

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

Kelvin Novakoski de Oliveira

**Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Aplicação da NBR 5419**

Florianópolis

2021

Kelvin Novakoski de Oliveira

**Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Aplicação da NBR 5419**

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.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Oliveira, Kelvin Novakoski de  
Sistema de proteção contra descargas atmosféricas:  
aplicação da NBR 5419 / Kelvin Novakoski de Oliveira ;  
orientador, Mauricio Valencia Ferreira da Luz, 2021.  
78 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. SPDA. 3. NBR 5419:2015. 4.  
projeto de proteção. 5. descargas atmosféricas. I. Ferreira  
da Luz, Mauricio Valencia. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III.  
Título.

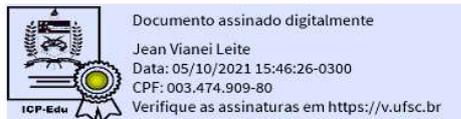


Kelvin Novakoski de Oliveira

**Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Aplicação da NBR 5419**

Este Trabalho de 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.

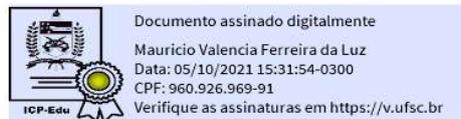
Florianópolis, 05 de outubro de 2021.



---

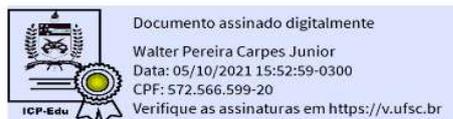
Prof. Jean Viane Leite, Dr.  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

**Banca Examinadora:**



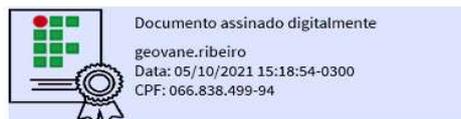
---

Prof. Mauricio Valencia Ferreira da Luz, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Prof. Walter Pereira Carpes Júnior, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

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

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Gerson e Julia, que sempre trabalharam duro pra me proporcionar uma boa formação e educação, à minha namorada e companheira Manuela, que me apoiou mesmo durante as horas de ausência dedicadas a este trabalho e tantos outros, aos meus familiares, especialmente minhas irmãs, Kenia e Kely, e minha tia Cecilia (em memória), e também dedico aos meus amigos e colegas que tanto contribuíram para a formação da pessoa que me tornei.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos professores que me proporcionaram um pouco de seu conhecimento técnico, agradeço ao meu orientador pelo apoio na execução desse trabalho, aos meus colegas e amigos da graduação com os quais desfrutei inúmeras horas de estudo, aos meus colegas do DPAE que confiam no meu trabalho e me ensinam muito profissionalmente, e aos demais profissionais da UFSC que auxiliaram de alguma forma nesse projeto.

## RESUMO

As descargas atmosféricas são fenômenos naturais com grande incidência no Brasil, ocasionando pouco mais de cem mortes a cada ano e causando prejuízos bilionários. Os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas têm a finalidade de proteger as estruturas e o interior das mesmas servindo como caminho adequado e de baixa impedância, para o escoamento das elevadas correntes das descargas atmosféricas até o solo. A partir da atualização da norma NBR-5419 que regulamenta o SPDA em 2015, esse trabalho tem o objetivo de ser um guia didático para compreensão da nova normativa, especialmente no que se refere ao cálculo de gerenciamento de riscos. O cálculo de riscos será feito conforme a metodologia proposta, inicialmente com a identificação da estrutura de forma detalhada, seguindo pela identificação das perdas relevantes à estrutura, após será realizado o cálculo das componentes de risco e por fim serão determinadas as medidas de proteção. A edificação a ser protegida, será o complexo de blocos interligados do Centro Tecnológico da UFSC. A aplicação da norma, de forma explicativa, nos blocos interligados acarretará em um material didático para ser aproveitado por estudantes e demais interessados, e também em um projeto de proteção contra descargas atmosféricas, aqui descrito de forma resumida, contendo um SPDA nível II, projetado conforme modelo de Faraday, incluindo conjunto de DPS coordenados e medidas adicionais de proteção para um dos blocos. A atualização da norma progride no sentido de aperfeiçoamento da quantificação dos riscos e das perdas relativas, também considera uma maior gama de fatores em relação a sua antecessora, aumentando a confiança e a proteção efetiva contra os raios. É importante que as edificações e as instalações estejam em conformidade com as normativas de segurança, garantindo acima de tudo a vida das pessoas.

**Palavras-chave:** descargas atmosféricas; raios; proteção; surto; perda; risco; norma.

## ABSTRACT

The atmospheric discharges are natural phenomena with high incidence in Brazil, leading to just over a hundreds of deaths every year and causing huge financial losses. The Atmospheric Discharge Protection System (ADPS) has the purpose of protecting the building's structure and its interior, acting as an adequate and low impedance path to the high discharge currents flowage to the ground. Based on the 2015 NBR-5419 standard's update, which regulates the ADPS, this work aims to be a comprehensive guide to the updated standards, especially in the field of risk management analysis. The risk analysis was carried out according to the described methodology, starting with the detailed identification of the structure, followed by the evaluation of relevant losses to the structure and risk components analysis, finishing with the protection measures project. The structure analyzed in this study will be the buildings of Centro Tecnológico, located in Universidade Federal de Santa Catarina. The appliance of the standard will result in a study reference to be used by students or anyone who takes interest in the subject, and also in a protection project against atmospheric discharges, including a level II SPDA, projected according to Faraday's model, including a set of coordinated surge protector device and additional protection measures to one of the buildings. The update of the standard progresses in the sense of improving the risk quantification and relative loss, also considering a higher range of factors in comparison to the previous standard, increasing reliability and effective protection against atmospheric discharges. Buildings and installations must be working within the security standards, assuring people's lives above everything.

**Keywords:** atmospheric discharges; rays; protection; outbreak; loss; risk; standard.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre as partes da NBR 5419 .....	17
Figura 2 – Procedimento de cálculo de gerenciamento de risco .....	18
Figura 3 – Identificação dos blocos do CTC .....	21
Figura 4 – Mapa de densidade de descargas atmosféricas de Santa Catarina .....	23
Figura 5 – Área de exposição equivalente de uma estrutura de altura uniforme.....	24
Figura 6 – Área de exposição equivalente de uma estrutura a ser protegida.....	25
Figura 7 – Tabela A1 da NBR 5419 .....	26
Figura 8 – Tabela B2 da NBR 5419 .....	26
Figura 9 – Tabela B.7 da NBR 5419 .....	27
Figura 10 – Comprimento da linha de energia .....	29
Figura 11 – Tabela A.2 da NBR 5419 .....	30
Figura 12 – Tabela A.3 da NBR 5419.....	30
Figura 13 – Tabela A.4 da NBR 5419 .....	31
Figura 14 – Tabela B.4 da NBR 5419 .....	32
Figura 15 – Estrutura conectada com estrutura adjacente por linha.....	32
Figura 16 – Quadro de distribuição elétrica existente no bloco B.....	33
Figura 17 – Tabela B.8 da NBR 5419 .....	34
Figura 18 – Tabela B.9 da NBR 5419 .....	35
Figura 19 – Tabela C.3 da NBR 5419 .....	37
Figura 20 – Tabela B.1 da NBR 5419 .....	38
Figura 21 – Tabela C.5 da NBR 5419 .....	39
Figura 22 – Extrato de Anexo B - Tabela de cargas de incêndio específicas por ocupação ....	39
Figura 23 – Tabela C.4 da NBR 5419 .....	40
Figura 24 – Tabela B.5 da NBR 5419 .....	41
Figura 25 – Tabela B.3 da NBR 5419 .....	42
Figura 26 – Tabela 1 da NBR 5419.....	44
Figura 27 – Tabela C.6 da NBR 5419 .....	45
Figura 28 – Tabela C.2 da NBR 5419 .....	46
Figura 29 – Tabela C.12 da NBR 5419 .....	47
Figura 30 – Tabela B.6 da NBR 5419 .....	47
Figura 31 – Tabela 2 da NBR 5419.....	49
Figura 32 – Tabela 6 da NBR 5419.....	51
Figura 33 – Tabela 3 da NBR 5419.....	59
Figura 34 – Extrato do procedimento de cálculo de gerenciamento de risco.....	60
Figura 35 – Tabela 2 da NBR 5419-3 .....	66
Figura 36 – Projeto do subsistema de captação .....	67
Figura 37 – Tabela 3 da NBR 5419-3 .....	68
Figura 38 – Projeto dos subsistemas de descida e aterramento.....	69
Figura 39 – Conjunto de DPS.....	71
Figura 40 – Central de alarme contra incêndio.....	72
Figura 41 – Sensor detector de fumaça .....	72



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Blocos, número de pessoas e valor em equipamentos.....	22
Tabela 2 – Tabela de aquisição de dados da estrutura a ser protegida.....	23
Tabela 2.1 – Tabela de aquisição de dados da estrutura a ser protegida completa .....	28
Tabela 3 – Características das linhas.....	28
Tabela 3.1 – Características da linha de energia .....	35
Tabela 3.2 – Características da linha de sinais .....	36
Tabela 4 – Fatores internos da estrutura.....	37
Tabela 4.1 – Fatores internos da estrutura completa .....	42
Tabela 5 – Identificação das perdas.....	44
Tabela 5.1 – Identificação das perdas completa.....	48
Tabela 6 – Área de exposição equivalente .....	52
Tabela 7 – Número esperado anual de eventos perigosos .....	53
Tabela 8 – Probabilidade de eventos perigosos causar danos .....	54
Tabela 9 – Valor de perda de vida humana .....	55
Tabela 10 – Valor de perda de valor econômico.....	56
Tabela 11 – Componentes de risco para perda de vida humana.....	57
Tabela 12 – Componentes de risco para perda de valor econômico.....	57
Tabela 13 – Probabilidade PB para cada NP e distância entre os condutores em malha e descidas .....	61
Tabela 14 – Resultado das componentes de risco de perda de vida humana .....	61
Tabela 15 – Resultado das componentes de risco de perda de valor econômico .....	62
Tabela 16 – Probabilidades PEB e PSPD em relação ao NP .....	62
Tabela 17 – Resultado das componentes de risco para perda de vida humana .....	63
Tabela 18 – Resultado das componentes de risco para perda de valor econômico.....	63
Tabela 19 – Resultado para componentes de risco para perda de vida .....	64
Tabela 20 – Resultado final para o cálculo de risco de perda de vida humana.....	64
Tabela 21 – Resultado final para o cálculo de risco de perda de valor econômico.....	65

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
BEP - Barramento de equipotencialização principal  
CTC - Centro Tecnológico  
DPS - Dispositivo de proteção contra surtos  
DEEL – Departamento Engenharia Elétrica e Eletrônica  
ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica  
IEC - International Electrotechnical Commission  
IN - Instrução Normativa  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
MPS - Medidas de proteção contra surtos  
NBR - Norma Brasileira Regulamentadora  
NP - Nível de proteção  
PDA - Proteção contra descargas atmosféricas  
PE - Proteção  
PVC - Policloreto de Vinila  
SC - Santa Catarina  
SPDA - Sistema de proteção contra descargas atmosféricas  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	A NBR 5419:2015 .....	16
1.2	PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE RISCOS .....	18
1.3	OBJETIVOS .....	19
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	19
<b>2</b>	<b>IDENTIFICANDO A ESTRUTURA.....</b>	<b>21</b>
2.1	ESTRUTURA E MEIO AMBIENTE .....	22
<b>2.1.1</b>	<b>Densidade de descargas atmosféricas .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Área equivalente da estrutura .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Área de exposição equivalente perto de uma estrutura .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Fator de localização da estrutura.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.5</b>	<b>SPDA.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Ligação equipotencial.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.7</b>	<b>Blindagem espacial externa .....</b>	<b>27</b>
2.2	LINHAS DE ENERGIAS E SINAIS .....	28
<b>2.2.1</b>	<b>Comprimento .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Fator de Instalação .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Fator de tipo de linha .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Fator ambiental.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Blindagem da linha .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Blindagem, aterramento e isolação .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.7</b>	<b>Área equivalente da estrutura adjacente.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.8</b>	<b>Fator de localização da estrutura adjacente .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.9</b>	<b>Tensão suportável dos sistemas internos .....</b>	<b>33</b>

2.2.10	<b>Parâmetros resultantes das linhas.....</b>	<b>34</b>
2.3	FATORES INTERNOS VÁLIDOS DA ESTRUTURA A SER PROTEGIDA ...	36
2.3.1	<b>Superfície do piso.....</b>	<b>37</b>
2.3.2	<b>Proteção contra choque.....</b>	<b>38</b>
2.3.3	<b>Risco de incêndio .....</b>	<b>38</b>
2.3.4	<b>Proteção contra incêndio.....</b>	<b>40</b>
2.3.5	<b>Blindagem espacial interna.....</b>	<b>40</b>
2.3.6	<b>Fiação interna.....</b>	<b>41</b>
2.3.7	<b>DPS Coordenados .....</b>	<b>41</b>
2.4	IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PERDA RELATIVOS À ESTRUTURA ...	42
2.4.1	<b>Tipos e fonte de danos .....</b>	<b>43</b>
2.4.2	<b>Perigo especial.....</b>	<b>45</b>
2.4.3	<b>Tipo de perda L1.....</b>	<b>46</b>
2.4.4	<b>Tipo de perda L4.....</b>	<b>46</b>
2.4.5	<b>Probabilidade <math>P_{TU}</math>.....</b>	<b>47</b>
3	<b>COMPONENTES DE RISCO.....</b>	<b>49</b>
3.1	NÚMERO DE EVENTOS PERIGOSOS.....	51
3.1.1	<b>Cálculo das áreas de exposição equivalente .....</b>	<b>52</b>
3.1.2	<b>Cálculo do número esperado de eventos perigosos por ano .....</b>	<b>53</b>
3.2	PROBABILIDADE DE EVENTOS PERIGOSOS CAUSAR DANOS.....	53
3.3	VALOR DAS PERDAS .....	55
3.3.1	<b>Perda de vida humana.....</b>	<b>55</b>
3.3.2	<b>Perda de valor econômico .....</b>	<b>56</b>
3.4	CÁLCULO DAS COMPONENTES DE RISCO E TOLERÂNCIA.....	56
3.4.1	<b>Perda de vida humana.....</b>	<b>57</b>
3.4.2	<b>Perda de valor econômico .....</b>	<b>57</b>
4	<b>PROTEGENDO A ESTRUTURA .....</b>	<b>59</b>

4.1	ESCOLHENDO O SPDA.....	60
4.2	ESCOLHENDO AS MPS .....	62
4.3	OUTRAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO.....	63
4.4	RESULTADO DO CÁLCULO DE RISCOS .....	64
<b>5</b>	<b>PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE PDA .....</b>	<b>66</b>
5.1	PROJETO DE SPDA.....	66
<b>5.1.1</b>	<b>Subsistema de captação.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Subsistema de descida .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Subsistema de aterramento.....</b>	<b>70</b>
5.2	DPS COORDENADOS.....	70
5.3	OUTRAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO ADOTADAS.....	71
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas são eventos da natureza, os quais, não é possível evitar que aconteçam. Segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica - ELAT, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, os relâmpagos são uma grande corrente elétrica que ocorrem na atmosfera, gerando luz e calor através do rápido movimento dos elétrons, assim que toca o solo torna-se o raio e o som emitido é conhecido por trovão (ELAT, 2020). Estes causam distúrbios inesperados nas redes elétricas, danos nas construções atingidas e, principalmente, perda de vida, podendo induzir surtos de tensão de centenas de kV e ter intensidade de corrente na casa das dezenas de kA (MAMEDE FILHO, 2005).

Segundo o ELAT (2020), o Brasil é o campeão mundial em incidência de raios, com aproximadamente 77,8 milhões de raios por ano, bem como, no mesmo país, anualmente, em média 110 pessoas morrem e mais de 200 são feridas por raios, os prejuízos devido às descargas são estimados em um bilhão de reais. Quando uma descarga atmosférica atinge de forma direta uma estrutura, construção ou edificação, são causados grandes danos (MAMEDE FILHO, 2005). Também, são responsáveis por desligamentos inesperados na rede elétrica, situação altamente danosa, tendo em vista a complexidade e tamanho cada vez maior dos sistemas e equipamentos elétricos internos, gerando a queima de equipamentos de distribuição e gerando prejuízo ao consumidor (SOUZA et al., 2020). Porém, compreende-se que estas ocorrências podem ser evitadas caso a estrutura em questão esteja protegida por um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

O SPDA tem como finalidade proteger a estrutura e tudo que tem em seu interior, proporcionando um caminho de baixa impedância para que o raio escoe para a terra, levando a uma redução nos danos impostos à estrutura, além de dispor de dispositivos que reduzem o efeito nos equipamentos elétricos e eletrônicos (SOUZA et al., 2020).

