



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Victor Sérgio Oliveira da Costa

**Adequação do SPDA de um Armazém Graneleiro para Atendimento das  
Normas Técnicas do Corpo de Bombeiros (NTCBs) para Emissão do Alvará  
de Segurança Contra Incêndio e Pânico (ASCIP)**

TUCURUÍ

2026

Victor Sérgio Oliveira da Costa

**Adequação do SPDA de um Armazém Graneleiro para Atendimento das Normas Técnicas do Corpo de Bombeiros (NTCBs) para Emissão do Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico (ASCIP)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador:  
Prof. Me. Bernard Carvalho Bernardes.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

C837a Costa, Victor Sérgio Oliveira da.  
Adequação do SPDA de um Armazém Graneleiro para  
Atendimento das Normas Técnicas do Corpo de Bombeiros  
(NTCBs) para Emissão do Alvará de Segurança Contra Incêndio e  
Pânico (ASCIP) / Victor Sérgio Oliveira da Costa. — 2026.  
72 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Bernard Carvalho Bernardes  
Trabalho de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará,  
Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia  
Elétrica, Tucuruí, 2026.

1. SPDA; NTCB; NBR 5419; ASCIP.. I. Título.

CDD 621.31098115

---

Victor Sérgio Oliveira da Costa

**Adequação do SPDA de um Armazém Graneleiro para Atendimento das Normas Técnicas do Corpo de Bombeiros (NTCBs) para Emissão do Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico (ASCIP)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal do Pará.

Data de aprovação: Tucuruí-Pa, 20 de julho de 2026.

**Banca Examinadora:**

Documento assinado digitalmente  
 **BERNARD CARVALHO BERNARDES**  
Data: 20/07/2026 15:38:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Me. Bernard Carvalho Bernardes**  
Orientador - FEE/CAMTUC/UFGA

Documento assinado digitalmente  
 **JOSEMAR LOPES OLIVEIRA**  
Data: 20/07/2026 15:30:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Eng. Josemar Lopes Oliveira**  
Avaliador Externo - Projetista

Documento assinado digitalmente  
 **RICARDO FREITAS LISBOA**  
Data: 20/07/2026 15:23:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Eng. Ricardo Freitas Lisboa**  
Avaliador Externo - Coord. Adm. HRT Itaituba

TUCURUÍ

2026



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**TÍTULO:** ADEQUAÇÃO DO SPDA DE UM ARMAZÉM GRANELEIRO PARA ATENDIMENTO DAS NORMAS TÉCNICAS DO CORPO DE BOMBEIROS (NTCBS) PARA EMISSÃO DO ALVARÁ DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO (ASCIP)

**DISCENTE:** Victor Sérgio Oliveira da Costa

**MATRÍCULA:** 201633940009

| # | BANCA EXAMINADORA                                      | CONDIÇÃO       |
|---|--------------------------------------------------------|----------------|
| 1 | Prof. Me. Bernard Carvalho Bernardes – FEE/UFPA        | Orientador     |
| 2 | Eng. Josemar Lopes Oliveira – Projetista               | Membro externo |
| 3 | Eng. Ricardo Freitas Lisboa – Coord. Adm. HRT Itaituba | Membro externo |

**Data da Defesa:** 20/07/2026    **Hora Início:** 14:05    **Hora Término:** 14:35

| Trabalho Escrito (0 a 10 pontos por critério) | Examinador 1 | Examinador 2 | Examinador 3 |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Formatação                                    | 9,50         | 9,50         | 9,50         |
| Linguagem (gramática e semântica)             | 9,50         | 9,50         | 10,0         |
| Conteúdo técnico                              | 10,0         | 10,0         | 10,0         |

| Defesa Oral (0 a 10 pontos por critério) | Examinador 1 | Examinador 2 | Examinador 3 |
|------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Sequência lógica de apresentação         | 10,0         | 10,0         | 10,0         |
| Administração do tempo                   | 10,0         | 10,0         | 10,0         |
| Expressão oral                           | 10,0         | 10,0         | 10,0         |
| Domínio do tema                          | 10,0         | 10,0         | 10,0         |

|                             |           |      |      |
|-----------------------------|-----------|------|------|
| <b>Média por examinador</b> | 9,86      | 9,86 | 9,92 |
| <b>Média Final</b>          | 9,88      |      |      |
| <b>Conceito Final</b>       | EXCELENTE |      |      |

Tucuruí-Pa, 20 de julho de 2026.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** BERNARD CARVALHO BERNARDES  
Data: 20/07/2026 15:38:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** RICARDO FREITAS LISBOA  
Data: 20/07/2026 15:23:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** JOSEMAR LOPES OLIVEIRA  
Data: 20/07/2026 15:30:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro

Dedico este trabalho a minha esposa Beatriz, meu filho Pietro, minha mãe Rosilene e aos meus pais/avôs Lucivaldo e Maria Rosaria, por todo apoio, incentivo e amor durante toda essa jornada. A todos vocês gratidão eterna.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado forças e saúde ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. Agradeço a toda a minha família, especialmente à minha mãe, Rosilene Costa, e aos meus avós, Lucivaldo Costa e Maria Rosária, que nunca foram apenas avós, mas sim meus pais, por todo o amor e incentivo em toda a minha vida. Cada um de vocês sempre foi e segue sendo uma inspiração, principalmente minha mãe Rosa, uma mulher guerreira e batalhadora que nunca me deixou faltar nada, seja um abraço, uma palavra de carinho, um sorriso ou qualquer outra coisa, à senhora mãe, a minha eterna gratidão.

Agradeço à minha esposa, Beatriz Costa, e ao meu filho, Pietro Costa, por todo o amor e carinho. Muitas e muitas vezes vocês foram o meu combustível para nunca desistir, meu porto seguro e minha fonte de força.

Ao corpo docente da Faculdade de Engenharia Elétrica do Campus de Tucuruí, o meu muito obrigado por todo o ensinamento repassado, por toda a dedicação e paciência, mesmo diante de todas as dificuldades. Além disso, gostaria de agradecer a todos os meus colegas de turma por terem compartilhado conhecimento e bons momentos, especialmente Thalia, Yan, Cássio, Willians, Marcelo, Danilo, Nilton, Walder, Zeca, Ricardo e Mateus. Sem dúvidas, vocês foram essenciais para alcançar o fim dessa jornada.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram ao longo da minha vida acadêmica e me ajudaram a alcançar esse sonho que agora está se concretizando.

"O ontem é história, o amanhã é um mistério, mas o  
hoje é uma dádiva. É por isso que se chama presente."  
(Mestre Oogway – Kung Fu Panda)



## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo propor a adequação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) de um armazém graneleiro localizado na cidade de Água Boa - MT, assegurando o cumprimento da NBR 5419:2015 e das NTCBs do estado de Mato Grosso. A finalidade é garantir que todos os parâmetros técnicos atendam aos critérios de vistoria do CBMMT para a emissão do Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico (ASCIP). Diante disso, uma empresa foi contratada para elaborar o memorial de cálculo, inspecionar o SPDA existente e diagnosticar as não conformidades no sistema de proteção atual. Com base nesse diagnóstico, uma segunda empresa foi acionada para executar as adequações nos subsistemas de captação, descida e aterramento de todas as estruturas em desconformidade. Após a finalização das obras, concluiu-se que o SPDA cumpre todos os parâmetros técnicos das normas nacionais e estaduais, tornando a unidade apta para a vistoria técnica do Corpo de Bombeiros e para a emissão do ASCIP.

**Palavras-chave:** SPDA; NBR 5419; NTCB; ASCIP.

## **ABSTRACT**

This study aims to propose the adequacy of the Lightning Protection System (LPS) of a grain warehouse located in the city of Água Boa - MT, ensuring compliance with the NBR 5419:2015 standard and the Technical Standards (NTCBs) of the state of Mato Grosso. The purpose is to guarantee that all technical parameters meet the inspection criteria of the Military Fire Department of Mato Grosso (CBMMT) for the issuance of the Fire and Panic Safety License (ASCIP). In this scenario, a company was hired to elaborate the calculation memory, inspect the existing LPS, and diagnose non-compliances in the current protection system. Based on this diagnosis, a second company was called upon to perform the adjustments in the mesh, down-conductor, and grounding subsystems of all non-compliant structures. After completing the works, it was concluded that the LPS fulfills all technical parameters of national and state standards, making the facility suitable for the fire department's technical inspection and the subsequent issuance of the ASCIP.

**Keywords:** LPS; NBR 5419; NTCB; ASCIP.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Distribuição das cargas elétricas das nuvens e do solo .....                             | 23 |
| Figura 2 – Formação de uma descarga atmosférica .....                                               | 24 |
| Figura 3 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto ..... | 28 |
| Figura 4 – Procedimento para decisão da necessidade de proteção .....                               | 33 |
| Figura 5 – Volume de proteção provido por um mastro .....                                           | 36 |
| Figura 6 – Ângulo de proteção correspondente a classe de SPDA .....                                 | 37 |
| Figura 7 – Subsistema de captação, método da esfera rolante para altura < 60 m .....                | 37 |
| Figura 8 – Subsistema de captação, método da esfera rolante para altura > 60 m .....                | 38 |
| Figura 9 – Materiais para SPDA e condições de utilização .....                                      | 41 |
| Figura 10 – Método de medição .....                                                                 | 42 |
| Figura 11 – Terrômetro Minipa .....                                                                 | 54 |
| Figura 12 – Instruções de medição com o terrômetro Minipa .....                                     | 54 |
| Figura 13 – Malha de aterramento existente .....                                                    | 55 |
| Figura 14 – Malha de aterramento após implementação das recomendações .....                         | 60 |
| Figura 15 – Locais para instalação de SPDA externo .....                                            | 62 |
| Figura 16 – Caixa de inspeção no solo - banheiro motoristas .....                                   | 63 |
| Figura 17 – Valetas para instalação do cabo do anel de aterramento - banheiro motoristas .....      | 63 |
| Figura 18 – Captadores não-naturais instalados - banheiro motoristas .....                          | 64 |
| Figura 19 – Caixa de inspeção suspensa - banheiro motoristas .....                                  | 64 |
| Figura 20 – Valetas para instalação do cabo do anel de aterramento - barracão de resíduos .....     | 65 |
| Figura 21 – Caixa de inspeção no solo - barracão de resíduos .....                                  | 65 |
| Figura 22 – Caixa de inspeção suspensa - barracão de resíduos .....                                 | 66 |
| Figura 23 – Valetas para instalação do cabo do anel de aterramento - utilidades .....               | 66 |
| Figura 24 – Captadores não-naturais instalados - utilidades .....                                   | 67 |
| Figura 25 – Caixa de inspeção suspensa - utilidades .....                                           | 67 |
| Figura 26 – Caixa de inspeção no solo - armazém .....                                               | 68 |
| Figura 27 – Caixa de inspeção suspensa - armazém .....                                              | 68 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Componentes de risco de acordo com a fonte de danos .....                                                   | 29 |
| Quadro 2 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura .....                    | 29 |
| Quadro 3 – Parâmetros relevantes para avaliação dos componentes de risco .....                                         | 30 |
| Quadro 4 – Valores típicos de risco tolerável $R_T$ .....                                                              | 32 |
| Quadro 5 – Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção (NP) ..... | 34 |
| Quadro 6 – Relação entre níveis de proteção e classe de SPDA .....                                                     | 35 |
| Quadro 7 – Valores do raio da esfera rolante em função da classe do SPDA .....                                         | 38 |
| Quadro 8 – Valores do método das malhas de acordo com a classe do SPDA .....                                           | 39 |
| Quadro 9 – Valores das distâncias entre os condutores de descida de acordo com a classe do SPDA .....                  | 40 |
| Quadro 10 – Valores da resistência da malha de aterramento .....                                                       | 55 |
| Quadro 11 – Materiais para adequação SPDA no depósito de resíduo .....                                                 | 57 |
| Quadro 12 – Materiais para adequação SPDA na classificação .....                                                       | 58 |
| Quadro 13 – Materiais para adequação SPDA na utilidades .....                                                          | 58 |
| Quadro 14 – Materiais para adequação SPDA na casa dos motoristas .....                                                 | 59 |
| Quadro 15 – Materiais para implementação de interligação da malha de aterramento .....                                 | 59 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |                                                          |
|-------|----------------------------------------------------------|
| DDP   | <i>Diferença de Potencial</i>                            |
| ELAT  | <i>Grupo de Eletricidade Atmosférica</i>                 |
| INPE  | <i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>         |
| CNM   | <i>Confederação Nacional do Municípios</i>               |
| SPDA  | <i>Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas</i> |
| ABNT  | <i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>          |
| NBR   | <i>Norma Brasileira</i>                                  |
| ART   | <i>Anotação de Responsabilidade Técnica</i>              |
| MT    | <i>Mato Grosso</i>                                       |
| CBMMT | <i>Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso</i>         |
| ASCIP | <i>Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico</i>      |
| PSCIP | <i>Projeto de Segurança Contra Incêndio e Pânico</i>     |
| DSCIP | <i>Diretoria de Segurança Contra Incêndio e Pânico</i>   |
| NTCB  | <i>Norma Técnica do Corpo de Bombeiros</i>               |
| MPS   | <i>Medidas de Proteção contra Surtos</i>                 |
| S1    | <i>Descargas Atmosféricas na Estrutura</i>               |
| S2    | <i>Descargas Atmosféricas Perto da Estrutura</i>         |
| S3    | <i>Descargas Atmosféricas na Linha</i>                   |
| S4    | <i>Descargas Atmosféricas Perto da Linha</i>             |
| D1    | <i>Ferimentos aos Seres Vivos por choque elétrico</i>    |
| D2    | <i>Danos Físicos</i>                                     |
| D3    | <i>Falhas de Sistemas Eletroeletrônicos</i>              |
| L1    | <i>Perda de Vida Humana</i>                              |
| L2    | <i>Perda de Serviço ao Público</i>                       |
| L3    | <i>Perda de Patrimônio Cultural</i>                      |
| L4    | <i>Perda de Valores Econômicos</i>                       |
| R     | <i>Risco</i>                                             |

