



# UFPA

---

Estudo comparativo da atualização da NBR 5419/2005 para a NBR 5419/2015 e aplicação prática para canteiro de obras em área de mineração

Letícia Leão dos Santos

---

Universidade Federal do Pará - UFPA  
Campus Universitário de Tucuruí - CAMTUC  
Faculdade de Engenharia Elétrica - FEE  
Tucuruí-Pará  
Novembro de 2021

---

Letícia Leão dos Santos

**Estudo da atualização da norma NBR 5419/2015 e  
aplicação prática para canteiro de obra em área de  
mineração**

Trabalho apresentado ao colegiado do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará no campus universitário de Tucuruí para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Universidade Federal do Pará – UFPA  
Campus Universitário de Tucuruí – CAMTUC  
Faculdade de Engenharia Elétrica – FEE

Orientador: Prof. Dr. Ewerton Ramos Granhen

Tucuruí - Pará  
Novembro de 2021

Letícia Leão dos Santos

## **Estudo da atualização da norma NBR 5419/2015 e aplicação prática para canteiro de obra em área de mineração**

Trabalho apresentado ao colegiado do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará no campus universitário de Tucuruí para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Trabalho aprovado. Tucuruí - Pará, 19 de Novembro de 2021:

---

**Prof. Dr. Ewerton Ramos Granhen**  
Orientador

---

**Dra. Ana Carolina Neves Pardauil**  
**Pires**  
Avaliador Interno

---

**Eng. Paulo Fernando Sousa Sena**  
Avaliador Externo

Tucuruí - Pará  
Novembro de 2021

*Agradeço e dedico este trabalho inteiramente à minha mãe. Esta monografia é a prova de que todo seu investimento e dedicação valeram a pena.*

# Agradecimentos

À Deus, por prover sabedoria e determinação para vencer todos os desafios durante a graduação.

Agradeço ao apoio infindável e aos conselhos sempre assertivos de minha mãe, sem dúvida a maior incentivadora da realização dos meus sonhos. Obrigada por tanto amor e por se fazer exemplo para esta realização.

Sou grata a minha família, pela educação, afeto, cuidado, incentivo e conforto que me deram durante toda a minha existência. Sem este suporte eu não teria conseguido chegar até aqui.

Um agradecimento especial ao meu marido Gabriel, pessoa com quem tenho o privilégio de compartilhar a vida. Obrigada pelo carinho e por sua capacidade de me trazer paz durante as correrias da vida.

Agradeço ao Prof. Dr. Ewerton Ramos Granhen por ter aceitado a me acompanhar no desenvolvimento deste trabalho, além do conhecimento compartilhado sou grata a sua paciência durante o decorrer do mesmo. Gostaria de externar também meus agradecimentos à todo o corpo docente do CAMTUC, instituição que me acolheu de braços abertos, oferecendo-me as condições necessárias para a efetivação da minha carreira profissional, da qual me orgulho.

Agradeço aos funcionários e servidores da Empresa Mactron pela solicitude e pelas experiencias trocadas. Desta etapa ganhei amigos que espero manter. Sou grata ao Diretor Rauney pela oportunidade para realização do meu estágio.

Agradeço principalmente ao Eng. Aldrico Marques, chefe da divisão comercial da empresa, pela disponibilidade ao me orientar, pela confiança ao trabalho compartilhado e pelas conversas que me deram crescimento tanto técnico quanto pessoal.

Por fim, e não menos importante agradeço aos meus amigos, aqueles que me acompanham desde antes de iniciar o curso, aos amigos que ganhei da vida. Obrigada pelas muitas horas de conversas e descontrações, momentos necessários para manter a minha sanidade.

Agradeço também aos amigos que fiz durante tal curso, obrigada pelas várias madrugadas, manhãs e tardes de estudos compartilhados. Sou grata porque me fizeram persistir e me ampararam quando precisei.

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida ser mais leve e bonita.

*“Como mulheres negras, sempre passamos por experiências aparentemente devastadoras - experiências que poderiam absolutamente nos derrubar. Mas o que a lagarta chama de fim do mundo, o mestre chama de borboleta. O que fazemos como mulheres negras é criar a partir das piores situações.”*  
*(Viola Davis)*

# Resumo

Este trabalho tem como base a atual norma nacional de proteção contra descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419:2015), fazendo uma análise das mudanças ocorridas desde sua versão anterior publicada em 2005. De todas as mudanças ocorridas entre as duas versões da NBR 5419 a de maior impacto para elaboração de um projeto de SPDA é a análise de risco, incluindo novos parâmetros a serem considerados para determinar os riscos de um evento perigoso. Com o intuito de tornar esta análise mais prática e pouco exaustiva quanto aos cálculos será usado uma planilha em Excel como ferramenta para realização dos cálculos, esta ferramenta considera todos os valores e parâmetros conforme fornecido pela NBR 5419. Assim será possível verificar se o projeto está efetivamente apto para proteger a estrutura de uma possível descarga atmosférica. Por fim demonstra uma aplicação prática realizado a um canteiro de obras situado em área de atividade de mineração. Elaborando um SPDA que atenda as Normas Vigentes, bem como as demandas solicitadas para o local e as suas características físicas. No capítulo final deste trabalho, encontra-se o projeto do SPDA que foi elaborado e implantado para o referido canteiro de obra.

**Palavras-chave:** SPDA. NBR 5419. Mineração.

# Abstract

This paper is based on the current national standard for protection against atmospheric discharges (ABNT NBR 5419:2015), making an analysis of the changes that have occurred since its previous version published in 2005. Finally, it demonstrates a practical application in a construction site located in an area of mining activity. Elaborating an SPDA that meets the current standards, as well as the demands requested for the site and its physical characteristics. Of all the changes that occurred between the two versions of NBR 5419, the one with the greatest impact on the elaboration of an SPDA project is the risk analysis, including new parameters to be considered in order to determine the risks of a hazardous event. In order to make this analysis more practical and less exhaustive regarding the calculations, an Excel spreadsheet will be used as a tool to perform the calculations. This tool considers all the values and parameters as provided by NBR 5419. This way it will be possible to verify if the project is effectively able to protect the structure from a possible lightning discharge. The final chapter of this work contains the SPDA project that was developed and implemented for this construction site.

**Keywords:** SPDA. NBR 5419. Análise de risco.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Mapa Isoceráunico do Brasil - Biênio 2018/2019 . . . . .	5
Figura 2 – Ilustração da formação dos raios . . . . .	6
Figura 3 – Ilustração da formação dos raios . . . . .	7
Figura 4 – Ilustração da formação dos raios . . . . .	7
Figura 5 – Forma de onda típica da tensão de descarga atmosférica . . . . .	8
Figura 6 – Abrangência e conexões entre as partes da ABNT NBR 5419 . . . . .	10
Figura 7 – Método do Cone . . . . .	27
Figura 8 – Valores do ângulo de proteção de acordo com cada classe . . . . .	29
Figura 9 – Modelo eletrogeométrico da Esfera Rolante . . . . .	29
Figura 10 – Aplicação do modelo eletrogeométrico sobre um elemento captor vertical	30
Figura 11 – Sistema de proteção tipo gaiola de Faraday . . . . .	31
Figura 12 – Configuração híbrida . . . . .	32
Figura 13 – Foto da área de implantação do canteiro . . . . .	33
Figura 14 – Layout da área administrativa do canteiro . . . . .	34
Figura 15 – Layout da área operacional do canteiro . . . . .	34
Figura 16 – Vista lateral - projeto SPDA área administrativa . . . . .	40
Figura 17 – Captores implantados SPDA área administrativa . . . . .	41
Figura 18 – Vista lateral - Projeto SPDA área operacional . . . . .	41
Figura 19 – Captores implantados SPDA área operacional . . . . .	42

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores das características de uma descarga atmosférica . . . . .	8
Tabela 2 – Relação simplificada da relação de risco e perda . . . . .	14
Tabela 3 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura . . . . .	18
Tabela 4 – Fatores que influenciam os componentes de risco . . . . .	19
Tabela 5 – Fator de localização da estrutura $C_D$ . . . . .	19
Tabela 6 – Fator de instalação da linha $C_I$ . . . . .	19
Tabela 7 – Fator tipo de linha $C_T$ . . . . .	20
Tabela 8 – Fator ambiental da linha $C_E$ . . . . .	20
Tabela 9 – Medida de proteção adicional . . . . .	21
Tabela 10 – Valores de probabilidade $P_B$ dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos . . . . .	21
Tabela 11 – Valores de probabilidade de $P_{SPD}$ em função do NP para o qual os DPS foram projetados . . . . .	22
Tabela 12 – Valores dos fatores $C_{LD}$ e $C_{LI}$ dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento . . . . .	23
Tabela 13 – Valores de perda em cada zona de acordo com a perda considerada . . .	24
Tabela 14 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos	24
Tabela 15 – Valores Típicos de Risco tolerável $R_T$ . . . . .	25
Tabela 16 – Valores mínimos dos parâmetros das descargas atmosféricas e respectivos raios da esfera rolante, correspondente aos níveis de proteção (NP) . . .	26
Tabela 17 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe SPDA . . . . .	28
Tabela 18 – Canteiro de obras . . . . .	35
Tabela 19 – Canteiro de obras: Linha de energia . . . . .	36
Tabela 20 – Adm: fator válido para $Z_1$ . . . . .	37
Tabela 21 – Sala Elétrica: fator válido para $Z_2$ . . . . .	38
Tabela 22 – Áreas de exposição equivalente da estrutura e linha de energia . . . .	38
Tabela 23 – Número esperado anual de eventos perigosos . . . . .	39
Tabela 24 – Resultantes das componentes envolvidas na avaliação do risco total . .	39
Tabela 25 – SPDA Conforme ABNT NBR 5419:2015 . . . . .	39
Tabela 26 – Resultados . . . . .	40

# Lista de abreviaturas e siglas

$A_D$	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura isolada
$A_{DJ}$	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente
$A_{Dt}$	Área de exposição equivalente atribuída a uma saliência elevada na cobertura
$A_e$	área de exposição equivalente
$A_I$	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma linha
$A_L$	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha
$A_M$	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto de uma estrutura
$C_D$	Fator de localização
$C_{DJ}$	Fator de localização de uma estrutura adjacente
$C_E$	Fator ambiental
$C_I$	Fator de instalação de uma linha
$C_L$	Custo anual das perdas totais na ausência de medidas de proteção
$C_{LD}$	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas na linha
$C_{LI}$	Fator dependente da blindagem, aterramento e condições de isolamento da linha para descargas atmosféricas perto da linha
$C_T$	Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha
cb	Valor do edifício relevante a zona, em espécie
D1	Ferimentos a seres vivos por choque elétrico
D2	Danos físicos
D3	Falhas de sistemas eletroeletrônicos

hz	Fator de aumento de perda quando um perigo especial está presente
H	Altura da estrutura
$H_J$	Altura de uma estrutura adjacente
$K_{MS}$	Fator relevante ao desempenho das medidas de proteção contra LEMP
$K_{S1}$	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura
$K_{S2}$	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura
$K_{S3}$	Fator relevante às características do cabeamento interno
$K_{S4}$	Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema
L	Comprimento da estrutura
LEMP	Pulso eletromagnético devido à descargas atmosféricas (lightning electromagnetic impulse)
$L_a$	Comprimento da estrutura adjacente
$L_A$	Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)
$L_B$	Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura)
$L_L$	Comprimento de uma seção da linha
$L_C$	Perda relacionada à falha dos sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)
$L_E$	Perda adicional quando os danos envolvem estruturas ao redor
$L_F$	Perda em uma estrutura devido a danos físicos
$L_M$	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da estrutura)
$L_o$	Perda em uma estrutura devido à falha de sistemas internos
$L_T$	Perda devido a ferimentos por choque elétrico
$L_U$	Perda relacionada a ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas na linha)

$L_V$	Perda em uma estrutura devido a danos físicos (descargas atmosféricas na linha)
$L_W$	Perda devido à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha)
$L_X$	Perda consequente a danos relevantes à estrutura
$L_Z$	Perda relacionada à falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha)
$L_1$	Perda de vida humana
$L_2$	Perda de serviço ao público
$L_3$	Perda de patrimônio cultural
$L_4$	Perda de valor econômico
$MPS$	Medidas de Proteção Contra Surtos (LEMP protection measures)
$N_X$	Número de eventos perigosos por ano
$N_D$	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura
$N_{DJ}$	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma estrutura adjacente
$N_G$	Densidade de descargas atmosféricas para a terra
$N_I$	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha
$N_L$	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma linha
$N_M$	Número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma estrutura
$N_P$	Nível de Proteção Contra Descarga Atmosféricas (lightning protection level)
$n_t$	Número total de pessoas (ou usuários atendidos) esperado
$n_z$	Número de possíveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos)
$P$	Probabilidade de danos

$P_A$	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura)
$P_B$	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)
$P_C$	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas à estrutura)
$P_{DA}$	Proteção Contra Descargas Atmosféricas
$P_{EB}$	Probabilidade de reduzir $P_U$ e $P_V$ dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento quando EB (ligação equipotencial) é instalada
$P_{LD}$	Probabilidade de reduzir $P_U$ , $P_V$ e $P_W$ dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas na linha conectada)
$P_{LI}$	Probabilidade de reduzir $P_Z$ dependendo das características da linha e da tensão suportável do equipamento (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
$P_M$	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
$P_{SPD}$	Probabilidade de reduzir $P_C$ , $P_M$ , $P_W$ e $P_Z$ quando um sistema coordenado de DPS está instalado
$P_{TA}$	Probabilidade de reduzir $P_A$ dependendo das medidas de proteção contra tensões de toque e passo
$P_U$	Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
$P_V$	Probabilidade de danos físicos à estrutura (descargas atmosféricas perto da linha conectada)
$P_W$	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas na linha conectada)
$P_X$	Probabilidade de danos relevantes à estrutura (descargas atmosféricas à estrutura)
$P_Z$	Probabilidade de falha de sistemas internos (descargas atmosféricas perto da linha conectada)

$r_t$	Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo
$r_f$	Fator redutor de perda dependente do risco de incêndio
$r_p$	Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio
R	Risco
$R_A$	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura)
$R_B$	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura)
$R_C$	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura)
$R_M$	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da estrutura)
$R_S$	Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo
$R_T$	Risco tolerável
$R_U$	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada)
$R_V$	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada)
$R_W$	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada)
$R_X$	Componente de risco para uma estrutura
$R_Z$	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica perto da linha)
$R_1$	Risco de perda de vida humana em uma estrutura
$R_2$	Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura
$R_3$	Risco de perda de patrimônio cultural em uma estrutura
$R_4$	Risco de perda de valor econômico em uma estrutura
$S_L$	Seção de uma linha
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