As construções mais antigas não foram construídas tendo uma grande preocupação na questão de proteção contra raios, porém a alta incidência de tempestades e raios em algumas localidades do país faz com que exista uma necessidade de maior segurança nas edificações novas e antigas, de forma a garantir uma maior segurança, nos últimos anos foram aperfeiçoadas as tecnologias dos materiais que compõem os sistemas e também as técnicas (SANTOS; CRUZ, 2018). Em 2015, a Norma Brasileira Regulamentadora 5419, que trata de proteção contra descargas atmosféricas, foi atualizada de maneira a aprimorar a segurança dos procedimentos

de determinação de medidas de proteções para edificações, pessoas, animais e equipamentos internos.

No presente trabalho a NBR 5419 será aplicada em uma edificação existente, sendo esta os blocos A, B, C, D e E, neste trabalho comumente chamados de blocos interligados, do Centro Tecnológico (CTC), localizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), edificação bastante conhecida por incorporar os cursos de engenharia, incluindo o Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica (DEEL).

### 1.1 A NBR 5419:2015

A Norma “ABNT NBR 5419:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas”, está subdividida em quatro partes.

**Parte 1 – Princípios Gerais:** capítulo que inicia a norma expondo a fundamentação teórica das descargas atmosféricas, requisitos para ensaios e a terminologia utilizada na análise de risco da parte 2.

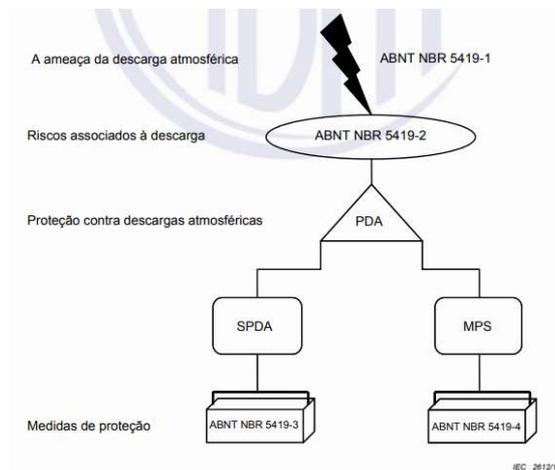
**Parte 2 – Gerenciamento de risco:** onde é colocada a apresentação detalhada das fontes de danos, os tipos de danos que podem ser causados pelas descargas e cada um dos danos resultantes em perdas (SOUZA et al., 2020), realizando a análise a partir dos parâmetros da estrutura a ser protegida (existente ou nova), da localidade, do ambiente, da sua finalidade, além de outros aspectos construtivos. A análise é feita com base na probabilidade de uma descarga atmosférica causar algum dano e vir a causar alguma perda.

**Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida:** é o capítulo responsável por trazer os requisitos de construção do SPDA propriamente dito, fala das características dos materiais, especificações de instalação, os procedimentos para inspeção e manutenção, medidas de proteção para proteção de lesões a seres vivos causados por tensão de passo e os procedimentos para avaliação de continuidade elétrica no concreto armado, técnica utilizada em SPDA que utiliza a estrutura como para-raios naturais, frequentemente utilizado em novas construções.

**Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura:** o capítulo traz os requisitos para escolha de medidas de proteção que reduz danos irreparáveis aos equipamentos internos. As chamadas medidas de proteção contra surtos, que protege os equipamentos eletrônicos de danos relacionados à compatibilidade eletromagnética (SOUZA et al., 2020).

Cada uma dessas partes é responsável por uma etapa da compreensão e elaboração do projeto de Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA), relacionando uma com a outra como representado na Figura 1.

Figura 1 – Relação entre as partes da NBR 5419.



Fonte: ABNT NBR5419-1(2015).

A NBR 5419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), propõe determinar as medidas de proteção contra descargas atmosféricas necessárias para reduzir as perdas não desejáveis a níveis toleráveis. Para isso a norma propõe realizar o cálculo de gerenciamento de risco, item descrito na parte 2 da norma. O foco deste trabalho será o cálculo de gerenciamento de riscos, ponto mais significativo na atualização da norma ocorrida em 2015.

O gerenciamento de risco consiste em encontrar o risco de perda não desejável e determinar quais medidas de proteção trariam redução do risco, através de um procedimento de cálculo que considera o número esperado anual de descargas atmosféricas nas áreas de interesse, a probabilidade de perda caso ocorra algum sinistro e as perdas características das estruturas devido ao uso das edificações.

Os riscos e os danos que podem ser causados devido a descargas atmosféricas em uma estrutura, podem ser diferentes entre as edificações devido à aspectos construtivos, serviço prestado e ocupação da estrutura.

As áreas de interesse são os locais onde, caso ocorra uma descarga atmosférica, de alguma forma a estrutura a ser protegida é afetada, como descargas na estrutura, nas linhas de energias e sinais e proximidades.

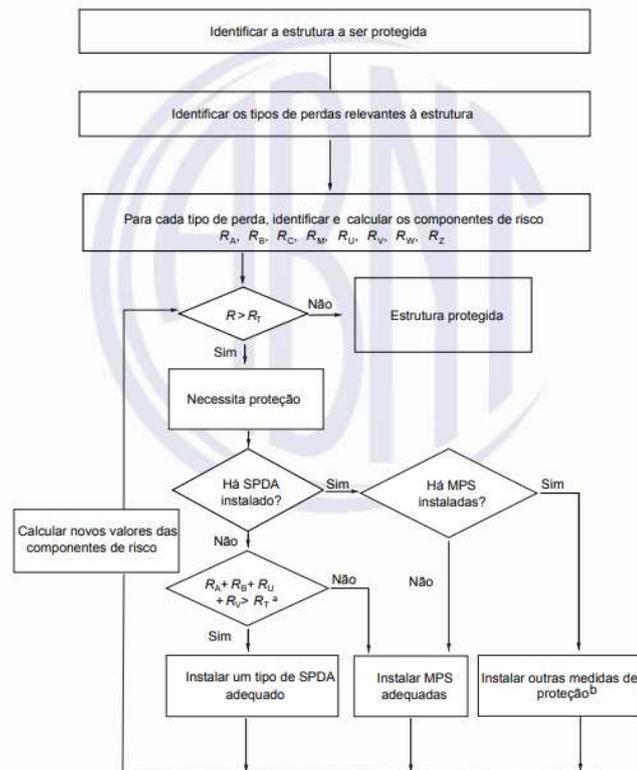
Devido às características das descargas atmosféricas, as medidas de proteção, caso necessitem ser implementadas em uma estrutura, não garantem a proteção total dos usuários, edificação e equipamentos, as medidas de proteção na realidade oferecem uma mitigação dos riscos, até reduzirem a níveis toleráveis.

## 1.2 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE RISCOS

A Norma atualizada trabalha com a probabilidade de acontecer alguma perda, devido a algum dano causado por uma descarga atmosférica, dependendo do local onde essa descarga acontecer. Ela também mensura diversas medidas de proteção, probabilidades, riscos e perdas, necessários para a determinação do valor de risco.

O infográfico representado na Figura 2 mostra uma proposta de procedimento para determinação das medidas de proteção através do cálculo das componentes de risco e de comparação com o risco tolerável para cada situação.

Figura 2 – Procedimento de cálculo de gerenciamento de risco.



Fonte: ABNT (2015).

A proposta inicialmente identifica a estrutura e os tipos de perdas relevantes à estrutura a ser protegida, calcula as componentes de risco para cada tipo de perda e verifica se o risco de perda encontrado é maior ou menor que o risco tolerável para aquela perda. Se o risco for menor que a tolerância, então, a estrutura está protegida, caso contrário, devem ser adotadas medidas de proteção e as componentes de risco devem ser recalculadas até o risco de perda ser menor que o risco tolerável. Neste trabalho, será utilizada a abordagem proposta

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Devido as grandes e recentes modificações na norma, notou-se uma ausência de trabalhos científicos e livros didáticos que abordassem as atualizações da mesma, dificultando o trabalho daqueles que buscam compreendê-la e aplica-la.

O objetivo geral é, por meio da aplicação da parte dois da NBR 5419:2015, conseguir trazer ao leitor um texto de fácil compreensão e correlação entre os procedimentos e os fatores adquiridos. Propõe-se que, com a aplicação prática da norma em uma estrutura conhecida entre os estudantes e professores do DEEL da UFSC, torne-se possível apresentar o processo de elaboração de um projeto de proteção contra descargas atmosféricas. Além disso, este trabalho busca servir de instrumento de apoio didático para estudantes, técnicos e engenheiros. Ainda é pertinente ressaltar que este trabalho de forma alguma exclui a leitura integral da norma por projetistas e estudantes.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para além do material de apoio, o presente projeto tem como objetivo específico elaborar uma ferramenta, com auxílio do Excel®, que auxilie na elaboração de projetos de SPDA futuros e de características semelhantes. Além de propiciar a elaboração do projeto de SPDA para as edificações do CTC, aumentando a segurança dos usuários e sistemas internos.

### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este presente trabalho aplicara, nos blocos interligados do CTC, o cálculo de gerenciamento de risco, de acordo com o capítulo 2 da NBR 5419, de modo a seguir a execução

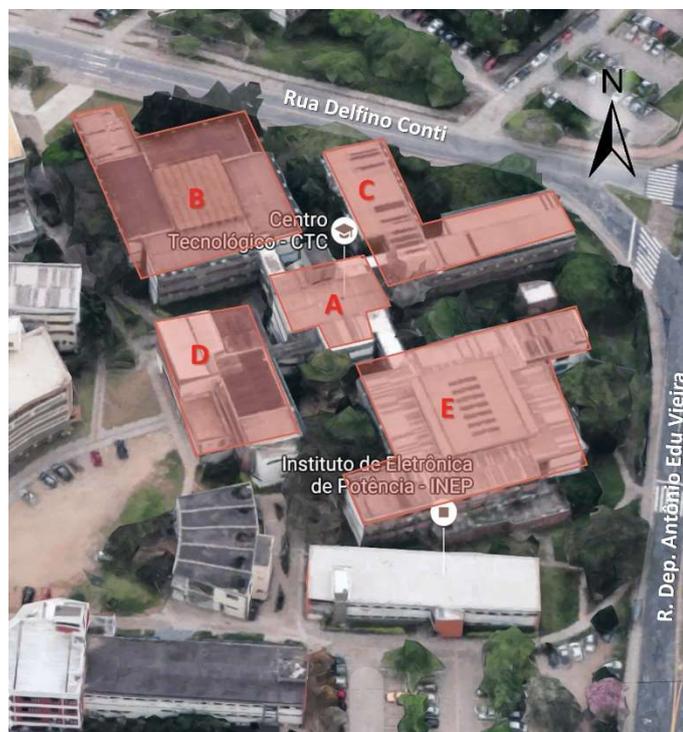
proposta pela mesma. Seguindo o método proposto, serão abordados os temas relacionados a cada etapa do cálculo de risco.

O trabalho foi dividido em capítulos, sendo este o capítulo da introdução. O capítulo 2 aborda inicialmente a estrutura a ser protegida, onde define os parâmetros de entrada referentes à edificação existente, quantifica-os segundo as diversas tabelas da norma brasileira e identifica as perdas referentes à utilização do prédio. A aquisição de dados foi realizada na própria instituição. A aquisição de dados da estrutura também inclui os dados referentes ao ambiente próximo, as linhas que adentram a estrutura, e características internas e de funcionamento. O capítulo 3 contém a conceituação e os cálculos dos números de eventos perigosos, da probabilidade de dano, das perdas relacionadas e das componentes de risco, os cálculos foram executados a partir de ferramenta elaborada no Excel. O capítulo 4 descreve o processo de determinação das medidas de proteção e apresenta os resultados do cálculo de riscos. O capítulo 5 contém os principais aspectos da elaboração do projeto completo de PDA, o projeto de SPDA subdividido entre subsistemas de captação, descidas e aterramento, faz parte também o conjunto de Dispositivos de Proteção contra Surto (DPS) coordenados e demais medidas de proteção necessárias, de modo a melhorar a compreensão do leitor sobre as conclusões dos processos realizados no cálculo de gerenciamento de risco, as pranchas foram desenhadas no *software* Autocad®. No capítulo 6 estão dispostas as conclusões do autor e as sugestões para os trabalhos futuros.

## 2 IDENTIFICANDO A ESTRUTURA

A estrutura a ser protegida são os blocos interligados do CTC que estão identificados na Figura 3. Os blocos estão interligados com o Bloco A por passarelas em todos os andares. Neles possuem ambientes com diversas finalidades, onde estão presentes salas de aulas, laboratórios, auditórios, salas de professores, de estudos, de reuniões e banheiros. Para motivo de projeto e adequação, o uso da edificação será classificado como: Escola.

Figura 3 – Identificação dos blocos do CTC.



Fonte: RainMap (2017).

O Centro Tecnológico é situado dentro do campus João David Ferreira Lima, no bairro Trindade em Florianópolis, Santa Catarina.

Através da Tabela 1 é possível identificar um grande número de usuários das edificações, principalmente no bloco B de sala de aulas, com uma lotação completa das salas de aula de 1643 pessoas. Também é possível observar o alto valor em equipamentos dos blocos E e C, onde estão alocados diversos laboratórios.

A discriminação de cada bloco está representada na Tabela 1.

Tabela 1 – Blocos, número de pessoas e valor em equipamentos.

BLOCO	DESCRIÇÃO	LOTAÇÃO DE PESSOAS	TRÂNSITO DE PESSOAS*	VALOR EM EQUIPAMENTOS
A	BLOCO DOS BANHEIROS	49	41*	R\$ 7.095,39
B	BLOCO DE SALAS DE AULA	1643	-	R\$ 430.720,43
C	BLOCO DEP. AUTOMAÇÃO	329	-	R\$ 1.456.697,19
D	LABORATÓRIOS - LVA	72	-	R\$ 325.502,75
E	BLOCO DEP. ELÉTRICA	773	-	R\$ 2.503.389,60
EXT.	ÁREA EXTERNA	-	100*	-
<b>CTC</b>	<b>TOTAL</b>	<b>2537</b>	<b>141*</b>	<b>R\$ 4.723.405,36</b>

\*estimado. Fonte: Feito pelo autor (2021).

Identificar a estrutura também passa por identificar as características físicas da estrutura e do meio ambiente em que ela se encontra ou será implementada, as características das linhas de sinais e linhas de energia que adentram a estrutura e outros fatores relevantes ao cálculo das componentes de risco.

Para aplicar o método de cálculo, a identificação da estrutura será realizada em quatro etapas: a identificação da estrutura a ser protegida propriamente dita; as linhas de energia e de sinais que adentram essa estrutura e suas possíveis construções adjacentes; as características internas referentes à estrutura e ao uso dos ambientes; e pôr fim a perdas características devido ao uso destinado às edificações.

## 2.1 ESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

As características da estrutura e meio ambiente estão relacionadas com a probabilidade de uma descarga atmosférica atingir a estrutura ou próximo a ela, o que inclui as dimensões da estrutura, a localização geográfica e as proteções já existentes na edificação.

A Tabela 2 mostra os parâmetros a serem adquiridos referentes a estrutura existente. Cada um desses parâmetros será detalhado nesta seção, incluindo a origem do dado e a descrição do parâmetro referente à edificação que deve ser protegida. Também na Tabela 2 está a referência da norma de onde o dado pode ser adquirido.

Ao final da seção os parâmetros adquiridos e os devidos comentários estarão indicados na Tabela 2.1.

Tabela 2 – Tabela de aquisição de dados da estrutura a ser protegida.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Ref. NBR 5419
Densidade de descargas atmosféricas (1/km <sup>2</sup> /ano)		N <sub>G</sub>		INPE
Área equivalente da estrutura (m <sup>2</sup> )		A <sub>D</sub>		
Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura		A <sub>M</sub>		
Fator de localização da estrutura (m)		C <sub>D</sub>		Tabela (A.1)
SPDA		P <sub>B</sub>		Tabela (B.2)
Ligação equipotencial		P <sub>EB</sub>		Tabela (B.7)
Blindagem espacial externa		K <sub>SI</sub>		Equação (3)

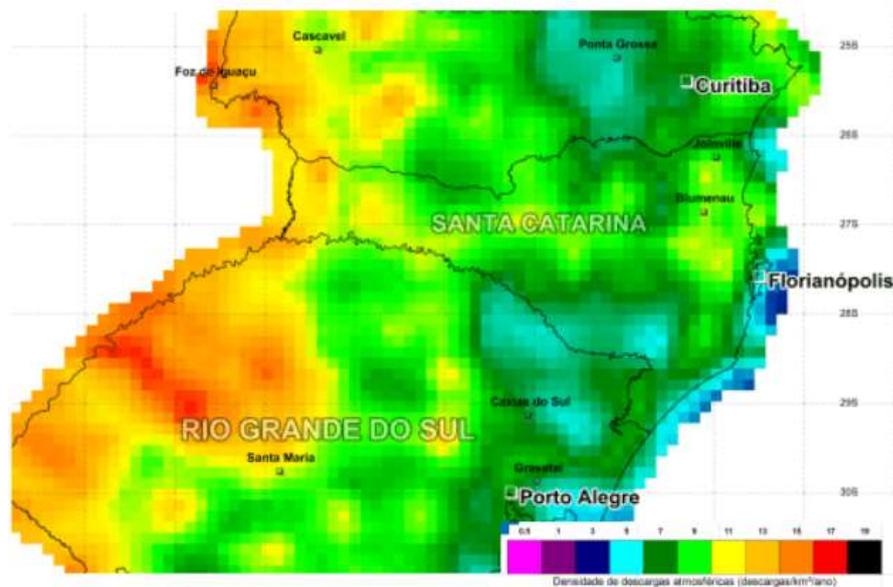
Fonte: ABNT (2015)

### 2.1.1 Densidade de descargas atmosféricas

Segundo a NBR 5419 densidade de descargas atmosféricas (N<sub>G</sub>) é o número correspondente ao número de descargas atmosféricas que atingem a terra por km<sup>2</sup> por ano.

