



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

***CAMPUS* PALMAS**

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CAROLYNE VICTÓRIA LOPES BARBOSA

SULANY MOREIRA DE SOUSA

**ANÁLISE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS DOS BLOCOS DE AULA 14-17 DO IFTO – CAMPUS PALMAS:**

**Diagnóstico e proposta de atualização conforme a
norma ABNT NBR 5419/2015**

PALMAS TO

2025

CAROLYNE VICTÓRIA LOPES BARBOSA
SULANY MOREIRA DE SOUSA

ANÁLISE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS DOS BLOCOS DE AULA 14-17 DO IFTO – CAMPUS PALMAS:
Diagnóstico e proposta de atualização conforme a norma ABNT NBR 5419/2015

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Me. Celivan Ferreira Vieira.

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Marcelino da Silva Filho.

PALMAS TO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- B238a Barbosa, Carolyne Victoria Lopes
 ANÁLISE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS
 ATMOSFÉRICAS DOS BLOCOS DE AULA 14-17 DO IFTO – CAMPUS
 PALMAS: : Diagnóstico e proposta de atualização conforme a norma ABNT
 NBR 5419/2015 / Carolyne Victoria Lopes Barbosa, Sulany Moreira de
 Sousa. – Palmas, TO, 2025.
 89 p.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) –
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
 Palmas, Palmas, TO, 2025.
- Orientador: Me. Celivan Ferreira Vieira
 Coorientador: Dr. Antonio Marcelino da Silva Filho
1. SPDA. 2. READEQUAÇÃO. 3. MANUTENÇÃO PERIÓDICA. I.
 Sousa, Sulany Moreira de. II. Vieira, Celivan Ferreira III. Filho, Antonio
 Marcelino da Silva. IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CAROLYNE VICTÓRIA LOPES BARBOSA

SULANY MOREIRA DE SOUSA

**ANÁLISE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS DOS BLOCOS DE AULA 14-17 DO IFTO – CAMPUS PALMAS:**

Diagnóstico e proposta de atualização conforme a norma ABNT NBR 5419/2015

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Aprovado em: 24/ 02/ 2025.

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **CELIVAN FERREIRA VIEIRA**
Data: 24/03/2025 09:40:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Celivan Ferreira Vieira (Orientador)

IFTO – Campus Palmas

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO MARCELINO DA SILVA FILHO**
Data: 24/03/2025 10:18:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Antonio Marcelino da Silva Filho (Coorientador)

IFTO – Campus Palmas

Documento assinado digitalmente
 **KAISSON TEODORO DE SOUZA**
Data: 24/03/2025 11:30:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Kaison Teodoro de Souza

IFTO – Campus Palmas

Documento assinado digitalmente
 **WELLINGTON DIAS DA SILVA**
Data: 24/03/2025 15:36:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Wellington Dias da Silva

IFTO – Campus Palmas

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa não apenas o culminar de nossa trajetória acadêmica, mas também uma jornada de aprendizado, desafios e superação, que jamais teria sido possível sem o carinho e o incentivo de tantas pessoas especiais.

Primeiramente, agradecemos a Deus por nos conceder força, coragem e sabedoria para persistir nos momentos mais difíceis, iluminando nosso caminho e renovando nossas esperanças.

Aos nossos pais, que nos ensinaram o valor do esforço e sempre nos ofereceram suporte incondicional. Sem o amor, os conselhos e os sacrifícios de vocês, nada disso seria possível. Vocês são nossa maior inspiração.

Aos nossos orientadores, Celivan Ferreira Vieira e Antônio Marcelino da Silva Filho, expressamos nossa mais profunda gratidão pela paciência, dedicação e valiosas contribuições que tornaram este trabalho possível. Seu conhecimento, apoio e comprometimento foram essenciais em nossa jornada, indo além da orientação acadêmica para nos auxiliar em cada etapa do projeto.