|                 |                                                                                                            |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R <sub>1</sub>  | <i>Risco de Perda de Vida Humana</i>                                                                       |
| R <sub>2</sub>  | <i>Risco de Perda de Serviço ao Público</i>                                                                |
| R <sub>3</sub>  | <i>Risco de Perda de Patrimônio Cultural</i>                                                               |
| R <sub>4</sub>  | <i>Risco de Perda de Valores Econômicos</i>                                                                |
| NBR             | <i>Norma Brasileira</i>                                                                                    |
| R <sub>T</sub>  | <i>Risco tolerável</i>                                                                                     |
| R <sub>A</sub>  | <i>Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)</i>                  |
| R <sub>B</sub>  | <i>Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)</i>                |
| R <sub>C</sub>  | <i>Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)</i>               |
| R <sub>M</sub>  | <i>Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)</i>         |
| R <sub>U</sub>  | <i>Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)</i>            |
| R <sub>V</sub>  | <i>Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)</i>          |
| R <sub>W</sub>  | <i>Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)</i>         |
| R <sub>X</sub>  | <i>Componente de risco para uma estrutura</i>                                                              |
| R <sub>Z</sub>  | <i>Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)</i>             |
| NP              | <i>Nível de Proteção</i>                                                                                   |
| N <sub>D</sub>  | <i>Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura</i>                       |
| N <sub>M</sub>  | <i>Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura</i>                 |
| N <sub>L</sub>  | <i>Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha</i>                            |
| N <sub>I</sub>  | <i>Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha</i>                     |
| N <sub>DJ</sub> | <i>Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente</i>             |
| P <sub>A</sub>  | <i>Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)</i> |

|          |                                                                                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_B$    | <i>Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)</i>                                  |
| $P_C$    | <i>Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)</i>                                 |
| $P_M$    | <i>Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)</i>                    |
| $P_U$    | <i>Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)</i> |
| $P_V$    | <i>Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)</i>                     |
| $P_W$    | <i>Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha conectada)</i>                          |
| $P_Z$    | <i>Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)</i>                    |
| $L_A$    | <i>Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)</i>          |
| $L_B$    | <i>Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)</i>                          |
| $L_U$    | <i>Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)</i>              |
| $L_V$    | <i>Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)</i>                                  |
| $L_C$    | <i>Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)</i>                             |
| $L_M$    | <i>Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)</i>                       |
| $L_W$    | <i>Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)</i>                                      |
| $L_Z$    | <i>Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)</i>                           |
| $A_D$    | <i>Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada</i>                                |
| $N_G$    | <i>Densidade de descargas atmosféricas para a terra</i>                                                                 |
| $C_D$    | <i>Fator de localização</i>                                                                                             |
| $P_{TA}$ | <i>Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)</i>              |
| $r_t$    | <i>Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo</i>                                                         |

|          |                                                                                                                                                                     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_T$    | <i>Perda devido a ferimentos por choque elétrico</i>                                                                                                                |
| $n_z$    | <i>Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)</i>                                                                                     |
| $n_t$    | <i>Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado</i>                                                                                                     |
| $t_z$    | <i>Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso</i>                                                                                    |
| $r_p$    | <i>Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio</i>                                                                                                  |
| $r_f$    | <i>Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio</i>                                                                                                       |
| $h_z$    | <i>Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente</i>                                                                                            |
| $L_F$    | <i>Perda em uma estrutura devido a danos físicos</i>                                                                                                                |
| $P_{EB}$ | <i>Probabilidade de reduzir <math>P_U</math> e <math>P_V</math> dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento</i>                   |
| $P_{LD}$ | <i>Probabilidade de reduzir <math>P_U</math>, <math>P_V</math> e <math>P_W</math> dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento</i> |
| $C_{LD}$ | <i>Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha</i>                                           |
| $A_L$    | <i>Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha</i>                                                                                       |
| $C_I$    | <i>Fator de instalação de uma linha</i>                                                                                                                             |
| $C_T$    | <i>Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha</i>                                                                                                  |
| $C_E$    | <i>Fator ambiental</i>                                                                                                                                              |
| $L_L$    | <i>Comprimento de uma seção da linha</i>                                                                                                                            |
| $A_{DJ}$ | <i>Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente</i>                                                                          |
| $C_{DJ}$ | <i>Fator de localização de uma estrutura adjacente</i>                                                                                                              |
| $r$      | <i>Raio</i>                                                                                                                                                         |
| LEMP     | <i>Impulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas</i>                                                                                                     |
| DPS      | <i>Dispositivos de Proteção contra Surtos</i>                                                                                                                       |
| PCM      | <i>Planejamento, Controle e Manutenção</i>                                                                                                                          |



## SUMÁRIO

|            |                                                                                |           |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                         | <b>19</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Justificativa .....</b>                                                     | <b>20</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Objetivos.....</b>                                                          | <b>20</b> |
| 1.2.1      | Objetivos gerais .....                                                         | 20        |
| 1.2.2      | Objetivos específicos.....                                                     | 20        |
| <b>1.3</b> | <b>Estrutura da monografia .....</b>                                           | <b>21</b> |
| <b>2</b>   | <b>DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, SISTEMA DE PROTEÇÃO E NORMAS<br/>TÉCNICAS....</b>   | <b>22</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Descargas atmosféricas .....</b>                                            | <b>22</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).....</b>           | <b>25</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Gerenciamento de riscos .....</b>                                           | <b>26</b> |
| 2.3.1      | Fontes dos danos.....                                                          | 26        |
| 2.3.2      | Tipos de danos .....                                                           | 27        |
| 2.3.3      | Tipos de perdas .....                                                          | 27        |
| 2.3.4      | Risco .....                                                                    | 28        |
| 2.3.5      | Procedimento básico para gerenciamento de risco.....                           | 31        |
| 2.3.6      | Risco tolerável ( $R_T$ ) .....                                                | 32        |
| 2.3.7      | Procedimento para avaliar a necessidade de proteção.....                       | 32        |
| <b>2.4</b> | <b>Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas.....</b>          | <b>33</b> |
| 2.4.1      | Níveis de proteção contra descargas atmosféricas (NP).....                     | 34        |
| 2.4.2      | Classe de SPDA.....                                                            | 34        |
| 2.4.3      | Subsistema de captação .....                                                   | 35        |
| 2.4.4      | Subsistema de descida .....                                                    | 39        |
| 2.4.5      | Subsistema de aterramento .....                                                | 40        |
| 2.4.6      | Componentes .....                                                              | 41        |
| 2.4.7      | Ensaio de continuidade elétrica das armaduras .....                            | 41        |
| <b>2.5</b> | <b>Sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas .....</b>         | <b>43</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Normas técnicas do CBMMT .....</b>                                          | <b>43</b> |
| 2.6.1      | NTCB 01 – Procedimentos administrativos .....                                  | 44        |
| 2.6.2      | NTCB 44 – Unidades de Beneficiamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas... 44 |           |
| <b>2.7</b> | <b>Fundamentação legal e a origem das NTCBs .....</b>                          | <b>45</b> |
| <b>3</b>   | <b>MEMORIAL DE CÁLCULO E LAUDO DE SPDA.....</b>                                | <b>46</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Memorial de cálculo .....</b>                                               | <b>46</b> |
| 3.1.1      | Identificação da estrutura.....                                                | 46        |
| 3.1.2      | Cálculo do Risco $R_1$ .....                                                   | 47        |
| <b>3.2</b> | <b>Inspecção do SPDA existente .....</b>                                       | <b>52</b> |
| 3.2.1      | Aterramento .....                                                              | 53        |
| 3.2.2      | Resultado e recomendações.....                                                 | 56        |
| 3.2.3      | Lista de serviços a serem executados para adequação do SPDA .....              | 57        |

|            |                                          |           |
|------------|------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b>   | <b>ADEQUAÇÃO DO SPDA DA UNIDADE.....</b> | <b>61</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Serviços executados .....</b>         | <b>61</b> |
| 4.1.1      | Banheiro dos motoristas .....            | 62        |
| 4.1.2      | Barracão de resíduos.....                | 64        |
| 4.1.3      | Utilidades.....                          | 66        |
| 4.1.4      | Armazém .....                            | 67        |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO .....</b>                   | <b>69</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                 | <b>71</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas, ou raios como são conhecidos popularmente, representam um risco crítico para a vida e segurança patrimonial no mundo todo, essas descargas são fenômenos naturais e suas características são totalmente imprevisíveis levando-se em conta o local a ser atingido, a intensidade da descarga elétrica e o seu período de duração. Para mitigar os efeitos causados pelos raios, buscou-se através de estudos desenvolver métodos e dispositivos, que posteriormente viraram um sistema de proteção contra essas descargas e contribuíram para a proteção de pessoas, estruturas e equipamentos.

No Brasil, para padronizar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), foi criada uma normativa que regulamenta, parametriza e define aspectos associados à proteção, a Norma Brasileira (NBR) 5419, construída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tendo a sua última edição atualizada no ano de 2015. A NBR 5419 possui o título “Proteção contra descargas atmosféricas”, é dividida em quatro partes, que explicam os princípios gerais das descargas atmosféricas, gerenciamento de risco, danos físicos a estrutura e perigos a vida, além dos efeitos que podem afetar sistemas elétricos e eletrônicos.

Devido às suas dimensões continentais, registra-se uma alta incidência de raios no Brasil, tendo o Mato Grosso (MT) figurando como um dos estados com maior incidência de descargas atmosféricas do país. Para atenuar esses perigos, a implementação de um sistema de proteção se faz necessário em algumas edificações do estado, não é apenas como uma recomendação técnica da ABNT NBR 5419:2015, mas como uma exigência legal e rigorosa do Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso (CBMMT) para a regularização de edificações e áreas de risco, a fim de evitar perdas de vida humana, serviço ao público, patrimônio cultural e de valor econômico.

A implementação do SPDA é um requisito fundamental para a obtenção do Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico (ASCIP) no âmbito administrativo do CBMMT. Conforme estabelecido na NTCB (Norma Técnica do Corpo de Bombeiros) 01, intitulada “Procedimentos Administrativos”, o SPDA é uma das medidas de segurança obrigatórias que devem constar no Projeto de Segurança Contra Incêndio e Pânico (PSCIP), a norma exige que o responsável técnico apresente documentos específicos, como o anexo E.4, que possui o título “Declaração de SPDA”, atestando a necessidade ou a existência do sistema devidamente dimensionado conforme o gerenciamento de risco da NBR 5419.

Para unidades de armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, além da NTCB 01, a NTCB 44 se faz necessária e impõe diretrizes adicionais, esta norma técnica determina que o SPDA deve ser previsto para todas as edificações e estruturas metálicas de manuseio e armazenagem de grãos, visando prevenir não apenas danos estruturais diretos, mas também o risco de explosões causadas por poeiras em suspensão, comuns nesse tipo de ocupação. A NTCB 44, bem como a NTCB 01, reforça que o dimensionamento deve seguir rigorosamente a NBR 5419, integrando-se todas as estruturas ao sistema de aterramento equipotencializado.

## **1.1 Justificativa**

Este estudo fundamenta-se na necessidade de garantir a segurança operacional e jurídica de unidades de armazenamento de grãos, estruturas que possuem alto valor econômico agregado e constante circulação de pessoas. No estado de Mato Grosso, que como em outros estados da federação, a adequação do SPDA deixa de ser uma mera recomendação técnica para tornar-se um requisito legal indispensável, uma vez que a ausência do Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico (ASCIP) impede a regularização da atividade econômica junto aos órgãos fiscalizadores.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos gerais**

O objetivo deste trabalho é propor a adequação do SPDA de um armazém de grãos em Água Boa - MT, assegurando o cumprimento da NBR 5419:2015 e das NTCBs do estado de Mato Grosso, com intuito de garantir que todos os parâmetros técnicos atendam aos critérios de vistoria para a emissão do ASCIP, garantindo que a unidade operacional esteja em plena conformidade com a lei estadual de segurança contra incêndio e pânico.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre descargas atmosféricas;
- Apresentar os conceitos para instalação de um SPDA baseado na ABNT NRB 5419:2015;
- Conhecer as exigências legais do Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso para emissão de alvará;
- Elaborar um memorial de cálculo para uma unidade de armazenamento de grãos;
- Inspeccionar do SPDA existente da unidade;

- Adequar o SPDA para atendimentos das normas.

### **1.3 Estrutura da monografia**

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O capítulo 1 é introdutório, no qual são apresentados a justificativa, os objetivos e a estrutura do trabalho desenvolvido.

No capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica sobre descargas atmosféricas, conceitos de SPDA baseados na NBR 5419 e normas técnicas do Corpo de Bombeiros.

O capítulo 3 mostra a elaboração do memorial de cálculo, inspeção do SPDA instalado e recomendações de adequação do SPDA.

Capítulo 4 relata os resultados das adequações no SPDA baseados nas recomendações do capítulo 3.

No capítulo 5, é apresentada a conclusão, atestando que o SPDA está de acordo com a NBR 5419 e que cumpre as exigências das normas técnicas do CBMMT para obtenção do ASCIP.

## **2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, SISTEMA DE PROTEÇÃO E NORMAS TÉCNICAS**

### **2.1 Descargas atmosféricas**

Ao longo da história da civilização, os raios sempre foram admirados e temidos pelo ser humano. Por milhares de anos a humanidade observou as descargas atmosféricas sem conhecer sua origem, muitos povos acreditavam que os raios e trovões vistos no céu eram manifestações de fúria dos deuses. Somente com Benjamin Franklin (1706-1790), que através de seus estudos e observações, se começaria a desmistificar a origem dos raios.

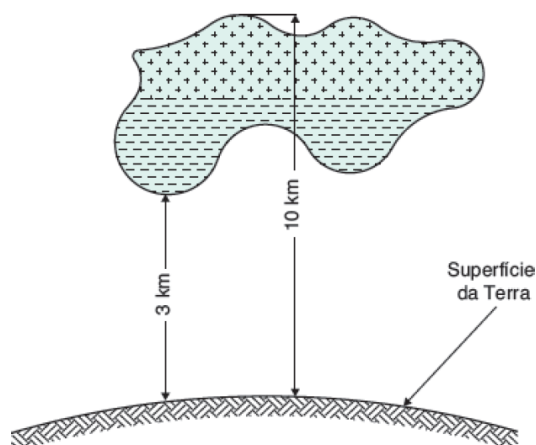
Ele fez descobertas sobre a eletricidade que lhe renderam reconhecimento internacional, identificando as cargas positivas e negativas, além de demonstrar que os raios são um fenômeno de natureza elétrica.

Para Franklin, só foi possível comprovar sua teoria sobre os raios depois de realizar uma experiência extremamente perigosa. Em 1º de outubro de 1752, ele fez uma pipa voar durante uma tempestade. Em seus escritos, ele apontou os envolvidos na demonstração: foi descrito que o raio é formado por uma descarga elétrica que pode ocorrer entre as nuvens e o solo, ou mesmo entre as nuvens (Souza et al., 2020, p. 33).

Após as descobertas de Franklin, vários cientistas dedicaram seu tempo a compreender as naturezas físicas das descargas atmosféricas e hoje se tem uma compreensão muito bem estruturada sobre o que e como se forma esse fenômeno natural. “A maneira simplificada, porém clássica, de explicar a origem das descargas atmosféricas é considerar a descarga como um rompimento da isolação do ar entre duas superfícies carregadas eletricamente e com polaridades opostas” (Souza et al., 2020, p. 33).

