudos e possíveis laudos de sistemas de SPDA em edificações que já possuem esse sistema instalado.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ELÉTRICA, Multi. Conector bimetálico e PFB 50 mm 1855 Intelli, 2024. Disponível em: <https://www.multieletrica.com.br/eletrica/terminais-e-econectores/conector-bimetalico-e-pfb-50mm>. Acesso em 30 mai. 2024.

GOOGLE. Google Earth. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://earth.google.com>. Acesso em: 2 jul. 2024.

GUIMARÃESa, Professor Pablo. **Curso: Expert em Laudo e Projeto de SPDA e Aterramento**. Disponível em: <https://hotmart.com/pt-br/club/engpabloguimaraes>. Acesso em 23 mai. 2024a.

GUIMARÃESb, Professor Pablo. **Como fazer um projeto de SPDA**. Disponível em: <https://www.pabloguimaraes-professor.com.br/post/como-fazer-um-projeto-de-spda#:~:text=M%C3%89TODO%20GAIOLA%20DE%20FARADAY,utilizado%20em%20p%C3%A9dios%20e%20galp%C3%B5es>. Acesso em 01 março 2024b.

NETO, José Osmar Lima. **Estudos de casos de gerenciamento de risco e projeto de SPDA conforme a norma 5419**. 2021. 121 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Piauí, Teresina.

OLIVEIRA, Kelvin Novakoski de. **Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Aplicação da NBR 5419**. 2021. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso Superior - Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SÉRVULO, Victor Hugo P. **Estudo de implantação de projeto de SPDA em edifício finalizado, segundo a nova NBR 5419:2015.** 2016. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Instituto Tecnológico de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga.

WALTRICK, Paulo Vinicius Valentini. **Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) estudo de caso em uma estrutura predial.** 2018. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica. Centro Universitário UNIFACVEST, Lages.