Aos amigos e familiares que estiveram ao nosso lado, compartilhando risadas, conversas e palavras de incentivo nos momentos mais intensos, nosso muito obrigado. Vocês tornaram essa caminhada mais leve e significativa. Em especial, agradecemos a Nicolas Neves Cirqueira e Matheus Gomes Arruda, cujas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Manifestamos também nossa gratidão ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas, pelas oportunidades que nos foram proporcionadas ao longo dessa trajetória. Agradecemos à excelência do ensino e ao comprometimento do corpo docente, cuja dedicação e transmissão de conhecimentos foram determinantes para nossa formação acadêmica e futuro profissional.

RESUMO

Em razão de suas características tropicais, o Brasil apresenta uma alta incidência de descargas atmosféricas, especialmente na região central do país. Sendo assim, a ocorrência de relâmpagos e raios tornam-se uma realidade que pode trazer riscos para a vida, assim como para a estrutura e equipamentos. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) dos blocos de aula 14 ao 17 do Instituto Federal do Tocantins (IFTO) – Campus Palmas, instalado conforme a ABNT NBR 5419:2005. Inicialmente, foi realizada uma avaliação documental do projeto original, seguida de inspeções visuais para verificar o estado dos componentes do sistema. Além disso, foram realizadas medições de continuidade das descidas e medições da resistência da malha de aterramento, a fim de avaliar sua eficiência na dissipação das correntes elétricas. A análise revelou diversas deficiências no sistema existente, comprometendo sua funcionalidade e segurança. Diante disso, tornou-se necessária a elaboração de um novo projeto, alinhado às exigências da ABNT NBR 5419:2015, buscando corrigir as falhas identificadas, melhorando a proteção da edificação e garantindo que o sistema atendesse aos critérios técnicos mais recentes. Além da readequação do sistema, foram propostos planos de manutenção periódica, visando garantir sua eficiência a longo prazo e reduzir a possibilidade de novas não conformidades. Dessa forma, este estudo destaca a importância da análise contínua dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, permitindo a identificação de falhas e a adoção de medidas preventivas para assegurar a proteção da infraestrutura e dos seus ocupantes.

Palavras-Chave: IFTO, SPDA, NBR 5419:2005, NBR 5419:2015, Segurança, Medições, Readequação, Manutenção Periódica.

ABSTRACT

Due to its tropical characteristics, Brazil has a high incidence of atmospheric discharges, especially in the central region of the country. As a result, the occurrence of lightning and electrical discharges becomes a reality that can pose risks to both human life and infrastructure and equipment. Given this scenario, this study aims to evaluate the Lightning Protection System (LPS) of classroom blocks 14 to 17 at the Instituto Federal do Tocantins (IFTO) – Campus Palmas, installed according to ABNT NBR 5419:2005. Initially, a documentary assessment of the original project was conducted, followed by visual inspections to verify the condition of the system's components. Additionally, continuity tests of the down conductors and resistance measurements of the grounding grid were performed to assess its efficiency in dissipating electrical currents. The analysis revealed several deficiencies in the existing system, compromising its functionality and safety. Consequently, it became necessary to develop a new project aligned with the requirements of ABNT NBR 5419:2015, aiming to correct the identified failures, improve the building's protection, and ensure that the system meets the latest technical standards. In addition to the system's requalification, periodic maintenance plans were proposed to ensure its long-term efficiency and reduce the likelihood of future non-conformities. Thus, this study highlights the importance of continuous analysis of lightning protection systems, allowing the identification of failures and the implementation of preventive measures to safeguard infrastructure and its occupants.