Na formação das nuvens, as cargas negativas se concentram na parte inferior, enquanto as positivas vão para o topo. O vento provoca a separação das partículas de polaridades opostas. Assim, é aceito que as correntes ascendentes de ar são responsáveis pelo transporte das partículas positivas, enquanto as pequenas gotas de água sobem para a parte superior da nuvem. Já as partículas negativas são transportadas para a base da nuvem por meio das grandes gotas d'água (UMAN, 1987, n.p).

Figura 1 – Distribuição das cargas elétricas das nuvens e do solo



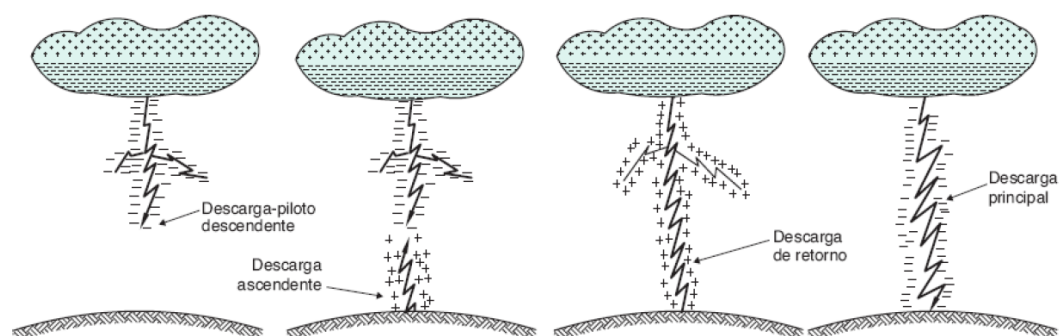
Fonte: Mamede, 2017

A superfície da terra possui cargas elétricas positivas, a concentração dessas cargas gera uma diferença de potencial (DDP), entre a terra e a nuvem, e o ar possui uma determinada rigidez dielétrica variável conforme as condições do ambiente. O aumento da DDP entre a nuvem e a terra é denominado gradiente de tensão e seus valores podem ultrapassar a resistência dielétrica do ar, quando isso ocorre resulta na migração das cargas elétricas em direção a terra, por um caminho tortuoso e normalmente com várias ramificações.

A concentração de cargas elétricas positivas e negativas em determinada região faz surgir uma diferença de potencial entre a Terra e a nuvem. No entanto, o ar apresenta determinada rigidez dielétrica, normalmente elevada, que depende de certas condições ambientais. O aumento dessa diferença de potencial, que se denomina gradiente de tensão, poderá atingir um valor que supere a rigidez dielétrica do ar interposto entre a nuvem e a Terra, fazendo com que as cargas elétricas migrem na direção da Terra, em um trajeto tortuoso e normalmente cheio de ramificações, cujo fenômeno é conhecido como descargas atmosféricas descendentes, caracterizadas por um líder descendente da nuvem para a Terra. É de aproximadamente 1 kV/mm o valor do gradiente de tensão para o qual a rigidez dielétrica do ar é rompida (Mamede, 2017, p. 856).

Ainda segundo Mamede (2017), a ionização do caminho seguida pela descarga descendente, conhecida como descarga piloto, propicia condições favoráveis de condutibilidade do ar ambiente. Mantendo-se gradiente de tensão elevador, surge, em uma das ramificações da descarga piloto, uma descarga ascendente, constituída de cargas elétricas positivas, de retorno da Terra para a nuvem, se originando em seguida a descarga principal, de grande intensidade, responsável pelo fenômeno conhecido como trovão, que é o deslocamento da massa de ar circundante ao caminhar do raio, em função da elevação de temperatura e, conseqüentemente, do aumento repentino de seu volume.

*Figura 2 – Formação de uma descarga atmosférica*



Fonte: Mamede, 2017

É importante ressaltar que não existe unanimidade quanto à melhor teoria para explicar todas as etapas de formação da descarga atmosférica. Além disso, esse fenômeno da natureza é imprevisível tanto em relação aos seus efeitos destruidores quanto em relação às suas características elétricas como a corrente, a intensidade da descarga elétrica e o seu período de duração. Entretanto, hoje é possível determinar a densidade raios por região através de cálculos probabilísticos ou de forma mais simples com o auxílio de softwares modernos que calculam número de raios que atingem uma área específica, em Km<sup>2</sup>, durante um determinado período de tempo, geralmente um ano.

O Brasil possui um grupo de cientistas e pesquisadores responsável por estudar os raios e outros fenômenos eletromagnéticos da atmosfera, o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), o ELAT é um departamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que estuda a incidência de descargas atmosféricas no país, observando suas características físicas, impacto ao meio ambiente e atividades humanas. Além disso, esse grupo projeta, desenvolve e mantém os instrumentos necessários para o estudo dos raios, opera um serviço de monitoramento contínuo para emitir alertas de descargas atmosféricas para a população e empresas do setor elétrico, também estuda os efeitos dos raios sobre o sistema elétrico, como os desligamentos de linhas de transmissão, e desenvolve técnicas para minimizar esses problemas, visando a aumentar a segurança das pessoas e dos patrimônios.

Segundo o ELAT, 78 milhões de raios caem no Brasil todos os anos, entre anos 2000 a 2019 um total de 2194 pessoas perderam a vida vítimas de descargas atmosféricas, o estado com maior número de vítimas foi São Paulo com 327 fatalidades, seguido de Minas Gerais com 175 e do Pará com 162 pessoas. Além disso, de acordo a Confederação Nacional de Municípios (CNM), nos últimos 12 anos as tempestades de raios afetaram mais de 155 mil pessoas e causaram mais de R\$ 29,1 milhões de prejuízos econômicos em todo o Brasil.



## 2.2 Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Visando evitar perdas geradas pelas descargas atmosféricas, ao longo dos anos foram desenvolvidos dispositivos e métodos para minimizar os efeitos dos raios, e atualmente, muitos desses métodos e dispositivos estão englobados em um único sistema de proteção, o SPDA. O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas tem como finalidade proteger as edificações e tudo o que há em seu interior, como seres vivos, equipamentos, instalações elétricas e telecomunicações.

Nenhum sistema de proteção elimina 100% os riscos associados aos raios, tendo em vista que, como já dito neste trabalho, algumas de suas características são imprevisíveis e podem exceder o nível de proteção projetado para uma determinada estrutura. Um bom exemplo disso é a estrutura do Cristo Redentor na cidade do Rio de Janeiro, que mesmo com SPDA instalado, sofre danos e ocasionalmente precisa passar por reforma na estrutura e melhorias no sistema de proteção contra raios.

De acordo Souza et al. (2020, p. 42), “de maneira geral, o SPDA tem a função de proteger ao captar a corrente elétrica proveniente da queda de raios e direcioná-la. Essa corrente é, em seguida, escoada por meio de sistemas de aterramentos”. Sua função é realizar o permanente escoamento de cargas elétricas provenientes da descarga atmosférica para a terra. Além disso, SPDA tem a função de oferecer um caminho adequado, de baixa impedância, para essa descarga, visando reduzir riscos decorrentes e associados aos raios.

No Brasil, toda elaboração de um projeto de SPDA deve ser baseada na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 5419 de 2015, além dessa norma, a NBR 16785:2019 ajuda nos projetos de SPDA. Essa Norma Brasileira (NBR) 5419, sob o título geral “Proteção contra descargas atmosféricas”, é dividida em quatro partes, sendo elas:

- Parte 1 (NBR 5419-1): Princípios gerais;
- Parte 2 (NBR 5419-2): Gerenciamento de risco;
- Parte 3 (NBR 5419-3): Danos físicos a estrutura e perigos a vida;
- Parte 4 (NBR 5419-4): Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

A parte 1 da norma aborda o fenômeno da descarga atmosférica e os parâmetros

associados às correntes das descargas, que são utilizados como base das regras de medidas de proteção e dimensionamento de componentes. Já na parte 2 é possível encontrar a apresentação e a definição detalhada da fonte de danos a estrutura, decorrentes do ponto de impacto das descargas atmosféricas. Essa parte da norma também descreve os tipos de danos que podem ser causados e como os danos, isolados ou combinados, resultam em diferentes tipos de perdas.

Na parte 3 da norma é discutido a proteção no interior e ao redor da estrutura contra os danos físicos e lesões a seres vivos causados por tensões de passo, apresenta ainda as características dos materiais condutores utilizados nos sistemas de captação e descida, bem como os procedimentos empregados nos testes para avaliação da continuidade elétrica de captos naturais. Finalizando a NBR 5419, a parte 4 fala sobre a proteção dos equipamentos eletroeletrônicos presentes no interior da estrutura, utilizando como medida de controle o uso de Medidas de Proteção contra Surtos (MPS).

Não são todas as estruturas que necessitam de implatação de um SPDA, a NBR 5419-2 explica que, a necessidade de proteção, os benefícios econômicos da instalação de medidas de proteção e a escolha das medidas adequadas de proteção devem ser determinados através do gerenciamento de risco, logo, antes da instalação de um sistema de proteção é necessário fazer uma análise de risco.

Quando falamos em risco, nesse contexto, referimo-nos aos danos e perdas resultados de uma descarga atmosférica que atinge uma estrutura (edificação, torre, tanques etc.) ou uma linha de energia ou de sinal, ou ainda áreas próximas à estrutura. A NBR 5419-2:2015 codifica as fontes, os tipos de danos e perdas, facilitando sua identificação ao longo do processo de cálculo para a definição da necessidade ou não de implementação de medidas de proteção da estrutura (Mamede, 2017, p. 860).

## **2.3 Gerenciamento de riscos**

A ABNT NBR 5419-2:2015 define o risco como a provável perda média anual em uma estrutura devido às descargas atmosféricas. Porém, antes de fazer o gerenciamento de riscos precisa-se entender o que são danos e perdas.

### **2.3.1 Fontes dos danos**

A principal fonte de danos tem origem na corrente gerada por uma descarga atmosférica, e a severidade do dano está associada ao ponto de impacto da descarga.

- S1: descargas atmosféricas na estrutura;

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

### 2.3.2 Tipos de danos

De acordo com a ABNT NBR 5419-2:2015, a descarga atmosférica pode causar danos dependendo das características da estrutura a ser protegida. Algumas das características mais importantes são o tipo de construção, conteúdos e aplicações, tipo de serviço e medidas de proteção existentes. Para a análise de risco é essencial distinguir entre três tipos básicos de danos que aparecem como consequência das descargas atmosféricas, são eles:

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

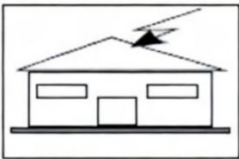
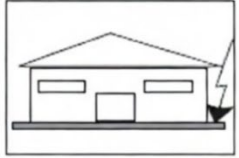
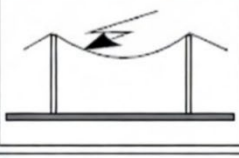
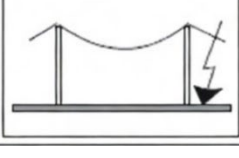
### 2.3.3 Tipos de perdas

Cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com outros, pode produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida. O tipo de perda pode acontecer dependendo das características da própria estrutura e do seu conteúdo.

Os seguintes tipos de perdas devem ser levados em consideração.

- L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

Figura 3 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto

| Ponto de impacto                                                |                                                                                    | Fonte de dano | Tipo de dano   | Tipo de perda                          |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------------------------------|
| Estrutura                                                       |   | S1            | D1<br>D2<br>D3 | L1, L4<br>L1, L2, L3, L4<br>L1, L2, L4 |
| Nas proximidades de uma estrutura                               |   | S2            | D3             | L1, L2, L4                             |
| Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura |   | S3            | D1<br>D2<br>D3 | L1, L4<br>L1, L2, L3, L4<br>L1, L2, L4 |
| Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica        |  | S4            | D3             | L1, L2, L4                             |

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

#### 2.3.4 Risco

O risco (R), conforme a ABNT NBR 5419-2:2015 “é um valor relativo a uma provável perda anual média. Para cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, um risco resultante deve ser avaliado”. Segue abaixo os riscos a serem avaliados:

- R<sub>1</sub>: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- R<sub>2</sub>: risco de perda de serviço ao público;
- R<sub>3</sub>: risco de perda de patrimônio cultural;
- R<sub>4</sub>: risco de perda de valores econômicos.

Para avaliar os riscos (R), os relevantes componentes de risco devem ser definidos e calculados, esses componentes são riscos parciais que dependem da fonte e do tipo de dano.

Cada risco, seja ele R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> ou R<sub>4</sub>, é a soma dos seus componentes de risco, abaixo o *Quadro 1* ilustra os componentes de risco com base na fonte de danos.

*Quadro 1 – Componentes de risco de acordo com a fonte de danos*

| Fonte de danos | Componente de risco | Descrição do componente de risco                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S1             | R <sub>A</sub>      | componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas                                                                                 |
|                | R <sub>B</sub>      | componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente                                                                                             |
|                | R <sub>C</sub>      | componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP                                                                                                                                                                                                               |
| S2             | R <sub>M</sub>      | componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP                                                                                                                                                                                                               |
| S3             | R <sub>U</sub>      | componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura                                                                                                                                              |
|                | R <sub>V</sub>      | componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas |
|                | R <sub>W</sub>      | componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta                                                                                                                                    |
| S4             | R <sub>Z</sub>      | componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta                                                                                                                                    |

*Fonte - Adaptador de: ABNT NBR 5419-2:2015*

O *Quadro 2* mostra os componentes a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura.

*Quadro 2 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura*

| Risco                                                                                                                                                                                      | Componente de risco |                |                |                |                |                |                |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                                                                                                                                                                            | R <sub>A</sub>      | R <sub>B</sub> | R <sub>C</sub> | R <sub>M</sub> | R <sub>U</sub> | R <sub>V</sub> | R <sub>W</sub> | R <sub>Z</sub> |
| R <sub>1</sub>                                                                                                                                                                             | *                   | *              | * <sup>a</sup> | * <sup>a</sup> | *              | *              | * <sup>a</sup> | * <sup>a</sup> |
| R <sub>2</sub>                                                                                                                                                                             |                     | *              | *              | *              |                | *              | *              | *              |
| R <sub>3</sub>                                                                                                                                                                             |                     | *              |                |                |                | *              |                |                |
| R <sub>4</sub>                                                                                                                                                                             | * <sup>b</sup>      | *              | *              | *              | * <sup>b</sup> | *              | *              | *              |
| <sup>a</sup> Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana |                     |                |                |                |                |                |                |                |
| <sup>b</sup> Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos                                                                                                                    |                     |                |                |                |                |                |                |                |

*Fonte - Adaptador de: ABNT NBR 5419-2:2015*

A norma apresenta as equações para cada risco, com seus respectivos componentes de risco a serem considerados no cálculo.