S1	Fonte de dano – descargas atmosféricas na estrutura
S2	Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da estrutura
S3	Fonte de dano – descargas atmosféricas na linha
S4	Fonte de dano – descargas atmosféricas perto da linha
$t_e$	Tempo, em horas por ano, da presença de pessoas em locais perigosos fora da estrutura
$t_z$	Tempo, em horas por ano, que pessoas estão presentes em um local perigoso
$T_D$	Dias de tempestades por ano
$U_W$	Tensão suportável nominal de impulso de um sistema
w	Largura da malha
W	Largura da estrutura
$W_J$	Largura da estrutura adjacente
X	Identificador subscrito do componente de risco relevante
$Z_S$	Zonas de uma estrutura

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo</b>	<b>2</b>
1.1.1	Objetivo Geral	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
<b>1.2</b>	<b>Metodologia</b>	<b>2</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DESCARGAS ATMOSFÉRICAS</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Histórico</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Incidência dos raios no Brasil - Mapa Isoceráunico</b>	<b>5</b>
<b>2.3</b>	<b>Origem e Formação dos Raios</b>	<b>6</b>
<b>2.4</b>	<b>Forma de onda e características das descargas atmosféricas</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>NBR 5419/2015 - PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Determinação das Partes</b>	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>Principais Diferenças entre as versões 2005 e 2015</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>NÍVEL DE PROTEÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>Definições Fundamentais</b>	<b>14</b>
<b>4.2</b>	<b>Riscos</b>	<b>15</b>
4.2.1	Composição das componentes de risco	17
4.2.2	Relação de fatores que influenciam diretamente as componentes de riscos.	18
<b>4.3</b>	<b>Análise de risco</b>	<b>25</b>
<b>4.4</b>	<b>Níveis de Proteção ou Classe do SPDA</b>	<b>26</b>
<b>4.5</b>	<b>Métodos de Proteção</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO -PROJETO DE SPDA PARA CANTEIRO DE OBRA EM ÁREA DE MINA</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>44</b>

<b>ANEXOS</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO A – DADOS PARA ANÁLISE DE RISCO . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO B – PROJETO DETALHADO DE SPDA E ATERRAMENTO EM CANTEIRO DE OBRAS - PLANTA BAIXA . . .</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO C – PROJETO DETALHADO DE SPDA E ATERRAMENTO EM CANTEIRO DE OBRAS - VISTA CORTE LATERAL</b>	<b>51</b>

# 1 Introdução

As descargas atmosféricas atingem todo o planeta. Este fenômeno natural sempre despertou o interesse dos seres humanos, no entanto na antiguidade não havia conhecimento suficiente para explicar o que de fato é uma descarga atmosférica ou raio, por isso, como era comum na época foi associado à deuses e seres mitológicos (STÉFANI, 2011).

Nada em termos práticos pode ser feito para se impedir a queda de uma descarga em determinada região. Não existe atração a longas distâncias, sendo os sistemas prioritariamente receptores. Assim sendo, as soluções internacionalmente aplicadas buscam tão somente minimizar os efeitos destruidores a partir da colocação de pontos preferenciais de captação e condução segura da descarga para a terra (Termotécnica, Para-raios, 2021).

No Brasil, a extensão territorial, a localização próxima à linha do equador e algumas outras particularidades físicas e climatológicas, fazem deste, um dos países de maior incidência de descargas atmosféricas SOUZA (2020), com ocorrência anual de cerca de 77.8 milhões de eventos de acordo com dados do ELAT (ELAT, 2021d).

Como forma de mitigar os danos provocados pelos raios, no Brasil podem ser citadas as normas técnicas ABNT NBR 5410 (2005) e ABNT NBR 5419 (2015), que tratam sobre instalações elétricas de baixa tensão e proteção contra descargas atmosféricas, respectivamente. A última, objeto deste trabalho, estabelece diversos critérios para o desenvolvimento de um projeto de SPDA e faz a exigência de novos parâmetros que devem ser considerados e calculados no procedimento de avaliação do sistema de proteção.

Além do sistema de proteção externo à estrutura, utilizando componentes naturais e não naturais para esta finalidade, e internos que já eram de conhecimento, a norma revisada e atualizada estabelece medidas de proteção para os equipamentos elétricos e eletrônicos que encontram-se no interior da estrutura, sendo considerados os danos causados pelos efeitos do campo eletromagnético induzido na estrutura e no SPDA.

Tais efeitos oferecem danos aos equipamentos e aos seres humanos, devido aos surtos de tensões nas linhas energizadas e de sinal o que ocasiona tensões de toque e passo que podem, subitamente, danificá-los. Tal consideração exigida na norma representa um grande avanço para futuros projetos de SPDA; há, portanto, uma preocupação maior quanto a proteção destes sistemas o que proporciona uma proteção muito melhor de todo o conjunto, visto o que já havia sendo praticado.

Nesse segmento, esse trabalho propõe avaliar a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas perigosas que podem ocorrer em uma edificação provisória e/ou permanente de um canteiro de obra levando em consideração as características físicas

e topológicas do seu local de implantação, uma área de altos morros e de solo com comprovada abundância de minério.

Portanto, após avaliação ocorrerá a definição do nível de proteção do SPDA que será utilizado e conseqüentemente serão determinados os subsistemas de captação, descida e aterramento. Esperando-se que com a instalação de um sistema de proteção, devidamente dimensionado, a probabilidade de uma descarga ocasionar um dano à estrutura e/ou pessoas seja praticamente nula.

## 1.1 Objetivo

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este projeto de graduação tem por objetivo apresentar as principais mudanças nas orientações fixadas pela norma NBR 5419/2015 em relação a versão anterior (2005). Entender tecnicamente o conteúdo e especificações da norma atual, para a adequada aplicação nos projetos, e assim demonstrar os resultados de um estudo de caso.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo do trabalho alguns objetivos específicos precisam ser atendidos:

- Estudo das normas em suas duas versões, relacionar suas principais diferenças;
- Avaliar e realizar a análise de risco para um canteiro de obra;
- Recomendar as alterações ou ações para adequar a edificação;
- Determinar as características de projeto, como classe do SPDA, subsistemas de captação, descida e aterramento;
- Apresentar os resultados da implantação de um projeto SPDA em um estudo de caso.

## 1.2 Metodologia

O método utilizado para apresentar o desenvolvimento deste trabalho é realizado em três etapas diferentes:

- Estudo comparativo das normas NBR 5419 em suas duas versões, com foco nas principais diferenças através de artigos, fóruns e sites sobre as opiniões dos profissionais da área sobre tais mudanças;

- Aplicação prática da norma para elaboração de projeto de SPDA respeitando o escopo desejado e as características do local de implantação.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

À vista disto, este trabalho apresentará como foi realizada a elaboração desse projeto, dividindo-se em capítulos.

No capítulo 2 é apresentada o tema das descargas atmosféricas, bem como as principais definições relativas ao tema, um breve histórico dos estudos desenvolvidos na área e os principais parâmetros característicos desses fenômenos.

O capítulo 3 apresenta uma breve discussão acerca das principais atualizações entre as normas regulamentadoras NBR 5419/2005 e NBR 5419/2015.

No capítulo 4 é descrito o método utilizado na fase de projeto para determinação da necessidade ou não da implantação de um SPDA, através da análise de risco. Apresentando as etapas lógicas seguidas no decorrer do trabalho e detalhes pertinentes sobre cada uma delas.

No capítulo 5 é tratado sobre o estudo de caso referente a aplicação dos métodos apresentados nesse trabalho, para a implantação de um SPDA em canteiro de obra em área de mineração.

No capítulo 6 serão tratadas as discussões acerca dos resultados obtidos através da metodologia aplicada, apresentando o projeto final entregue ao cliente.

O capítulo 7 aborda sobre as conclusões acerca da aplicação do método para projeto de SPDA e as decisões tomadas ao longo da elaboração do mesmo.

## 2 Descargas Atmosféricas

Descarga Atmosférica é um fenômeno natural de alta complexidade que, até hoje, ainda intriga os pesquisadores no que se refere à compreensão dos aspectos físicos e seus efeitos. A preocupação com os efeitos destrutivos desse fenômeno nos leva à tarefa de buscar formas de proteção contra ele ([PRAZERES, 2007](#)).

### 2.1 Histórico

Os estudos sobre as descargas atmosféricas se iniciaram no final do século XIX, com o desenvolvimento das seguintes técnicas ([UMAN; KRIDER, 1982](#)):

- Espectrografia: por volta de 1870;
- Fotografia: final do século XIX;
- Medidas de radiação eletromagnética: desde 1920;
- Medidas de corrente elétrica em torres instrumentadas: a partir de 1940;
- Medição da corrente por meio de lançamento de foguetes na iminência da ocorrência de uma descarga (“rocket triggered lightning”): a partir de 1960;
- Medidas óticas no espaço através de satélites: a partir de 1979.

Conforme descrito em [ELAT \(2021a\)](#), depois dos estudos iniciais em eletricidade atmosférica, foi somente em 1889 que H. H. Hoffert identificou descargas individuais, conhecidas como descargas de retorno, em um relâmpago próximo ao solo usando uma câmera fotográfica primitiva. [Uman e Krider \(1982\)](#) dizem que as primeiras medidas de correntes foram realizadas por Pockels em 1897. Eles utilizaram rochas basálticas (“nephelitic basalt”) magnetizadas por indução magnética através das descargas atmosféricas. O propósito desse estudo foi estimar o valor de pico da corrente. Verificou-se que um incremento no campo magnético ocasiona um aumento proporcional no valor de pico da corrente.

Em [ELAT \(2021a\)](#), vemos que a partir dessas descobertas, um estudo sistemático dos relâmpagos teve início pela fotografia e por outras técnicas como espectroscopia, medidas de radiação eletromagnética, e, mais recentemente, por medidas diretas de corrente elétrica no solo e medidas óticas no espaço.

No início da década de 70, a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) iniciou um programa de pesquisa sobre descargas atmosféricas. Em 1971 obteve-se um

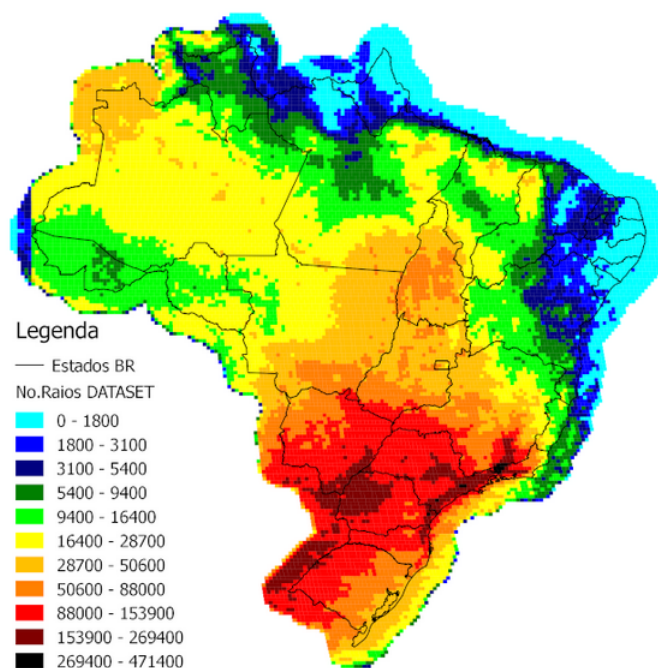
mapa do estado para índice ceráunico, em 1984 foram instalados contadores de descargas em todo estado e em 1988 iniciou-se o uso do Sistema de Localização de Descargas ou LLS (“Lightning Location System”) para incrementar as informações do conhecimento sobre as densidades de descargas no território brasileiro.

Em 1995 foi criado no INPE, em São José dos Campos, o ELAT (Grupo de Eletricidade Atmosférica), com o propósito de estudar a eletricidade atmosférica. Em 1999 foi criado o Centro de Pesquisas e Testes de Raios em Cachoeira Paulista e em 2000, com a colaboração de instituições brasileiras, francesas e canadenses, foi lançado um foguete para produzir o primeiro raio provocado artificialmente no hemisfério sul.

## 2.2 Incidência dos raios no Brasil - Mapa Isoceráunico

Entre 1998 e 2001 diversos dados de descargas foram coletados por meio de sensores e pelo satélite, isso resultou em um dataset (conjunto de dados estruturado) utilizado para construção de um mapa de atividade de descargas brasileiro (Figura 1), constituindo o primeiro mapa feito por meio de medições das descargas e não apenas por observações (SHIGIHARA, 2005). O mapa chamado isoceráunico, apresenta em cores que variam do tom azul claro ao preto, significando o aumento dos eventos dessas descargas.

Figura 1 – Mapa Isoceráunico do Brasil - Biênio 2018/2019



Fonte: ELAT (2021c)

## 2.3 Origem e Formação dos Raios

Para [SOUZA \(2020\)](#), 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, ver [Figura 2](#).

Figura 2 – Ilustração da formação dos raios



Fonte: [ELAT \(2021b\)](#)

Segundo [Cavalin e Cervelin \(2009\)](#), o ar quente e úmido próximo do solo se eleva na atmosfera (ele sobe porque é mais leve que o ar acima dele). O deslocamento ascendente faz com que se esfrie, até chegar ao topo da nuvem onde a temperatura é muito baixa, de 30 °C negativos. A partir desse momento o vapor d'água que estava misturado com o ar quente transforma-se em granizo, que em função do seu peso começa a precipitar-se para a base da nuvem. No deslocamento descendente ocorre o choque com outras partículas menores, principalmente com cristais de gelo. A colisão entre essas partículas (granizo e cristais de gelo) faz com que fiquem carregadas eletricamente. O granizo como é mais pesado, fica com carga negativa e se desloca para a base da nuvem, enquanto os cristais de gelo ficam com carga positiva e, por serem mais leves, deslocam-se para a parte superior (topo) da nuvem. As cargas dentro da nuvem se separam, positivas na parte superior e negativas na inferior. Quando as cargas atingem valores extremamente elevados, ocorre o raio.

[Mamede \(2000\)](#) afirma que em função do acúmulo de cargas negativas na parte inferior da nuvem, acarreta em uma intensa migração de cargas positivas na superfície da terra para a área correspondente a localização da nuvem. A concentração de cargas positivas e negativas em uma região faz surgir uma diferença de potencial entre a terra e a nuvem. No entanto, o ar apresenta uma determinada rigidez dielétrica, normalmente elevada, que depende de certas condições ambientais. O aumento dessa diferença de potencial 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 ou em sentido contrário ([Figura 3](#)), num trajeto tortuoso e normalmente cheio de ramificações.