O dado pode ser adquirido levando em consideração a localização da estrutura. A densidade de descargas atmosféricas no território brasileiro pode ser encontrada nas páginas da *web* do INPE ou no Anexo da Parte 2 da norma. A Figura 4 mostra a imagem do mapa do INPE retirado do Anexo.

Figura 4 – Mapa de densidade de descargas atmosféricas de Santa Catarina.



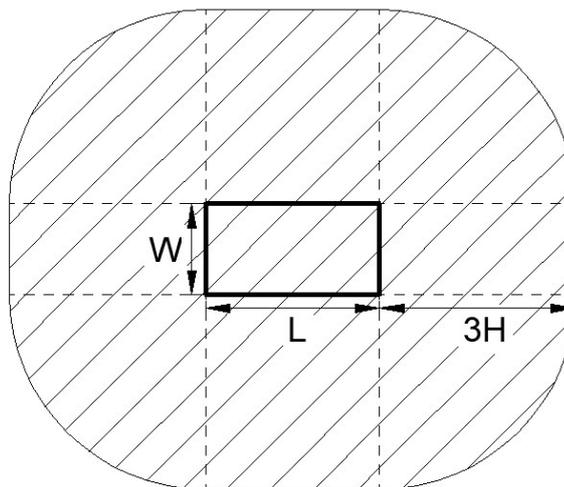
Fonte: ABNT (2015).

A ilha de Florianópolis, principalmente a região central da ilha, mais precisamente o bairro da Trindade onde fica o campus da Universidade, está representado no mapa pela coloração azul ciano, correspondente a  $N_G = 5/\text{km}^2/\text{ano}$  conforme legenda.

### 2.1.2 Área equivalente da estrutura

A área de exposição equivalente de uma estrutura para o raio, segundo a norma é definida como sendo “a intersecção entre a superfície do solo com uma linha reta de inclinação 1 para 3 a qual passa pelas partes mais altas da estrutura (tocando-a nestes pontos) e rotacionando ao redor dela.” É mais simples compreensão observando o exemplo gráfico na Figura 5 de uma estrutura de tamanho uniforme.

Figura 5 – Área de exposição equivalente de uma estrutura de altura uniforme.



Fonte: Feito pelo autor.

A Figura 5 representa uma edificação vista de cima, sendo L e W os lados e H de altura da estrutura. A área hachurada representa a área equivalente da estrutura para o raio. Caso a edificação não tenha alturas uniformes é necessário que se faça sobreposição das áreas equivalentes de diferentes alturas através de método gráfico.

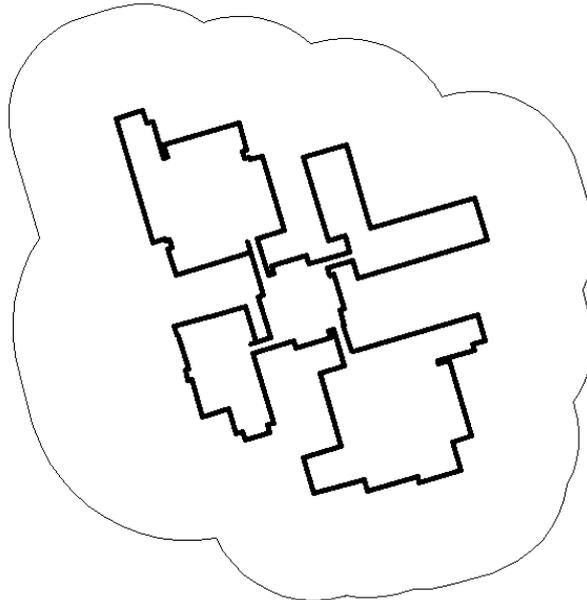
Para a edificação do exemplo foi utilizado o método gráfico conforme o representado na Figura 6. A área equivalente da estrutura é de 22700 m<sup>2</sup>.

A área equivalente para o raio de uma estrutura com altura uniforme também pode ser determinada por meio da Equação (1):

$$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2, \quad (1)$$

sendo L e W os lados e H de altura da estrutura.

Figura 6 – Área de exposição equivalente de uma estrutura a ser protegida.



Fonte: Feito pelo autor.

### 2.1.3 Área de exposição equivalente perto de uma estrutura

Assim como a área equivalente da estrutura é a área dentro de uma linha traçada à uma distância de três vezes a altura, a área de exposição equivalente perto da estrutura é a área dentro de uma linha traçada à uma distância de 500 m do perímetro da estrutura.

Para encontrar o valor numérico da área é possível por método gráfico ou por meio da Equação (2):

$$A_M = 2 \times (500) \times (L + W) + \pi \times (500)^2. \quad (2)$$

A área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura dos blocos interligados do CTC é  $A_M = 971.000 \text{ m}^2$ .

### 2.1.4 Fator de localização da estrutura

O Fator de localização é correspondente à localização da edificação, se possuem estruturas ou objetos próximos mais altos que funcionam como “proteção” ou se por exemplo estão localizados no alto de uma colina, aumentando a exposição.

Os valores correspondentes podem ser coletados na Tabela A.1 do Anexo A da NBR 5419-2. A Figura 7 mostra a Tabela A.1 da norma.

Figura 7 – Tabela A1 da NBR 5419.

<b>Localização relativa</b>	<b><math>C_D</math></b>
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: ABNT (2015).

O Fator de Localização da estrutura do CTC é  $C_D = 0,5$ .

### 2.1.5 SPDA

O Fator  $P_B$  é referente, na primeira etapa, ao SPDA existente, qual a classe do sistema instalado ou se o edifício é projetado com subsistema de descida natural. O Valor de  $P_B$  está relacionado com probabilidade de existir danos físicos dependendo da medida de proteção adotada. É notado que conforme maior o nível de proteção, menor a probabilidade de dano  $P_B$ .

Cada valor de  $P_B$  pode ser encontrado na Tabela B.2 do Anexo B da NBR 5419-2, mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Tabela B2 da NBR 5419.

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

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

Fonte: ABNT (2015).

Atualmente o CTC não possui sistema de proteção contra descargas atmosféricas, segundo a tabela, assim  $P_B = 1$ .

### 2.1.6 Ligação equipotencial

O Fator  $P_{EB}$  é a probabilidade de dano aos equipamentos elétricos e eletrônicos caso ocorra descarga atmosférica na linha e é um fator referente ao nível de proteção para qual o DPS foi projetado e à ligação equipotencial existente na estrutura.

A Tabela B.7 da NBR 5419, mostrada na Figura 9, foi retirada do Anexo B da parte 2 e tem os valores de  $P_{EB}$ .

Figura 9 – Tabela B.7 da NBR 5419.

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

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

Fonte: ABNT (2015).

Apesar de alguns quadros do CTC serem novos, devido a pequenas intervenções locais, a grande maioria é antigo e não possui DPS. A malha de aterramento da estrutura e a equipotencialização também estão comprometidas. Sendo, assim, tem-se  $P_{EB} = 1$ .

### 2.1.7 Blindagem espacial externa

O valor de  $K_{S1}$  leva em conta a eficiência da blindagem da malha externa à estrutura. O valor pode ser encontrado através da Equação (3), onde  $w_{m1}$  é a largura (em metros) da blindagem em forma de grade, ou o distanciamento dos condutores de decida, sejam eles cabos condutores, estruturas metálicas ou concreto armado como SPDA natural.

Os valores de  $K_{S1}$  variam entre  $10^{-4}$  e 1.

$$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1}. \quad (3)$$

Como na edificação não possui blindagem externa o valor de  $K_{S1}$  adotado é o valor máximo 1. O fator  $K_{S1}$  possui relação com a probabilidade de uma descarga perto de uma estrutura causar falhas nos sistemas internos.

Assim, é possível completar a Tabela 2 resultando na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Tabela de aquisição de dados da estrutura a ser protegida completa.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas (1/km <sup>2</sup> /ano)		N <sub>G</sub>	5	INPE
Área equivalente da estrutura (m <sup>2</sup> )		A <sub>D</sub>	22700	
Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura		A <sub>M</sub>	971000	
Fator de localização da estrutura (m)	Cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C <sub>D</sub>	0,5	Tabela (A.1)
SPDA	Nenhum	P <sub>B</sub>	1	Tabela (B.2)
Ligação equipotencial	Nenhum	P <sub>EB</sub>	1	Tabela (B.7)
Blindagem espacial externa	Nenhum	K <sub>S1</sub>	1	Equação (3)

Fonte: Feita pelo autor

## 2.2 LINHAS DE ENERGIAS E SINAIS

Com a atualização da norma, as linhas que entram na edificação também são consideradas no cálculo de proteção contra descargas devido a raios que possam cair nas linhas ou próximos às linhas e causar dano. Deve ser considerada a função da linha, as características das linhas e se a linha parte, ou não, de outra estrutura.

A Tabela 3 mostra quais os parâmetros das linhas de energia e sinais são necessários para o cálculo das componentes de risco. Os resultados serão mostrados nas Tabelas 3.1 e 3.2 ao fim da seção.

Tabela 3 – Características das linhas.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		L <sub>L</sub>		
Fator de instalação		C <sub>I</sub>		Tabela A.2
Fator tipo de linha		C <sub>T</sub>		Tabela A.3
Fator ambiental		C <sub>E</sub>		Tabela A.4
Blindagem da linha (Ω /km)		R <sub>S</sub>		
Blindagem, aterramento, isolamento		C <sub>LD</sub>		Tabela B.4
		C <sub>LI</sub>		
Área equivalente Estrutura Adjacente		A <sub>DJ</sub>		
Fator de localização da estrutura adjacente		C <sub>DJ</sub>		Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos		U <sub>W</sub>		

	Parâmetros resultantes	$K_{S4}$	Equação (B.7)
		$P_{LD}$	Tabela B.8
		$P_{LI}$	Tabela B.9

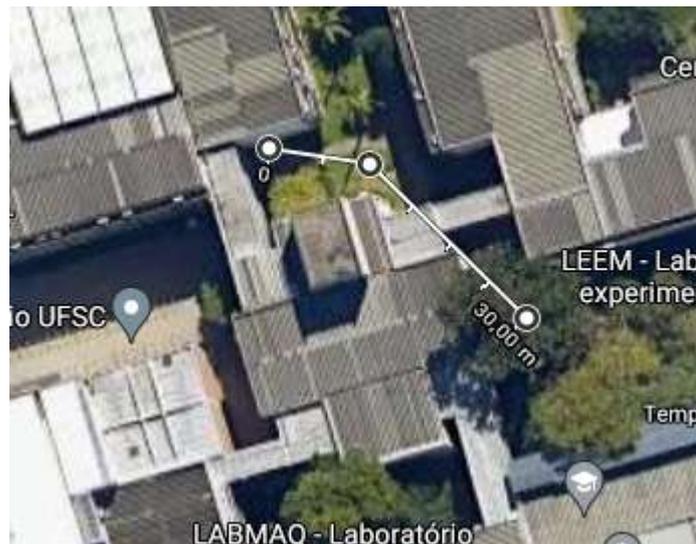
Fonte: ABNT (2015)

### 2.2.1 Comprimento

O parâmetro, como indica o nome, consiste no valor em metros do comprimento da linha que adentra a estrutura a ser protegida. Caso o comprimento da linha não for conhecido deverá ser considerado como igual a 1000 m.

Considerando a linha de energia que parte da subestação abaixadora (13,8 kV/380 V) localizada ao lado da estrutura a ser protegida, adotando a maior distância entre a entrada dos blocos e a subestação conforme mostrado na Figura 10, é possível considerar o valor do comprimento da linha de energia aproximadamente 30 m.

Figura 10 – Comprimento da linha de energia.



Fonte: Google Maps (2021).

No caso da linha de sinais, será considerado o valor de 1000 m para linhas cujo comprimento é desconhecido.

### 2.2.2 Fator de Instalação

Consiste na identificação da forma como a linha está instalada no ambiente, cabos aéreos possuem uma maior suscetibilidade a sofrer descargas atmosféricas diretas do que cabos instalados enterrados ou instalados completamente dentro de uma malha de aterramento.

Os valores para o fator de Instalação ( $C_I$ ) estão na Tabela A.2, representado na Figura 11, retirado do Anexo A da NBR 5419-2.

Figura 11 – Tabela A.2 da NBR 5419.

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

Fonte: ABNT (2015).

Ambas as linhas são instaladas em eletrodutos enterrados fora de uma malha de aterramento. Portanto para os dois casos, tem-se  $C_I = 0,5$ .

### 2.2.3 Fator de tipo de linha

O valor do fator está relacionado com a finalidade de utilização da linha, caso a linha que esteja adentrando a estrutura for uma linha de energia em alta tensão, considerando um transformador abaixador dentro da estrutura, o valor do fator é reduzido.

Os valores para o fator de Instalação ( $C_T$ ) podem ser retirados da Tabela A.3 da norma, que está representada na Figura 12.

Figura 12 – Tabela A.3 da NBR 5419.

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

Fonte: ABNT (2015).

Para os dois casos, tem-se  $C_T = 1$ .

### 2.2.4 Fator ambiental

Assim como o fator de localização da estrutura está relacionado com o entorno da edificação, o fator ambiental está relacionado com o entorno da linha, se está instalada em meio rural, urbano ou suburbano.

A tabela A.4, mostrada na Figura 13, retirada do Anexo A da parte 2 traz os valores do fator ambiental  $C_E$ .

Figura 13 – Tabela A.4 da NBR 5419.

Ambiente	$C_E$
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m.	0,01

Fonte: ABNT (2015).

Apesar de haver um edifício mais alto do que 20 m localizado a uma distância de aproximadamente 150 metros das linhas, o fator ambiental é considerado apenas como ambiente urbano, portanto tem-se  $C_E = 0,1$ .

### 2.2.5 Blindagem da linha

Este parâmetro consiste na representação da resistência de blindagem  $R_S$  em  $\Omega/\text{km}$ , para auxiliar o projetista a norma NBR 5419-2 :2015, apresenta em nota:

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). [...] (ABNT, 2015, p. 47).

Considerando a nota, e verificando os cabos existentes pode se concluir que a linha de energia que adentra a estrutura não é blindada, e, portanto, não possui resistência de blindagem, assumindo o valor zero. Já a linha de sinais possui resistência de blindagem  $R_S = 5 \Omega/\text{km}$ .

### 2.2.6 Blindagem, aterramento e isolamento

Nessa seção é necessário identificar dois fatores,  $C_{LD}$  e  $C_{LI}$ , correspondentes à blindagem, ao aterramento e à isolamento das linhas. Os fatores podem ser encontrados na tabela B.4 extraída do Anexo B da parte 2 da NBR-5419. A Tabela B.4 está representada na Figura 14.

Figura 14 – Tabela B.4 da NBR 5419.

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

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	$C_{LD}$	$C_{LI}$
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0

Fonte: ABNT (2015).

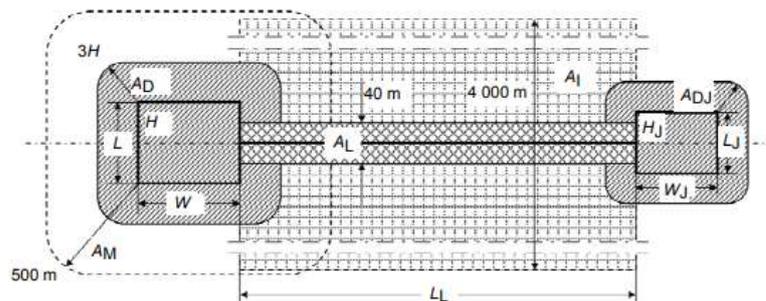
Para a linha de energia não blindada e com conexões indefinidas os fatores adotados correspondentes são  $C_{LD} = 1$  e  $C_{LI} = 1$ .

Para a linha de sinais blindadas e considerando as conexões de entrada sendo “não interligadas ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento”, os fatores adotados correspondentes são  $C_{LD} = 1$  e  $C_{LI} = 0,3$ .

### 2.2.7 Área equivalente da estrutura adjacente

A estrutura adjacente está relacionada à linha que adentra a estrutura a ser protegida, a Figura 15 exemplifica graficamente essa relação.

Figura 15 – Estrutura conectada com estrutura adjacente por linha.



Fonte: ABNT (2015).

É possível observar através da Figura 15, onde está desenhada a estrutura a ser protegida, com lados  $L$ ,  $W$  e altura  $H$ . Saindo ou entrando da estrutura a ser protegida está a linha, de comprimento  $L_L$ . E por fim, na outra extremidade da linha está a estrutura adjacente.

Estruturas adjacentes são estruturas conectadas a estrutura a ser protegida, por meio de linha de energia ou sinais.