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^* + R_{M1}^* + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^* + R_{Z1}^* \quad (1)$$

\* somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa pôr em perigo a vida humana.

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2)$$

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (3)$$

$$R_4 = R_{A4}^{\#} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^{\#} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

# somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

A ABNT NBR 5419-2:2015 também traz as equações necessárias para calcular as componentes de risco que compõe as *Equações (1), (2), (3) e (4)*.

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (5)$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (6)$$

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (7)$$

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (8)$$

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (9)$$

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (10)$$

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (11)$$

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z \quad (12)$$

O *Quadro 3* apresenta os parâmetros relevantes para o cálculo das componentes de risco.

*Quadro 3 – Parâmetros relevantes para avaliação dos componentes de risco*

| SÍMBOLO                                                                         | DENOMINAÇÃO                            |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas</b> |                                        |
| N <sub>D</sub>                                                                  | --- à estrutura                        |
| N <sub>M</sub>                                                                  | --- perto da estrutura                 |
| N <sub>L</sub>                                                                  | --- em uma linha conectada à estrutura |

|                                                                            |                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| $N_I$                                                                      | --- perto de uma linha conectada à estrutura     |
| $N_{DJ}$                                                                   | --- a uma estrutura adjacente                    |
| <b>Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar</b>       |                                                  |
| $P_A$                                                                      | --- ferimentos a seres vivos por choque elétrico |
| $P_B$                                                                      | --- danos físicos                                |
| $P_C$                                                                      | --- falha de sistemas internos                   |
| <b>Probabilidade de uma descarga atmosférica perto da estrutura causar</b> |                                                  |
| $P_M$                                                                      | --- falha de sistemas internos                   |
| <b>Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar</b>       |                                                  |
| $P_U$                                                                      | --- ferimentos a seres vivos por choque elétrico |
| $P_V$                                                                      | --- danos físicos                                |
| $P_W$                                                                      | --- falha de sistemas internos                   |
| <b>Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha causar</b> |                                                  |
| $P_Z$                                                                      | --- falha de sistemas internos                   |
| <b>Perda devido a</b>                                                      |                                                  |
| $L_A = L_U$                                                                | --- ferimentos a seres vivos por choque elétrico |
| $L_B = L_V$                                                                | --- danos físicos                                |
| $L_C = L_M = L_W = L_Z$                                                    | --- falha de sistemas internos                   |

*Fonte - Adaptador de: ABNT NBR 5419-2:2015*

Os cálculos e/ou valores dos parâmetros do *Quadro 4* estão disponíveis nos anexos da ABNT NBR 5419-2:2015.

### 2.3.5 Procedimento básico para gerenciamento de risco

A NBR 5419-2 apresenta procedimento básico para gerenciamento de risco, que consiste em identificar e avaliar estruturas, perdas e riscos, conforme procedimento abaixo:

- Identificação da estrutura a ser protegida e suas características, quando se fala em estrutura deve ser considerada a estrutura em si, as instalações na estrutura, o conteúdo da estrutura e o meio ambiente afetado por danos na estrutura;
- identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes  $R$  ( $R_1$  a  $R_4$ );
- avaliação do risco  $R$  para cada tipo de perda  $R_1$  a  $R_4$ ;
- avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  com os riscos toleráveis  $R_T$ ;
- avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção. Neste caso, a avaliação dos componentes de risco  $R_4$  deve ser feita no sentido de avaliar tais custos.

### 2.3.6 Risco tolerável ( $R_T$ )

O risco tolerável é o valor limite estabelecido pela norma ABNT NBR 5419-2, para determinar se uma edificação precisa ou não de SPDA e medidas adicionais de proteção. Os valores de  $R_T$  foram adotados pela ABNT, eles são espelhados na norma internacional IEC 62305. Valores representativos de risco tolerável  $R_T$ , são fornecidos no *Quadro 4*.

*Quadro 4 – Valores típicos de risco tolerável  $R_T$*

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

*Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015*

Para perda de valor econômico (L4), a rotina a ser seguida é a comparação custo/benefício. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável  $R^T = 10^{-3}$  pode ser utilizado.

### 2.3.7 Procedimento para avaliar a necessidade de proteção

De acordo com ABNT NBR 5419-1:2015, os riscos  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  devem ser considerados na avaliação da necessidade da proteção contra as descargas atmosféricas. Para cada tipo de risco a ser considerado, os seguintes passos devem ser tomados:

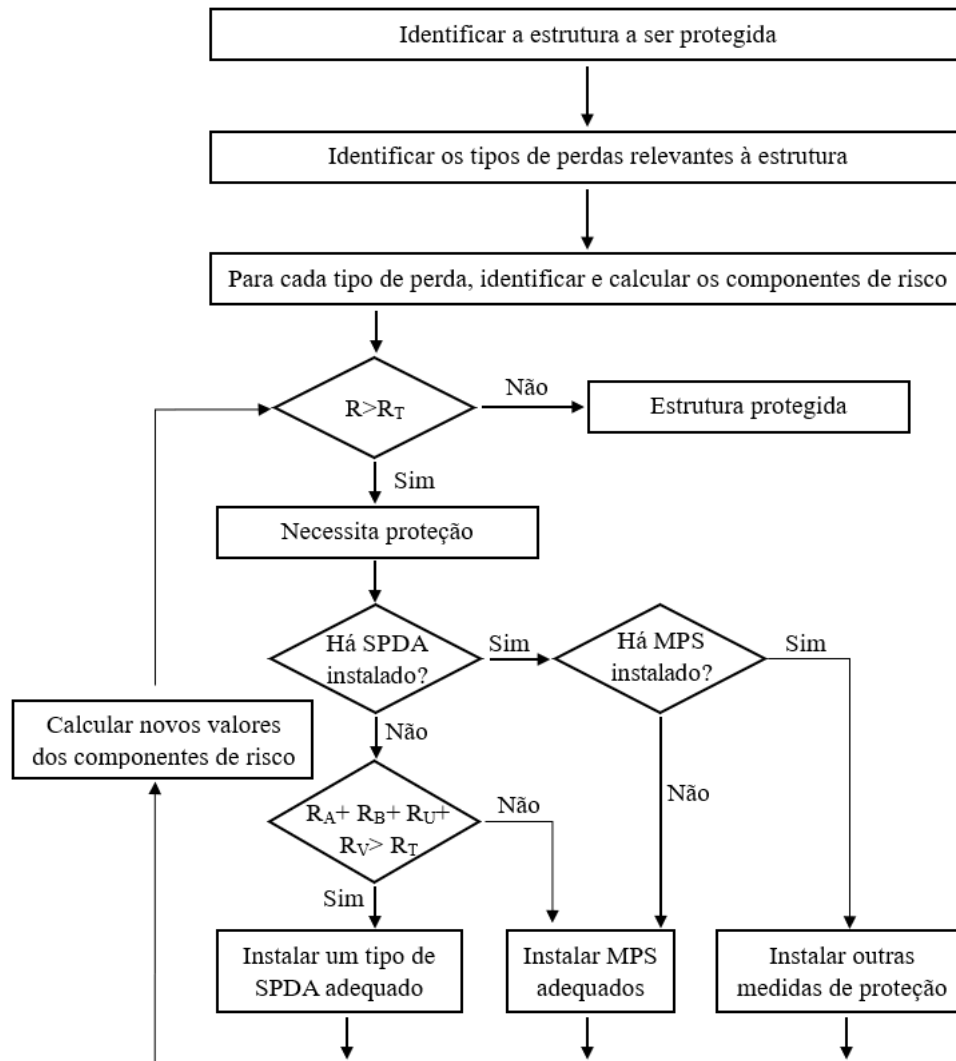
- identificação dos componentes que compõe o risco  $R$ ;
- cálculo dos componentes de risco  $R$  identificados;
- cálculo do risco total  $R$ ;
- identificação dos riscos toleráveis  $R_T$ ;
- comparação do risco  $R$  com o valor do risco tolerável  $R_T$ .

Se  $R \leq R_T$ , a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária.

Se  $R > R_T$ , medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir  $R \leq R_T$  para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.



Figura 4 – Procedimento para decisão da necessidade de proteção



Fonte - ABNT NBR 5419-2:2015

## 2.4 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas

Segundo Souza et al. (2020, p. 85), “a finalidade do SPDA externo é conduzir para a terra as descargas atmosféricas que atingem diretamente a cobertura ou a lateral da estrutura”. Todavia, o SPDA externo também tem o objetivo dispersar a corrente vinda do raio sem causar centelhamentos, danos térmicos ou mecânicos, incêndios ou explosões.

Para conduzir o raio para a terra, o SPDA externo usa três subsistemas: o subsistema de captação, o subsistema de descida e o subsistema de aterramento, podendo esses subsistemas serem naturais a estrutura. A ABNT NBR 5419-3:2015 permite o uso de componente naturais na instalação do SPDA, desde que esses componentes naturais sejam feitos de materiais condutores.

Componentes naturais feitos de materiais condutores, os quais devem permanecer dentro ou na estrutura definitivamente e não podem ser modificados, por exemplo, armaduras de

aço interconectadas estruturando o concreto armado, vigamentos metálicos da estrutura etc., podem ser utilizados como componente natural do SPDA, desde que cumpram os requisitos específicos desta Norma. Outros componentes metálicos que não forem definitivos à estrutura devem ficar dentro do volume de proteção ou incorporados complementarmente ao SPDA (ABNT NBR 5419, 2015, p. 9).

#### 2.4.1 Níveis de proteção contra descargas atmosféricas (NP)

Na ABNT NBR 5419-1:2015, são considerados quatro níveis de proteção contra descargas atmosféricas (I a IV) e para cada NP, é fixado um conjunto de parâmetros máximos e mínimos das correntes das descargas atmosféricas. Sendo que, esses parâmetros da corrente da descarga atmosférica que a norma cita são baseados nos resultados do International Council on Large Electrical Systems (CIGRE).

Segundo a NBR 5419-1, os valores máximos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas correspondentes ao NP I são reduzidos a 75 % para o nível II e a 50 % para o nível III e IV, exceto os parâmetros de energia específica e de tempo. Esses parâmetros são apresentados no *Quadro 5*, com seus valores máximos correspondentes aos níveis de proteção.

*Quadro 5 – Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção (NP)*

| Primeiro impulso positivo |             |               | NP    |     |     |    |
|---------------------------|-------------|---------------|-------|-----|-----|----|
| Parâmetros da corrente    | Símbolo     | Unidade       | I     | II  | III | IV |
| Corrente de pico          | $I$         | $kA$          | 200   | 150 | 100 |    |
| Carga de impulso          | $Q_{curta}$ | $C$           | 100   | 75  | 50  |    |
| Energia específica        | $W/R$       | $MJ/\Omega$   | 10    | 5,6 | 2,5 |    |
| Parâmetros de tempo       | $T_1/T_2$   | $\mu s/\mu s$ | 1/200 |     |     |    |

*Fonte – ABNT NBR 5419-1:2015*

#### 2.4.2 Classe de SPDA

As características do SPDA estão diretamente ligadas aos níveis de proteção e aos dados da estrutura na qual o SPDA será instalado. O *Quadro 6* apresenta as quatro classes de SPDA (I a IV) definidas pela ABNT NBR 5419-3:2015 e que correspondem aos níveis de proteção para descargas atmosféricas apresentados anteriormente.

*Quadro 6 – Relação entre níveis de proteção e classe de SPDA*

| <b>Nível de proteção</b> | <b>Classe de SPDA</b> |
|--------------------------|-----------------------|
| I                        | I                     |
| II                       | II                    |
| III                      | III                   |
| IV                       | IV                    |

*Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015*

Cada classe de SPDA é caracterizada pelo seguinte dados:

- Parâmetros da descarga atmosférica;
- raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção;
- distâncias típicas entre condutores de descida e dos condutores em anel;
- distância de segurança contra centelhamento perigoso;
- comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

A classe do SPDA requerido deve ser selecionada com base em uma avaliação de risco, conforme ABNT NBR 5419-2:2015.

#### 2.4.3 Subsistema de captação

O subsistema de captação pode ser composto pela combinação de hastes, condutores suspensos e/ou condutores em malha. O volume de proteção é determinado por meio do correto posicionamento dos elementos captadores e do subsistema de captação.

A parte 3 da norma diz que os componentes do subsistema de captação instalados na estrutura devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas, especialmente no nível superior de qualquer fachada, de acordo com um ou mais dos seguintes métodos.

- método do ângulo de proteção ou método de Franklin;
- método da esfera rolante;
- método das malhas ou método da gaiola de Faraday.

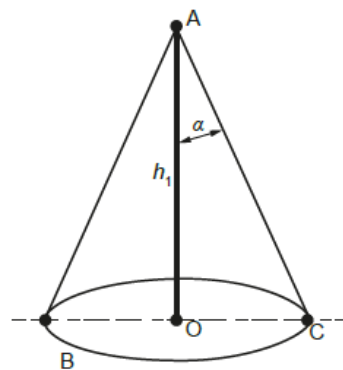
##### 2.4.3.1 Método do ângulo de proteção ou método de Franklin

Esse método é utilizado em estruturas cuja área horizontal é reduzida e altura limitada, de

acordo com a classe do SPDA a ser implementado.

Souza et al. (2020, p. 86) explica que esse método “deve oferecer uma proteção que é efetivada por meio de um cone com vértice na extremidade superior do captor e cuja geratriz faça um ângulo  $\alpha$  com a vertical”. A ABNT NBR 5419-3:2015 define que esse ângulo tem que ser de acordo com a classe do SPDA calculado para a estrutura, conforme mostra a *Figura 5*.

*Figura 5 – Volume de proteção provido por um mastro*



*Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015*

Sendo,

A: topo do captor;

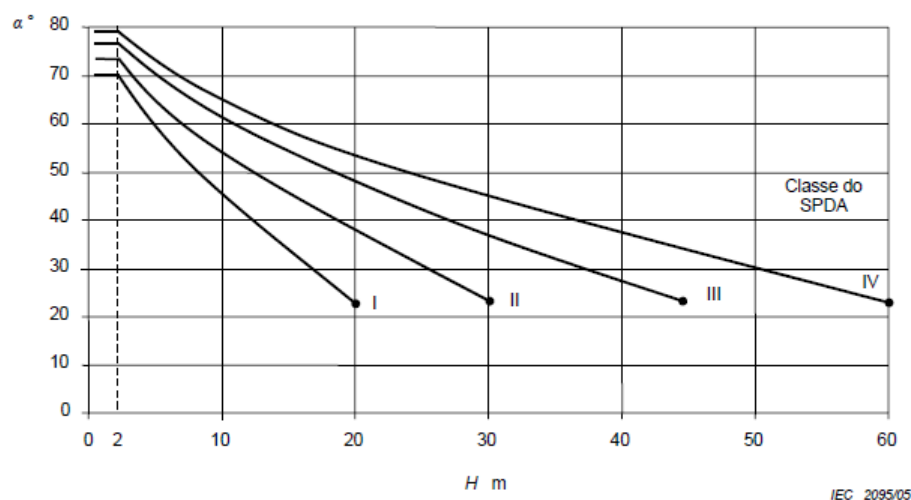
B: plano de referência;

OC: raio da base do cone de proteção;

$h_1$ : altura de um mastro acima do plano de referência;

$\alpha$ : ângulo que varia de acordo com a classe do SPDA e altura (H) em questão (*Figura 6*).