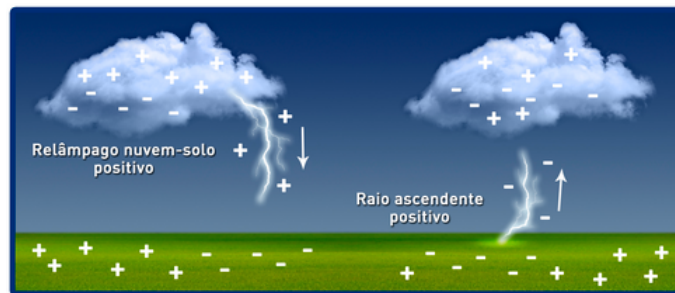
Figura 3 – Ilustração da formação dos raios



Fonte: ELAT (2021b)

A maioria dos raios começa e termina dentro das nuvens (Figura 4). São poucos que vem para o chão. E é justamente desses que deve-se prevenir (CAVALIN; CERVELIN, 2009).

Figura 4 – Ilustração da formação dos raios



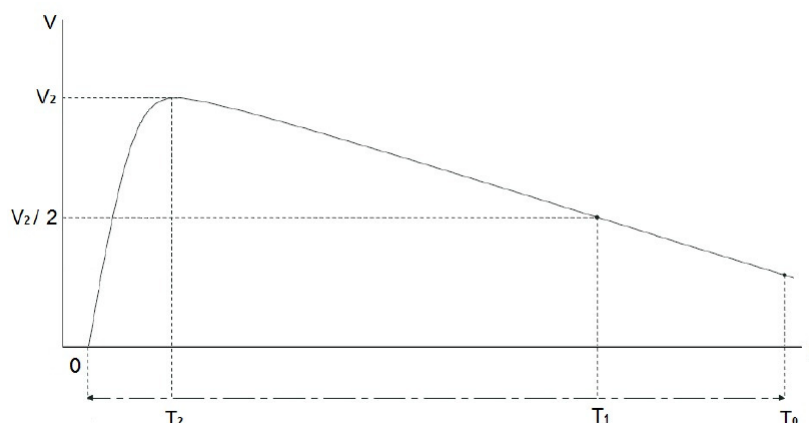
Fonte: ELAT (2021b)

## 2.4 Forma de onda e características das descargas atmosféricas

A Figura 5 ilustra a forma de onda de um raio. O intervalo destacado como “frente de onda” (de 0 até  $T_2$ ) é o responsável pela ação fulminante do raio, pois além de ocorrer muito rapidamente, o fenômeno atinge seu valor máximo  $emV_2$ . Posteriormente ocorre o intervalo de atenuação da curva de  $T_2$  até  $T_1$ . Até a extinção completa do raio (término da cauda) em  $T_0$  teremos aproximadamente  $200 \mu s$ , que corresponde à duração do raio. Apenas como comparativo, uma piscada do olho humano dura em média 100 ms, portanto, quando damos uma única piscada, há tempo suficiente para a ocorrência de 500 raios:  $1 \text{ piscada} = 100 \text{ m/s} / 200 \mu s = 500 \text{ raios}$ .

Quando a rigidez dielétrica do ar é vencida, forma-se o que chamamos de “raio piloto”. O raio piloto é uma descarga que vai da nuvem para a terra, a uma velocidade

Figura 5 – Forma de onda típica da tensão de descarga atmosférica



Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

aproximada de 1500 km/s. Então, como o ar está ionizado, a nuvem entra em curto-circuito com o solo. Uma vez em curto-circuito, a nuvem assume uma polaridade inversa, visto que a terra tem maior massa.

Com a polaridade invertida, uma segunda descarga acontece, porém, agora da terra (solo) para a nuvem. Resumindo, o raio ocorre em duas etapas: primeira descarga (nuvem para a terra) e segunda descarga (terra para nuvem). A descarga de retorno é mais rápida que a primeira e propaga-se com uma velocidade aproximada de 30 000 km/seg, e pode atingir mais de 1.000.000 ampères. Como veremos mais adiante, o fenômeno é tão rápido que não podemos perceber visualmente quando termina uma descarga e começa a outra, o que nos causa a impressão de existir apenas uma delas.

A tabela a seguir apresenta as características físicas típicas das descargas atmosféricas.

Tabela 1 – Valores das características de uma descarga atmosférica

Parâmetros	Valores	Unidade
Corrente	2.000 a 200.000	A
Tensão	100 a 1.000.000	kV
Duração	70 a 200	$\mu$ s
Carga elétrica da nuvem	20 a 50	C
Potência liberada	1000 a 8.000 milhões	kW
Energia	4 e 10	kWh
Tempo de Crista	1,2	$\mu$ s
Tempo de meia cauda	50	$\mu$ s

Fonte: [KINDERMANN \(2002\)](#)

## 3 NBR 5419/2015 - Proteção Contra Descargas Atmosféricas.

Com base na norma internacional IEC 62305 – *Lightning Protection* partes 1,2 3, e 4, publicada em dezembro de 2010, a Comissão de Estudos do Cobei – Comitê Brasileiro de Eletricidade - CE revisaram a norma ABNT NBR 5419 :2005 e publicaram em 2015 a versão atualizada, NBR 5419/2015 - Proteção Contra Descargas Atmosféricas.

### 3.1 Determinação das Partes

A [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#) segue com a mesma estrutura e organização dos documentos da IEC 62305/2010, composta por quatro documentos normativos e seus anexos, sendo eles:

- Parte 1 – Princípios Gerais;
- Parte 2 – Gerenciamento de Risco;
- Parte 3 – Danos Físicos às Estruturas e Perigo à Vida;
- Parte 4 – Proteção de Sistemas Elétricos e Eletrônicos.

A maior parte do texto da nova norma sobre proteção contra descargas atmosféricas foi fiel ao texto da IEC 62305/2010, especialmente as partes 1 e 4.

Nesta versão, o SPDA não é mais o único assunto a ser tratado pela norma e cede lugar a um conceito mais amplo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA), sendo complementado pela área específica de proteção que aborda as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS).

Essa mudança proporcionou um significativo aprimoramento da norma e sua capacidade de proteger uma estrutura, colocando diversos fatores como essenciais para os cálculos dos fatores de riscos e de proteção.

Por esse motivo, neste trabalho todos os calculos realizados utilizam as equações pertencentes a norma ABNT NBR 5419/2015, pois nela está estabelecida o método matemático que deve ser seguido.

### 3.2 Principais Diferenças entre as versões 2005 e 2015

A diferença se demonstra de início, já pelo volume das duas normas cujo o número de páginas aumentou de 42 para 309, o que é um aumento significativo. Além disso a versão

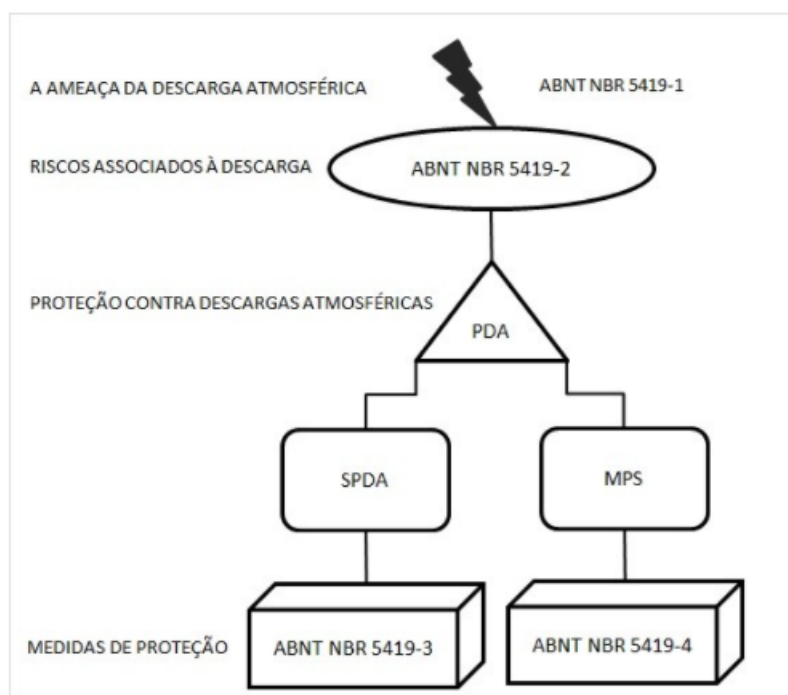
de 2005 era composta por um único volume, a atual como já mencionado anteriormente foi particionada em 4 volumes.

Sobre isto:

A Parte 1 do texto do documento trata exclusivamente sobre o fenômeno da descarga atmosférica, definindo parâmetros das correntes das descargas que são utilizados como a base das regras de medidas de proteção e dimensionamento de componentes. Tais parâmetros são considerados para detalhamento das medidas de proteção (MPS). Tais considerações e parâmetros não eram tratados de forma explícita e foram abordados na norma [ABNT NBR 5419 \(2005\)](#), no Anexo C (normativo), apresentando parâmetros do valor de crista da corrente da descarga, utilizado para o cálculo do raio da esfera rolante (Modelo Eletrogeométrico) e determinação do nível de proteção.

Logo na introdução a parte 1 apresenta a importância de cada parte da NBR 5419/2015 e a conexão entre elas. Como ilustrada na [Figura 6](#).

Figura 6 – Abrangência e conexões entre as partes da ABNT NBR 5419



Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

Ainda na parte 1 é apresentado também o conceito de zona de proteção contra raios, que antes da atualização existia somente nas normas internacionais.

A parte 2 da ABNT NBR 5419/2015 traz, as maiores mudanças na proteção de estruturas contra as descargas atmosféricas. Nesta parte, o estudo de diversos parâmetros das estruturas, seus arredores e das linhas elétricas ligadas a ela indicará as medidas

de proteção da estrutura, das pessoas e dos equipamentos contra os efeitos nocivos das descargas atmosféricas para que os riscos fiquem dentro dos valores toleráveis.

O usuário da versão anterior, a ABNT NBR 5419:2005, para determinar se a estrutura necessitava ou não de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), fazia um estudo simples em que calculava a área de exposição equivalente –  $A_e$  (item que foi alterado na nova versão), verificava o índice cerâmico da região para calcular a densidade de descargas atmosféricas para terra –  $N_g$  e avaliava cinco índices de ponderação (tipo de ocupação, de construção, o conteúdo e os efeitos indiretos das descargas, a localização da estrutura e a topografia da região).

Para a definição do nível de proteção, utilizava uma tabela fornecida pela norma em função da classificação das estruturas ou a curva de eficiência do SPDA, também fornecida pela norma.

Na NBR 5419:2015 o estudo é bem mais abrangente, iniciando pelas fontes de danos em que são consideradas as descargas atmosféricas que atingem diretamente a estrutura e as linhas elétricas interligadas com elas e também as descargas que atingem áreas próximas às estruturas e às linhas. São considerados três tipos de danos: os ferimentos aos seres vivos, os danos físicos às estruturas e as falhas nos sistemas elétricos e eletrônicos. Com isso, são considerados os seguintes tipos de perdas: perda de vidas humanas, perda de instalação de serviço ao público, perda de memória cultural, e perda de valor econômico.

Dessa forma, os riscos a serem avaliados em uma estrutura são a perda de vida humana, instalação de serviço ao público, memória cultural e valor econômico.

A norma entende como risco o valor de uma provável perda média anual (vida e bens) devido às descargas atmosféricas, em relação ao valor total (vida e bens) do objeto a ser protegido. Estes riscos dependem do número anual de descargas atmosféricas que influenciam a estrutura, da probabilidade de dano por uma das descargas atmosféricas que influenciam esta estrutura e da quantidade de média das perdas causadas.

Uma vez calculados estes riscos, os valores são comparados aos valores típicos toleráveis indicados na norma: perda de vida humana ou ferimentos permanentes =  $10^{-5}$ ; perda de serviço ao público =  $10^{-3}$  e perda de patrimônio cultural =  $10^{-4}$ . Caso algum valor de risco ultrapasse o valor tolerável, as medidas de proteção devem ser alteradas de forma que o risco fique dentro do valor tolerável.

Para o cálculo de um determinado risco, vários componentes de risco devem ser avaliados:  $R_A$  – componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque em distâncias de até 3 m do lado de fora da estrutura;  $R_B$  – 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;  $R_C$  – componente devido à falha de sistemas internos causados

por LEMPs (pulsos eletromagnéticos devido aos raios) por conta de descargas que atingem a estrutura;  $R_M$  – Falha de sistemas internos causada por LEMP devido às descargas que atingem áreas perto da estrutura;  $R_U$  – componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico por causa das tensões de toque e passo dentro da estrutura ocasionadas por descargas que atingiram a linha elétrica conectada a estrutura;  $R_V$  – 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 ao longo das linhas;  $R_W$  – Componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta;  $R_Z$  – Componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta, geralmente em estrutura com risco de explosão, hospitais e outras com riscos de vida por falha de sistemas internos.

Cada uma destas componentes de risco pode ser calculada por meio de uma expressão geral [Equação 3.1](#):

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x \quad (3.1)$$

Em que:

$N_x$  é o número de eventos perigosos por ano

$P_x$  é a probabilidade de dano à estrutura

$L_x$  é a perda consequente

A parte 2 da ABNT NBR 5419:2015 apresenta diversos anexos, nos quais podem ser obtidos ou calculados estes parâmetros para cada componente.

A parte 3 da ABNT NBR 5419:2015 é a que mais está ligada à norma anterior, que traz os critérios de projeto, instalação e manutenção do SPDA. A revisão trouxe algumas mudanças interessantes.

As principais mudanças são: os fechamentos dos meshes (malhas) do método das malhas; uma apresentação visual mais fácil do método dos ângulos em função das alturas de referência; a redução dos espaçamentos dos condutores de descida; a redução dos espaçamentos dos anéis de captação lateral; e o método da esfera rolante não apresentou nenhuma modificação.

Um passo importante foi feito nas tabelas 6 e 7 da parte 3 com a especificação mais detalhada dos condutores de captação, descida e aterramento, evitando, assim, os condutores fora das normas, chamados “cabos comerciais”. É bom destacar que a norma anterior nunca permitiu o uso de cabos de 19 fios, na verdade, quem definia isso era

a ABNT NBR 6524 e para cabos classe 2, só aceita 19 fios a partir de 95 mm<sup>2</sup>. Nesta versão da ABNT NBR 5419 – parte 3, essa questão ficou definitivamente fechada, evitando brechas para fabricação de cabos idôneos.