A área equivalente da estrutura adjacente é determinada de maneira análoga ao já utilizado na edificação a ser protegida, através da Equação (1).

As dimensões aproximadas da Subestação onde saem as linhas de energia, são: lados  $L_J=7$  m,  $W_J=7$  m e altura  $H_J=5$  m. Substituindo os valores de  $L_J$ ,  $W_J$  e  $H_J$  por  $L$ ,  $W$ , e  $H$  na Equação (1), obtém-se  $A_{DJ} = 1175,5$  m<sup>2</sup>.

Para a linha de sinais não foi encontrada a origem das linhas e, portanto, foi adotado o critério de incerteza, considerando a linha com o comprimento de 1000m e como não foi identificada estrutura adjacente, não será considerada nenhuma estrutura.

### 2.2.8 Fator de localização da estrutura adjacente

Equivalente ao Fator de localização da estrutura. No caso da subestação, a estrutura adjacente está cercada por objetos mais altos. Utilizando a Tabela A.1 da norma, Figura 7 neste trabalho, chega-se ao fator de localização da estrutura adjacente de  $C_{DJ} = 0,25$ .

### 2.2.9 Tensão suportável dos sistemas internos

Referente ao valor da tensão  $U_w$ , em kV, em que os disjuntores que protegem os sistemas internos são capazes de suportar em um eventual surto. Os valores comerciais de  $U_w$  são: 1, 1,5, 2,5, 4 e 6 kV. Estes valores podem ser identificados nos próprios disjuntores. A Figura 16 mostra um dos quadros elétricos antigos do Bloco B.

Figura 16 – Quadro de distribuição elétrica existente no bloco B.



Fonte: Feito pelo autor (2021).

Os blocos do CTC possuem uma grande diversidade de quadros elétricos, alguns bastante novos e outros quadros mais antigos como, por exemplo, do bloco B onde adentra a linha em estudo. O bloco B também foi um dos primeiros blocos a ser construído, onde possivelmente os quadros e muitos dos disjuntores são os mesmos desde a construção. Muitos dos disjuntores não possuíam mais a etiqueta contendo o valor da tensão suportável ou as inscrições estavam apagadas.

Considerando a falta de garantia de funcionamento de parte dos equipamentos, sendo na capacidade de suportar uma sobre tensão, ou mesmo como chave seccionadora, será considerado  $U_W = 1$  kV. No caso das linhas de sinais, as quais não possuem equipamentos, como disjuntores específicos, o valor da tensão suportável é a mesma das linhas de energia, sendo considerada como a tensão suportável dos sistemas elétricos internos da edificação, aos quais estão conectados os equipamentos de processamento de sinais.

#### 2.2.10 Parâmetros resultantes das linhas

Existem alguns parâmetros resultantes com referência na tensão suportável dos equipamentos internos que já devem ser identificados. O Fator  $K_{S4}$  está relacionado com a tensão suportável dos sistemas internos através da Equação (4).

$$K_{S4} = 1/U_W. \quad (4)$$

O Fator  $K_{S4}$  é um parâmetro para determinar a probabilidade de uma descarga próxima a linha causar danos aos sistemas internos. O valor máximo de  $K_{S4}$  é igual a 1. O valor de  $K_{S4}$  calculado para o  $U_W = 1$  kV é de 1 por kV.

O parâmetro  $P_{LD}$  é a probabilidade falha dos sistemas internos causados por uma descarga atmosférica na linha, está relacionada com as características da linha assim como a tensão suportável dos equipamentos de proteção. Os valores de  $P_{LD}$  podem ser encontrados na Tabela B.8 da parte 2 da norma, disponível na Figura 17.

Como já descrito sobre a blindagem das linhas, a linha de energia não possui blindagem e a linha de sinais não está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento. Portanto, de acordo com a Tabela B.8 em ambos os casos tem-se  $P_{LD} = 1$ .

Figura 17 – Tabela B.8 da NBR 5419.

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

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

Fonte: ABNT (2015).

No mesmo sentido a probabilidade  $P_{LI}$  é a probabilidade de haver falha nos sistemas internos caso ocorra uma descarga próximo à linha. O valor de  $P_{LI}$  pode ser encontrado na Tabela B.9 da norma, representado na Figura 18.

Figura 18 – Tabela B.9 da NBR 5419.

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

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

Fonte: ABNT (2015).

Segundo a Tabela B.9 os valores para  $P_{LI}$  das linhas de energia e sinais são:  $P_{LI} = 1$ . Com esses parâmetros é possível completar os parâmetros das linhas de energia e de sinais. A Tabela 3.1 possui as características da linha de energia que adentra a estrutura.

Tabela 3.1 – Características da linha de energia.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		$L_L$	30	
Fator de instalação	Enterrado	$C_I$	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	BT	$C_T$	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Urbano	$C_E$	0,1	Tabela A.4
Blindagem da linha ( $\Omega/\text{km}$ )	Não blindada	$R_S$	0	
Blindagem, aterramento, isolamento	Indefinida	$C_{LD}$	1	Tabela B.4
		$C_{LI}$	1	

Área equivalente Estrutura Adjacente	SE	$A_{DJ}$	1175,5	
Fator de localização da estrutura adjacente	Cercada por objetos mais altos	$C_{DJ}$	0,25	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos		$U_W$	1	
	Parâmetros resultantes	$K_{S4}$	1	Equação (B.7)
		$P_{LD}$	1	Tabela B.8
		$P_{LI}$	1	Tabela B.9

Fonte: Feita pelo autor (2021).

A Tabela 3.2 possui as características da linha de sinais que adentra a estrutura a ser protegida:

Tabela 3.2 – Características da linha de sinais.

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento (m)		$L_L$	1000	
Fator de instalação	Enterrado	$C_I$	0,5	Tabela A.2
Fator tipo de linha	Sinal	$C_T$	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Urbano	$C_E$	0,1	Tabela A.4
Blindagem da linha ( $\Omega$ /km)	Linha de Sinais comum	$R_S$	5	Tabela B.8
Blindagem, aterramento, isolamento	Indefinida	$C_{LD}$	1	Tabela B.4
		$C_{LI}$	0,3	
Área equivalente Estrutura Adjacente	Nenhuma	$A_{DJ}$	-	
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	$C_{DJ}$	-	Tabela A.1
Tensão suportável dos sistemas internos		$U_W$	1	
	Parâmetros resultantes	$K_{S4}$	1	Equação (B.7)
		$P_{LD}$	1	Tabela B.8
		$P_{LI}$	1	Tabela B.9

Fonte: Feita pelo autor (2021).

### 2.3 FATORES INTERNOS VÁLIDOS DA ESTRUTURA A SER PROTEGIDA

Para o cálculo das componentes de risco é necessário considerar outros elementos internos da estrutura, como tipo do piso, risco e proteção contra incêndio, características das instalações elétricas internas, dentre outros. A Tabela 4 mostra os dados a serem adquiridos.

Em busca de facilitar os cálculos e permitir uma melhor exequibilidade das medidas de proteção, a edificação pode ser dividida em zonas. No exemplo do CTC, as zonas serão divididas de modo que cada bloco seja considerado uma zona separada e a área externa do

entorno como outra zona. Cada um dos fatores presente na Tabela 4 deverá ser determinado para cada zona.

Tabela 4 – Fatores internos da estrutura

		Símbolo	Referência						
Zona		$Z_x$		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
Descrição				Externa	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D	Bloco E
Superfície do piso		$r_t$	Tabela C.3						
Proteção contra choque		$P_{TA}$	Tabela B.1						
Risco de incêndio		$r_f$	Tabela C.5						
Proteção contra incêndio		$r_p$	Tabela C.4						
Blindagem espacial interna		$K_{S2}$	Equação (B.6)						
Energia	Fiação interna	$K_{S3}$	Tabela B.5						
	DPS Coordenados	$P_{SPD}$	Tabela B.3						
Sinais	Fiação interna	$K_{S3}$	Tabela B.5						
	DPS Coordenados	$P_{SPD}$	Tabela B.3						

Fonte: ABNT (2015)

A determinação de cada um dos parâmetros será descrita nos próximos subitens.

### 2.3.1 Superfície do piso

O tipo de superfície do solo presente nas diferentes zonas da estrutura influencia o cálculo de riscos. O fator de redução  $r_t$  pode ser encontrado na Tabela C.3 da parte 2 da norma, é um fator de redução de perda de vida humana de acordo com o tipo de solo ou piso. A tabela C.3 está representada na Figura 19.

Figura 19 – Tabela C.3 da NBR 5419.

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

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

<sup>a</sup> Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm<sup>2</sup> comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

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

Fonte: ABNT (2015).

Para a área externa ( $Z_1$ ), onde o piso é majoritariamente gramado ou concreto, o fator de redução  $r_t = 10^{-2}$ . E para as demais zonas onde o piso é composto por concreto ou piso de cerâmica, será adotado o pior caso,  $r_t = 10^{-3}$ .

### 2.3.2 Proteção contra choque

Uma descarga em uma estrutura pode causar choques elétricos aos seres vivos, seja por tensão de passo seja por tensão de toque. Medidas de proteção adicionais como isolamento elétrica ou equipotencialização efetiva do solo reduzem a probabilidade de uma descarga na estrutura causar choques elétricos. Os valores de  $P_{TA}$  que representam essa probabilidade podem ser encontrados na Tabela B.1 do anexo B da norma. A Tabela B.1 é mostrada na Figura 20.

Figura 20 – Tabela B.1 da NBR 5419.

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

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

Fonte: ABNT (2015).

Como não há sistema de proteção e nenhuma medida de proteção contra possíveis choques por contato ou tensão de passo, para todas as zonas tem-se  $P_{TA} = 1$ .

### 2.3.3 Risco de incêndio

O risco de incêndio causado por algum dano físico que uma descarga atmosférica possa ocasionar em uma estrutura também deve ser mensurado. O fator de redução  $r_f$  está relacionado com o risco de incêndio ou explosão causado pela descarga. Conforme maiores os riscos de explosão ou incêndio, maior o valor de  $r_f$ . Os valores de  $r_f$  podem ser encontrados na Tabela C.5 do anexo da norma. A Tabela C.5 é mostrada na Figura 21.

Para avaliar a quantidade de risco de incêndio é necessário avaliar a carga de incêndio de cada zona da estrutura. A NBR:5419 diz que baixo risco de incêndio são estruturas que possuem uma carga menor que  $400 \text{ MJ/m}^2$ , risco normal de incêndio entre  $400$  e  $800 \text{ MJ/m}^2$ , por consequência um alto risco está relacionado com cargas de incêndio maiores de  $800 \text{ MJ/m}^2$ .

Figura 21 – Tabela C.5 da NBR 5419.

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

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

Fonte: ABNT (2015).

A carga de incêndio de uma estrutura é definida pelo Corpo de Bombeiros. Em Santa Catarina, a Instrução Normativa 03 – Cargas de Incêndio (2019), citada nas referências deste trabalho, discrimina por tipo de ocupação/uso da estrutura as suas respectivas cargas de incêndio específicas. A Figura 22 traz um extrato do Anexo B da IN 03.

Figura 22 – Extrato de Anexo B - Tabela de cargas de incêndio específicas por ocupação.

Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Destinação	Carga de incêndio específica [MJ/m <sup>2</sup> ]
Serviço profissional	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Escritórios	700
			Estúdios de rádio ou de televisão ou de fotografia	300
			Processamentos de dados	400
	D-2	Agência bancária	Agências bancárias	300
	D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Lavanderias	300
			Oficinas elétricas	600
			Oficinas hidráulicas ou mecânicas	200
			Pinturas	500
	D-4	Laboratório	Laboratórios químicos	500
			Laboratórios (outros)	300
Educativa e cultura física	E-1	Escola em geral	todas	300
	E-2	Escola especial	todas	300
	E-3	Espaço para cultura física	todas	300
	E-4	Centro de treinamento profissional	todas	300
	E-5	Pré-escola	todas	300
	E-6	Escola para portadores de deficiência	todas	300

Fonte: Corpo de Bombeiros de Santa Catarina (2019).

Segundo o anexo, para o espaço educacional, independente da destinação, a carga de incêndio específica é de 300 MJ/m<sup>2</sup>, portanto, baixo risco de incêndio.

Pode se adotar dois grupos de zonas, um grupo contendo os blocos de A, B, C, D e E e outro grupo contendo apenas a zona 1 que indica a área externa aos blocos. Considerando o

primeiro grupo cuja ocupação é educacional, segundo a Tabela C.5 para baixo risco de incêndio  $r_f = 10^{-3}$ . Para área externa será considerado como nenhum risco de incêndio, portanto adotado  $r_f = 0$ .

### 2.3.4 Proteção contra incêndio

Considerando o risco de incêndio, as proteções contra incêndio minimizam as consequências de um incêndio, por consequência reduzindo o risco de perda de vida e de valor patrimonial. O fator de redução  $r_p$  está relacionada com as medidas de proteção conforme descrito na Tabela C.4 da parte 2 da norma. A Tabela C.4 é apresentada na Figura 23.

Figura 23 – Tabela C.4 da NBR 5419.

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

Providências	$r_p$
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático <sup>a</sup>	0,2

<sup>a</sup> Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Fonte: ABNT (2015).

Os cinco blocos interligados do CTC possuem pelo menos extintores e instalações de alarme manuais, mas nenhum dos blocos possuem instalações fixas operadas automaticamente ou alarme de incêndio automático, portanto para as zonas 2 até a zona 6 o valor de  $r_p$  adotado é igual a 0,5.

### 2.3.5 Blindagem espacial interna

Semelhante ao parâmetro  $K_{S1}$  que representa a eficiência da blindagem externa, o parâmetro  $K_{S2}$  leva em consideração a eficiência da blindagem interna da estrutura. O valor de  $K_{S2}$  pode ser encontrado através da Equação 5 deste trabalho, disposta no Anexo B da norma, onde  $w_{m2}$  é a largura ou espaçamento entre os elementos que compõe a blindagem. Os valores de  $K_{S2}$  também variam entre  $10^{-4}$  e 1.

$$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2}. \quad (5)$$

Como a edificação não possui blindagem os valores adotados de  $K_{S2}$  para todos os blocos é igual a 1.

### 2.3.6 Fiação interna

A fiação interna de uma estrutura e seu modo de instalação também são relevantes para o cálculo de riscos de falhas de sistemas internos devido a descargas atmosféricas. O fator  $K_{S3}$ , que pode ser encontrado na Tabela B.5 da parte 2 da norma, depende se o cabo é ou não blindado e se as instalações da fiação interna tiveram ou não preocupação no roteamento no sentido de evitar laços. A Figura 24 mostra a Tabela B.5.

Figura 24 – Tabela B.5 da NBR 5419.

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

<sup>a</sup> Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m<sup>2</sup>).  
<sup>b</sup> Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m<sup>2</sup>).  
<sup>c</sup> Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m<sup>2</sup>).  
<sup>d</sup> Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

Fonte: ABNT (2015).

No caso das instalações do Centro Tecnológico, como são construções com um bom tempo de existência, já passaram por diversas administrações e pequenas reformas, portanto não é possível garantir que não existam laços nas instalações. Para todas as zonas internas  $K_{S3} = 1$ , tanto para as instalações de energia quanto de sinais.

### 2.3.7 DPS Coordenados

Um sistema de DPS coordenados possuem uma probabilidade de redução de danos a sistemas internos.

A Figura 25 mostra a Tabela B.3, onde pode ser encontrado o valor de  $P_{SPD}$ . O valor dessa probabilidade  $P_{SPD}$  depende do nível de proteção NP para o qual foi projetado o sistema coordenado de DPS. Como representado na Figura 16, existem muitos quadros antigos que não possuem DPS em todos os blocos.

Segundo a Tabela B.3 da parte 2 da norma, para todas as zonas internas tem-se  $P_{SPD} = 1$ . O nível de proteção será abordado mais à frente.

Figura 25 – Tabela B.3 da NBR 5419.

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

NP	$P_{SPD}$
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTA 2	0,005 – 0,001

Fonte: ABNT (2015).

A Tabela 4.1 demonstra os parâmetros relativos à estrutura.

**Tabela 4.1 – Fatores internos da estrutura completa**

		Símbolo	Referência						
Zona		$Z_x$		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
Descrição				Externa	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D	Bloco E
Superfície do piso		$r_t$	Tabela C.3	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Proteção contra choque		$P_{TA}$	Tabela B.1	1	1	1	1	1	1
Risco de incêndio		$r_f$	Tabela C.5	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Proteção contra incêndio		$r_p$	Tabela C.4	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Blindagem espacial interna		$K_{S2}$	Equação (B.6)	-	1	1	1	1	1
Energia	Fiação interna	$K_{S3}$	Tabela B.5	-	1	1	1	1	1
	DPS Coordenados	$P_{SPD}$	Tabela B.3	-	1	1	1	1	1
Sinais	Fiação interna	$K_{S3}$	Tabela B.5	-	1	1	1	1	1
	DPS Coordenados	$P_{SPD}$	Tabela B.3	-	1	1	1	1	1

Fonte: Feito pelo autor.

Segundo o procedimento de cálculo de riscos, é necessário identificar os tipos de perda relativos à estrutura antes de calcular as componentes de risco. Os tipos de perda serão descritos no capítulo a seguir.