Figura 6 - Ângulo de proteção correspondente a classe de SPDA

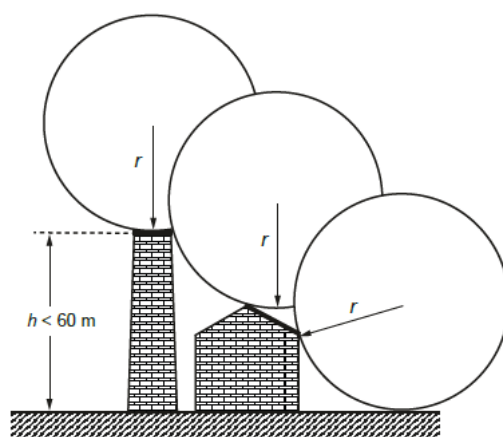


Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015

#### 2.4.3.2 Método da esfera rolante

O método da esfera rolante, segundo Souza et al. (2020, p. 87), “emprega uma esfera fictícia, que rola pela estrutura em todas as possíveis direções”, conforme a *Figura 7*. A ABNT NBR 5419-3:2015 diz que o adequado posicionamento do subsistema de captação na aplicação deste método ocorre se nenhum ponto, da estrutura a ser protegida, entrar em contato com uma esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções possíveis.

Figura 7 - Subsistema de captação, método da esfera rolante para altura < 60 m



Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015

Onde, — é o subsistema de captação e  $r$  é o raio da esfera rolante, sendo que o raio  $r$  deve seguir o valor especificado dependendo da classe do SPDA, conforme *Quadro 7*, disponibilizada pela norma.

*Quadro 7 – Valores do raio da esfera rolante em função da classe do SPDA*

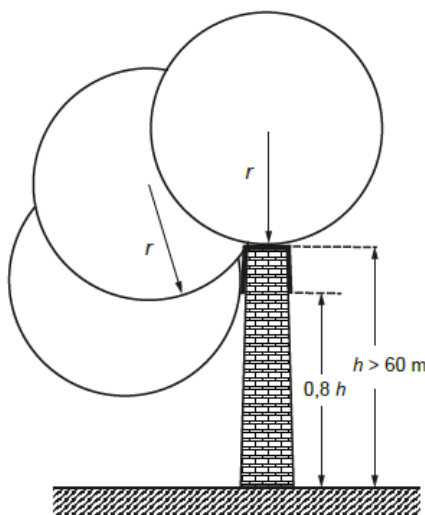
| <b>Classe do SPDA</b> | <b>Raio da esfera rolante (m)</b> |
|-----------------------|-----------------------------------|
| I                     | 20                                |
| II                    | 30                                |
| III                   | 45                                |
| IV                    | 60                                |

*Fonte: Adaptado de: ABNT NBR 5419-3:2015*

Podem ocorrer impacto nas laterais de todas as estruturas com altura maior que o raio da esfera rolante. Entretanto, a probabilidade de ocorrência de descargas atmosféricas atingirem as laterais é, geralmente, desprezível para estruturas com altura inferior a 60 m.

Para estruturas com altura superior a 60 m, um maior número de descargas atmosféricas incidirá na cobertura, em especial nos cantos da estrutura e nas extremidades horizontais da periferia, apenas uma pequena porcentagem das descargas atmosféricas atingirá as laterais da estrutura. Porém, como há probabilidade de atingir, a Norma pede a instalação de captação na lateral da parte superior das estruturas altas, geralmente 20 % da altura da estrutura. Neste caso, a ABNT NBR 5419-3:2015 explica que método da esfera rolante é aplicado somente para o posicionamento do subsistema de captação na parte superior da estrutura, como exemplificado na *Figura 8*.

*Figura 8 - Subsistema de captação, método da esfera rolante para altura > 60 m*



*Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015*

#### 2.4.3.3 Método das malhas ou método da gaiola de Faraday

Este método consiste em uma malha captora composta de condutores espaçados entre si na distância correspondente ao nível de proteção do SPDA, conforme especifica pela norma.

*Quadro 8 – Valores do método das malhas de acordo com a classe do SPDA*

| <b>Classe do SPDA</b> | <b>Máximo afastamento dos condutores da malha (m)</b> |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|
| I                     | 5 x 5                                                 |
| II                    | 10 x 10                                               |
| III                   | 15 x 15                                               |
| IV                    | 20 x 20                                               |

*Fonte: Adaptado de: ABNT NBR 5419:2015*

A ABNT NBR 5419-3:2015 diz que, uma malha de condutores pode ser considerada como um bom método de captação para proteger superfícies planas. Para tanto, devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

a) Condutores captadores devem ser instalados:

- na periferia da cobertura da estrutura;
- nas saliências da cobertura da estrutura.

b) As dimensões de malha não podem ser maiores que os valores encontrados no *Quadro 8*;

c) o conjunto de condutores do subsistema de captação deve ser construído de tal modo que a corrente elétrica da descarga atmosférica sempre encontre pelo menos duas rotas condutoras distintas para o subsistema de aterramento;

d) nenhuma instalação metálica, que por suas características não possa assumir a condição de elemento captador, ultrapasse para fora o volume protegido pela malha do subsistema de captação.

e) os condutores da malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível da instalação.

#### 2.4.4 Subsistema de descida

São elementos condutores expostos ou não que permitem a continuidade elétrica entre o subsistema de captação e o subsistema de aterramento, tendo como finalidade escoar a corrente gerada pela descarga atmosférica para o solo.

A ABNT NBR 5419-3:2015 explica que esse subsistema tem o propósito de reduzir a probabilidade de danos devido à corrente da descarga atmosférica, para isso os condutores de descida devem ser arrançados a fim de proverem:

- diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- menor comprimento possível para o caminho da corrente elétrica;
- equipotencialização com as partes condutoras de uma estrutura.

A norma traz que para melhor distribuição da corrente elétrica proveniente dos raios, devem ser consideradas interligações horizontais com os condutores de descida, sem dispensar a interligação ao nível do solo. Ademais, um condutor de descida deve ser instalado, preferencialmente, em cada canto saliente da estrutura, além dos demais condutores impostos pela distância de segurança calculada.

O espaçamento entre os condutores de descida e entre os anéis condutores horizontais é apresentado na *Quadro 9*. Anel condutor, segundo a norma 5419, é o condutor formando um laço fechado ao redor da estrutura e interconectando os condutores de descida para distribuir a corrente da descarga atmosférica entre eles.

*Quadro 9 - Valores das distâncias entre os condutores de descida de acordo com a classe do SPDA*

| <b>Classe do SPDA</b> | <b>Distância (m)</b> |
|-----------------------|----------------------|
| I                     | 10                   |
| II                    | 10                   |
| III                   | 15                   |
| IV                    | 20                   |

*Fonte: Adaptado de: ABNT NBR 5419-3:2015*

#### 2.4.5 Subsistema de aterramento

São constituídos de elementos condutores enterrados ou embutidos nas fundações das edificações, responsáveis pela dispersão das correntes elétricas no solo.

A eficiência do subsistema de aterramento resulta de topologia e resistividade do solo local. Também resulta do arranjo empregado nos eletrodos, visando alcançar, além da menor resistência de aterramento possível, a dispersão da corrente de descarga atmosférica para a terra, evitando qualquer sobretenção perigosa (Souza et al, 2020, p. 99).

As armaduras de aço interconectadas nas fundações de concreto ou outras estruturas metálicas subterrâneas disponíveis, podem ser utilizadas como eletrodos de aterramento, desde que sua continuidade elétrica seja garantida. A ABNT NBR 5419-3:2015 comenta que na impossibilidade do aproveitamento das armaduras das fundações, o arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo à estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80 % do seu comprimento total, ou elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da



fundação. Estes eletrodos de aterramento podem também ser do tipo malha de aterramento.

O eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 m e ficar posicionado à distância aproximada de 1 m ao redor das paredes externas

#### 2.4.6 Componentes

A norma traz que os componentes de um SPDA devem suportar os efeitos eletromagnéticos da corrente de descarga atmosférica e esforços acidentais previsíveis sem serem danificados. Devem ser fabricados com os materiais listados na *Figura 9* ou com outros tipos de materiais com características de comportamento mecânico, elétrico e químico equivalente.

*Figura 9 - Materiais para SPDA e condições de utilização*

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

*Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015*

Vale ressaltar que a *Figura 8* fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização mais cuidadosas são requeridas.

#### 2.4.7 Ensaio de continuidade elétrica das armaduras

Utilizar componentes naturais a estrutura para compor o SPDA é permitido por norma desde que sejam seguidas as recomendações descritas na ABNT NBR 5419:2015. A definição de utilização é feita, se possível por meio da análise do projeto estrutural da edificação e de forma prioritária pela medição da continuidade elétrica. Com o SPDA instalado, uma verificação final

deve ser realizada.

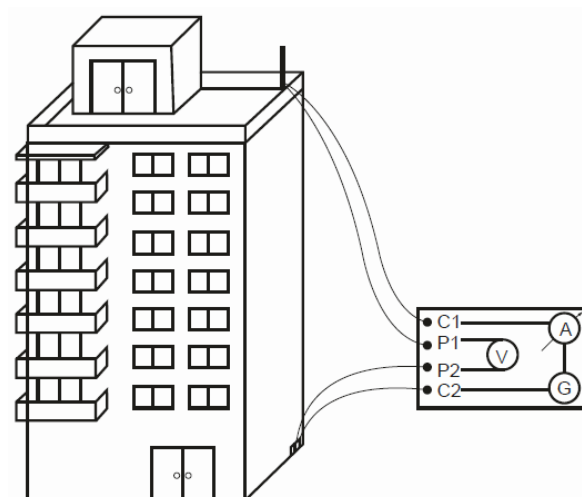
Os ensaios de continuidade das armaduras devem ser realizados com dois objetivos:

- para verificação de continuidade elétrica de pilares e trechos de armaduras na fundação (primeira verificação);
- após a instalação do sistema, para verificar a continuidade de todo o sistema envolvido (verificação final).

A ABNT NBR 5419:2015 explica que “a continuidade elétrica das armaduras de uma edificação deve ser determinada medindo-se, com o instrumento adequado, a resistência ôhmica entre segmentos da estrutura”.

Para realizar a medição pode ser utilizado miliohmímetros ou micro-ohmímetros. O procedimento para medição é identificar do componente que deve ser ensaiado e conectar os cabos do instrumento de medição na parte mais alta e mais baixa do componente, fazendo remoção do revestimento para expor a parte metálica, sendo que essa exposição tem que permitir a fixação dos conectores dos cabos de ensaio. Antes de conectar, limpar o metal para melhor contato elétrico.

*Figura 10 – Método de medição*



*Fonte: ABNT NBR 5419-3:2015*

A NBR 5419 fala que a medição deve ser realizada com aparelhos que forneçam corrente elétrica entre 1 A e 10 A, com frequência diferente de 60 Hz e seus múltiplos. No caso da primeira verificação, pode-se admitir que a continuidade das armaduras é aceitável, se os valores medidos para trechos semelhantes forem da mesma ordem de grandeza e inferiores a 1  $\Omega$ .

## **2.5 Sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas**

Segundo a ABNT NBR 5419-4:2015 “sistemas elétricos e eletrônicos estão sujeitos a danos devido a impulsos eletromagnéticos causados pelas descargas atmosféricas (LEMP)”. Para evitar danos nos sistemas internos, é necessária a adoção de Medidas de Proteção contra Surtos (MPS), como o uso Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS), que tem como finalidade limitar surtos e direcioná-los para o subsistema de aterramento.

O SPDA interno deve evitar a ocorrência de centelhamentos perigosos dentro do volume de proteção e da estrutura a ser protegida, devido ao LEMP flui pelo SPDA externo ou em outras partes condutivas da estrutura. Estes centelhamentos perigosos podem ocorre quando houver ligações equipotenciais e isolamento elétrica entre as partes.

De acordo Souza et al (2020, p. 105), “para que a equipotencialização seja obtida, é necessário que o SPDA esteja interligado com sistemas internos, partes condutivas externas e linhas elétricas conectadas à estrutura ou instalações metálicas. Essa interligação pode ser direta ou indireta”.

- Interligação direta: são usados condutores de interligação.
- Interligação indireta: são utilizados DPS, quando a conexão por meio de condutores não pode ser realizada; ou são indicados os centelhadores, quando a conexão direta não é permitida.

“As medidas básicas de proteção contra LEMP podem ser resumidas em: aterramento e equipotencialização, blindagem magnética e roteamento das linhas, coordenação de Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) e interfaces isolantes” (Souza et al, 2020, p. 117).

## **2.6 Normas técnicas do CBMMT**

No estado do Mato Grosso, todas as edificações e locais de risco construídos, existentes ou a construir devem estar regularizadas junto ao Corpo de Bombeiros Militar do Mato Grosso, visando garantir a segurança contra incêndio e pânico, além da licença para funcionamento comercial. Para isto, foi criado um conjunto de normas que determinam os processos administrativos e técnicos para vários tipos de edificação, chamada de NTCB (Normas Técnicas do Corpo de Bombeiros), nessas normas consta que é de responsabilidade do proprietário ou responsável pelo uso adotar as providências necessárias para manter sempre vigente o Alvará de

Segurança Contra Incêndio e Pânico ou Certificado de Segurança Contra Incêndio e Pânico.

A implementação de um SPDA, além dos critérios técnicos da ABNT, precisa seguir as diretrizes do Projeto de Segurança Contra Incêndio e Pânico (PSCIP). O PSCIP é um conjunto de documentos técnicos, como desenho de plantas de segurança, memoriais descritivos e de cálculo, ART's, entre outros documentos que dependem do tipo da edificação, exigidos e avaliados pelo Corpo de Bombeiros.

#### 2.6.1 NTCB 01 – Procedimentos administrativos

Esta norma estabelece os critérios e procedimentos para regularização das edificações e locais de risco junto ao CBMMT, atendendo ao previsto na legislação de segurança contra incêndio e pânico.