Já a parte 4 estabelece critérios técnicos para as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) nas instalações e equipamentos, dentro da edificação que venham a conduzir surtos nessas instalações, gerando perda de equipamentos, informações, acidentes pessoais, explosões ou incêndios, etc.

As consequências podem ser perda patrimonial, acidentes pessoais ou perda de vida, paralização das atividades do cliente e prejuízos com paradas ou perdas financeiras.

A norma recomenda a definição de zonas para dimensionar as MPSs adequadas em função dos riscos existentes em cada zona, o que está diretamente ligado com a quantidade de pessoas, tempo de permanência e tipo de atividade que é desenvolvido em cada zona. Assim, as MPSs vão variar de acordo com o risco de cada zona, otimizando os custos de implantação.

Para que estas MPS tenham eficiência é necessário que as instalações elétricas da edificação atendam à ABNT NBR 5410.




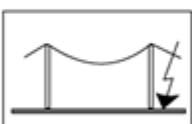
## 4 Nível de Proteção

Como apresentado no [Capítulo 3, seção 3.2](#), a Parte 2 da norma ABNT NBR 5419:2015 define os requisitos para análise de risco em uma estrutura devido às descargas atmosféricas e fornece o procedimento para que tais riscos sejam avaliados.

### 4.1 Definições Fundamentais

A [Tabela 2](#) relaciona de forma simplificada, a fonte de dano e suas respectivas perdas.

Tabela 2 – Relação simplificada da relação de risco e perda

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

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

Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

Fonte de Danos:

A corrente da descarga atmosférica é a principal fonte de dano às estruturas e equipamentos, sendo elas distintas pelo ponto de impacto:

- S1: descargas atmosféricas diretamente sobre a estrutura;

- S2: descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- S3: descargas atmosféricas diretamente sobre a linha;
- S4: descargas atmosféricas próximas à linha;

Tipos de Danos:

As aplicações práticas da análise de risco são usualmente distinguidas entre três tipos básicos de danos os quais aparecem como consequência das descargas atmosféricas. São os seguintes:

- D1: danos a seres humanos em função de choques elétricos;
- D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, incluindo centelhamento;
- D3: falhas de sistemas internos em função de pulsos eletromagnéticos;

Tipos de Perdas:

Cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com outros, pode produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida. Os tipos de perdas que devem ser considerados são:

- L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda patrimônio cultural;
- L4: perda de valor econômico.

## 4.2 Riscos

O risco é um valor relativo a uma provável perda anual média, sendo que cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, o risco resultante deve ser avaliado como o seguinte:

- $R_1$ : risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- $R_2$ : risco de perdas ao serviço público;
- $R_3$ : risco de perdas do patrimônio cultural;
- $R_4$ : risco de perdas de valor econômico.

Para se avaliar os riscos, as componentes de risco relevantes (riscos parciais dependem da fonte e do tipo de dano) devem ser definidos e calculados, sendo esses fatores de risco essenciais para o diagnóstico final do projeto onde se conclui se deve ou não haver a instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Componentes de Riscos:

O risco por si só é a soma das suas componentes de risco, portando ao calcular um risco, suas componentes podem ser agrupadas de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos.

As componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura recebem a denominação de  $R_a$ ,  $R_b$  e  $R_c$ .

- $R_a$ : componente relativa a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até três metros ao redor dos condutores de descidas;
- $R_b$ : componente relativa a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente;
- $R_c$ : componente relativa a falhas de sistemas internos causados por um pulso eletromagnético de descarga atmosférica.

Seguindo o mesmo raciocínio as componentes de riscos para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura são denominadas de  $R_m$ , que é a componente relativa a falhas de sistemas internos causados por um pulso eletromagnético de descarga atmosférica.

As componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura recebem os termos  $R_u$ ,  $R_v$  e  $R_w$ .

- $R_u$ : componente relativa a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura.
- $R_v$ : componente relativa 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.
- $R_w$ : componente relativa a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.

A componente de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura é representada pelo termo  $R_z$ , que é a componente relativa a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.

#### 4.2.1 Composição das componentes de risco

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda na estrutura são listados como:

- $R_1$ : Risco de perda de vida humana, calculada pela equação:

$$R_1 = R_a + R_b + R_c + R_m + R_u + R_v + R_w + R_z \quad (4.1)$$

Sendo:  $R_c$ ,  $R_m$ ,  $R_w$  e  $R_z$  utilizados 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 por em perigo a vida humana.

- $R_2$ : Risco de perdas de serviço ao público, obtida através da equação:

$$R_2 = R_b + R_c + R_m + R_v + R_w + R_z \quad (4.2)$$

- $R_3$ : Risco de perdas de patrimônio cultural, calculada pela equação:

$$R_3 = R_b + R_v \quad (4.3)$$

- $R_4$ : Risco de perdas de valor econômico, obtida pela equação:

$$R_4 = R_a + R_b + R_c + R_m + R_u + R_v + R_w + R_z \quad (4.4)$$

Sendo:  $R_a$  e  $R_u$  utilizados somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Relação simplificada da relação de risco e perda, conforme [Tabela 3](#).

Tabela 3 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
	R <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>
Risco para cada tipo de perda								
R <sub>1</sub>	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
R <sub>2</sub>		*	*	*		*	*	*
R <sub>3</sub>		*	*			*	*	
R <sub>4</sub>	*b	*	*	*	*b	*	*	*

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

Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

#### 4.2.2 Relação de fatores que influenciam diretamente as componentes de riscos.

Cada uma destas componentes de risco, apresentadas na [Tabela 4](#), podem ser sintetizadas de forma geral, de acordo com a [Equação 3.1](#).

O número  $N_x$  de eventos perigosos é avaliado a partir da densidade de descargas atmosféricas  $N_g$  e pelas características da estrutura ou linha(energia, dados, telefonia), como a área de exposição da estrutura  $A_d$  ou da linha  $A_l$ , e por fatores de correção relativos às características físicas da estrutura  $C_D$  e da linha  $C_I$ ,  $C_T$  e  $C_E$ . Também avalia-se o número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em estruturas adjacentes, próximas à estrutura em análise (se houverem tais estruturas).

O fator de localização  $C_D$  é o parâmetro compensador à localização da estrutura, se há estruturas ao redor e o quão exposta está a estrutura. A [Tabela 5](#) caracteriza este parâmetro.

Os valores adotados para os parâmetros compensadores da linha, a saber: roteamento, instalação e ambiente. Estes são detalhados nas [Tabela 6](#), [Tabela 7](#) e [Tabela 8](#).

Desse modo as equações a seguir são estabelecidos pela ([ABNT NBR 5419, 2015](#)). A utilização dos parâmetros mostrados completam a avaliação do número de eventos perigosos à estrutura e á linha.

Área de exposição equivalente ( $A_D$ ) para uma estrutura retangular isolada com comprimento L, largura W e altura H, expresso em metros, em um solo plano:

$$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2 \tag{4.5}$$

Tabela 4 – Fatores que influenciam os componentes de risco

<b>Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)</b>	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>	X <sup>b</sup>		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X <sup>c</sup>	X <sup>c</sup>	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistema de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X

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

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Tabela 5 – Fator de localização da estrutura  $C_D$ 

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

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Tabela 6 – Fator de instalação da linha  $C_I$ 

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

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Tabela 7 – Fator tipo de linha  $C_T$ 

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

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Tabela 8 – Fator ambiental da linha  $C_E$ 

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

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado ( $m^2$ )

$$A_L = 40 \cdot L_L \quad (4.6)$$

onde

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

Onde o comprimento da secção da linha é desconhecido, pode ser assumido  $L_L = 1000m$

Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura:

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6} \quad (4.7)$$

Número de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma linha:

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (4.8)$$

A componente  $P_x$ (probabilidade de dano) está diretamente ligada as características da estrutura a ser protegida, das medidas de proteção existentes e das linhas de energia e telecomunicação ao qual está conectada.

As tabelas a seguir mostram os parâmetros que compõem as equações para a determinação de  $P_x$ .

Os valores de probabilidade  $P_A$  de choque a seres vivos devido a tensão de toque e passo devido a uma descarga atmosférica em uma estrutura dependendo do SPDA adotado

e das medidas de proteções adicionais adotadas:

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B \quad (4.9)$$

Onde:

$P_{TA}$  – probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e passo perigosas.  $P_B$  – probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos. Ambas componentes dependem das medidas adicionais de proteção como listadas nas [Tabela 9](#) e [Tabela 10](#).

Tabela 9 – Medida de proteção adicional

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

Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

Tabela 10 – Valores de probabilidade  $P_B$  dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

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

Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

A probabilidade  $P_C$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha nos sistemas internos é dada por:

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD} \quad (4.10)$$

onde:

$P_{SPD}$  – valores de probabilidade em função do nível de proteção aplicado para os DPS. Esses valores constam na [Tabela 11](#).

$C_{LD}$  – fator que depende das condições de blindagem, aterramento e isolamento das linhas ao qual o sistema interno está conectado. Valores apresentados na [Tabela 12](#)

Tabela 11 – Valores de probabilidade de  $P_{SPD}$  em função do NP para o qual os DPS foram projetados

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

Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

Probabilidade  $P_M$  de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falhas em sistemas internos.

Este fator depende das medidas de proteção contra surtos (MPS) adotadas. Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da ABNT NBR 5419-4 estiver instalado, o valor de  $P_M$  deve ser dado por:

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS} \quad (4.11)$$

Para sistemas internos com equipamentos não conformes com a suportabilidade de tensão dados nas normas específicas de produto,  $P_M = 1$  deve ser assumido.

$P_M$  – é obtido a partir do produto:

$$P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2 \quad (4.12)$$

Estes fatores levam em consideração a eficiência da blindagem, as características da fiação interna e a tensão suportável do sistema a ser protegido.

Para mais detalhes ver Anexo B – ABNT NBR 5419 – 2:2015.

Com as equações a seguir definimos todos os parâmetros para o fator  $P_x$ :

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (4.13)$$

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (4.14)$$

Tabela 12 – Valores dos fatores  $C_{LD}$  e  $C_{LI}$  dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

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

Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (4.15)$$

$$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI} \quad (4.16)$$

Trata-se dos fatores para os tipos de danos que podem ser causados por uma descarga atmosférica em uma linha interligada e/ou próxima à estrutura a ser protegida.

Todos os parâmetros são estabelecidos pelas tabelas presentes no Anexo B da ABNT NBR 5419 – 2:2015.

A última componente e não menos importante é a perda consequente  $L_x$ , de acordo com a NBR 5419 este fator é diretamente afetado pela forma de utilização da estrutura, a frequência de utilização e de pessoas no interior e pelos bens que serão afetados.

A perda  $L_x$  se refere à quantidade relativa média de um tipo de dano para um evento perigoso causado por uma descarga atmosférica, considerando a sua extensão e os

efeitos.

Esse valor varia com o tipo de perda a ser considerada: L1, L2, L3 e L4. Estas já definidas anteriormente em seção 4.1.

A norma recomenda que a perda Lx seja determinada para cada zona da estrutura na qual ela foi dividida.

Análogo as componentes anteriores Lx tem um anexo dedicado ao seu cálculo e análise, entretanto é possível agrupar suas equações conforme a Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de perda em cada zona de acordo com a perda considerada

Tipo de perda	Tipo de dano	Perda típica
L <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	$L_A = r_t \cdot L_T \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8760)$
	D <sub>1</sub>	$L_U = r_t \cdot L_T \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8760)$
	D <sub>2</sub>	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8760)$
	D <sub>3</sub>	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot (n_z/n_t) \cdot (t_z/8760)$
L <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot (n_z/n_t)$
	D <sub>3</sub>	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot (n_z/n_t)$
L <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot (c_z/c_t)$
L <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	$L_A = r_t \cdot L_T \cdot (c_a/c_t)$
	D <sub>1</sub>	$L_U = r_t \cdot L_T \cdot (c_a/c_t)$
	D <sub>2</sub>	$L_B = L_V = r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$
	D <sub>3</sub>	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \cdot (c_s/c_t)$
8760: corresponde ao tempo, em horas, de um ano.		

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Para estas, os valores típicos de perda e os fatores de redução ou aumento necessário para a análise das perdas típicas para os 4 tipos de danos são dados nas Tabelas 20 a 27 do Anexo C da ABNT NBR 5419-2.

Os componentes de risco também podem ser agrupados, conforme Tabela 14, de acordo com os tipos de fontes de danos de uma descarga atmosférica.

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

Danos	Fontes de danos			
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
D <sub>1</sub>	$\frac{R_A = N_D \cdot P_A}{L_A}$	-	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$	-
D <sub>2</sub>	$\frac{R_B = N_D \cdot P_B}{L_B}$	-	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$	-
D <sub>3</sub>	$\frac{R_C = N_D \cdot P_C}{L_C}$	$\frac{R_M = N_M \cdot P_M}{L_M}$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W$	$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z$

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Complementando assim a Tabela 2, sendo estas a base para o Gerenciamento de Risco.

### 4.3 Análise de risco

O procedimento para a proteção de uma estrutura contra descargas atmosféricas passa por uma série de etapas onde pode ser macro dividida em duas partes, identificação e avaliação.

A etapa de identificação compreende: a identificação da estrutura a ser protegida e suas devidas características e a identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes ( $R_x$ ). A etapa de avaliação passa a ser a mais complexa e compreende a avaliação de risco para cada tipo de perda, avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos com os riscos toleráveis e a avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção.

A estrutura a ser considerada para análise de risco inclui a própria estrutura, as instalações na estrutura, o conteúdo da estrutura, as pessoas na estrutura ou nas zonas até três metros para fora da estrutura e o meio ambiente afetado por danos na estrutura. Para avaliar cada componente de risco, a estrutura pode ser dividida em zonas ( $Z$ ), cada uma com características homogêneas. Entretanto, a estrutura pode ser, ou pode assumir ser, uma zona única. As divisões de zona devem ser arbitradas pelo responsável pelo projeto considerando tipo de solo ou piso, compartimentos à prova de fogo, blindagem especial, layout dos sistemas internos, medidas de proteção existentes ou a serem instaladas e valores de perdas.

Valores representativos de risco tolerável  $R_T$ , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais, são fornecidos assim pela norma NBR 5419 (ABNT, 2015), indicado na [Tabela 15](#).

Tabela 15 – Valores Típicos de Risco tolerável  $R_T$

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

Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

O procedimento específico para avaliar a necessidade de proteção de acordo com ABNT NBR 5419-1, os riscos  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  devem ser considerados na avaliação da necessidade de proteção contra as descargas atmosféricas.