## 2.4 IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PERDA RELATIVOS À ESTRUTURA

Segundo a NBR 5419 são considerados quatro tipos de perdas referentes a descargas atmosféricas: perda de vida humana, perda de serviço público, perda de patrimônio cultural, perda de valores econômicos.

Perda de vida humana (L1) refere-se a morte de pessoas ou ferimentos permanentes, podendo ser devido à choques elétricos ou tensão de passo, à danos físicos ou incêndios e suas consequências, ou mesmo à falha de sistemas internos como pode ocorrer em hospitais. Inclui-se aqui ferimentos permanentes.

Perda de serviço público (L2) está relacionada com a falta de abastecimento de energia, água, telefone, gás e semelhantes, caso ocorra algum dano.

Perda de patrimônio cultural (L3) como o nome indica, está relacionada com por exemplo a queima de exposições culturais em um museu, ou a destruição de um teatro ou biblioteca.

Perda de valores econômicos (L4) se relaciona com a destruição de bens materiais, como por exemplo a perda de uma mercadoria em um galpão ou os equipamentos de um laboratório de pesquisa.

Para a edificação do estudo, os blocos interligados do Centro Tecnológico, que são ambientes educacionais, todos com grande presença de pessoas com ênfase para o bloco B com lotação máxima com mais de 1600 usuários. Além de possuírem muitos equipamentos, alguns sendo bastante valorosos. Portanto são identificados dois tipos de possíveis perdas, L1 – Perda de vida humana e L4 perda de valor econômico. Também foi verificada a ausência de materiais explosivos e combustíveis.

#### **2.4.1 Tipos e fonte de danos**

As fontes de danos, os tipos de danos e os tipos de perdas se relacionam como ilustrado na Tabela 1 da NBR 5419 parte 2, presente na Figura 26.

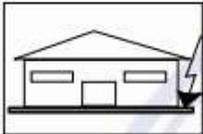
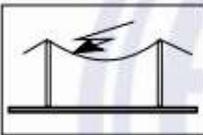
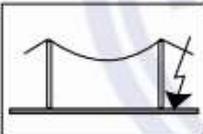
Para a NBR 5419, cada tipo de perda devido a descargas atmosféricas pode ocorrer devido a três diferentes tipos de danos, são eles: D1 – ferimentos, D2 – danos físicos e D3 – falhas dos sistemas internos. Ainda segundo a norma, os danos são provindos de quatro fontes de impactos: S1 – descarga na estrutura a ser protegida, S2 – descarga próximo a estrutura, S3 – descarga em uma linha que adentre a estrutura e S4 – descarga atmosférica próximo a uma linha que adentre a estrutura.

De acordo com a Figura 26, uma descarga atmosférica em uma estrutura, por exemplo, pode ocasionar três tipos de danos, ferimentos que podem resultar em perda de vida humana e em casos de propriedades de animais onde também podem gerar perda de valor econômico, danos físicos que podem acarretar em todos os tipos de perdas e por fim falhas dos sistemas

internos que podem gerar perda de vida humana em caso de hospitais e estruturas com risco de explosão, perda de serviço público e de valor econômico.

Figura 26 – Tabela 1 da NBR 5419.

**Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto**

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

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

Fonte: ABNT (2015).

Conhecendo os tipos de perda relativa à estrutura e também quais os tipos de danos é possível concluir a última etapa da aquisição de dados relativos à estrutura. Os dados necessários estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Identificação das perdas

		Símbolo	Referência						
<b>Zona</b>		$Z_x$		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
<b>Descrição</b>			Bloco	Ext	A	B	C	D	E
L1: perda de vida humana	Perigo especial	$h_z$	Tabela C.6						
	D1: devido a tensão de toque e de passo	$L_T$	Tabela C.2						

	D2: devido a danos físicos	$L_F$							
L4: perda econômica	D2: devido a danos físicos	$L_F$	Tabela C.12						
	D3: devido à falha de sistemas internos	$L_O$							
Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas		$P_{TU}$	Tabela B.6						

Fonte: Feito pelo autor.

### 2.4.2 Perigo especial

O Perigo especial está relacionada com o aumento do risco de perda de vida devido à algum dano físico. No caso do CTC é considerada a capacidade de evacuação dos blocos, considerando o nível de pânico. O fator  $h_z$  que quantifica essa relação pode ser encontrado na Tabela C.6 da parte 2 da norma. A Figura 27 mostra a Tabela C.6.

Figura 27 – Tabela C.6 da NBR 5419.

Tipo de perigo especial	$h_z$
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

Fonte: ABNT (2015).

Relembrando a lotação de pessoas dos blocos apresentados na Tabela 1, Bloco A estão lotadas 49 pessoas, Bloco B tem uma lotação máxima de 1643 pessoas, Bloco C uma lotação de 329 pessoas, Bloco D 72 e Bloco E 773 pessoas. Além disso todas as edificações possuem ao menos 3 pavimentos.

Será considerado nível médio de pânico para a ampla maioria dos blocos pois as estruturas possuem mais de dois andares, sendo  $h_z = 5$ . A exceção é o Bloco B o qual será considerado nível alto de pânico, devido ao alto número de pessoas, superior a 1600, sendo neste caso  $h_z = 10$ .

### 2.4.3 Tipo de perda L1

Para poder quantificar as perdas de vida humanas deve ser utilizado a Tabela C.2 da norma, onde são apresentados os valores médios tipo de vítimas de acordo com o tipo da estrutura.  $L_T$  é o número médio típico de vítimas feridas por choques elétricos devido a um evento perigoso,  $L_F$  por danos físicos e  $L_O$  por falha de sistemas internos. A Figura 28 mostra a Tabela C.2.

O número médio relativo de vítimas feridas por choques elétricos para todas as estruturas é igual a  $L_T = 10^{-2}$ . E o número médio relativo das vítimas por danos físicos em ambientes escolares é  $L_F = 10^{-1}$ . No caso do CTC o número de vítimas por falhas dos sistemas internos pode ser desprezado.

Figura 28 – Tabela C.2 da NBR 5419.

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

Fonte: ABNT (2015).

### 2.4.4 Tipo de perda L4

Do mesmo modo para as perdas econômicas é necessário quantificar as perdas, para isso a norma traz na Tabela C.12 no Anexo C da parte 2 da mesma. A tabela traz os valores de  $L_T$  que é o valor relativo médio típico de todos valores danificados por choque elétrico devido a um evento perigoso, válido apenas para onde animais estão presentes,  $L_F$  é o valor relativo médio típico de todos os danos atingidos por danos físicos e  $L_O$  os danificados por falha de sistemas internos. A tabela C.12 está representada na Figura 29.

De acordo com a Tabela C.12, para os blocos do CTC que são ambientes escolares, possuem  $L_F = 0,2$  e  $L_O = 10^{-3}$ .

Figura 29 – Tabela C.12 da NBR 5419.

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

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

Fonte: ABNT (2015).

#### 2.4.5 Probabilidade $P_{TU}$

A probabilidade  $P_{TU}$  de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensão de choque. Para as edificações do estudo será considerada a existência de isolamento elétrica e avisos visíveis de alerta como medidas de proteção. A Figura 30 mostra a Tabela B.6 extraída no Anexo B da NBR:5419-2, de onde pode ser retirado o valor de  $P_{TU}$ . Os blocos interligados não possuíam sistemas de SPDA, devido a isto, também não contam com descidas seguras para escoamento da corrente das descargas atmosféricas e, por consequência, não possuem proteção contra choques elétricos, portanto o valor de  $P_{TU}$  foi igual a um.

Figura 30 – Tabela B.6 da NBR 5419.

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

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

NOTA 3 Se mais de uma medida for tomada, o valor de  $P_{TU}$  será o produto dos valores correspondentes.

Fonte: ABNT (2015).

A Tabela 5.1 mostra os resultados adquiridos.

Tabela 5.1 – Identificação das perdas completa.

		<b>Símbolo</b>	<b>Referência</b>						
<b>Zona</b>		$Z_x$		$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
<b>Descrição</b>			Bloco	Ext	A	B	C	D	E
L1: perda de vida humana	Perigo especial	$h_z$	Tabela C.6	1	5	10	5	5	5
	D1: devido a tensão de toque e de passo	$L_T$	Tabela C.2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	D2: devido a danos físicos	$L_F$		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
L4: perda econômica	D2: devido a danos físicos	$L_F$	Tabela C.12	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	D3: devido à falha de sistemas internos	$L_O$		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas		$P_{TU}$	Tabela B.6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Fonte: Feito pelo autor.

### 3 COMPONENTES DE RISCO

Seguindo o cronograma proposto pela norma, o primeiro passo já concluído foi o de identificação da estrutura e identificação das perdas. Adiante, é necessário identificar as componentes de risco para cada tipo de perda,.

A perda L1 - perda de vida humana, está relacionada ao R1 – risco de perda humana, segundo a mesma lógica L2 - perda de serviço público, está relacionado com R2, L3- perda de patrimônio cultural com R3 e por fim L4 – perda de valor econômico está relacionado com R4 – risco de perda de valor econômico.

Os riscos que são objetos desse estudo, são calculados através das componentes de riscos, cada componente está relacionada à um tipo de fonte de dano, se é na estrutura, na linha ou próxima a elas e se são derivadas do número de eventos perigosos por ano, da probabilidade de ocorrer algum dano e a perda relacionada ao tipo de dano, por exemplo se a estrutura for atingida e causar choque elétrico em seres humanos.

Na Tabela 2 da NBR 5419:2, representada na Figura 31, é possível observar a relação das componentes de risco  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_M$ ,  $R_U$ ,  $R_V$ ,  $R_W$  e  $R_Z$  e como estão relacionadas com as diferentes fontes de danos e os riscos de perdas.

Figura 31 – Tabela 2 da NBR 5419.

Tabela 2 – 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 Somentemente 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 Somentemente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Fonte: ABNT (2015).

As equações que representam R1 e R4, necessárias ao estudo do caso são dadas a seguir, inicialmente com R1, perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1}. \quad (6)$$

Removendo as componentes de risco que não são pertinentes ao estudo do caso, como risco de explosão ou estruturas que possam em caso de falha dos sistemas elétricos possam ocasionar perda de vida humana a Equação (6) ficará:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1}. \quad (7)$$

E para R4, risco de perda de valor econômico, tem-se:

$$R_4 = R_{A4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}. \quad (8)$$

Novamente removendo as componentes de risco que não são pertinentes ao estudo, neste caso, por não se tratar de uma propriedade onde animais possam ser perdidos, a Equação (8) se torna:

$$R_4 = R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}. \quad (9)$$

A equação básica de uma componente de risco para uma estrutura  $R_x$  é:

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x, \quad (10)$$

sendo  $N_x$  o número de eventos perigosos por ano,  $P_x$  a probabilidade de danos relevantes à estrutura e  $L_x$  a perda consequente a danos relevantes à estrutura.

As equações das componentes de risco estão na Tabela 6 da segunda parte da norma. A Figura 32 mostra a Tabela 6.

Primeiramente serão calculados os fatores  $N_x$  referentes ao número de eventos perigosos, nos seguintes capítulos os demais fatores  $P_x$  e  $L_x$ .

Os cálculos foram executados através da ferramenta Excel, os resultados serão demonstrados no trabalho. As tabelas dinâmicas são necessárias tanto para facilitação do processo de cálculo das componentes, quanto durante a reavaliação dos riscos após a implantação de medidas de proteção.

Foram inseridas ao Excel as tabelas de parâmetros adquiridos conforme apresentado neste trabalho.

Figura 32 – Tabela 6 da NBR 5419.

**Tabela 6 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de 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: ABNT (2015).

### 3.1 NÚMERO DE EVENTOS PERIGOSOS

O número médio anual de eventos perigosos está relacionado com o número de descargas atmosféricas na região multiplicado pela a área equivalente, onde a descarga pode ocorrer, e pelos fatores de correção relacionados à localização da estrutura (SOUZA et al., 2020). As equações referentes ao número de eventos perigosos demonstradas a seguir encontram-se no Anexo A da norma.

O número de eventos perigosos  $N_D$  para a estrutura a ser protegida é representado por:

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6}. \quad (11)$$

O número de eventos perigosos  $N_{DJ}$  para a estrutura adjacente pode ser calculado por:

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}. \quad (12)$$

A avaliação do número médio anual de eventos perigosos  $N_M$  devido a descargas atmosféricas perto da estrutura pode ser realizada através da Equação (13):

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6}, \quad (13)$$

sendo  $A_M$  a área próxima a um raio de 500 m do perímetro da estrutura, podendo ser encontrado por meio da Equação (14), onde  $L$  e  $W$  são as medidas do comprimento dos lados da edificação, em metros.

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2. \quad (14)$$

A avaliação do número médio anual de eventos perigosos  $N_L$  devido a descargas atmosféricas na linha pode ser realizada através da Equação (15):

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}, \quad (15)$$

sendo  $A_L$  a área de exposição equivalente para a linha, expresso pela Equação (16). O comprimento em metros da linha  $L_L$  é conhecido.

$$A_L = 40 \times L_L. \quad (16)$$

A avaliação do número médio anual de eventos perigosos  $N_I$  devido a descargas atmosféricas perto linha pode ser calculada através da seguinte equação:

$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6}, \quad (17)$$

onde  $A_I$  é a área de exposição equivalente próxima a linha, pode ser calculado da seguinte forma:

$$A_I = 4000 \times L_L. \quad (18)$$

### 3.1.1 Cálculo das áreas de exposição equivalente

Antes de calcular o número esperado anual de raios em uma área, é necessário realizar os cálculos da área de exposição equivalente, que é a área vista pela descarga atmosférica. A Tabela 6 a seguir traz os resultados dos cálculos das áreas de exposição equivalente das estruturas e das linhas. Os resultados são dados em  $m^2$ .

Tabela 6 – Área de exposição equivalente.

Área de exposição equivalentes da estrutura e das linhas				
	Símbolo	Resultado	Ref. NBR 5419	Equação
Estrutura	AD	22700	A.2	Método gráfico
	AM	971000	A.7	
Linha de Energia	ALp	1200	A.9	$A_{Lp}=40 \times L_L$
	AIp	120000	A.11	$A_{Ip}=4000 \times L_L$
	ADIp	1175,5	A.2	Método gráfico
Linha de Sinais	ALt	40000	A.9	$A_{Lt}=40 \times L_L$
	ALt	4000000	A.11	$A_{It}=4000 \times L_L$
	ADIt		A.2	

Fonte: Feito pelo autor.

Foram separadas as áreas das linhas de energias e de sinais, indicadas pela letra minúscula p para força e t para sinais.

### 3.1.2 Cálculo do número esperado de eventos perigosos por ano

A Tabela 7 apresenta os resultados dos cálculos do número esperado anual de eventos perigosos, de acordo com as equações descritas nesse capítulo.

Tabela 7 – Número esperado anual de eventos perigosos.

Número esperado anual de eventos perigosos				
	Símbolo	Resultado	Ref. NBR 5419	Equação
Estrutura	ND	0,0568	A.4	$ND=NG*AD*CD*10^{-6}$
	NM	4,8550	A.6	$NM=NG*AM*10^{-6}$
Linha de Energia	NLP	0,0003	A.8	$NLP=NG*ALP*CIP*CEP*CTP*10^{-6}$
	NIP	0,0300	A.10	$NIP=NG*AIP*CIP*CEP*CTP*10^{-6}$
	NDJP	1,7273	A.5	$NDJP=NG*ADJP*CDJP*CTP*10^{-6}$
Linha de Sinais	NLT	0,0100	A.8	$NLT=NG*ALT*AIT*CEP*CTT*10^{-6}$
	NIT	1,0000	A.10	$NIT=NG*AIT*AIT*CEP*CTT*10^{-6}$
	NDJT		A.5	$NDJT=NG*ADJT*CDJT*CTT*10^{-6}$

Fonte: Feito pelo autor

### 3.2 PROBABILIDADE DE EVENTOS PERIGOSOS CAUSAR DANOS

Quando ocorre uma descarga atmosférica, seja qual for o local, na estrutura, nas linhas ou próximo a elas, existe uma probabilidade dessa descarga causar algum tipo de dano, seja ele ferimento, danos físicos ou falhas de sistemas elétricos. A probabilidade de dano tem relação direta com as características da construção, das linhas que adentram a estrutura e com as medidas de proteção (SOUZA et al., 2020). As equações de probabilidade de dano aqui representadas constam no Anexo B da norma.

A probabilidade  $P_A$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico pode ser calculada pela Equação (19):

$$P_A = P_{TA} \times P_B. \quad (19)$$

A probabilidade  $P_C$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos pode ser encontrada por meio da Equação (20):

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD}. \quad (20)$$

É possível encontrar a probabilidade  $P_M$  de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos por meio da Equação (21):

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS}, \quad (21)$$

onde  $P_{MS}$  é o produto dado por:

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2. \quad (22)$$

A Probabilidade  $P_U$  de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico pode ser calculada pela Equação (23):

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}. \quad (23)$$

Para encontrar a probabilidade  $P_V$  de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos pode-se usar a Equação (24):

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}. \quad (24)$$

A probabilidade  $P_W$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha de sistemas internos pode ser calculada pela Equação (25):

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD}. \quad (25)$$

Por último, a probabilidade  $P_Z$  de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos pode ser encontrada pela Equação (26):

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI}. \quad (26)$$

A Tabela 8 mostra os resultados. Para o cálculo das probabilidades foram separadas as descargas em linhas de sinais e força.