Segundo a NTCB 01:2026, o “Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico (ASCIP) é o documento emitido pelo CBMMT, após a vistoria, certificando que a edificação possui as condições de segurança contra incêndio e pânico previstas na legislação pertinente e em normas correlatas”, sendo uma dessas condições é a implementação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

Tratando de SPDA, esta norma diz que o sistema é uma medida de segurança obrigatória para edificações com área superior a 750 m<sup>2</sup> ou altura superior a 12 metros, ressalvadas as análises de risco que dispensem sua instalação. Para a regularização, é exigido que o processo contenha a “Declaração de SPDA”, devidamente assinada por profissional habilitado, acompanhada da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). Este documento deve atestar se o sistema instalado está em conformidade com a NBR 5419:2015, ou em caso de inexistência, justificar tecnicamente a dispensa por meio do cálculo de gerenciamento de risco.

#### 2.6.2 NTCB 44 – Unidades de Beneficiamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas

Pela estrutura se tratar de um armazém graneleiro, a NTCB 44 se faz necessária para cumprimento das regularizações legais da edificação. Esta norma tem como objetivo trazer as medidas de segurança para a proteção contra incêndios e explosão em unidades de armazenagem e beneficiamento de grãos.

A NTCB 44 aborda sobre os padrões de construção e segurança que um armazém, silos e demais componentes que fazem parte desse tipo de edificação precisam possuir para estar

regularizado, sejam esses componentes civil, mecânico ou elétrico. Tratando-se de proteção contra descargas atmosféricas a norma diz que “deverá ser previsto SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) para todas as edificações e estruturas metálicas de Manuseio e Armazenagem dos produtos agrícolas, adotando-se a NBR 5419” e completa explicando que a eletricidade estática deve ser removida dos silos, secadores, entre outros equipamentos que acumulam carga elétrica, por meio de instalação de aterramentos dessas estruturas com a malha equipotencializada.

## **2.7 Fundamentação legal e a origem das NTCBs**

A obrigatoriedade de seguir as normas do Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso (CBMMT) não é apenas uma escolha técnica, mas o cumprimento de um dever legal fundamentado na legislação estadual e reforçado por decretos.

As NTCBs surgem para regulamentar a Lei Estadual nº 12.149/2023 (Lei de segurança contra incêndio e pânico de Mato Grosso), elas detalham tecnicamente o que a lei determina. Essas normas técnicas são documentos elaborados pela Diretoria de Segurança Contra Incêndio e Pânico (DSCIP) para padronizar as exigências técnicas e descumprimento dessas normas impede o funcionamento legal de qualquer empresa.

Abaixo estão a lei estadual e municipal, vigentes em Água Boa, necessárias para regularização de atividade comercial na cidade.

- Lei Estadual nº 12.149/2023 - Lei de segurança contra incêndio e pânico de Mato Grosso atribui aos Corpos de Bombeiros Militares a execução de atividades de defesa civil, prevenção e combate a incêndios. Esta legislação estabelece as regras e os critérios técnicos que devem ser cumpridos para garantir a proteção da vida, do patrimônio e do meio ambiente em todo o estado.
- Lei complementar Municipal nº 170/2022 – Aborda sobre normas para instituição de loteamento de acesso controlado, condomínios edilícios ou condomínio de lotes no município de Água Boa – MT, em seu texto determina explicitamente que, para aprovação de empreendimentos, é obrigatória a apresentação de um projeto aprovado pelo Corpo de Bombeiros quando houver área construída maior ou igual a 750 m<sup>2</sup>.

### 3 MEMORIAL DE CÁLCULO E LAUDO DE SPDA

Na unidade armazenadora de grãos de Água Boa já existe um SPDA instalado em algumas estruturas, para avaliar se esse sistema de proteção está de acordo a NBR 5419 e as NTCBs, a unidade contratou uma empresa terceira, denominada neste trabalho de “empresa A”, que ficou responsável de analisar todo o edifício e entregar a contratante um laudo de SPDA com o memorial de cálculo, medições de aterramento e continuidade e recomendações de adequação, afim de atender todas as exigências técnicas do CBMMT para emissão do Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico.

#### 3.1 Memorial de cálculo

##### 3.1.1 Identificação da estrutura

Tipo de Unidade: Armazém de Grãos.

Localização: Água Boa - MT.

Coordenadas/Região: Alta incidência de descargas ( $N_G \approx 10$  descargas/km<sup>2</sup>/ano).

Dimensões Principais: Largura (L) 109,7 m x Comprimento (C) 231,54 m x Altura (A) 35 m.

A unidade possui tombador, secador, silo, elevadores de canecas, subestação, etc... o piso da unidade é misto, asfalto no caminho onde transitam os caminhões, concreto nas áreas operacionais, como moegas e tombador, e grama em áreas onde não transitam pessoas nem caminhões.

Área de Exposição Equivalente ( $A_D$ ):

$$A_D = (L \times C) + 6H(L + C) + 9\pi H^2 \quad (13)$$

$$A_D = 109,7 \times 231,54 + 6 \times 35 \times (109,7 + 231,54) + 9 \times \pi \times 35^2 = 131.696 \text{ m}^2 \quad (14)$$

Número de eventos anuais ( $N_D$ ):

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (15)$$

Sendo  $C_D$  o Coeficiente de localização, que possui valores tabelado na parte 2 da NBR 5419.

Para o armazém de grãos de Água Boa o coeficiente de localização é 0,5. Desta forma, pode-se calcular o valor de  $N_D$ .

$$N_D = 10 \times 131.696 \times 0,5 \times 10^{-6} \quad (16)$$

$N_D \approx 0,66$  raios por ano atingindo a estrutura.

Os riscos existentes na unidade são o  $R_1$  (perda de vida humana) e o  $R_4$  (perda de valor econômico), sendo desconsiderado o risco  $R_4$  para fins de obrigatoriedade legais, desta forma, considera-se o valor de  $R_1 = 10^{-5}$  como base para o risco tolerável no memorial de cálculo.

Para o cálculo de  $R_1$  será considerado o nível de proteção I, ou seja, o projeto será na classe de SPDA I para garanti melhor proteção as pessoas e ao patrimônio dentro da estrutura.

### 3.1.2 Cálculo do Risco $R_1$

O risco  $R_1$  é composto por:

$$R_1 = (R_A + R_B + R_C) + R_M + (R_U + R_V + R_W + R_Z) \quad (17)$$

A unidade não sistemas internos relevantes que possam ser afetados por LEMP e causar perdas, desta forma, irá se desconsiderado os componentes  $R_C$ ,  $R_M$ ,  $R_W$  e  $R_Z$  do risco  $R_1$ . Além disso, existe equipamentos e procedimentos para evitar e/ou eliminar o pó em suspensão ou acumulado da unidade, como captações de pó que evitam que o pó fique em suspensão e o procedimento de housekeep (limpezas) diários durante safra garante que a porcentagem de pó que não foi sugado pela captação sejam retirados pelo time operacional, desta forma, mitigando o risco de explosão. Sendo assim, será desconsiderado o risco  $R_V$  do cálculo.

O componente  $R_A$  é composto por:

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (18)$$

O parâmetro  $P_A$  é composto por:

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

Onde,

$P_{TA}$  depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo;

$P_B$  depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA foi projetado.

$P_{TA}$  e  $P_B$  possuem valores tabelados nos anexos da ABNT NBR 5419-2:2015.

$$P_A = 10^{-2} \times 0,02 = 2 \times 10^{-4} \quad (20)$$

O parâmetro  $L_A$  é composto por:

$$L_A = r_t \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760} \quad (21)$$

Onde,

$L_T$  é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) devido a um evento perigoso;

$r_t$  é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso;

$n_z$  é o número de pessoas na zona;

$n_t$  é o número total de pessoas na estrutura;

$t_z$  é o tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano.

$L_T$  e  $r_f$  possuem valores tabelados nos anexos da parte 2 da norma, já  $n_z$  e  $n_t$  correspondem ao número de pessoas na zona e o número de pessoas na estrutura, respectivamente, e como esses números são igual a equação  $n_z / n_t$  é igual a 1. Contudo,  $t_z$  é o tempo qual as pessoas estão presentes na zona, expresso em horas por ano, esse tempo varia ao longo do ano, durante o período da safra, que dura em torno de 4 meses, a filial fica aberta 24 horas por dia e fora de safra a filial fica aberta somente horário comercial (8 horas por dia), sendo assim, calculando a média de tempo chegasse a um valor para  $t_z$  de 4576 horas por ano.



$$L_A = 10^{-2} \times 10^{-2} \times 1 \times \frac{4576}{8760} = 5,22 \times 10^{-5} \quad (22)$$

Com os valores das componentes  $N_D$ ,  $P_A$  e  $L_A$ , pode-se calcular o Risco  $R_A$ .

$$R_A = 0,66 \times 2 \times 10^{-4} \times 5,22 \times 10^{-5} = 6,89 \times 10^{-9} \quad (23)$$

O Risco  $R_B$  é composto por:

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (24)$$

$P_B$  possui valor, 0,02 para essa estrutura, tabelado na parte 2 da norma, já o parâmetro  $L_B$  é composto por:

$$L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760} \quad (25)$$

Onde,

$L_F$  é o número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D2) devido a um evento perigoso;

$r_f$  é o um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura;

$r_p$  é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio;

$h_z$  é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente;

Todos os componentes acima possuem valores tabelados que podem ser encontrados nos anexos da ABNT NBR 5419-2:2015.

$$L_B = 0,5 \times 10^{-2} \times 2 \times 2 \times 10^{-2} \times 1 \times \frac{4576}{8760} = 1,04 \times 10^{-4} \quad (26)$$

Com os valores das componentes  $N_d$ ,  $P_B$  e  $L_B$ , pode-se calcular o Risco  $R_B$ .

$$R_B = 0,66 \times 0,02 \times 1,04 \times 10^{-4} = 1,37 \times 10^{-6} \quad (27)$$

O Risco  $R_U$  é composto por:

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (28)$$

A componente  $P_U$  é composta por:

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (29)$$

Onde,

$P_{TU}$  depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta;

$P_{EB}$  depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado;

$P_{LD}$  é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descargas atmosféricas na linha conectada dependendo das características da linha;

$C_{LD}$  é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha.

Todos os componentes acima possuem valores tabelados que podem ser encontrados nos anexos da ABNT NBR 5419-2:2015.

$$P_U = 10^{-2} \times 0,01 \times 0,6 \times 1 = 6 \times 10^{-5} \quad (30)$$

O parâmetro  $L_U$  possui a equação parecida com a  $L_A$ , o que irá mudar é o valor de  $r_t$  devido a mudança a superfície do solo ou piso em cada parâmetro.

$$L_U = r_t \times L_T \times \frac{n_z}{n_t} \times \frac{t_z}{8760} \quad (31)$$

$$L_U = 10^{-3} \times 10^{-2} \times 1 \times \frac{4576}{8760} = 5,22 \times 10^{-6} \quad (32)$$

A componente  $N_L$  é composta por:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (33)$$

Onde,

$A_L$  é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha,

expressa em metro quadrado (m<sup>2</sup>);

$C_I$  é o fator de instalação da linha;

$C_T$  é o fator tipo de linha;

$C_E$  é o fator ambiental.

$C_I$ ,  $C_T$  e  $C_E$  possuem valores tabelados na parte 2 da norma, já o parâmetro  $A_L$  é composta por:

$$A_L = L_L \times 40 \quad (34)$$

Onde,

$L_L$  é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m).

O comprimento da seção da linha do poste de transmissão até o transformador é de 199 m.

$$A_L = 199 \times 40 = 7960 \quad (35)$$

Logo,

$$N_L = 10 \times 7960 \times 1 \times 0,1 \times 0,2 \times 10^{-6} = 1,54 \times 10^{-3} \quad (36)$$

A componente  $N_{DJ}$  é composta por:

$$N_{DJ} = N_g \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \quad (37)$$

Onde,

$A_{DJ}$  é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em metro quadrado (m<sup>2</sup>);

$C_{DJ}$  é o fator de localização da estrutura adjacente.

Neste projeto a estrutura adjacente é o poste da concessionária de energia, como não se tem as dimensões exatas do poste, irá se considerar dimensões aproximadas de 12 m de altura (H), 2 m de comprimento (C) e 0,15 m de largura (L).

$$A_{DJ} = (L \times C) + 6H(L + C) + 9\pi H^2 \quad (38)$$

$$A_{DJ} = (0,15 \times 2) + 6 \times 12 \times (0,15 + 2) + 9 \times \pi \times 12^2 = 4226,6 \quad (39)$$

Logo,

$$N_{DJ} = 10 \times 4226,6 \times 0,25 \times 0,2 \times 10^{-6} = 2,11 \times 10^{-3} \quad (40)$$

Com os valores das componentes  $N_L$ ,  $N_{DJ}$ ,  $P_U$  e  $L_U$ , pode-se calcular o Risco  $R_U$ .

$$R_U = (1,54 \times 10^{-3} + 2,11 \times 10^{-3}) \times 6 \times 10^{-5} \times 5,22 \times 10^{-6} = 1,14 \times 10^{-12} \quad (41)$$

Com os valores das componentes de risco  $R_A$ ,  $R_B$  e  $R_U$  conhecidos, pode-se calcular o valor de  $R_1$ .

$$R_1 = R_A + R_B + R_U \quad (42)$$

$$R_1 = 6,89 \times 10^{-9} + 1,37 \times 10^{-6} + 1,14 \times 10^{-12} = 1,37 \times 10^{-6} \quad (43)$$

$R_1$  é menor que  $R_T$ , desta forma, utilizado a classe de SPDA I a estrutura estará protegida.

### 3.2 Inspeção do SPDA existente

Em cumprimento as Normas Regulamentadoras NR 10 – Instalação e Serviços em Eletricidade, NBR 5410 – Instalações Elétrica de Baixa Tensão, NBR 5419 – Proteção Contra Descargas Atmosféricas e Anexo\_E4 da Norma Técnica do Corpo de Bombeiros, foi atestado “in loco” as condições de funcionamento das instalações do SPDA da unidade de Água Boa.

Na vistoria foi verificado as condições dos subsistemas de captação, descida e aterramento de todas as infraestruturas em alvenaria, como escritório e balança rodoviária, e estruturas metálicas, como secador e silos da unidade. Além disso, foi constatado que o SPDA existente foi instalado com nível de proteção I, respeitando as exigências da NBR 5419:2015.

Para o subsistema de captação, as edificações e estruturas como armazém, classificação e fornalha/secador a cobertura metálica foi usada como captor natural, possuindo espessura acima de 0,7 mm, conforme especifica a ABNT NBR 5419:2015. Nas demais estruturas e edificações os captos são não-naturais, sendo utilizado o método de gaiola de Faraday e o método de Franklin na instalação do subsistema de captação.