Para cada tipo de risco a ser considerado, os passos a serem tomados devem ser a identificação dos componentes de risco que o compõe, cálculo dos componentes de risco identificados, cálculo do risco total, identificação dos riscos toleráveis, comparação do risco calculado com o valor do risco tolerável. Sendo que se o risco calculado pelo projetista na

estrutura for menor ou igual ao risco tolerável, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária, caso contrário se o risco calculado for maior do que o risco tolerável, as medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir na estrutura todos os riscos aos quais ela está sujeita.

## 4.4 Níveis de Proteção ou Classe do SPDA

Quando se usa um SPDA, a primeira característica a se considerar é o nível de proteção ou classe, as classes disponíveis são I, II, III e IV, sendo que a classe I é a de maior grau de proteção e a classe IV é a menor.

Segundo Ozolnieks e Vanzonics (2010), a escolha de um nível de proteção que seria mais benéfica para a estrutura pode ser determinado desejando-se reduzir um, ou vários, dos componentes de risco, pois cada nível de proteção reduz o alto efeito de um ou mais componentes de risco.

O nível de proteção está diretamente ligado aos parâmetros da descarga atmosférica definidos em ABNT NBR 5419:2015, em [Tabela 16](#). Portanto a determinação de um nível de proteção está fixado em um conjunto de parâmetros máximos e mínimos das correntes das descargas atmosféricas para cada um dos níveis de proteção.

Tabela 16 – Valores mínimos dos parâmetros das descargas atmosféricas e respectivos raios da esfera rolante, correspondente aos níveis de proteção (NP)

Critérios de interceptação	Símbolo	Unidade	NP			
			I	II	III	IV
Corrente de pico mínima	$I$	kA	3	5	10	16
Raio da esfera rolante	$r$	m	20	30	45	60

Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

## 4.5 Métodos de Proteção

A NBR 5419:2015, aceita três métodos utilizados para o posicionamento do subsistema de captação, a saber:

1. Método do ângulo de proteção, conhecido como método Franklin;
2. Método da esfera rolante, que é o método eletrogeométrico;
3. Métodos das malhas, ou método Faraday;

### Franklin

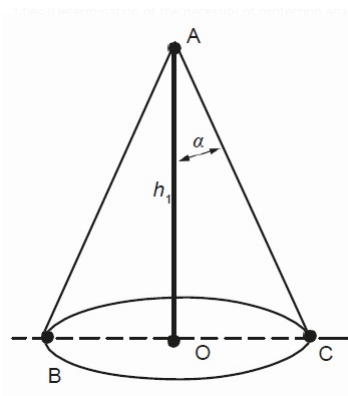
A ideia de proteger prédios e outras estruturas dos efeitos diretos dos relâmpagos por meio do uso de condutores foi, pela primeira vez, sugerida cerca de dois séculos atrás por Benjamin Franklin.

Os terminais aéreos, conhecidos como para-raios, são hastes condutoras rígidas montadas em uma base com o objetivo de capturar o relâmpago. Eles devem ser instalados nos pontos mais altos da estrutura. Algumas vezes, estas hastes são cabos que conectam os terminais aéreos aos terminais de aterramento. Os terminais de aterramento são condutores que servem para conectar os condutores de descida ao solo. O nível de aterramento depende bastante das características do solo. Os condutores de ligação equipotencial, por sua vez, são condutores que visam igualar o potencial entre os diferentes condutores para impedir descargas laterais.

As descargas laterais, também conhecidas como correntes de sobretensão, são causadas por diferenças de potencial entre a corrente, percorrendo o condutor, e objetos próximos. Elas são resultado da resistência finita dos condutores à passagem de corrente elétrica e à indução magnética.

A zona de proteção de um sistema de proteção formado por um terminal aéreo é a região adjacente à qual é substancialmente imune à incidência direta de relâmpagos. Como uma regra simples, esta região pode ser representada por um cone ao redor do terminal aéreo, tendo um raio no solo equivalente a altura do terminal aéreo em relação ao solo. Essa projeção pode ser vista na [Figura 7](#).

Figura 7 – Método do Cone



Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

A aplicação deste método, denominada método do cone de proteção ou do ângulo de proteção, tem muitas exceções e deve ser considerada somente como uma primeira aproximação. Em particular, tem-se mostrado que o raio do cone de proteção no solo depende do nível de proteção esperado, bem como a altura da estrutura. Para estruturas com alturas superiores a 20m, esta teoria não é aplicável.

Nestes casos, aplica-se a teoria conhecida como teoria da esfera rolante.

### Método Eletrogeométrico ou Esfera Rolante

Essa teoria é baseada no conceito de distância de atração, que é a distância entre a ponta do líder escalonado e o ponto de queda do relâmpago no solo no instante da quebra de rigidez dielétrica do ar próximo ao solo. A zona de proteção calculada por esta teoria é em geral menor que aquela obtida pela teoria do cone de proteção.

O método de proteção eletrogeométrico consiste em fazer rodar uma esfera fictícia, com raio determinado pela norma, em todos os sentidos e direções sobre o topo e fachadas da edificação. O objetivo é fazer com que os captosres lançados impeçam que a esfera toque a edificação.

Nos locais onde essas esferas fictícias tocam a edificação, o “raio” (descarga atmosférica) também poderá tocar, então esses locais tem que ser protegidos, pois se o raio cair nesse local e não houver uma proteção, certamente haverá danos materiais e/ou pessoais.

A norma NBR 5419:2015 estabelece os raios das esferas de acordo com o nível de proteção utilizado, conforme [Tabela 17](#).

Tabela 17 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe SPDA

-	Método de proteção		
	Classe do SPDA	Raio da esfera rolante – R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m
I	20	5 x 5	Ver Figura 8
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

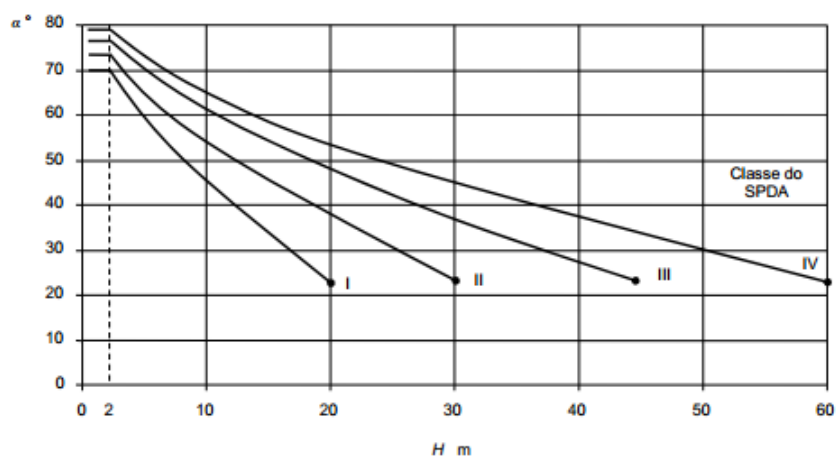
Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#) - Editado pelo autor

De acordo com a [Tabela 17](#), pode -se perceber que, quanto menor o raio R da esfera rolante, maior será o nível de proteção oferecido pelo SPDA. Isso ocorre, pois ao considerar uma esfera de raio menor, por exemplo, 20m, todas as descargas que possuírem o último salto do líder descendente maior que o raio R escolhido incidirão sobre o subsistema de captação do SPDA.

A [Figura 9](#) apresenta, esquematicamente, como o modelo eletrogeométrico é aplicado por meio da Esfera Rolante. Neste caso, tem-se uma esfera de raio R rolada sobre duas estruturas com o objetivo de analisar o volume de proteção oferecido por elas, assim como as regiões que se encontram desprotegidas do impacto direto de um raio.

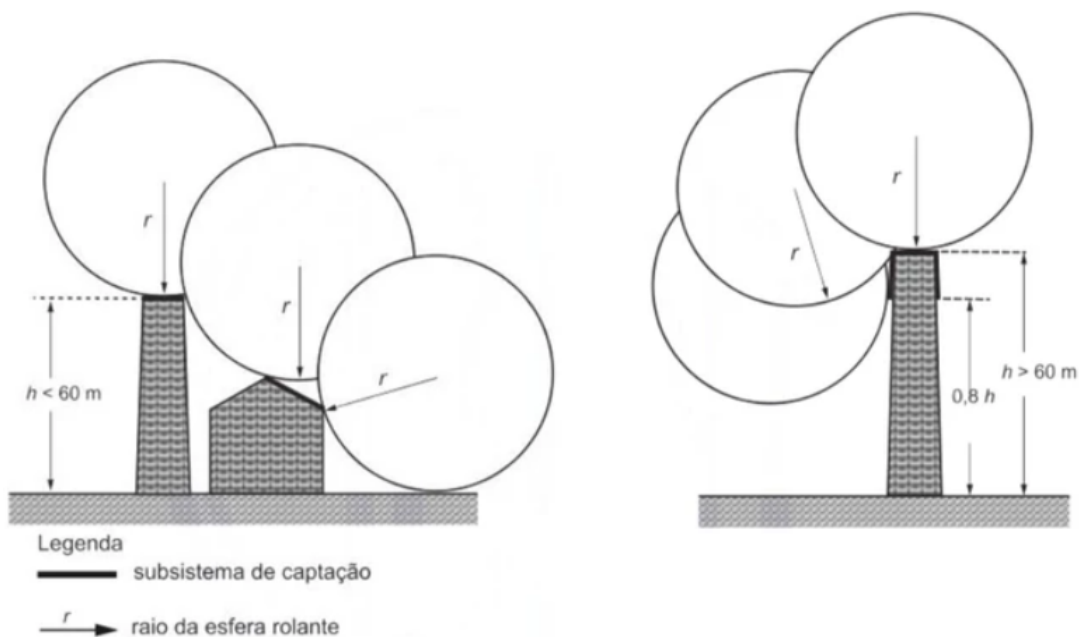
A probabilidade de penetração de uma descarga atmosférica no volume de proteção é consideravelmente reduzida pela presença de um subsistema de captação corretamente

Figura 8 – Valores do ângulo de proteção de acordo com cada classe



Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Figura 9 – Modelo eletrogeométrico da Esfera Rolante



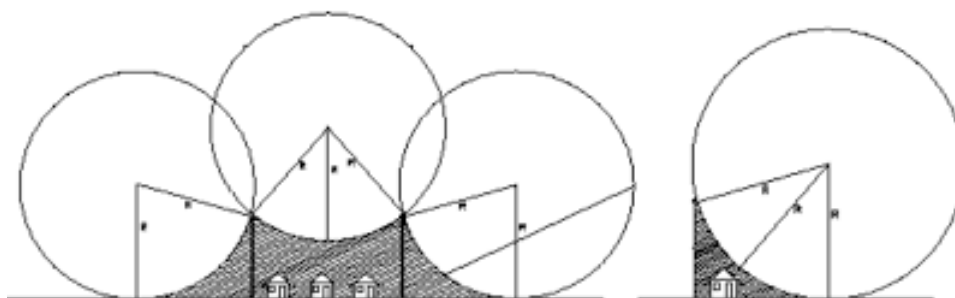
Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

projetado e instalado, sendo que esse subsistema pode ser constituído por uma combinação qualquer de hastes, cabos esticados, condutores em malha e elementos naturais, desde que a combinação satisfaça os requisitos na norma.

A Figura 10 mostra a aplicação do modelo eletrogeométrico sobre um elemento captor vertical de altura  $h$  sobre uma superfície plana. Neste caso o raio da esfera rolante é  $R > h$ . A esfera então apoiada entre o solo e o elemento. O volume de proteção é a região

abaixo da esfera rolante, em que ela não consegue tocar (região identificada como área A).

Figura 10 – Aplicação do modelo eletrogeométrico sobre um elemento captor vertical



Fonte: [ABNT NBR 5419 \(2015\)](#)

Para estruturas com alturas superiores a 60m, outro tipo de sistema de proteção, que utiliza condutores horizontais conectado aos terminais aéreos que forma uma gaiola, é recomendado pelas Normas Brasileiras de Proteção ABNT NBR – 5419:2015.

- Gaiola de Faraday

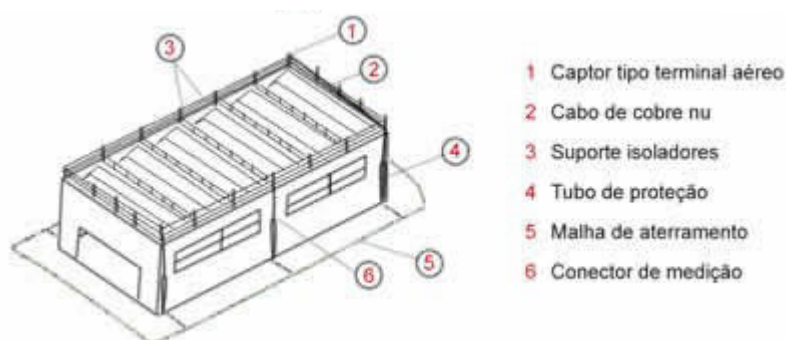
O método das malhas, como também é conhecido, fundamenta-se na constituição de uma gaiola metálica envolvendo uma estrutura, na qual o campo eletromagnético no interior da mesma é nulo quando são percorridas pelas correntes de descargas. A indicação do método das malhas é para telhados horizontais planos sem curvaturas. Para que essa filosofia seja efetivada, deverá existir interligação da malha condutora envolvendo toda a estrutura; assim terá um condutor fixado sobre as laterais da superfície superior e dele irão derivar os condutores de descida, e cada um desses condutores se conectará ao eletrodo de aterramento enterrado no solo ([FILHO, 2005](#)). Esse sistema de proteção está ilustrado na [Figura 11](#).

A NBR 5419:2015, determina que o afastamento dos condutores da malha esteja de acordo com a classe de proteção adotada para o SPDA – esses valores podem ser encontrados na [Tabela 17](#). Quando se utiliza o método de proteção das malhas, a Norma NBR 5419:2015 não obriga a utilização de minicaptadores, porém, se os mesmos forem usados ao longo dos condutores da malha, poderão evitar que o centelhamento devido ao impacto da descarga atmosférica danifique os equipamentos da cobertura ([MAMEDE, 2000](#)).