Tabela 8 – Probabilidade de eventos perigosos causar danos

		Probabilidades						
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Equação
D1 Ferimentos devido a choque	$P_A$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	$P_A = P_{TA} \cdot P_B$
	$P_{Up}$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$
	$P_{Ut}$	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
D2 Danos físicos	$P_B$	1	1	1	1	1	1	Tabela B.2
	$P_{Vp}$	1	1	1	1	1	1	$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$
	$P_{Vt}$	1	1	1	1	1	1	
D3 Falha de sistemas interno	$P_{Cp}$	0	1	1	1	1	1	$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD}$
	$P_{Ct}$	0	1	1	1	1	1	
	$P_{Mp}$	0	1	1	1	1	1	$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS}$
	$P_{Mt}$	0	1	1	1	1	1	
	$P_{Wp}$	0	1	1	1	1	1	$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$
	$P_{Wt}$	0	1	1	1	1	1	
	$P_{Zp}$	0	1	1	1	1	1	$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI}$
$P_{Zt}$	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		

Fonte: Feito pelo autor.

### 3.3 VALOR DAS PERDAS

O valor das perdas também é calculado, cada tipo de perda pode ser originária de cada um dos tipos de dano. As perdas estão diretamente relacionadas com a ocupação, tipo de uso da edificação, número de pessoas e com as medidas de proteção para redução das perdas (SOUZA et al., 2020).

No caso dos blocos interligados do CTC as perdas relevantes são: perda de vida humana, provenientes de ferimentos e danos físicos, e perda de valor econômico, provenientes de danos físicos e falhas de sistemas internos. As equações para cálculo do valor das perdas estão localizadas no Anexo C da norma.

#### 3.3.1 Perda de vida humana

Para encontrar o valor das perdas típicas de cada zona causadas por ferimentos  $L_A$  e  $L_U$  podem ser utilizadas as seguintes equações:

$$L_A = r_t \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760}, \quad (27)$$

$$L_U = r_t \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760}, \quad (28)$$

sendo  $n_z$  o número de pessoas na zona,  $n_t$  o número total de pessoas na estrutura e  $t_z$  o tempo de permanência de pessoas na zona, este último caso desconhecido pode ser considerado  $t_z = 8760$ .

O valor das perdas típicas por danos físicos  $L_B$  e  $L_V$  podem ser calculados por:

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760}. \quad (29)$$

Considerado  $t_z = 8760$ , os resultados estão representados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valor de perda de vida humana

L1 Valor de perda de vida humana								
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Equação
D1	LA	3,31E-06	3,31E-07	5,45E-06	1,09E-06	2,39E-07	2,56E-06	$L_A=r_t*L_T*(n_z/n_t)*(t_z/8760)$
D1	LU	3,31E-06	3,31E-07	5,45E-06	1,09E-06	2,39E-07	2,56E-06	$L_U=r_t*L_T*(n_z/n_t)*(t_z/8760)$
D2	LB=LV	0	8,29E-06	0,000272	2,73E-05	5,97E-06	6,41E-05	$L_B=L_V=r_p*r_f*h_z*L_F*(n_z/n_t)*(t_z/8760)$

Fonte: Feito pelo autor.

### 3.3.2 Perda de valor econômico

A equação a seguir é utilizada para encontrar os valores das perdas de valor econômico devido a danos físicos  $L_B$  e  $L_V$

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times \frac{(c_a + c_b + c_c + c_s)}{c_t}, \quad (30)$$

onde  $c_a$  é o valor dos animais na zona,  $c_b$  é o valor da edificação relevante à zona,  $c_c$  é o valor do conteúdo da zona,  $c_s$  o valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona e  $c_t$  é o valor total da estrutura, incluindo animais, edificação, conteúdo e sistemas internos.

Para encontrar os valores das perdas típicas de cada zona causadas por falhas de sistemas internos  $L_C$ ,  $L_M$ ,  $L_W$  e  $L_Z$  pode ser utilizada a equação:

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times \frac{c_s}{c_t}. \quad (31)$$

No caso dos blocos interligados, para o cálculo tanto da perda por danos físicos quanto por falhas de sistemas internos, será considerado apenas seus sistemas internos, dados fornecidos pela administração de edifícios do Centro Tecnológico, presentes na Tabela 1. Os resultados estão representados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valor de perda de valor econômico

L4 Valor de perda de valor econômico								
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Equação
D2	$L_B=L_V$	0	1,5E-07	9,12E-06	3,08E-05	6,89E-06	5,3E-05	$L_B=L_V=r_p*r_f*L_F*(C_a+C_b+C_c+C_s)/C_t$
D3	$L_C=L_M=L_W=L_Z$	0	1,5E-06	9,12E-05	0,000308	6,89E-05	0,00053	$L_C=L_M=L_W=L_Z=L_O*C_s/C_t$

Fonte: Feito pelo autor.

### 3.4 CÁLCULO DAS COMPONENTES DE RISCO E TOLERÂNCIA

Após calcular o número de eventos perigosos esperados por ano, a probabilidade de um dano ocorrer e as perdas relativas à estrutura já é possível realizar o cálculo das componentes de risco de acordo com as equações representadas na Figura 31.

O risco total da zona é a soma das componentes de risco relevantes à zona, e o risco total da edificação é a soma dos riscos das zonas. Para uma estrutura ser considerada segura o risco de perda deve ser menor que a tolerância adotada para cada tipo de perda. De acordo com a NBR 5419, o risco tolerável para perda de vida é  $R_T = 1 \cdot 10^{-5}$ , já o risco tolerável para perda de valor econômico pode ser adotado como  $R_T = 1 \cdot 10^{-3}$ .

### 3.4.1 Perda de vida humana

A Tabela 11 mostra os resultados das componentes de risco para a perda de vida humana, para maior identificação das componentes de risco acima do limite de tolerância ( $R_T = 1 \cdot 10^{-5}$ ) estão identificados em vermelho.

Tabela 11 – Componentes de risco para perda de vida humana

R1 Risco de perda de vida humana									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D1 Ferimentos	RA	1,88E-09	1,88E-10	3,09E-09	6,19E-10	1,35E-10	1,45E-09	7,37E-09	$R_A = N_d \cdot P_a \cdot L_A$
	R <sub>up</sub>	5,73E-09	5,73E-10	9,41E-09	1,88E-09	4,12E-10	4,43E-09	2,24E-08	$R_U = (N_L + N_{dJ}) \cdot P_U \cdot L_U$
	R <sub>ut</sub>	3,31E-11	3,31E-12	5,45E-11	1,09E-11	2,39E-12	2,56E-11	1,3E-10	
D2 Danos físicos	R <sub>B</sub>	0	4,7E-07	1,55E-05	1,55E-06	3,39E-07	3,64E-06	2,14E-05	$R_B = N_d \cdot P_b \cdot L_b$
	R <sub>vp</sub>	0	1,43E-05	0,00047	4,71E-05	1,03E-05	0,000111	0,000653	$R_V = (N_L + N_{dJ}) \cdot P_V \cdot L_V$
	R <sub>vt</sub>	0	8,29E-08	2,72E-06	2,73E-07	5,97E-08	6,41E-07	3,78E-06	
<b>Total</b>		<b>7,64E-09</b>	<b>1,49E-05</b>	<b>0,000489</b>	<b>4,89E-05</b>	<b>1,07E-05</b>	<b>0,000115</b>	<b>0,000678</b>	<- R1

Fonte: Feito pelo autor.

É possível através dos dados apresentados constatar que o risco  $R_1 = 67,8 \cdot 10^{-4}$  é maior que  $R_T = 1 \cdot 10^{-5}$ , necessitando de proteção. Também é possível notar que as componentes de risco acima da tolerância são riscos devido a danos físicos,  $R_B$  exclusivamente na zona Z3, bloco B de sala de aulas, e  $R_V$  referente às linhas de energia em todas as zonas.

### 3.4.2 Perda de valor econômico

A Tabela 12 mostra as componentes de risco referente as perdas de valores econômicos para cada zona e para a estrutura.

Tabela 12 - Componentes de risco para perda de valor econômico.

R4 Risco de perda de valor econômico									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D2 Danos físicos	R <sub>B</sub>	0	8,52E-09	5,17E-07	1,75E-06	3,91E-07	3,01E-06	5,68E-06	$R_B = N_d \cdot P_b \cdot L_b$
	R <sub>vp</sub>	0	2,6E-07	1,58E-05	5,33E-05	1,19E-05	9,16E-05	0,000173	$R_V = (N_L + N_{dJ}) \cdot P_V \cdot L_V$
	R <sub>vt</sub>	0	1,5E-09	9,12E-08	3,08E-07	6,89E-08	5,3E-07	0,000001	
D3 Danos de falha de sistemas internos	R <sub>Cp</sub>	0	8,52E-08	5,17E-06	1,75E-05	3,91E-06	3,01E-05	5,68E-05	$R_C = N_d \cdot P_c \cdot L_c$
	R <sub>Ct</sub>	0	8,52E-08	5,17E-06	1,75E-05	3,91E-06	3,01E-05	5,68E-05	$R_M = N_m \cdot P_m \cdot L_m$
	R <sub>Mp</sub>	0	7,29E-06	0,000443	0,001497	0,000335	0,002573	0,004855	
	R <sub>Mt</sub>	0	7,29E-06	0,000443	0,001497	0,000335	0,002573	0,004855	
	R <sub>Wp</sub>	0	2,6E-06	0,000158	0,000533	0,000119	0,000916	0,001728	$R_W = (N_L + N_{dJ}) \cdot P_W \cdot L_W$
	R <sub>Wt</sub>	0	1,5E-08	9,12E-07	3,08E-06	6,89E-07	5,3E-06	0,00001	
	R <sub>Zp</sub>	0	4,51E-08	2,74E-06	9,25E-06	2,07E-06	1,59E-05	0,00003	$R_Z = N_i \cdot P_z \cdot L_z$
R <sub>Zt</sub>	0	4,51E-07	2,74E-05	9,25E-05	2,07E-05	0,000159	0,0003		
<b>Total</b>		<b>0</b>	<b>1,81E-05</b>	<b>0,001101</b>	<b>0,003723</b>	<b>0,000832</b>	<b>0,006397</b>	<b>0,01207</b>	<- R4

Fonte: Feito pelo autor.

Assim como para a perda de vida humana, as componentes de risco acima do risco tolerável para perda de valor econômico estão em evidência.

O risco de perda de vida  $R_4 = 12 \cdot 10^{-2}$ , também é superior à  $R_T = 1 \cdot 10^{-3}$ . Os elementos mais críticos são as componentes que representam o risco  $R_M$  de perdas por falhas de sistemas internos provenientes de descargas atmosféricas próximo a estrutura.

## 4 PROTEGENDO A ESTRUTURA

Sendo reprovada no teste da tolerância, a estrutura necessita de medidas de proteção. A NBR 5419 também mostra, na Tabela 3 da parte 2, quais fatores influenciam as componentes de risco. Pode-se perceber que alguns dos fatores são inviáveis na hora de escolher as proteções, como a área de exposição equivalente, já outros fatores são perfeitamente adotáveis. A Figura 33 mostra a Tabela 3 da norma.

Figura 33 – Tabela 3 da NBR 5419.

**Tabela 3 – Fatores que influenciam os 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 <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>	X <sup>b</sup>		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X <sup>c</sup>	X <sup>c</sup>	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X

**Tabela 3 (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

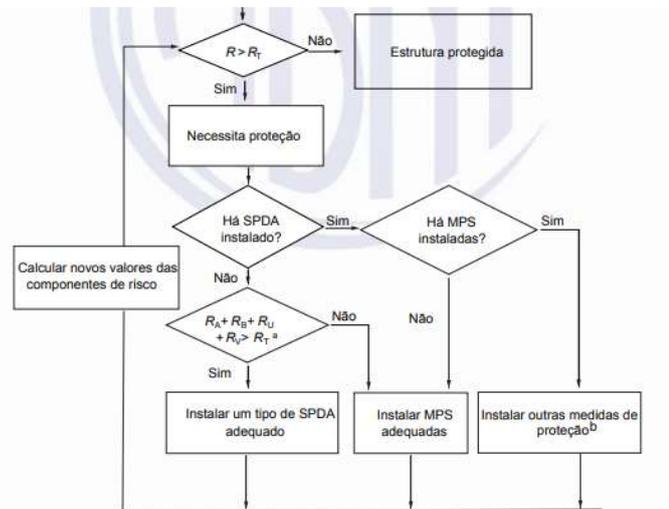
<sup>a</sup> Somente para SPDA tipo malha externa.  
<sup>b</sup> Devido a ligações equipotenciais.  
<sup>c</sup> Somente se eles pertencem ao equipamento.

Fonte: ABNT (2015).

No caso das componentes  $R_B$ ,  $R_V$  e  $R_M$ , as medidas de proteção possivelmente modificáveis são: instalação de SPDA e de DPS coordenados, precauções contra incêndios, sensores de fogo e tensão suportável de impulso.

Retornando ao procedimento de cálculo, de acordo com o procedimento proposto pela norma, caso uma estrutura necessite de proteção, deve ser inicialmente observado se a estrutura possui SPDA instalado. A Figura 34 mostra a etapa de determinação das medidas de proteção.

Figura 34 – Extrato do procedimento de cálculo de gerenciamento de risco.



Fonte: ABNT (2015).

Como já observado durante a aquisição dos dados, os blocos interligados não possuem sistema de SPDA. Deve-se, então, observar se a relação descrita na Equação 32 é satisfeita.

$$R_A + R_B + R_U + R_V > R_T. \quad (32)$$

Para o risco R1 a soma das componentes de risco é igual a  $6,708 \cdot 10^{-4}$ , quase a totalidade do risco. Sendo assim, é necessário instalar um tipo de SPDA adequado.

#### 4.1 ESCOLHENDO O SPDA

O SPDA instalado pode ser de nível de proteção NP I, II, III e IV. Sendo I o mais seguro e IV o menos seguro. Com o incremento do SPDA o valor de  $P_B$  se altera, de acordo com a Tabela B.2 da norma, já representada na Figura 8.

Os valores de  $P_B$  pra cada nível de proteção está representado na Tabela 13.

Dependendo da largura das malhas de descida os valores de  $K_{S1}$  e  $K_{S2}$  também são alterados, no entanto, considerando-se valor máximo igual a 1 e as Equações 3 e 5. O valor máximo de distância entre as partes paralelas das malhas em que  $K_{S1}$  e  $K_{S2}$  possuem valor diferente de 1 é 8,33 m.

Tabela 13 – Probabilidade  $P_B$  para cada NP e distância entre os condutores em malha e descidas.

NP	$P_B$	Distância entre condutores da malha	Distância entre os condutores de descida
I	0,02	5 m	10 m
II	0,05	10 m	10 m
III	0,1	15 m	15 m
IV	0,2	20 m	20 m

Fonte: Feito pelo autor.

Optando inicialmente pelo menor nível de proteção, NP = IV, alterando na Tabela 2.1 o valor de  $P_B$  para 0,2, os resultados das perdas estão descritos a seguir.

Para perda de vida humana, a Tabela 14 mostra os resultados dos cálculos das componentes de risco após as mudanças referente ao incremento de SPDA na estrutura.

Tabela 14 – Resultado das componentes de risco de perda de vida humana.

R1 Risco de perda de vida humana									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D1 Ferimentos	$R_A$	3,76E-10	3,76E-11	6,18E-10	1,24E-10	2,71E-11	2,91E-10	1,47E-09	$R_A=N_d*P_A*L_A$
	$R_{up}$	5,73E-09	5,73E-10	9,41E-09	1,88E-09	4,12E-10	4,43E-09	2,24E-08	$R_U=(N_L+N_D)*P_U*L_U$
	$R_{ut}$	3,31E-11	3,31E-12	5,45E-11	1,09E-11	2,39E-12	2,56E-11	1,3E-10	
D2 Danos físicos	$R_B$	0	9,41E-08	3,09E-06	3,09E-07	6,77E-08	7,27E-07	4,29E-06	$R_B=N_d*P_B*L_B$
	$R_{vp}$	0	1,43E-05	0,00047	4,71E-05	1,03E-05	0,000111	0,000653	$R_V=(N_L+N_D)*P_V*L_V$
	$R_{vt}$	0	8,29E-08	2,72E-06	2,73E-07	5,97E-08	6,41E-07	3,78E-06	
Total		6,14E-09	1,45E-05	0,000476	4,77E-05	1,04E-05	0,000112	0,000661	<- R1

Fonte: Feito pelo autor.

As componentes de risco  $R_B$  tiveram qualitativa redução, no entanto o valor total de R1 ainda continua muito superior à tolerância, fortemente induzido pela componente de risco  $R_V$ .

A Tabela 15 mostra o resultado das componentes de risco após o incremento do SPDA. Houve pouca influência para redução das componentes de risco mais críticas e para o risco total R4. Considerando o risco superior das componentes de risco R1 e R4, é necessária a implementação de MPS.