No subsistema de descida é usado barras chatas de alumínio em todas as estruturas e edificações que são conectadas ao subsistema de aterramento que possui cabos nu e haste de cobre para compor o anel de aterramento e garanti a equipotencialização no SPDA.

Conclui-se na avaliação que a instalação se enquadra dentro das normas citadas inicialmente, com exceção de alguns pontos que serão apresentados em seguida e que se faz necessário correções desses pontos para atendimento de conformidade das NTCBs.

### 3.2.1 Aterramento

O método utilizado para a medição dos pontos de aterramento é do tipo de queda de potencial através do aparelho terrômetro. A aplicação consiste na circulação da corrente através da malha de aterramento sob ensaio por meio de um eletrodo auxiliar de corrente e mede a tensão entre a malha de aterramento e o terra (terra remoto) por intermédio de uma sonda ou eletrodo auxiliar de potencial.

Abaixo segue lista de procedimentos e critérios para medição:

- Modelo do terrômetro utilizado – MTR-1530;
- Cabo verde de medição E-5 5 metros (interligação no ponto referência);
- Cabo amarelo de medição P-10 10 metros (interligação em eletrodo 01);
- Cabo vermelho de medição P-15 15 metros (interligação em eletrodo 02);

Os passos de medição foram seguidos conforme determina o manual de instruções, *Figura 12*, do equipamento.

Figura 11 - Terrômetro Minipa



Fonte: Manual de instruções Minipa MTR-1530

Figura 12 - Instruções de medição com o terrômetro Minipa

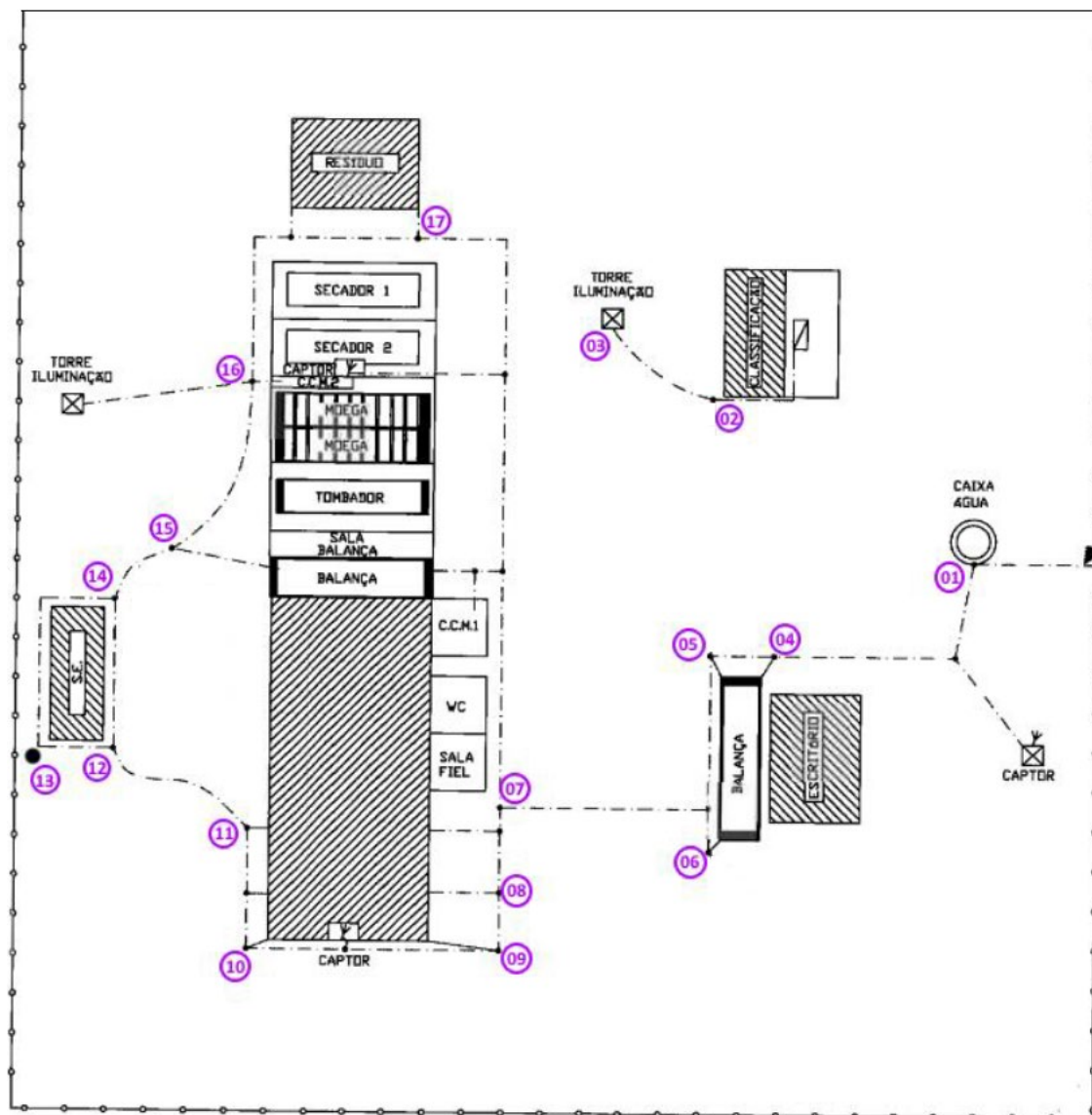
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fixe as estacas auxiliares P e C na terra como mostra a figura 2. As estacas devem estar alinhadas, deixando uma distância de 5 a 10m entre os pontos de teste.</li> <li>2. Conecte o cabo de teste verde no terminal do instrumento, o cabo de teste amarelo no terminal P e o cabo de teste vermelho no terminal C.</li> <li>3. Assegure-se que as estacas estejam fixadas em uma região de terra úmida. Caso as estacas estiverem em uma região de terra seca, com pedregulho ou arenosa, jogue um pouco de água nas estacas.</li> <li>4. Posicione a chave de funções para a posição ACV e verifique se a tensão lida é superior a 10V, se isto ocorrer a resistência de terra medida não terá precisão.</li> <li>5. Posicione a chave de funções para a posição <math>\Omega</math> e a chave das faixas de resistências para 20<math>\Omega</math>. Pressione o botão "Push On" juntamente com o botão "Timer On". Se a leitura indicar fundo de escala (dígito mais significativo mostrado) posicione a chave das faixas de</li> </ol> | <p>resistências para 200<math>\Omega</math> e se a leitura ainda indicar fundo de escala posicione a chave das faixas de resistências para 2000<math>\Omega</math>.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fonte: Manual de instruções Minipa MTR-1530

A malha de aterramento existente na unidade de Água Boa, *Figura 13*, foi aferida com o utilização do terrômetro da *Figura 11*. A avaliação ocorreu conforme especificado na ABNT NBR 5410:2004, levando-se em consideração medição aceitável de até 10  $\Omega$ .

Foram vistoriadas todas as infraestruturas em alvenaria e estruturas metálicas expostas a atmosfera da unidade, bem como silo pulmão, secadores, oficina, classificação, barracões, caixas d'água, escritório, expedição, tanque de diesel e balança.

Figura 13 – Malha de aterramento existente



Fonte: Própria do autor

Os dezessete (17) círculos na *Figura 13* são os pontos onde o terrômento foi conectado para realizar a medição da resistência da malha de aterramento. Os valores obtidos na aferição estão no *Quadro 10*.

Quadro 10 – Valores da resistência da malha de aterramento

| Ponto | Setor         | Estrutura/Edificação   | Valor ( $\Omega$ ) |
|-------|---------------|------------------------|--------------------|
| 01    | Utilidades    | Caixa D'água           | 3,96               |
| 02    | Recebimento   | Classificação          | 4,78               |
| 03    | Utilidades    | Torre de Iluminação    | 4,87               |
| 04    | Recebimento   | Balança de Recebimento | 1,22               |
| 05    | Recebimento   | Balança de Recebimento | 1,24               |
| 06    | Recebimento   | Balança de Recebimento | 0,63               |
| 07    | Armazenamento | Armazém                | 1,52               |

|    |               |                     |      |
|----|---------------|---------------------|------|
| 08 | Armazenamento | Armazém             | 0,83 |
| 09 | Armazenamento | Armazém             | 0,79 |
| 10 | Armazenamento | Armazém             | 1,46 |
| 11 | Armazenamento | Armazém             | 1,49 |
| 12 | Utilidades    | Sala de Máquinas    | 4,37 |
| 13 | Utilidades    | Tanque de Diesel    | 2,79 |
| 14 | Utilidades    | Casa do Gerador     | 0,66 |
| 15 | Utilidades    | Casa do Gerador     | 2,61 |
| 16 | Secagem       | Fornalha/Secador    | 0,33 |
| 17 | Utilidades    | Central de Resíduos | 4,06 |

*Fonte: Própria do autor*

### 3.2.2 Resultado e recomendações

- Armazém

No armazém a distância entre as subidas é de aproximadamente de 32 m, e não possui caixas de inspeção suspensas nem caixas de inspeção no solo. Os terminais de conexão aérea estão enferrujados, um ponto obstruído, um ponto com danos na emendas e alguns pontos estão expostos em seu curso no solo, sendo que os mesmos devem estar numa profundidade mínima de 60 cm, conforme norma. Todas as medidas realizadas estão em conformidade com a NBR 5419-2015.

Devem ser instaladas caixas de inspeção suspensas, bem como caixas de inspeção para medição do aterramento. É recomendável a substituição dos conectores aéreos enferrujados e substituição de cabos obstruídos e/ou não conectados.

- Balança de recebimento

Foi feita a vistoria no aterramento da balança, todos os pontos estão corretamente conectados, sem nenhuma avaria em cabos ou nas infraestruturas, as medidas de resistência estão corretas abaixo dos 10 Ohm's, conforme Norma. Única recomendação é que a estrutura de aterramento da balança deve ser separada das demais, para aumentar a proteção nas células de carga de possíveis descargas no sistema conectado.

- Classificação

Foi feita a vistoria no SPDA do aterramento, todos os pontos estão corretamente conectados, sem nenhuma avaria em cabos ou nas infraestruturas, entretanto, o aterramento está isolado da malha de aterramento da unidade. Recomenda-se interligar o aterramento da classificação com a malha de aterramento para garantir a equipotencialização e evitar danos.



- Outras Estruturas/Edificações

Foi feita a vistoria no SPDA existente das demais estruturas e edificações, todos os pontos estão corretamente conectados, sem nenhuma avaria em cabos ou nas infraestruturas, as medidas de resistência estão corretas abaixo dos 10 Ohm's, conforme norma.

Nas estruturas/Edificações onde não há SPDA recomenda-se a instalação do sistema de proteção e interligação a malha de aterramento conforme especificado na NBR 5419 de 2015.

Segue abaixo uma lista de serviços com os lugares onde necessita de ajuste ou instalação do SPDA, bem como a lista de material para realização do serviço. Recomenda-se que a adequação e instalação do SPDA deve seguir com o nível de proteção I, seguindo o mesmo padrão já existente na unidade.

### 3.2.3 Lista de serviços a serem executados para adequação do SPDA

- Barracão de resíduos:

Implementação da malha de aterramento e subsistema de descida interligado ao telhado metálico que será utilizado como captor natural. Abaixo segue lista de materiais necessários para execução do serviço.

*Quadro 11 – Materiais para adequação SPDA no depósito de resíduo*

| QTD | Materiais                             |
|-----|---------------------------------------|
| 10  | Tubo 1" 3m de PVC                     |
| 10  | Caixa de inspeção 1" suspensa de PVC  |
| 20  | Hastes 5/8" x 2,40 m de alumínio      |
| 1   | 90m cabo nu aterramento 35mm de cobre |
| 4   | Caixa de inspeção 1" no solo de PVC   |
| 20  | Conector de cobre para junção         |

*Fonte – Própria do autor*

- Classificação:

Interligação na malha de aterramento, instalação pontos de inspeção no subsistema de descida e caixas de inspeção no solo. Abaixo segue lista de materiais necessários para execução do serviço.

*Quadro 12 – Materiais para adequação SPDA na classificação*

| <b>QTD</b> | <b>Materiais</b>                       |
|------------|----------------------------------------|
| 06         | Tubo 1” 3m de PVC                      |
| 06         | Caixa de inspeção 1” suspensa de PVC   |
| 02         | Caixa de inspeção 1” no solo de PVC    |
| 01         | 100m cabo nu aterramento 35mm de cobre |
| 06         | Haste de cobre 2,4m                    |
| 06         | Conector de cobre para junção          |
| 12         | Abraçadeira tipo D 1” com parafuso     |
| 12         | Bucha para concreto 8mm                |
| 12         | Parafuso philips 8mm                   |
| 12         | Terminal olhal 35mm                    |
| 12         | Parafuso para junção dos terminais     |

*Fonte – Própria do autor*

- Utilidades:

Instalação da malha de aterramento, captadores aéreos, hastes de descida, pontos de inspeção na descida e caixas de inspeção no solo. Abaixo segue lista de materiais necessários para execução do serviço.

*Quadro 13 – Materiais para adequação SPDA na utilidades*

| <b>QTD</b> | <b>Materiais</b>                      |
|------------|---------------------------------------|
| 07         | Tubo 1” 3m de PVC                     |
| 06         | Caixa de inspeção 1” suspensa de PVC  |
| 12         | Captor aéreo                          |
| 06         | Caixa de inspeção 1” no solo de PVC   |
| 01         | 90m cabo nu aterramento 35mm de cobre |
| 09         | Haste de cobre 2,4m                   |
| 12         | Conector de cobre para junção         |
| 15         | Abraçadeira tipo D 1” com parafuso    |
| 12         | Hastes 5/8” x 2,40 m de alumínio      |
| 15         | Bucha para concreto 8mm               |
| 15         | Parafuso philips 8mm                  |
| 18         | Terminal olhal 35mm                   |
| 20         | Parafuso para junção dos terminais    |

*Fonte – Própria do autor*

- Banheiro dos motoristas:

Instalação de captadores aéreos, sistema de descida com caixa de inspeção e malha de aterramento com caixa de inspeção no solo. Abaixo segue lista de materiais necessários para execução do serviço.

*Quadro 14 – Materiais para adequação SPDA no banheiro dos motoristas*

| <b>QTD</b> | <b>Materiais</b>                       |
|------------|----------------------------------------|
| 06         | Captor aéreo                           |
| 06         | Tubo 1” 3m de PVC                      |
| 06         | Caixa de inspeção 1” suspensa de PVC   |
| 02         | Caixa de inspeção 1” no solo de PVC    |
| 06         | Hastes 5/8” x 2,40 m de alumínio       |
| 01         | 120m cabo nu aterramento 35mm de cobre |
| 12         | Haste de cobre 2,4m                    |
| 12         | Conector de cobre para junção          |
| 18         | Abraçadeira tipo D 1” com parafuso     |
| 18         | Bucha para concreto 8mm                |
| 18         | Parafuso philips 8mm                   |

*Fonte – Própria do autor*

- Interligação geral das malhas de aterramento:

Abertura de valas 40 cm x 60 cm (largura x profundidade) para passagem de cabos e interligações das malhas existentes: casa de máquinas x classificação, classificação x utilidades, classificação x sala de recebimento e banheiros dos motoristas, central de resíduos x armazém.