- Sistemas Híbridos

Em muitas situações, devido à forma e complexidade da estrutura, não se consegue adotar uma única filosofia de proteção. Para tanto, em diversas aplicações, tem sido

Figura 11 – Sistema de proteção tipo gaiola de Faraday



Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

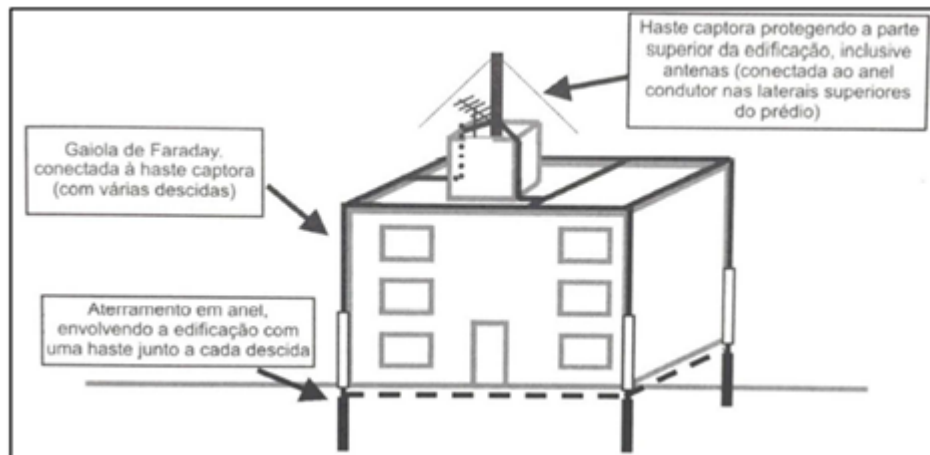
adotada uma mescla dos métodos apresentados anteriormente, a essa configuração dá-se o nome de Sistema Híbrido. Esta tenta aproveitar o que há de melhor de cada filosofia de proteção (FILHO, 2005).

Basicamente, podem ser agrupados a partir de duas filosofias de aplicação. Uma delas é contemplada pelos métodos Franklin e Eletrogeométrico, que utilizam hastes verticais ou condutores suspensos, denominados terminais aéreos ou simplesmente para-raios. Já a outra é utilizada pelo método Faraday, no qual utilizam-se condutores horizontais não suspensos formando uma malha sobre a estrutura (BURATTO, 2011).

Na proteção de uma edificação como um prédio comercial ou residencial por exemplo, temos o uso predominante da Gaiola de Faraday. Porém, a proteção através de uma gaiola “pura” raramente pode ser implementada, já que na cobertura desses prédios muitas vezes encontramos corpos elevados como caixas d’água, chaminés, antenas e outros. Assim complementa-se a proteção provida pela Gaiola de Faraday com um captor tipo Franklin, disposto no topo da edificação. Esse captor é conectado aos cabos de proteção de borda, módulos da Gaiola de Faraday e todas as descidas disponíveis.

Para esta configuração é colocado um anel condutor envolvendo a periferia da parte superior da edificação (laje ou telhado). Esses dois sistemas são integrados de tal forma, que os próprios condutores que conectam as hastes Franklin ao cabo periférico da cobertura são dispostos de modo a constituir reticulados superiores. Essa configuração está ilustrado em Figura 12.

Figura 12 – Configuração híbrida



Fonte: [FILHO \(2005\)](#)

O funcionamento consiste na captação da descarga pelos condutores ou hastes superiores da cobertura, em seguida essa corrente de descarga seguirá pelos condutores de descida (normalmente nas quinas) e chegará até o destino final, que é o condutor de aterramento ([FILHO, 2005](#)).

Estes são os métodos de proteção utilizados para fins de projeto de SPDA, para o estudo de caso deste trabalho serão utilizados os métodos do ângulo de proteção e o método eletrogeométrico.

## 5 Estudo de Caso -Projeto de SPDA para canteiro de obra em área de Mina

Neste capítulo é realizada a análise sobre o SPDA a ser instalado para um canteiro de obras em área de mina, localizado em Serra dos Carajás, no município do interior do estado do Pará, Região Norte do Brasil.

Conforme metodologia apresentada no [Capítulo 4](#), essa análise seguiu o fluxograma apresentado na [Figura 6](#), para determinar se há ou não necessidade de instalação do SPDA no local desejado.

O primeiro passo é identificar a estrutura a ser protegida, neste caso foi elaborada um questionário para orientação das informações de características do local necessárias para estabelecer a necessidade ou não de proteção. Os dados para análise de risco encontra-se anexo a este trabalho, no Anexo A.

Naturalmente, pela sua localização é uma edificação isolada (logo, CD=1), conforme [Figura 13](#).

Figura 13 – Foto da área de implantação do canteiro

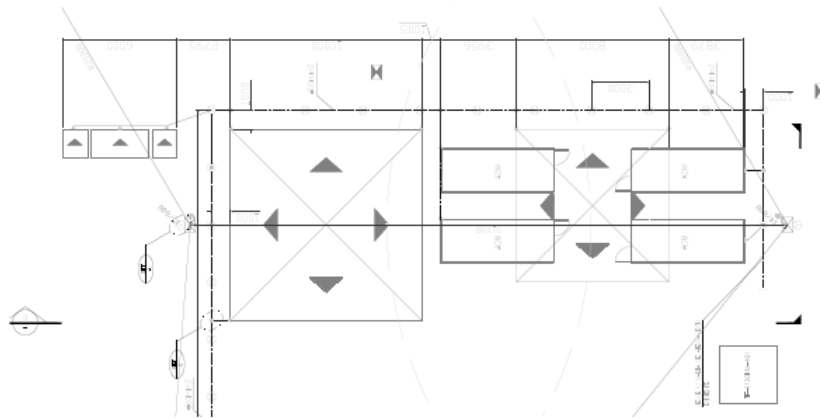


Fonte: Google maps (Editado pelo autor)

A estrutura é um canteiro de obras composto por 4 containers administrativos e 2 tendas, sendo uma de 10mx10m para área de vivência, e outra de 8mx8m para cobertura

dos containers administrativos. Foi analisada seguindo o layout inicial a ser instalada na área apresentada. Esse layout foi determinado pelo cliente e foi entregue como referência para o desenvolvimento da análise de risco e projeto do SPDA. Na [Figura 14](#), é apresentado o layout da área administrativa do canteiro. Essa estrutura é composta por perfis metálicos, cobertura metálica e lona.

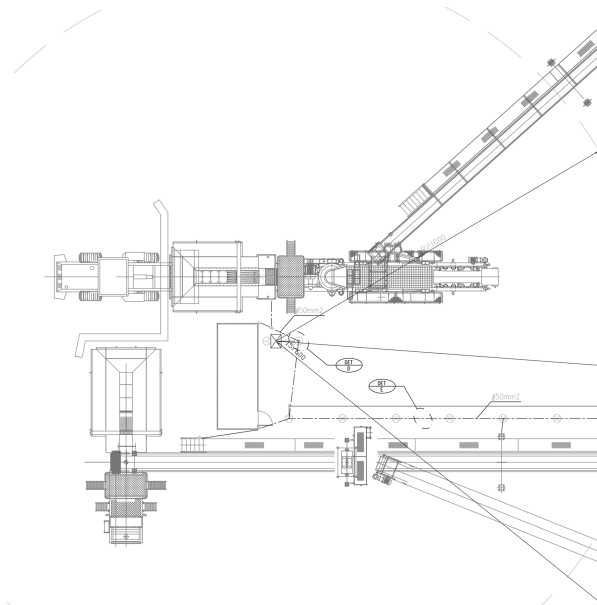
Figura 14 – Layout da área administrativa do canteiro



Fonte: O autor

Na [Figura 15](#), é apresentado o layout da área operacional do canteiro. Essa estrutura é composta por maquinário em sua maioria de estrutura metálica e com partes elétricas.

Figura 15 – Layout da área operacional do canteiro



Fonte: O autor

Para o período de ocupação, foi-se considerado a utilização para a zona 1 de 8h/dia, 360 dias/ano, considerando a taxa média de transeuntes circundando o canteiro em regime de trabalho em horário administrativo. Para a taxa de ocupação, foi considerado um total de 25 pessoas, por ser a quantidade total de trabalhadores na operação deste canteiro.

É considerada apenas uma linha atendendo à esta edificação, linha de energia elétrica.

O próximo passo é identificar os tipos de perdas relevantes à estrutura, para esta estrutura as perdas L1 e L4 são relevantes. Seguindo a decisão tomada pela empresa contratante a avaliação econômica não foi requerida.

Sendo assim, o próximo passo foi calcular as componentes de riscos relacionadas com a perda L1. Isto implica somente o risco  $R_1$  para perda de vida humana (L1) com os componentes de risco  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_U$  e  $R_V$  (de acordo com a Tabela 2) e comparar com o risco tolerável  $R_T = 10^{-5}$  (de acordo com a Tabela 15).

Dados relevantes da localização e meio ambiente são dados na Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 18 – Canteiro de obras

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Densidade de descarga atmosférica para a terra (1/Km <sup>2</sup> /ano)		N <sub>G</sub>	5,4
Dimensões da estrutura (m)		L,W,H	35,6x10x5,5 (m)
			6x2,4x6 (m)
Fator de localização da estrutura	Estrutura Isolada	C <sub>D</sub>	1
SPDA	Nenhum	P <sub>B</sub>	1
Ligação Equipotencial	Nenhuma	P <sub>EB</sub>	1
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K <sub>S1</sub>	1

Fonte: O autor

Para análise foi realizada a divisão do local em duas zonas:

A localização não possui linha de sinal/comunicação portanto os dados relacionados a esta é nulo.

- $Z_1$  – Adm: Área administrativa, local dos containers.
- $Z_2$  – SE: Sala Elétrica.

A  $Z_1$  é definida como uma única zona levando em consideração que:

- Todo o sistema interno de energia se estende através da área Adm;

Tabela 19 – Canteiro de obras: Linha de energia

Parâmetro de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Comprimento (m) *		$L_L$	1000
Fator de instalação	Enterrada	$C_I$	0,5
Fator tipo da linha	Linha BT	$C_T$	1
Fator ambiental	Rural	$C_E$	1
Blindagem da linha	Não blindada	$R_S$	-
Blindagem, aterramento, isolação	Nenhuma	CLD	1
		CLI	1
Estrutura adjacente	Nenhuma	$L_J,$ $W_J,H_J$	-
Fator de localização da estrutura adjacente	Nenhuma	$C_{DJ}$	-
Tensão suportável do sistema interno (kV)		$U_W$	2,5
	Parâmetros resultantes	$K_{S4}$	0,4
		$P_{LD}$	1
		$P_{LI}$	0,3
* Como o comprimento $L_L$ da seção da linha é desconhecido, $L_L=1000m$ é assumido (ver A.4 e A.5 do Anexo A da NBR 5419-2:2015).			

Fonte: O autor

- Não possui blindagem espacial;
- A estrutura é um compartimento único à prova de fogo;
- As perdas são assumidas como constantes em toda a área Adm e correspondem aos valores médios típicos da tabela C.1

Os valores resultantes válidos para  $Z_1$  são dados na [Tabela 20](#).

Os valores resultantes válidos para  $Z_2$  são dados na [Tabela 21](#).

Cálculo das quantidades relevantes, para área de exposição equivalente e para o número esperado de eventos perigosos, conforme [Tabela 22](#) e [Tabela 23](#).

Determinação da necessidade de proteção –  $R_1$

Neste caso o risco  $R_1$  pode ser expresso por meio da seguinte soma de componentes:

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad (5.1)$$

Portanto as resultantes das componentes envolvidas na avaliação do risco total são dados na [Tabela 24](#)

Após estabelecido que há necessidade de proteção é preciso estabelecer as medidas adequadas para mitigar estes riscos.

Para a proteção e conformidade da estrutura foi projetado um SPDA com as configurações da [Tabela 25](#):

Outras adequações na estrutura:

Tabela 20 – Adm: fator válido para  $Z_1$ 

Parâmetro de entrada		Comentário	Símbolo	Valor
Tipo de Piso			$r_t$	$10^{-2}$
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	$P_{TA}$	1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	$P_{TU}$	1
Risco de incêndio		*Baixo	$r_f$	$10^{-3}$
Proteção contra incêndio		Nenhuma	$r_p$	1
Blindagem espacial interna		Nenhuma	$K_{S2}$	$10^{-4}$
Energia	Fiação interna		$K_{S3}$	1
	DPS coordenado	Nenhuma	$P_{SPD}$	1
L1: perda de vida humana		Perigo especial:	$h_z$	1
		D1: devido a tensão de toque e passo	$L_T$	$10^{-2}$
		D2: devido a danos físicos	$L_F$	$2 \times 10^{-2}$
		D3: devido a falhas de sistemas internos	$L_o$	—
Fator para pessoas na zona			-	1
		Parâmetros resultantes	$L_A$	$10^{-7}$
			$L_U$	$10^{-7}$
			$L_B$	$10^{-4}$
			$L_V$	$10^{-4}$

Fonte: O autor

- Instalação de DPS classe II na entrada de energia elétrica em baixa tensão (Quadro de Distribuição). Reduzindo assim as componentes  $R_B$  e  $R_V$ .

- Instalação de malha de aterramento e captadores tipo Franklin para captação como criação de pontos preferenciais para interceptação de descargas atmosféricas, evitando assim a incidência de raios diretamente na estrutura.

- Foi realizada a equipotencialização de todos os equipamentos e massas metálicas ao subsistema de aterramento e interligação das malhas de aterramento das zonas  $Z_1$  e  $Z_2$ .

- Foram instaladas as devidas sinalizações em toda a área do canteiro, com placas, fitas, e lacres de sinalização nos locais de risco de choque elétrico e outros.