Tabela 15 – Resultado das componentes de risco de perda de valor econômico.

R4 Risco de perda de valor econômico									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D2 Danos físicos	Rb	0	1,7E-09	1,03E-07	3,5E-07	7,82E-08	6,02E-07	<b>1,14E-06</b>	$R_b=N_D*P_B*L_B$
	Rvp	0	2,6E-07	1,58E-05	5,33E-05	1,19E-05	9,16E-05	<b>0,000173</b>	$R_v=(N_L+N_{Dj})*P_v*L_v$
	Rvt	0	1,5E-09	9,12E-08	3,08E-07	6,89E-08	5,3E-07	<b>0,000001</b>	
D3 Danos de falha de sistemas internos	Rcp	0	8,52E-08	5,17E-06	1,75E-05	3,91E-06	3,01E-05	<b>5,68E-05</b>	$R_c=N_D*P_c*L_c$
	Rct	0	8,52E-08	5,17E-06	1,75E-05	3,91E-06	3,01E-05	<b>5,68E-05</b>	
	Rmp	0	7,29E-06	0,000443	<b>0,001497</b>	0,000335	<b>0,002573</b>	<b>0,004855</b>	$R_m=N_M*P_M*L_M$
	Rmt	0	7,29E-06	0,000443	<b>0,001497</b>	0,000335	<b>0,002573</b>	<b>0,004855</b>	
	Rwp	0	2,6E-06	0,000158	0,000533	0,000119	0,000916	<b>0,001728</b>	$R_w=(N_L+N_{Dj})*P_w*L_w$
	Rwt	0	1,5E-08	9,12E-07	3,08E-06	6,89E-07	5,3E-06	<b>0,000001</b>	
	Rzp	0	4,51E-08	2,74E-06	9,25E-06	2,07E-06	1,59E-05	<b>0,000003</b>	$R_z=N_i*P_z*L_z$
	Rzt	0	4,51E-07	2,74E-05	9,25E-05	2,07E-05	0,000159	<b>0,00003</b>	
<b>Total</b>		<b>0</b>	<b>1,81E-05</b>	<b>0,0011</b>	<b>0,003721</b>	<b>0,000831</b>	<b>0,006395</b>	<b>0,012066</b>	<- R4

Fonte: Feito pelo autor.

#### 4.2 ESCOLHENDO AS MPS

O incremento de um sistema coordenado de DPS como medida de proteção contra surtos alterará os parâmetros  $P_{EB}$  e  $P_{SPD}$ . Os valores dos parâmetros sofrem mudanças de acordo com o nível de proteção para qual o sistema de SPDA foi projetado. A Tabela 16 traz essa relação.

Tabela 16 – Probabilidades  $P_{EB}$  e  $P_{SPD}$  em relação ao NP

NP	$P_{EB}$	$P_{SPD}$
I	0,01	0,01
II	0,02	0,02
III	0,05	0,05
IV	0,05	0,05

Fonte: Feito pelo autor.

Para o NP de proteção adotado  $P_{EB} = 0,05$  e  $P_{SPD} = 0,05$ . Modificando nas Tabelas 2.1 e 4.1 os valores de  $P_{EB}$  e  $P_{SPD}$ , respectivamente, os resultados para perda de vida humana e para perda de valor econômico estão descritos a seguir.

A Tabela 17 mostra os resultados das componentes de risco após o incremento de um sistema coordenado de DPS.

Pode ser percebida uma redução significativa no risco de perda de vida devido a danos físicos. Porém os valores continuam superiores ao tolerável, tendo como principal responsável a componente de risco  $R_{Vp}$  da zona Z3.

Tabela 17 – Resultado das componentes de risco para perda de vida humana.

R1 Risco de perda de vida humana									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D1 Ferimentos	RA	3,76E-10	3,76E-11	6,18E-10	1,24E-10	2,71E-11	2,91E-10	1,47E-09	$RA=Nd*PA*LA$
	Rup	2,86E-10	2,86E-11	4,7E-10	9,42E-11	2,06E-11	2,21E-10	1,12E-09	$RU=(NL+NDj)*Pu*Lu$
	Rut	1,66E-12	1,66E-13	2,72E-12	5,45E-13	1,19E-13	1,28E-12	6,49E-12	
D2 Danos físicos	Rb	0	9,41E-08	3,09E-06	3,09E-07	6,77E-08	7,27E-07	4,29E-06	$Rb=Nd*Pb*Lb$
	Rvp	0	7,16E-07	2,35E-05	2,35E-06	5,15E-07	5,53E-06	3,26E-05	$Rv=(NL+NDj)*Pv*Lv$
	Rvt	0	4,14E-09	1,36E-07	1,36E-08	2,98E-09	3,2E-08	1,89E-07	
<b>Total</b>		<b>6,64E-10</b>	<b>8,14E-07</b>	<b>2,67E-05</b>	<b>2,68E-06</b>	<b>5,86E-07</b>	<b>6,29E-06</b>	<b>3,71E-05</b>	<- R1

Fonte: Feito pelo autor.

A Tabela 18 mostra os resultados para as componentes de risco para perda de valor econômico. O risco de perda de valor econômico já se mostra dentro da tolerância adotada. Portanto o foco persiste apenas na redução do risco de perda de vida humana.

Tabela 18 – Resultado das componentes de risco para perda de valor econômico.

R4 Risco de perda de valor econômico									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D2 Danos físicos	Rb	0	1,7E-09	1,03E-07	3,5E-07	7,82E-08	6,02E-07	1,14E-06	$Rb=Nd*Pb*Lb$
	Rvp	0	1,3E-08	7,88E-07	2,66E-06	5,95E-07	4,58E-06	8,64E-06	$Rv=(NL+NDj)*Pv*Lv$
	Rvt	0	7,51E-11	4,56E-09	1,54E-08	3,45E-09	2,65E-08	5E-08	
D3 Danos de falha de sistemas internos	Rcp	0	4,26E-09	2,59E-07	8,75E-07	1,96E-07	1,5E-06	2,84E-06	$Rc=Nd*Pc*Lc$
	Rct	0	4,26E-09	2,59E-07	8,75E-07	1,96E-07	1,5E-06	2,84E-06	
	Rmp	0	3,65E-07	2,21E-05	7,49E-05	1,67E-05	0,000129	0,000243	$Rm=Nm*Pm*Lm$
	Rmt	0	3,65E-07	2,21E-05	7,49E-05	1,67E-05	0,000129	0,000243	
	Rwp	0	1,3E-07	7,88E-06	2,66E-05	5,95E-06	4,58E-05	8,64E-05	$Rw=(NL+NDj)*Pw*Lw$
	Rwt	0	7,51E-10	4,56E-08	1,54E-07	3,45E-08	2,65E-07	5E-07	
	Rzp	0	2,25E-09	1,37E-07	4,63E-07	1,03E-07	7,95E-07	1,5E-06	$Rz=Ni*Pz*Lz$
Rzt	0	2,25E-08	1,37E-06	4,63E-06	1,03E-06	7,95E-06	0,000015		
<b>Total</b>		<b>0</b>	<b>9,08E-07</b>	<b>5,51E-05</b>	<b>0,000186</b>	<b>4,16E-05</b>	<b>0,00032</b>	<b>0,000604</b>	<- R4

Fonte: Feito pelo autor.

#### 4.3 OUTRAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO

Considerando apenas a zona Z3 com risco de perda de vida, será modificado o sistema de proteção contra incêndio, instalando alarmes automáticos, o que de acordo com a Tabela C.4 da parte do 2 da norma, substituiria o  $r_p = 0,5$  por  $r_p = 0,2$  na zona Z3 na Tabela 4.1.

A Tabela 19 mostra os resultados dos cálculos das componentes de risco de perda de vida humana após a mudança no item descrito.

Tabela 19 – Resultado para componentes de risco para perda de vida.

R1 Risco de perda de vida humana									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D1 Ferimentos	RA	3,76E-10	3,76E-11	6,18E-10	1,24E-10	2,71E-11	2,91E-10	1,47E-09	$RA=No*PA*LA$
	Rup	2,86E-10	2,86E-11	4,7E-10	9,42E-11	2,06E-11	2,21E-10	1,12E-09	$Ru=(Nl+Ndj)*Pu*Lu$
	Rut	1,66E-12	1,66E-13	2,72E-12	5,45E-13	1,19E-13	1,28E-12	6,49E-12	
D2 Danos físicos	Rb	0	9,41E-08	1,24E-06	3,09E-07	6,77E-08	7,27E-07	2,43E-06	$Rb=No*Pb*Lb$
	Rvp	0	7,16E-07	9,41E-06	2,35E-06	5,15E-07	5,53E-06	1,85E-05	$Rv=(Nl+Ndj)*Pv*Lv$
	Rvt	0	4,14E-09	5,45E-08	1,36E-08	2,98E-09	3,2E-08	1,07E-07	
<b>Total</b>		<b>6,64E-10</b>	<b>8,14E-07</b>	<b>1,07E-05</b>	<b>2,68E-06</b>	<b>5,86E-07</b>	<b>6,29E-06</b>	<b>2,11E-05</b>	<- R1

Fonte: Feito pelo autor.

Considerando os resultados da Tabela 19, mesmo reduzindo significativamente as componentes de risco, o risco R1 ainda está fora da faixa tolerável.

#### 4.4 RESULTADO DO CÁLCULO DE RISCOS

Mesmo modificando o NP para III, ainda assim os valores do risco de perda de vida são maiores que o tolerável. Apenas com SPDA nível de proteção II, resultando nos valores de  $P_B = 0,05$ ,  $P_{EB} = 0,02$  e  $P_{SPD} = 0,02$ , mantendo a instalação de alarmes automática  $r_p = 0,2$  na zona Z3, onde são alcançados os valores toleráveis de risco R1 de perda de vida humana.

A Tabela 20 mostra os resultados do risco de perda de vida humana e a Tabela 21 apresenta os resultados do risco de perda de valor econômico.

Tabela 20 – Resultado final para o cálculo de risco de perda de vida humana.

R1 Risco de perda de vida humana									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D1 Ferimentos	RA	9,41E-11	9,41E-12	1,55E-10	3,09E-11	6,77E-12	7,27E-11	3,68E-10	$RA=No*PA*LA$
	Rup	1,15E-10	1,15E-11	1,88E-10	3,77E-11	8,25E-12	8,85E-11	4,49E-10	$Ru=(Nl+Ndj)*Pu*Lu$
	Rut	6,63E-13	6,63E-14	1,09E-12	2,18E-13	4,77E-14	5,12E-13	2,6E-12	
D2 Danos físicos	Rb	0	2,35E-08	3,09E-07	7,74E-08	1,69E-08	1,82E-07	6,09E-07	$Rb=No*Pb*Lb$
	Rvp	0	2,86E-07	3,76E-06	9,42E-07	2,06E-07	2,21E-06	7,41E-06	$Rv=(Nl+Ndj)*Pv*Lv$
	Rvt	0	1,66E-09	2,18E-08	5,45E-09	1,19E-09	1,28E-08	4,29E-08	
<b>Total</b>		<b>2,09E-10</b>	<b>3,11E-07</b>	<b>4,09E-06</b>	<b>1,02E-06</b>	<b>2,24E-07</b>	<b>2,41E-06</b>	<b>8,06E-06</b>	<- R1

Fonte: Feito pelo autor.

Tabela 21 – Resultado final para o cálculo de risco de perda de valor econômico.

R4 Risco de perda de valor econômico									
Tipo de Dano	Símbolo	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Estrutura	Equação
D2 Danos físicos	Rb	0	4,26E-10	1,03E-08	8,75E-08	1,96E-08	1,5E-07	<b>2,68E-07</b>	$R_b=N_D*P_B*L_B$
	Rvp	0	5,19E-09	1,26E-07	1,07E-06	2,38E-07	1,83E-06	<b>3,27E-06</b>	$R_v=(N_L+N_{Dj})*P_v*L_v$
	Rvt	0	3E-11	7,3E-10	6,17E-09	1,38E-09	1,06E-08	<b>1,89E-08</b>	
D3 Danos de falha de sistemas internos	Rcp	0	1,7E-09	1,03E-07	3,5E-07	7,82E-08	6,02E-07	<b>1,14E-06</b>	$R_c=N_D*P_c*L_c$
	Rct	0	1,7E-09	1,03E-07	3,5E-07	7,82E-08	6,02E-07	<b>1,14E-06</b>	
	Rmp	0	1,46E-07	8,85E-06	2,99E-05	6,69E-06	5,15E-05	<b>9,71E-05</b>	$R_m=N_M*P_M*L_M$
	Rmt	0	1,46E-07	8,85E-06	2,99E-05	6,69E-06	5,15E-05	<b>9,71E-05</b>	
	Rwp	0	5,19E-08	3,15E-06	1,07E-05	2,38E-06	1,83E-05	<b>3,46E-05</b>	$R_w=(N_L+N_{Dj})*P_w*L_w$
	Rwt	0	3E-10	1,82E-08	6,17E-08	1,38E-08	1,06E-07	<b>2E-07</b>	
	Rzp	0	9,01E-10	5,47E-08	1,85E-07	4,13E-08	3,18E-07	<b>6E-07</b>	$R_z=N_i*P_z*L_z$
	Rzt	0	9,01E-09	5,47E-07	1,85E-06	4,13E-07	3,18E-06	<b>0,000006</b>	
<b>Total</b>		<b>0</b>	<b>3,63E-07</b>	<b>2,18E-05</b>	<b>7,45E-05</b>	<b>1,66E-05</b>	<b>0,000128</b>	<b>0,000241</b>	<- R4

Fonte: Feito pelo autor.

Segundo resultado obtido, a estrutura vai estar segura com a implementação de um sistema de SPDA nível de proteção II em toda a estrutura, sistema coordenado de DPS nos quadros de distribuição de todos os blocos e a instalação de alarmes de incêndio automáticos no bloco B, de sala de aulas.

## 5 PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE PDA

O sistema completo de proteção contra descarga atmosféricas e as medidas de proteção contra surtos são objetos das partes 3 e 4 da norma, respectivamente. O projeto não é o foco desse trabalho, e, portanto, sugere-se ao leitor, a leitura integral das normas para elaboração de projeto. Neste capítulo serão apenas abordados aspectos gerais abordados anteriormente para consolidação dos conceitos.

### 5.1 PROJETO DE SPDA

O projeto de SPDA é composto por subsistema de captação, subsistema de descidas e aterramento eficiente.

Apesar de ser a mais adequada solução em edifícios em construção (ABNT, 2015), o uso da estrutura como sistema de SPDA natural é completamente desconsiderado, já que consiste em um projeto de reforma de uma estrutura existente. É possível, assim como na versão anterior da norma, executar três métodos de cálculo de proteção: sistema de malhas, esferas rolantes e ângulo de proteção assim como apresentado na tabela 2 da parte 3 da norma, reproduzida na Figura 35.

Figura 35 – Tabela 2 da NBR 5419-3.

**Tabela 2 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA**

Classe do SPDA	Método de proteção		
	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção $\alpha^\circ$
I	20	5 × 5	Ver Figura 1
II	30	10 × 10	
III	45	15 × 15	
IV	60	20 × 20	

Fonte: ABNT (2015).

Será adotado o método de Faraday como método de instalação, sendo o método Faraday mais indicado em construções baixas e com grande área horizontal, consistindo em uma malha de captação instalada acima da estrutura (MAMEDE FILHO, 2005).

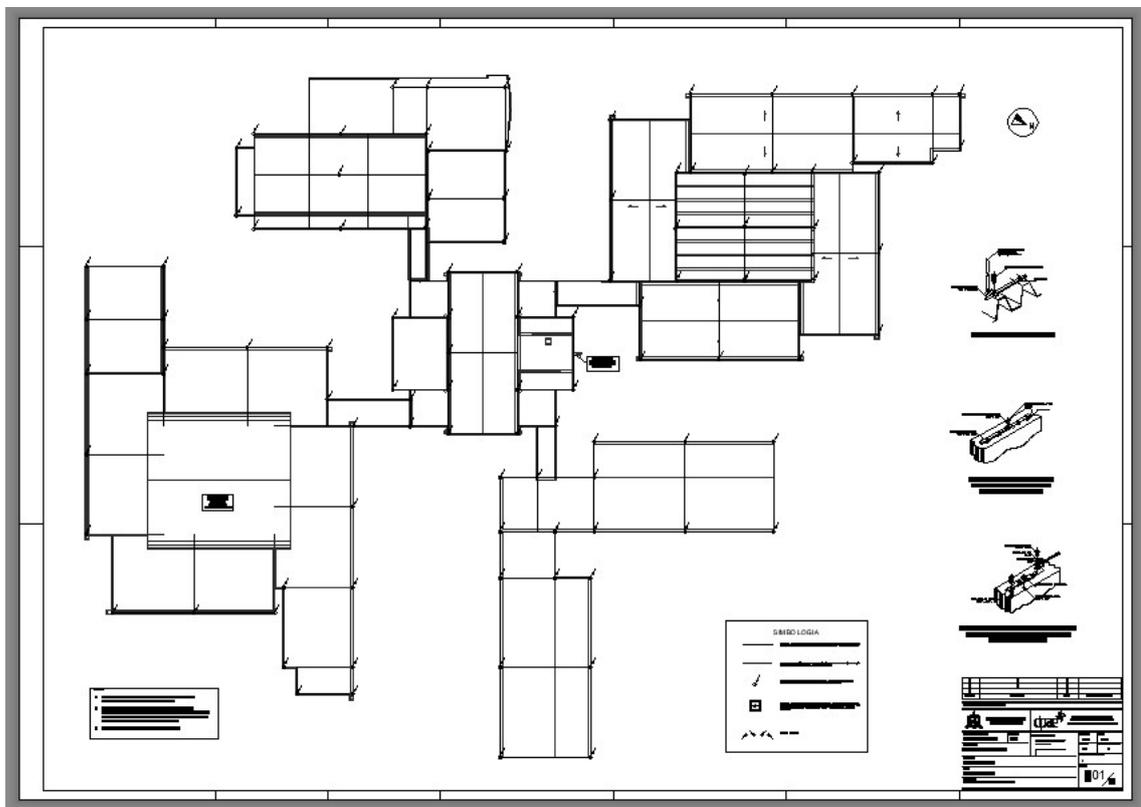
O SPDA a ser projetado deve possuir nível de proteção II, ou seja, a distância entre os condutores em malha deve ser de no máximo 10 m, e a distância entre os condutores de descidas também deve ser de 10 m podendo superar em até 20% esse valor caso necessário.