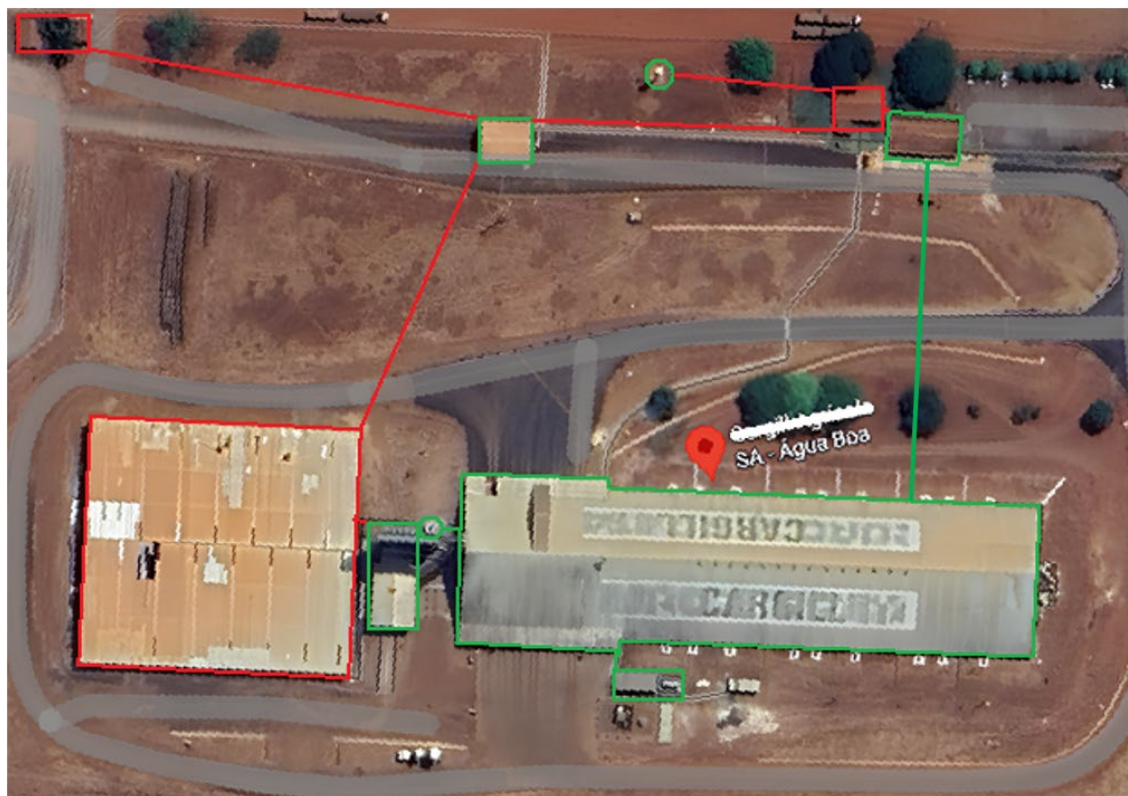
*Quadro 15 – Materiais para implementação de interligação da malha de aterramento*

| <b>QTD</b> | <b>Materiais</b>                       |
|------------|----------------------------------------|
| 08         | Haste de cobre 2,4m                    |
| 01         | 380m cabo nu aterramento 35mm de cobre |
| 07         | Caixa de inspeção 1” no solo de PVC    |
| 24         | Conector de cobre para junção          |

*Fonte – Própria do autor*

A *Figura 14* ilustra como deve ficar a malha de aterramento após implementação das recomendações.

*Figura 14 – Malha de aterramento após implementação das recomendações*



*Fonte – Própria do autor*

As edificação destacadas em vermelho são locais onde não possuem SPDA instalado e as edificações destacadas em verde são locais onde já possuíam SPDA instalado. Além disso, as linhas vermelhas representam os locais por onde passaram novas malhas de aterramento e as linhas em verde são locais onde já passa a malha de aterramento.

## 4 ADEQUAÇÃO DO SPDA DA UNIDADE

Seguindo as recomendações do capítulo anterior, foram realizadas adequações e novas instalações no SPDA da unidade de Água Boa.

O serviço foi executado por uma empresa terceira, que será denominada neste trabalho de “empresa B”, que possui profissionais habilitados e capacitados, reconhecidos no mercado de manutenção industrial. O time foi composto com um engenheiro eletricista especialista em PDA (Projeto contra Descargas Atmosféricas), dois eletricistas, um montador e dois auxiliares.

Para acompanhar o serviço, a unidade disponibilizou seu time operacional da unidade que deram suporte durante toda a atividade. Contudo, o time de PCM (Planejamento, Controle e Manutenção) também acompanhou e supervisionou toda execução da atividade, além de ser o time responsável por contratar as empresas de inspeção e execução de adequação do SPDA, avaliação dos documentos apresentados, inspeção das instalações “in loco”, comissionamento e entrega serviço.

Todos os serviços realizados seguiram rigorosamente as normas internas da contratante nos requisitos de segurança, liberação e qualidade, bem como as normas vigentes e atuais NBR 5419, NBR 5410 e NR 10.

### 4.1 Serviços executados

- Instalação de anel de aterramento em locais onde não possuem, conforme *Figura 14*;
- Instalação de captosres não naturais no barracão de resíduos, banheiro dos motoristas e utilidades;
- Limpeza nas caixas de inspeção de aterramento;
- Instalação de caixas de inspeção de aterramento;
- Instalação de caixas de inspeção suspensas a 1,5 m do chão;
- Instalação de descidas não naturais;

- Interligação das malhas de aterramento existentes e novas para equipotencialização.

*Figura 15 – Locais para instalação de SPDA externo*



*Fonte – Própria do autor*

#### 4.1.1 Banheiro dos motoristas

Abertura de valetas para passagem dos cabos de aterramento em forma de anel com profundidade de 60 cm, instalação de caixas de inspeção, instalação do subsistema de captação com uso de barra chata de alumínio juntamente com as descidas até a caixa de inspeção, que é interligado ao subsistema de aterramento em anel que foi interligado as demais malhas e está equipotencializado.



*Figura 16 – Caixa de inspeção no solo - banheiro motoristas*



*Fonte – Própria do autor*

*Figura 17 – Valetas para instalação do cabo do anel de aterramento - banheiro motoristas*



*Fonte – Própria do autor*

*Figura 18 – Captores não-naturais instalados - banheiro motoristas*



*Fonte – Própria do autor*

*Figura 19 – Caixa de inspeção suspensa - banheiro motoristas*



*Fonte – Própria do autor*

#### 4.1.2 Barracão de resíduos

Abertura de valetas para passagem dos cabos de aterramento em forma de anel com profundidade de 60 cm, instalação do subsistema de descidas, instalação de caixas de inspeção. No subsistema de captação, o telhado metálico, que atende a NBR 5419, foi utilizado como captação natural.

As decidas foram conectadas nas terças, tesouras e telhado do barracão, a ferragem da lateral foi equipotencializadas. O anel de aterramento foi conectado a malha equipotencializada da unidade.



*Figura 20 - Valetas para instalação do cabo do anel de aterramento - barracão de resíduos*



*Fonte – Própria do autor*

*Figura 21 – Caixa de inspeção no solo - barracão de resíduos*



*Fonte – Própria do autor*

*Figura 22 – Caixa de inspeção suspensa - barracão de resíduos*



*Fonte – Própria do autor*

#### 4.1.3 Utilidades

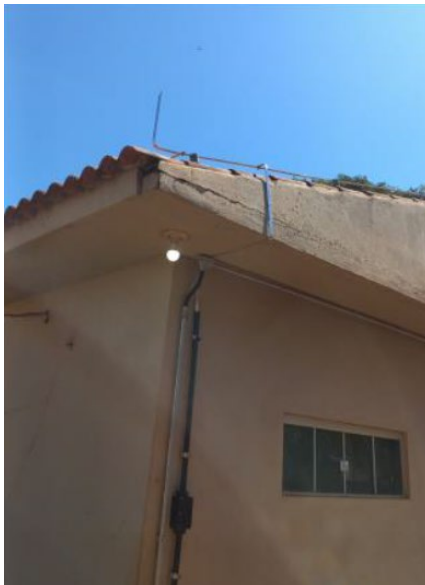
Abertura de valetas para passagem dos cabos de aterramento em forma de anel com profundidade de 60 cm, instalação de caixas de inspeção, instalação do subsistema de captação com uso de barra chata de alumínio juntamente com as descidas até a caixa de inspeção, que é interligado ao subsistema de aterramento em anel que foi interligado as demais malhas e está equipotencializado.

*Figura 23 - Valetas para instalação do cabo do anel de aterramento - utilidades*



*Fonte – Própria do autor*

*Figura 24 – Captadores não-naturais instalados - utilidades*



*Fonte – Própria do autor*

*Figura 25 – Caixa de inspeção suspensa - utilidades*



*Fonte – Própria do autor*

#### 4.1.4 Armazém

Instalação de caixas de inspeção no subsistema de descida, troca terminais de conexão, instalação de caixas de inspeção no solo e adequação do anel de aterramento.

*Figura 26 - Caixa de inspeção no solo - armazém*



*Fonte – Própria do autor*

*Figura 27 - Caixa de inspeção suspensa - armazém*



*Fonte – Própria do autor*

## 5 CONCLUSÃO

Com base na proposta apresentada neste estudo, conclui-se que as adequações realizadas no Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) da estrutura do armazém graneleiro de Água Boa seguiram as recomendações do laudo de inspeção, cumprindo as exigências e recomendações técnicas da ABNT NBR 5419:2015, bem como as exigências legais das NTCBs 01 e 44 do Corpo de Bombeiros Militar do Mato Grosso (CBMMT), garantindo assim a conformidade do SPDA na vistoria para emissão do Alvará de Segurança Contra Incêndio e Pânico (ASCIP).

Ficou evidente que compreender as descargas atmosféricas, suas características e perigos é fundamental. A compreensão desse fenômeno natural auxilia no desenvolvimento e no aprimoramento dos métodos e equipamentos utilizados em sistemas de proteção de edificações, reduzindo drasticamente os riscos associados. Além disso, o fato de o Brasil possuir uma norma que padroniza o SPDA e apresenta conceitos sólidos sobre raios, memoriais de cálculo e instalação do sistema, eleva a segurança e a confiabilidade das instalações no país.

Entretanto, por ser a NBR 5419 um documento técnico, seu cumprimento isolado não possui caráter obrigatório. Por essa razão, a criação de leis federais, estaduais e municipais é de suma importância para fazer valer a norma, principalmente em complexos comerciais e industriais onde a circulação de bens e pessoas é maior. Embasado na Lei Estadual nº 12.149/2023, o CBMMT estabeleceu as NTCBs, que determinam os processos administrativos e técnicos para diferentes tipos de ocupação, fiscalizando e regularizando as edificações e áreas de risco em Mato Grosso.

Para atendimento das NTCBs e consequentemente da Lei estadual de segurança contra incêndio e pânico, a unidade de Água Boa contratou a “empresa A” para elaborar um memorial de cálculo que norteou as soluções de engenharia necessárias, da mesma maneira a empresa inspecionou o SPDA existente da filial para identificar pontos de melhorias no sistema de proteção. A fim de cumprir tais recomendações, a unidade contratou a “empresa B” para execução da obra de adequação do sistema de proteção nos pontos indicados durante avaliação “in loco”, seguindo todas as normas internas da contratante, bem como as normas externas e após vistoria do corpo de bombeiros constatou-se que o SPDA da unidade cumpre os requisitos e exigências do CBMMT e está apta para emissão do ASCIP.

Por fim, para manter o sistema em conformidade contínua, a equipe de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) implementará inspeções visuais e físicas anuais nos subsistemas de captação, descida e aterramento. Também serão realizadas medições periódicas da resistência de aterramento para garantir a equipotencialidade do conjunto. Essas rotinas preventivas assegurarão a segurança e confiabilidade do SPDA, além de manter a unidade preparada para futuras vistorias e renovações do alvará.

Diante da recente publicação da ABNT NBR 5419:2026, recomenda-se, como trabalhos futuros, a realização de um estudo comparativo focado no impacto das novas metodologias de análise de risco e recalibração da densidade de descargas para o solo ( $N_g$ ) na região de Água Boa – MT, garantindo a segurança operacional e a blindagem jurídica da unidade de armazenamento. Além da NBR 5419, as NR 10, NR 23 sofreram recentes atualização e também recomenda-se comparar as versões antigas com as novas para identificar possíveis melhorias e adequações no sistema de proteção.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-1:** Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-4:** Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

MATO GROSSO. **Lei Estadual nº 10.402, de 27 de maio de 2016.** Dispõe sobre a Segurança Contra Incêndio e Pânico no Estado de Mato Grosso e dá outras providências. Cuiabá, MT, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MATO GROSSO (CBMMT). **NTCB 01:** Procedimentos Administrativos. Cuiabá: DSCIP, 2023.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MATO GROSSO (CBMMT). **NTCB 44:** Unidades de Beneficiamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas. Cuiabá: DSCIP, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT).** Dados e estatísticas sobre raios no Brasil. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br/area-conhecimento/posgraduacao/cst/laboratorios/laboratorio-de-eletricidade-atmosferica-elat>>. Acesso em: 24 jan. 2026.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). **Tempestades de raios causaram mais de R\$ 29 milhões em prejuízos nos últimos 12 anos, aponta levantamento da CNM.** Disponível em: <<https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/tempestades-de-raios-causaram-mais-de-r-29-milhoes-em-prejuizos-nos-ultimos-12-anos-aponta-levantamento-da-cnm%20>>. Acesso em: 22 jan. 2026.



FILHO, J. M.; **Instalações elétricas industriais**: de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

FILHO, S. V.; **Descargas atmosféricas**: uma abordagem de engenharia. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

KINDERMANN, G.; **Descargas atmosféricas**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997.

SOUZA, A. N. et al. **SPDA - sistemas de proteção contra descargas atmosféricas: teoria, prática e legislação**. 2. ed. Editora Érica, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-1**: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-2**: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Análise de risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 23: Proteção contra incêndios. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022. Disponível em: [www.gov.br](http://www.gov.br). Acesso em: 20 jul. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16785**: Proteção contra descargas atmosféricas - Sistemas de alerta de tempestades elétricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.