Tabela 21 – Sala Elétrica: fator válido para  $Z_2$ 

Parâmetro de entrada		Comentário	Símbolo	Valor
Tipo de Piso			$r_t$	1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma	$P_{TA}$	1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma	$P_{TU}$	1
Risco de incêndio		*Baixo	$r_f$	$10^{-3}$
Proteção contra incêndio		Nenhuma	$r_p$	1
Blindagem espacial interna		Nenhuma	$K_{S2}$	$10^{-4}$
Energia	Fiação interna		$K_{S3}$	1
	DPS coordenado	Nenhuma	$P_{SPD}$	1
L1: perda de vida humana		Perigo especial:	$h_z$	1
		D1: devido a tensão de toque e passo	$L_T$	$10^{-2}$
		D2: devido a danos físicos	$L_F$	$2 \times 10^{-2}$
		D3: devido a falhas de sistemas internos	$L_o$	—
Fator para pessoas na zona			-	1
		Parâmetros resultantes	$L_A$	$10^{-7}$
			$L_U$	$10^{-7}$
			$L_B$	$10^{-4}$
			$L_V$	$10^{-4}$

Fonte: O autor

Tabela 22 – Áreas de exposição equivalente da estrutura e linha de energia

	Símbolo	Resultado
Estrutura	$A_D$	52,11m <sup>2</sup>
	$A_M$	-
Linha de Energia	$A_{L/P}$	$4,00 \times 10^4$
	$A_{M/P}$	$4,00 \times 10^6$
	$A_{D/M/P}$	—

Fonte: O autor

Tabela 23 – Número esperado anual de eventos perigosos

	<b>Símbolo</b>	<b>Resultado m<sup>2</sup></b>
Estrutura	N <sub>D</sub>	2,81x10 <sup>-4</sup>
	N <sub>M</sub>	Não relevante
Linha de Energia	N <sub>L/P</sub>	21,6x10 <sup>-2</sup>
	N <sub>I/P</sub>	21,6
	N <sub>DJ/P</sub>	—

Fonte: O autor

Tabela 24 – Resultantes das componentes envolvidas na avaliação do risco total

<b>Tipo de Dano</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Z<sub>1</sub></b>	<b>Z<sub>2</sub></b>
D1	R <sub>A</sub>	1,66x10 <sup>-5</sup>	1,57x10 <sup>-7</sup>
Choque	R <sub>U</sub>	8,03x10 <sup>-6</sup>	3,31x10 <sup>-6</sup>
D2	R <sub>B</sub>	3,31x10 <sup>-5</sup>	2,65x10 <sup>-6</sup>
Dano Físico	R <sub>V</sub>	1,61x10 <sup>-5</sup>	2,57x10 <sup>-5</sup>
	R <sub>1</sub>	5,73x10 <sup>-5</sup>	3,18x10 <sup>-5</sup>
	R <sub>T</sub>	R <sub>1</sub> > R <sub>T</sub> : SPDA requerido	

Fonte: O autor

Tabela 25 – SPDA Conforme ABNT NBR 5419:2015

<b>SPDA</b>	<b>PARÂMETROS</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>Subsistema de Captação</b>	Classe	III
	Proteção	Terminal captor
	Seção do condutor	-
<b>Subsistema de descida</b>	Proteção	Condutor de cobre NU
	Seção do condutor	35mm <sup>2</sup>
<b>Subsistema de aterramento</b>	Eletrodo de aterramento	Condutor de cobre NU em linha + hastes de cobre de alta camada
	Seção do condutor	50mm <sup>2</sup>
<b>Equipotencialização</b>	Direta	Interligação das massas metálicas à malha de aterramento por meio de condutores de ligação
	Seção do condutor de ligação	35mm <sup>2</sup>
	Indireta	Instalação de DPS na entrada de energia elétrica em baixa tensão

Fonte: O autor

## 6 Resultados

Refazendo a análise de risco considerando as medidas de proteção implementadas obteve-se os resultados apresentados na [Tabela 26](#)

Tabela 26 – Resultados

Tipo de Dano	Símbolo	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>
D1	R <sub>A</sub>	-	-
Choque	R <sub>U/P</sub>	-	-
D2	R <sub>B</sub>	$5,23 \times 10^{-7}$	$9,17 \times 10^{-7}$
Dano Físico	R <sub>V/P</sub>	$1,44 \times 10^{-7}$	$1,44 \times 10^{-7}$
	R <sub>1</sub>	$0,067 \times 10^{-5}$	$0,106 \times 10^{-5}$
	R <sub>T</sub>	R <sub>1</sub> < R <sub>r</sub> : Estrutura Protegida	

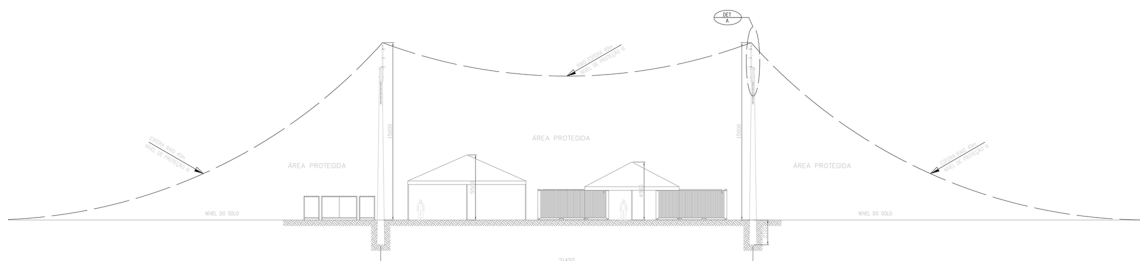
Fonte: O autor

Para atender as condições de medidas a serem implantadas na proteção das zonas 1 e 2, foi definido a instalação de 3 captores do tipo Franklin a 15 metros de altura. Essa altura foi definida com base no poste comercial existente que já seriam utilizados para implantação da rede de iluminação e energia do canteiro.

Buscando a implantação do projeto economicamente mais viável, a decisão de aproveitar os postes existentes como pontos de instalação, foi possível alcançar uma economia em materiais e mão de obra, além de reduzir o tempo de execução das atividades de execução do projeto.

Conforme [Figura 16](#) e [Figura 17](#) se pode notar 2 postes implantados com os captores na zona 1.

Figura 16 – Vista lateral - projeto SPDA área administrativa



Fonte: O autor

Figura 17 – Capttores implantados SPDA área administrativa

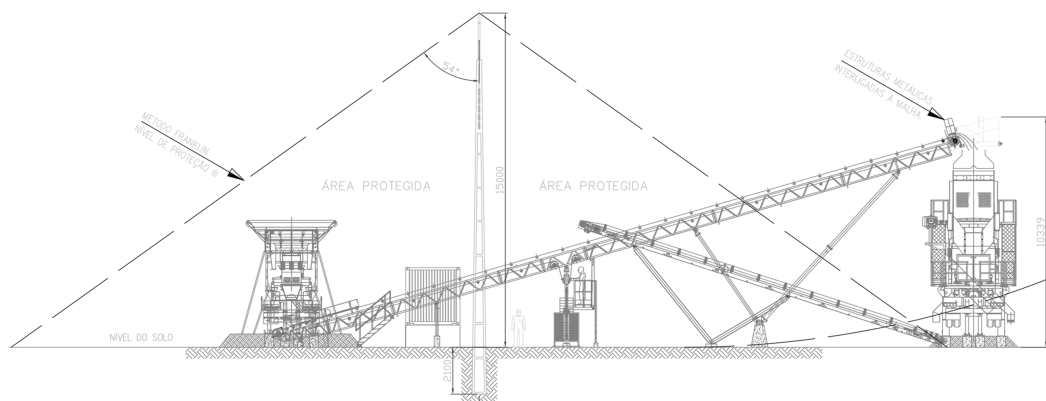


Fonte: O autor

O posicionamento desses capttores na aplicação do método da esfera rolante atende as condições de implantação, pois foi realizado a projeção da esfera sobre o canteiro e nenhum ponto da estrutura entrou em contato com a esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções possíveis. Seguindo o valor correspondente da classe de proteção III, ou seja, raio  $r = 45\text{m}$ , conforme a Tabela 17 e Figura 8.

A Figura 18 e Figura 19 mostram que foi determinado 1 poste implantado com capttor na zona 2. O volume de proteção promovido por esse capttor está adequado, pois foi definido considerando o método do cone conforme Figura 7.

Figura 18 – Vista lateral - Projeto SPDA área operacional



Fonte: O autor

Figura 19 – Captores implantados SPDA área operacional



Fonte: O autor

Para ambas as análises o projeto de SPDA atende a área de cobertura a ser protegida. Como pode ser visto nos Anexo B e Anexo C, que possuem o detalhamento das estruturas, materiais e as vistas dos subsistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

Quanto a integridade dos subsistemas de aterramento e captação, depois de implanto foram feitos os testes de continuidade em todas as caixas de inspeções com uso de terrômetro (instrumento utilizado para medir a resistência do solo em que será feito o aterramento) e miliohmímetro (instrumento destinado a medir com alta precisão resistências baixas, com correntes de prova desde 1mA até 1A.) e verificado a integridade física de cada captor e cada conector utilizado, de acordo com o procedimento estabelecido pela NBR 5419 – 4 Item 9.3. Devido a implementação do projeto ser novo, era esperado que as medições fossem coerentes. O laudo com os valores das medições foi aprovado.

## 7 Considerações finais

O tema proposto por este trabalho foi desenvolvido de forma concisa. Demonstrou as principais diferenças entre as versões da ANBT NBR 5419:2005 e ANBT NBR 5419:2015. Expõe também as informações básicas para projetar um SPDA conforme norma vigente.

O conhecimento relativo aos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas foi aplicado no estudo de caso, em um canteiro de obras na área de mineração. Se tornou ainda mais importante o estudo aplicado nesse trabalho, devido ser um caso bastante específico e não é comumente encontrado em trabalhos acadêmicos. E pode servir de orientação para casos que necessitem de aplicações específicas em locais que precisem de SPDA.

Foi apresentada uma análise de risco de maneira simplificada, em que um profissional habilitado e/ou um estudante da área pode facilmente reconhecer o passo a passo para realização da mesma. É coerente, no entanto, que a leitura completa da NBR 5419 também seja feita, dada a sua extensão como já mencionada, nem todos os detalhes foram abordados neste trabalho.

Além da orientação para trabalhos personalizados na área de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, através do presente estudo de caso foi alcançada a aprovação e execução do projeto de SPDA para o canteiro de obras. Toda a análise de risco, implementação do projeto e as adequações na estrutura, foram pensadas para a proteção da vida humana. Faz parte dos valores da empresa cliente “A preservação da vida em primeiro lugar”. Por esse motivo o valor econômico não foi considerado para fins de análise de risco. Ainda assim, a solução proposta através deste projeto buscou também o economicamente mais viável para o cliente, sem deixar de atender a proteção necessária. Entregando ao cliente uma área protegida e em conformidade com as normas vigentes, estando livre para que ocorra o pleno funcionamento de todas as atividades presentes no referido canteiro de obra.

Como sugestão para trabalhos futuros é possível apresentar o detalhamento dos procedimentos para aferição de integridade dos subsistemas de aterramento e captação para fins de validação do SPDA implantado em canteiro de obra em área de mineração. Assim como, apresentação dos estudos da rede de equipotencialização.

De modo geral, pode-se dizer que os estudos aqui apresentados puderam contribuir tanto para a área acadêmica quanto para a área industrial no que tange ao tema de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

# Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5419: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas*. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5419: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas*. Rio de Janeiro, 2015.
- BURATTO, F. S. *Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas utilizando componentes naturais da edificação*. [S.l.], 2011.
- CAVALIN, G.; CERVELIN, S. *Instalações elétricas prediais: conforme norma NBR 5410:2004*. 20. ed. [S.l.]: Érica, 2009. (Coleção estude e use. Série eletricidade).
- ELAT, G. d. E. A. *Historia*. 2021. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/historia.php>>. Acesso em: 01 Agosto 2021.
- ELAT, G. d. E. A. *Ilustração da formação dos raios*. 2021. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/tipos.php>>. Acesso em: 01 Agosto 2021.
- ELAT, G. d. E. A. *Mapa Isoceráunico do Brasil*. 2021. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/incidencia.de.descargas.no.pais.php>>. Acesso em: 01 Agosto 2021.
- ELAT, G. d. E. A. *Por que o Brasil é o país campeão mundial em incidência de raios?* 2021. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>>. Acesso em: 01 Agosto 2021.
- FILHO, S. V. *Descargas Atmosféricas: uma abordagem de engenharia*. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2005.
- KINDERMANN, G. *Descarga Atmosférica*. Florianópolis: Edição do Autor, 2002.
- MAMEDE, J. *Instalações Elétricas Industriais*. [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000.
- PRAZERES, M. d. N. d. *Análise em FDTD de Tensões Induzidas no Interior de um Prédio com SPDA: Aspectos de Blindagem*. [S.l.: s.n.], 2007.
- SHIGIHARA, M. *Avaliação de correntes de descargas atmosféricas através de medições diretas em estruturas altas*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Energia)) — University of São Paulo, São Paulo, 2005.
- SOUZA, A. N. d. e. a. *SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Prática e Legislação*. São Paulo: Ed. Érica, 2020. v. 2.
- STÉFANI, R. V. d. *Metodologia de projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas para edifício residencial*. *Monografia USP*, 2011.

---

Termotécnica, Para-raios. *Conteúdo Técnico*. 2021. Disponível em: <<https://tel.com.br/conteudo-tecnico/>>. Acesso em: 01 Agosto 2021.

UMAN, M. A.; KRIDER, E. P. A review of natural lightning: Experimental data and modeling. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, EMC-24, n. 2, p. 79–112, 1982.

# Anexos

# ANEXO A – Dados para análise de risco

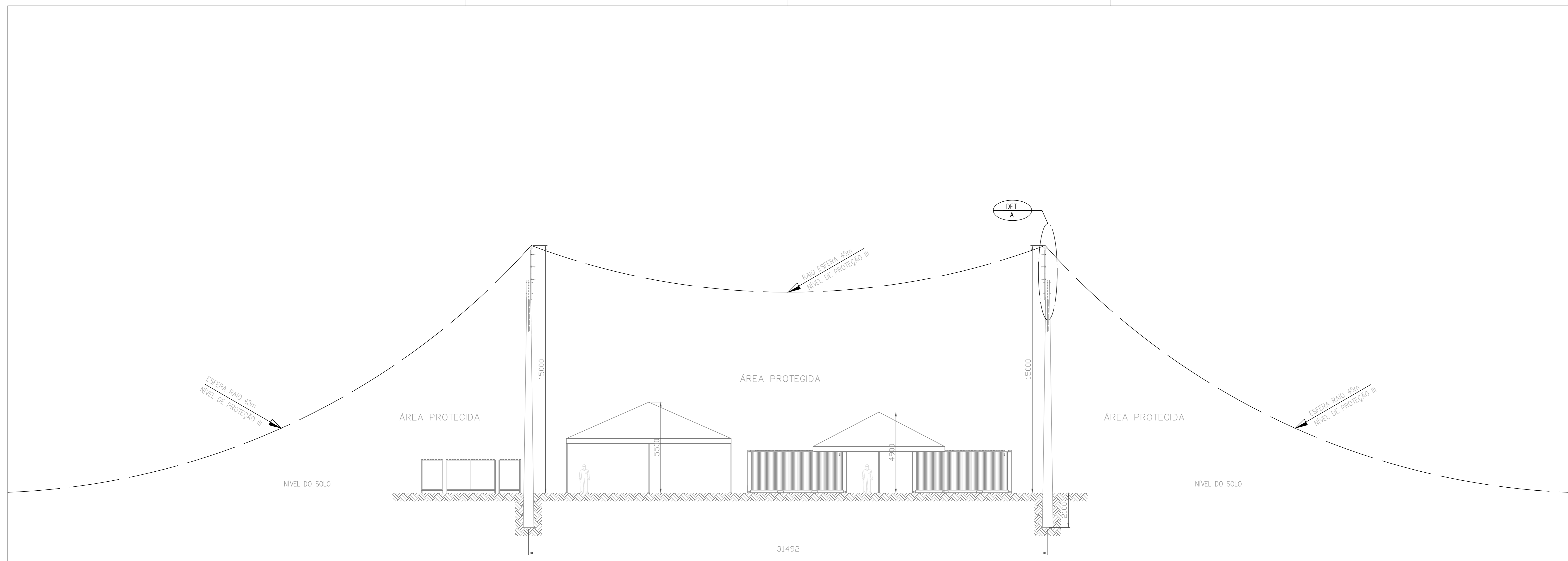
DADOS PARA ANÁLISE DE RISCO	
Dimensões da estrutura	L
	H
	C
Localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos mais altos
	Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos
	Estrutura isolada: nenhum objeto nas vizinhanças
	Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte
SPDA	Estrutura não protegida por SPDA
	Estrutura protegida por SPDA VI
	Estrutura protegida por SPDA III
	Estrutura protegida por SPDA II
	Estrutura protegida por SPDA I
	Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural
	Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural
Número total de pessoas na estrutura	
Comprimento da linha	
Modo de instalação da linha	Aéreo
	Enterrada
	Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).
Tipo de linha	Linha de energia BT ou sinal
	Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)
Comprimento da linha	
Modo de instalação da linha	Aéreo
	Enterrada
	Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).
Tipo de linha	Linha de energia BT ou sinal
	Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)
Fator ambiental	Rural
	Suburbano
	Urbano
	Urbano com edifícios mais altos que 20 m.
Blindagem da linha	Não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento
	Blindada e interligada ao mesmo barramento - $5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20\Omega/\text{km}$
	Blindada e interligada ao mesmo barramento - $1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$
	Blindada e interligada ao mesmo barramento - $R_S \leq 1\Omega/\text{km}$