Anéis de captação horizontais devem ser instalados a cada 15m de altura. Como as edificações dos blocos interligados tem alturas menores de 15 m, com exceção da caixa d'água do bloco A, não é necessário a instalação de anéis horizontais. A caixa d'água terá um anel na altura do telhado do terceiro piso.

### 5.1.1 Subsistema de captação

O subsistema de captação possui eletrodos horizontais em malha, com distâncias máximas de 10 metros entre os condutores, aproveitando ao máximo as estruturas de concreto como base para fixação. Além disso, ele possui pequenos captadores verticais dispostos como indicado na prancha do projeto, representado na Figura 36.

Figura 36 – Projeto do subsistema de captação.



Fonte: Feito pelo autor.

O bloco E possui uma estrutura metálica robusta como cobertura do vão central da edificação. Segundo a norma, essa cobertura pode ser utilizada como subsistema de captação desde que assegurada a condutividade elétrica entre a estrutura e o subsistema de captação e a chapa ou folha metálica não possuir espessura inferior ao que está definido na Tabela 3 da NBR 5419-3. A tabela 3 da norma está mostrada na Figura 37.

Figura 37 – Tabela 3 da NBR 5419-3.

**Tabela 3 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação**

Classe do SPDA	Material	Espessura <sup>a</sup> t mm	Espessura <sup>b</sup> t' mm
I a IV	Chumbo	–	2,0
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5
	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	–	0,7

<sup>a</sup> t previne perfuração, pontos quentes ou ignição.  
<sup>b</sup> t' somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição.

Fonte: ABNT (2015).

No caso do telhado do bloco E, a chapa que cobre a estrutura possui espessura maior que 2 mm além de que não é importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição. Portanto, independente do material da chapa, segundo a norma, é possível utilizar a estrutura como captação.

O material dos eletrodos será alumínio, o motivo da escolha se dá, pois, as barras chatas de alumínio possuem fixação direta na estrutura através de parafusos. Já a alternativa mais comum seria a utilização de cabos de cobre como subsistema de captação, porém a utilização de isoladores para sustentação do cabo facilita o furto do material.

### 5.1.2 Subsistema de descida

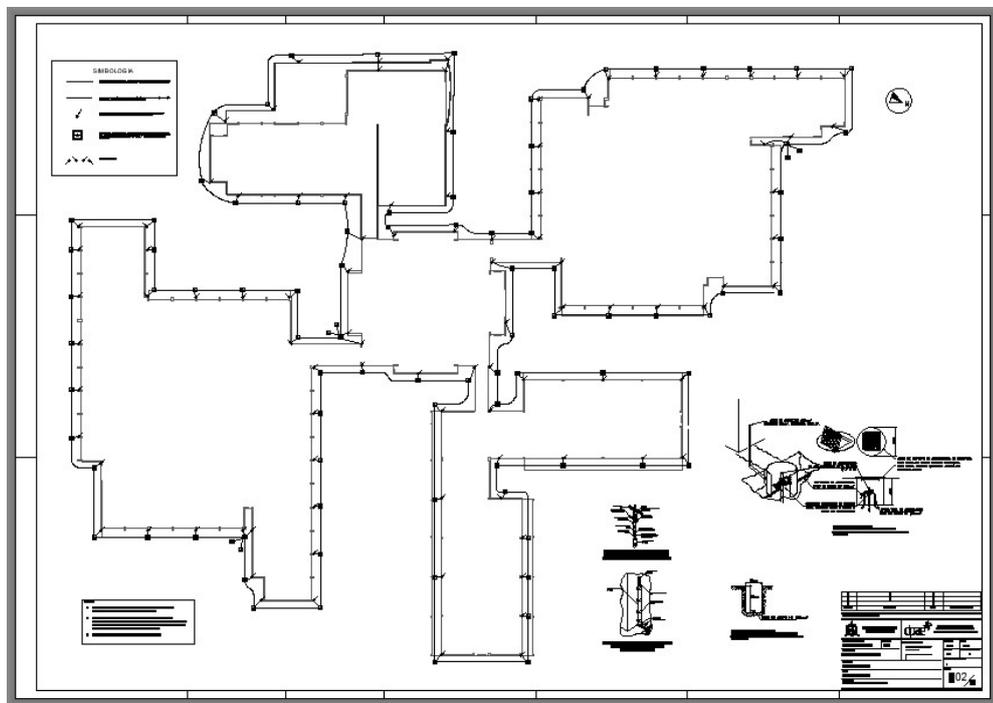
O subsistema de descidas conecta o subsistema de captação até o subsistema de aterramento. As descidas são preferencialmente dispostas inicialmente nas arestas das edificações e posteriormente seguindo as recomendações de distância máxima entre as descidas.

O material utilizado nas descidas também são as barras chatas de alumínio. As dimensões mínimas das seções transversais dos materiais também são descritas pela norma. No caso da fita maciça de alumínio a área da seção transversal deve ser maior ou igual a  $70 \text{ mm}^2$ , sendo a espessura maior ou igual 3 mm. As fixações deverão ser feitas a cada 1 m, no máximo, na horizontal e no máximo a cada 1,5 m quando a barra estiver na vertical.

Ainda referente ao sistema de descida é necessário que a partir do solo, até 3 m de altura, os condutores de descida estejam isolados por uma camada de no mínimo 3 mm de material isolante. No caso é projetado eletroduto de PVC pesado, fixado por abraçadeiras tipo D a cada 1,5m. Dentro do eletroduto será utilizado cobre nu de  $50 \text{ mm}^2$  de seção transversal como condutor de descida. O subsistema de descida deve estar conectado ao anel de aterramento.

Devido as características de alumínio e cobre, os dois materiais não podem ser acoplados diretamente, causando a destruição do alumínio (ABNT,2015). Para isso devem ser utilizadas conexões apropriadas, geralmente constituídas de latão ou como especificado em projeto terminal de compressão estanhado. A Figura 38 mostra a planta baixa referente ao subsistema de descidas e de aterramento.

Figura 38 – Projeto dos subsistemas de descida e aterramento.



Fonte: Feito pelo autor.

### 5.1.3 Subsistema de aterramento

As características gerais sobre o subsistema de aterramento são normatizadas na norma “ABNT NBR 5410:2004 - Instalações elétricas de baixa tensão”. Contudo, como no projeto de SPDA deve ser instalado um anel de aterramento enterrado a uma distância de aproximadamente 1 metro do perímetro da edificação.

O anel de aterramento composto pelo eletrodo horizontal deve ser de cabo de cobre nu com pelo menos  $50 \text{ mm}^2$  de seção transversal. O eletrodo deverá estar enterrado a uma profundidade mínima de 50 cm de profundidade. Nos pontos onde estão projetadas as descidas serão instalados eletrodos horizontais que são barras de alma de aço revestidas com cobre, também conhecidas como “*copperwild*”, neste caso especificadas com 3m de comprimento e diâmetro de 3/8”. Onde duas descidas se conectavam com a mesma haste, foram especificados pés de galinha para aumentar o contato com o solo e reduzir a resistividade no ponto.

Também são elementos do projeto de aterramento as caixas de inspeção e as conexões.

## 5.2 DPS COORDENADOS

As diretrizes de concepção e normatização para projeto de medidas de proteção contra surtos estão presentes na parte 4 da norma.

Para instalação de dispositivos de proteção contra surto nos quadros de distribuição elétrica, é necessário garantir que estes quadros estejam conectados a malha de aterramento. Essa conexão se dará inicialmente pela instalação de um barramento de equipotencialização principal – BEP, conectado à malha. Deverão ser instalados barramentos de proteção – PE, nos quadros que não têm esses barramentos e todos eles devem estar conectados ao BEP.

Considerando as zonas de proteção, nos quadros alimentados pela subestação deverão ser instalados DPS do Tipo 1, nos quadros derivados de quadros internos deverão ser instalados DPS do Tipo 2, e por fim em equipamentos de valor muito elevado podem ser instalados DPS do Tipo 3 no ponto de conexão elétrica, garantida a equipotencialização do aterramento.

As seções mínimas para os condutores de conexão são:  $16 \text{ mm}^2$  entre quadros e BEP, também  $16 \text{ mm}^2$  entre DPS Tipo 1 em barramento PE, e  $6 \text{ mm}^2$  entre DPS Tipo 2 e barramento PE. A Figura 39 mostra um conjunto de DPS.

Figura 39 – Conjunto de DPS.



Fonte: Viewtech (2021)

### 5.3 OUTRAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO ADOTADAS

Segundo o cálculo de gerenciamento de risco, para garantir que o risco de perda de vida da edificação esteja abaixo do risco tolerável é necessário a instalação do alarme automático de incêndio no bloco B.

Essa solução só pode ser adotada garantido que o corpo de bombeiros possa chegar em até 10 minutos à edificação. Essa condição é satisfeita, pois o batalhão do corpo de bombeiros e o CTC estão à uma distância de 1,7 km em grandes avenidas.

As instalações do sistema de alarmes de detecção e alarmes automáticos de incêndio devem estar de acordo com as normativas do corpo de bombeiros do Estado Federativo onde a estrutura está ou será construída. Para o bloco B do CTC as normas estão em “Corpo de Bombeiros SC IN 012 – Sistema de alarme e detecção de incêndio” (2018). A Figura 40 mostra uma central de alarme de incêndio e a Figura 41 um detector de fumaça.

Figura 40 – Central de alarme contra incêndio.



Fonte: Soedral (2021).

Figura 41 – Sensor detector de fumaça.



Fonte: Portal das câmeras (2021).

## 6 CONCLUSÃO

A aplicação da NBR 5419 nos blocos interligados do CTC consistiu na identificação de cada parâmetro apresentado, podendo separar em dois tipos de parâmetros: um direto e outro compensatório. O parâmetro compensatório geralmente está condicionado a fatores externos e medidas que reduzem as perdas ou condições que as agravam. Todos os parâmetros, posteriormente, foram devidamente relacionados ao número de eventos perigosos, à probabilidade de um evento perigoso causar dano e também às perdas relativas devido ao uso da edificação. Os cálculos das componentes de risco detalhados mostram quais fatores influenciam mais na elevação do risco da perda indesejada, facilitando o rastreamento das condições que devem ser melhoradas.

No caso do Centro Tecnológico, por ter a antiga instalação de SPDA furtada, é necessário que as condições de segurança sejam reestabelecidas. Porém, para que a readequação à norma atualizada seja realizada, deve-se fazer o cálculo de gerenciamento de risco como foi descrito nesse trabalho. Os resultados apontam a necessidade de implantação de um novo sistema de SPDA que satisfaça as condições exigidas para um risco de perda de vida abaixo do tolerável. Durante a elaboração de um projeto, aspectos extra técnicos também devem ser considerados pelo projetista para um bom funcionamento dos sistemas, como, por exemplo, o método de instalação de um material em contraponto a outro pode vir a ser determinante.

Segundo os cálculos apresentados neste trabalho, para garantir um risco de perda de vida abaixo da tolerância, foi projetado um sistema de SPDA com nível de proteção II. O PDA projetado é do tipo gaiola de Faraday e o material predominante dos subsistemas de captação e descidas é de alumínio. Além disso, foi projetado um anel de aterramento envolto da edificação e a equipotencialização dos quadros elétricos ao sistema de aterramento. Deve-se, também, realizar a instalação de um sistema de DPS coordenados e as instalações automáticas contra incêndio no bloco B.

Por meio da demonstração de cálculo e da elaboração do projeto de SPDA, o trabalho buscou auxiliar o leitor a entender na prática as alterações da NBR 5419, dando ênfase ao estudo do cálculo de risco. As tabelas de aquisição de dados podem servir de modelo para os leitores na hora de aquisição de dados em uma situação real de elaboração de projetos de proteção contra descargas atmosféricas.

No entanto, não foi a intenção do autor descrever neste trabalho sobre todas as categorias de edificações com os variados usos, ou descrever sobre as modalidades de para-

raios, deixando uma grande lacuna para ser uma única ferramenta de auxílio na elaboração de projetos de SPDA. Também fugiu do escopo deste trabalho detalhar o projeto, deixando de fora outras partes e observações necessárias, como o memorial descritivo e a lista de materiais, que poderiam ser úteis durante o aprendizado de elaboração de projeto.

Avanços nas técnicas de medidas de segurança, tanto contra descargas atmosféricas quanto em instalações elétricas, são mais do que necessários, como também é preciso garantir que as instalações e edificações se adequem às novas realidades. Os incidentes como incêndios ou choques elétricos, geralmente causados pela falta de manutenção ou por instalações inadequadas, são mais frequentes do que gostaríamos e, em muitos casos, fatais. É importante a valorização das técnicas de projetos em geral, mas principalmente projetos elétricos, visando acima de tudo a preservação da vida.

Como trabalhos futuros na mesma área, sugere-se a aplicação de normas de proteção contra descargas atmosféricas em edificações mais desafiantes, como a aplicação da NBR 5419 em postos de gasolina ou em depósitos de materiais inflamáveis ou explosivos, e também o estudo da IEC 61400-24 – Proteção contra raios em sistemas de energia eólica. Além disso, poderão ser realizados estudos sobre distintas formas de eletrodos de aterramento; e estudos mais aprofundados para verificar a possibilidade de aproveitamento da energia de uma descarga atmosférica.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN 03**: Carga de incêndio. Florianópolis, 2019.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN 012**: Sistema de alarme e detecção de incêndio. Florianópolis, 2018.
- ELAT. **Proteção contra raios**. [S. L.], 2020. 4 f. Disponível em: [http://www.inpe.br/webelat/docs/Cartilha\\_Protecao\\_Contra\\_Raios\\_Brasil\\_2020.pdf](http://www.inpe.br/webelat/docs/Cartilha_Protecao_Contra_Raios_Brasil_2020.pdf). Acesso em: 14 set. 2021.
- GOOGLE. **Google Maps**. 2021. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-27.6003205,-48.5181121,161m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 05 out. 2021.
- MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- PORTAL DAS CÂMERAS. **Detector de Fumaça Endereçável - DFE 520 Intelbras**. Disponível em: <https://www.portaldascameras.com/detector-de-fumaca-enderecavel-dfe-520-intelbras/p>. Acesso em: 05 out. 2021.
- RAINMAP (Florianópolis) (org.). **Sistema de Aproveitamento da Água de Chuva no Centro Tecnológico da UFSC**. 2017. Disponível em: <https://rainmap.com.br/sistema-de-aproveitamento-da-agua-de-chuva-no-centro-tecnologico-da-ufsc/>. Acesso em: 05 out. 2021.
- SANTOS, Luis Dartanhan de Oliveira; CRUZ, Antônia Ferreira dos Santos. APLICAÇÃO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS COM ESTUDO DE CASO NUMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL. In: SEMINÁRIO ESTUDANTIL DE PRODUÇÃO ACADÊMICA, 17., 2018, Salvador. **Publicação**. Salvador: UNIFACS, 2018. p. 117-142. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/view/5593>. Acesso em: 30 set. 2021.
- SOEDRAL. SOCIEDADE ELETRICA HIDRAULICA. **CENTRAL DE ALARME DE INCÊNDIO ENDEREÇÁVEL SMART COM BATERIA INCLUSA 27107**. Disponível em: <https://www.soedral.com.br/central-alarme-inc-ender-125-cbateria-segurimax>. Acesso em: 05 out. 2021.
- SOUZA, André Nunes de *et al.* **SPDA: sistemas de proteção contra descargas atmosféricas: teoria, prática e legislação**. São Paulo: Érica, 2020. 216 p.

VIEWTECH. **DPS Protetor de Surtos Classe II 40kA 275V Tetrapolar**. Disponível em: <https://www.viewtech.ind.br/dps-protetor-de-surtos-classe-ii-40ka-275v-tetrapolar#/>. Acesso em: 05 out. 2021.