Blindagem, aterramento e isolamento	Linha aérea não blindada Indefinida # Indefinida
	Linha enterrada não blindada # Indefinida
	Linha de energia com neutro multiterrado # Nenhuma
	Linha enterrada blindada (energia ou sinal) # Blindagem <b>NÃO</b> interligada
	Linha aérea blindada (energia ou sinal) # Blindagem <b>NÃO</b> interligada
	Linha enterrada blindada (energia ou sinal) # Blindagem <b>INTERLIGADA</b>
	Linha aérea blindada (energia ou sinal) # Blindagem <b>INTERLIGADA</b>
	Cabo em dutos protegido contra descargas atmosféricas # Blindagem <b>INTERLIGADA</b>
	(Nenhuma linha externa) # Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)
Qualquer tipo # Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	
Tensão Suportável do Sist. Interno (kV)	
Tipo de piso	Agricultura, concreto
	Mármore, cerâmica
	Cascalho, tapete, carpete
	Asfalto, linóleo, madeira
Proteção contra incêndio/qual?	
Risco de incêndio ou explosão	Normal
	Baixo
	Alto
	Nenhum risco de incêndio ou explosão
Sistema de DPS	Tipo de DPS:
	Forma de dist.:

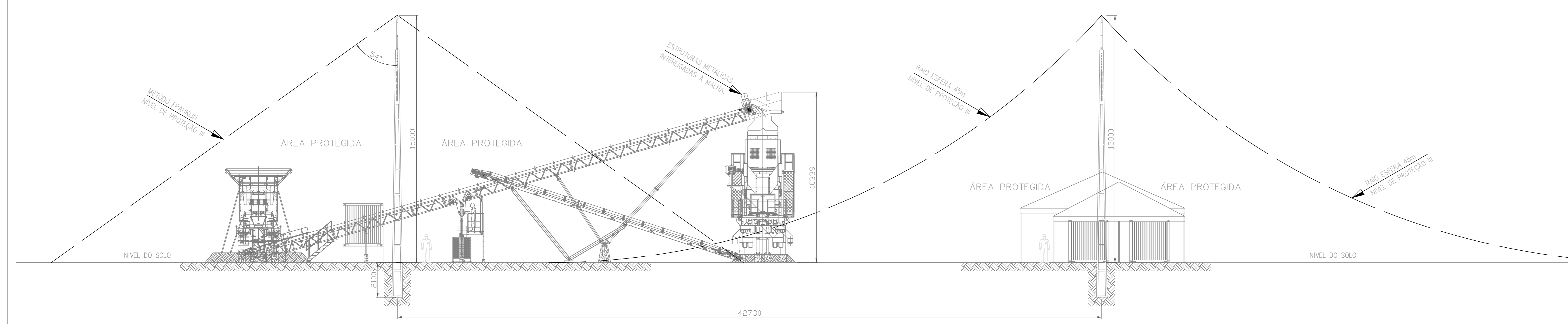
ANEXO B – Projeto Detalhado de SPDA e  
Aterramento em Canteiro de obras - Planta  
Baixa



ANEXO C – Projeto Detalhado de SPDA e  
Aterramento em Canteiro de obras - Vista  
Corte lateral



CORTE A-A



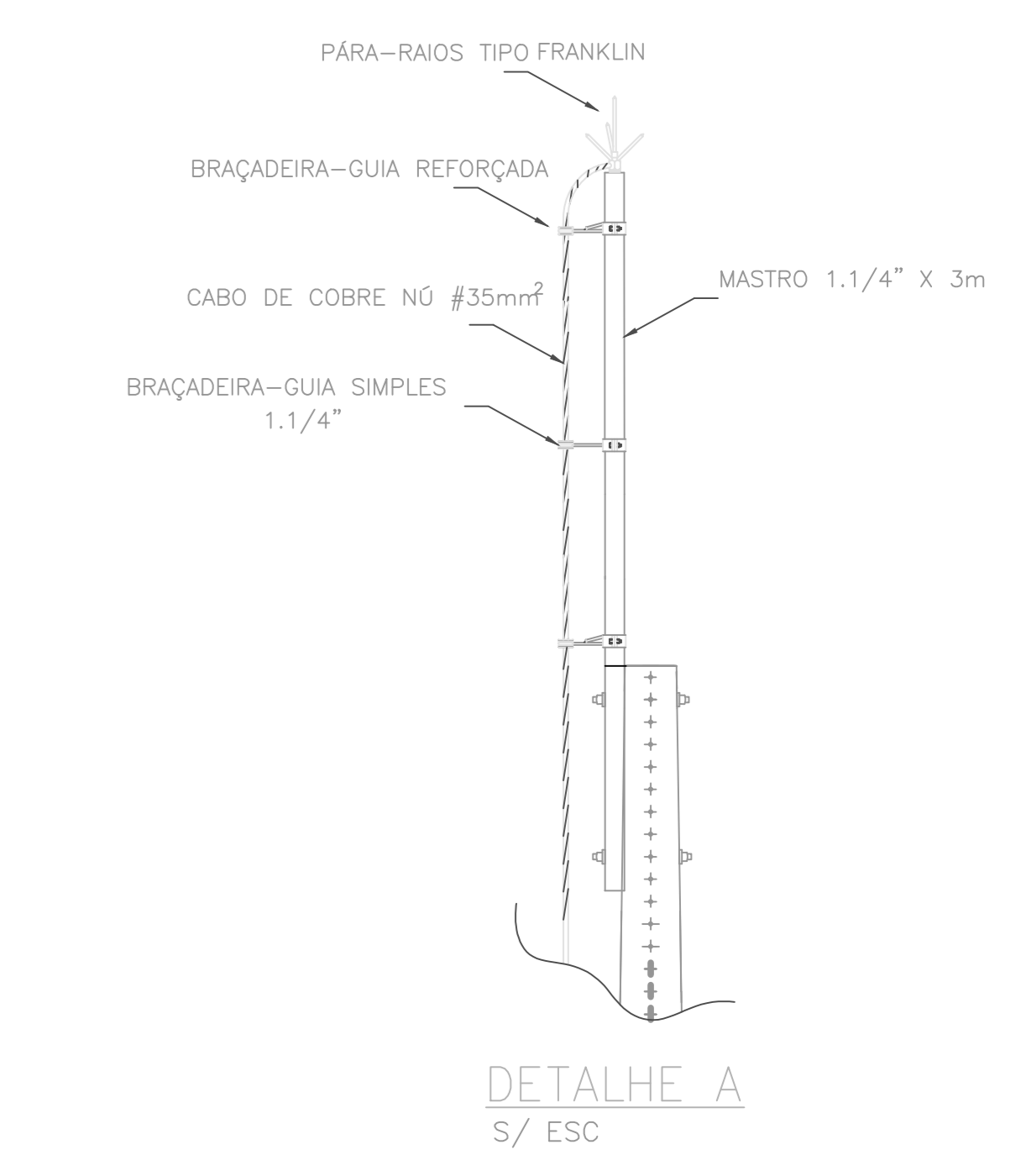
CORTE B-B

PLANTA – CORTES  
ESC. 1:150

ITEM	SIMBOLOGIA	DESCRIÇÃO
1	---	CABO DE COBRE Nº #50mm <sup>2</sup>
2	---	CABO DE COBRE Nº #25mm <sup>2</sup>
3	---	CABO DE COBRE Nº #35mm <sup>2</sup>
4	---	CABO DE AÇO Nº HS-#5/16"
5	●	CONEXÃO COM SOLDA EXOTÉRMICA
6	▲	PONTO DE ATERRAMENTO EM EQUIPAMENTOS OU ESTRUTURA METÁLICA ATRAVÉS DE CONECTOR APARAFUSADO
7	✱	FIXAÇÃO DO CABO DA CAPTAÇÃO
8	■	CONEXÃO APARAFUSADA ENTRE CABOS DE COBRE NU OU CABO DE AÇO Nº HS-#5/16"
9	⊙	CAPTOR FRANKLIN EM PLANTA
10	⊙	POÇO DE INSPEÇÃO COM HASTE DE ATERRAMENTO
11	⊗	HASTE DE ATERRAMENTO COM CONEXÃO SOLDADA
12	↗	CABO DE COBRE NU QUE DESCE OU SE AFASTA DO OBSERVADOR
13	↖	CABO DE COBRE NU QUE SOBE OU SE DIRIGE PARA O OBSERVADOR
14	⊠	POSTE DUPLA T A INSTALAR
15	⊠	POSTE DUPLA T EXISTENTE
16	⊙	INDICAÇÃO DE AFLORAMENTO DE CABOS
17	⊠	INDICAÇÃO DE VISTA OU CORTE
18	⊠	INDICAÇÃO DE DETALHES TÍPICOS.

TABELA DE SPDA – CONFORME NBR 5419/2015

SPDA	PARÂMETROS	RESULTADO
	CLASSE	III
SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO	PROTEÇÃO	TERMINAL CAPTOR
	MÓDULO MALHA CAPTORA	--
	SEÇÃO DO CONDUTOR	--
SUBSISTEMA DE DESCIDA	PROTEÇÃO	CONDUTOR DE COBRE NU
	SEÇÃO DO CONDUTOR	35mm <sup>2</sup>
	DISTÂNCIA ENTRE AS DESCIDAS	--
SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO	ELETRODO DE ATERRAMENTO	CONDUTOR DE COBRE NU EM LINHA + HASTES (**)
	SEÇÃO DO CONDUTOR	50mm <sup>2</sup>
EQUIPOTENCIALIZAÇÃO	DIRETA	INTERLIGAÇÃO DAS MASSAS METÁLICAS À MALHA DE ATERRAMENTO POR MEIO DE CONDUTORES DE LIGAÇÃO
	SEÇÃO DO CONDUTOR DE LIGAÇÃO	35mm <sup>2</sup>
	INDIRETA	INSTALAÇÃO DE DPS NA ENTRADA DE ENERGIA ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO.



DETALHE A  
S/ ESC

- NOTAS**
- DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM MILÍMETRO.
  - TODOS OS CABOS SERÃO DE COBRE NU, SEÇÃO 50mm<sup>2</sup> EXCETO ONDE INDICADO.
  - PEQUENAS INTERFERÊNCIAS DEVERÃO SER CORRIGIDAS EM CAMPO.
  - EM HIPÓTESE ALGUMA O CABO PODE SER DOBRADO EM ÂNGULO RETO. DEVERÃO SER FEITAS CURVAS DE RÁDIO LONGO.
  - TODAS AS PARTES METÁLICAS NÃO ENERGIZADAS DA IMPLANTAÇÃO DEVERÃO SER ATERRADAS.
  - TODOS OS PILARES METÁLICOS INSTALADOS NO CONTORNO DA EDIFICAÇÃO DEVERÃO SER UTILIZADOS COMO DESCIDAS NATURAIS (ONDE APLICÁVEL).
  - EXECUTAR MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CORRETIVA NOS TUBOS DE PVC E PROTEÇÃO NOS CABOS DE DESCIDA.
  - CASO A DESCIDA DE CABO NÃO ESTEJA PASSANDO POR DENTRO DA COBERTURA METÁLICA, EXECUTAR TAL PROCEDIMENTO A FIM DE EVITAR CURVAS ACENTUADAS. UTILIZAR-SE DE MATERIAL TIPO DE POLIURETANO (SINKAFLEX OU SIMILAR) PARA VEDAÇÃO.
  - TODAS AS ESTRUTURAS METÁLICAS EXISTENTES SOBRE A COBERTURA DA EDIFICAÇÃO, DEVERÃO SER INTERLIGADAS NA MALHA DE CAPTAÇÃO DO SPDA.
  - APLICAR O MÉTODO DO ÂNGULO DE PROTEÇÃO (FRANKLIN) E (ESFERA ROLANTE).

**DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

REV.	T.E.	DESCRIÇÃO	PROJ.	DES.	VER.	APR.	SE.	DATA
0	B	EMISSÃO INICIAL						06/06/2019

**REVISÕES**

T.E.	(A) PRELIMINAR	(C) PARA CONHECIMENTO	(E) PARA CONSTRUÇÃO	(G) CONFORME CONSTRUÍDO
TIPO DE EMISSÃO	(B) PARA APROVAÇÃO	(D) PARA COTAÇÃO	(F) CONFORME COMPRADO	(H) CANCELADO

PROJETO: PROJETO SPDA E ATERRAMENTO

PROJETO DETALHADO  
CANTEIRO DE OBRAS  
VISTA CORTE LATERAL

ESCALA: 1:150

Nº CONTRATADA: FOLHA 2 – R1

Nº: –

REVISÃO: 1

**LEGENDA**

COR	ESPESOR
BRANCO	0,1
AMARELO	0,1
VERDE	0,2
CINZA	0,3
AZUL	0,4
VERMELHO	0,6
MAGENTA	0,8