Key words: IFTO, SPDA, NBR 5419:2005, NBR 5419:2015, Safety, Measurements, Readjustment, Periodic Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Divisão elétrica da atmosfera.....	16
Figura 2 - Tipos de descargas atmosféricas.....	19
Figura 3 - Classificação de ocorrência de descargas atmosféricas.....	20
Figura 4 - Densidade de descargas atmosféricas NG – Mapa do Brasil (descargas atmosféricas/km ² /ano).....	21
Figura 5 - Densidade de descargas atmosféricas NG – Mapa da região norte (descargas atmosféricas/km ² /ano).....	21
Figura 6 - Onda eletromagnética irradiada pela corrente de retorno.....	22
Figura 7 - Jogador de futebol atingido por descarga direta em área descampada elevada.....	23
Figura 8 - Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.	24
Figura 9 - Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.	25
Figura 10 - Situações típicas de acidente por descarga associadas à incidência direta.....	26
Figura 11 - Distribuição de potenciais no solo.....	28
Figura 12 - Zonas de proteção (ZPR's).....	31
Figura 13 - Componentes dos para-raios Franklin.....	32
Figura 14 - Volume de proteção provido por mastro.....	33
Figura 15 - Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.....	33
Figura 16 - Projeto do subsistema de captação conforme o método da esfera rolante.....	35
Figura 17 - Comprimento mínimo l1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.....	37
Figura 18 - Dispositivo de proteção contra surtos.....	41
Figura 19 - Redução do valor da tensão induzida devido à redução da área dos laços formados pelas linhas de alimentação e de comunicação.....	42
Figura 20 – Equipotencialização do sistema.....	43
Figura 21 - Número de acidentes e de mortes causados por descargas atmosféricas (raios) ocorridos em 2023, estratificados por regiões do Brasil.....	44
Figura 22 - Acidentes com descargas atmosféricas – comparativo de 5 anos (2018-2022)....	45
Figura 23 - Conexões entre as partes da ABNT 5419.....	46
Figura 24 - Fluxograma da abordagem metodológica.....	51
Figura 25 - Vista superior dos blocos de aula 14-17.....	52

Figura 26 - Miliohmímetro HMMD-1 de medição a 4 fios.....	54
Figura 27 - Esquema de ensaio do subsistema de aterramento.	55
Figura 28 - Esquema de ensaio do subsistema de captação e descida.....	56
Figura 29 - Terrômetro digital MTD20KWR.....	57
Figura 30 - Método da queda de potencial.	57
Figura 31 - Planta do sistema de captação.....	62
Figura 32 - Planta do sistema de aterramento.	63
Figura 33 - Detalhe da planta do sistema de descida.....	64
Figura 34 - Notas gerais do projeto.	65
Figura 35 - Verificação do diâmetro das cordoalhas utilizadas no projeto.	66
Figura 36 - Caixa superior com condutor rompido (bloco 16).....	67
Figura 37 - Conexão de aterramento rompida (bloco 14).	68
Figura 38 - Caixa de inspeção tipo solo com rompimento parcial e condutor exposto (bloco 16).....	68
Figura 39 - Caixas de inspeção enterradas (Bloco 14).	69
Figura 40 - Caixas de difícil acesso (Bloco 17).	69
Figura 41 - Escada metálica sem equipotencialização.	71
Figura 42 - Ruptura de parte da malha de aterramento.	71
Figura 43 - Quadro de alimentação dos blocos 16-17.....	72
Figura 44 - Quadro da subestação.	73
Figura 45 - DPS acionado (bloco 16 quadro de distribuição superior).	74
Figura 46 - DPS acionado (bloco 17 quadro de distribuição superior e inferior).	74
Figura 47 - Valor da resistência do solo.....	77
Figura 48 – Folha nº 1 da planta baixa de readequação do SPDA dos blocos de aula.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem da Magnitude dos Raios.	18
Tabela 2 - Tipificação geral das descargas atmosféricas.....	18
Tabela 3 - Valores máximos dos raios da esfera rolante e tamanho da malha correspondentes a classe do SPDA.	35
Tabela 4 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas.	38
Tabela 5 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.	39
Tabela 6 - Parâmetros e características dos dispositivos de proteção.	40
Tabela 7 - Relação completa dos materiais previstos em projeto.....	65
Tabela 8 - Visão Geral: Projeto existente, Situação em campo e Projeto atualizado.....	80
Tabela 9 - Cronograma de manutenções preventivas.	81
Tabela 10 – Medições de continuidade dos Blocos de Aula 16 e 17 do IFTO.....	87
Tabela 11 – Medições de continuidade dos Blocos de Aula 14 e 15 do IFTO.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRACOPEL - Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade.

CPD - Centro de Processamento de Dados

DDP - Diferença de Potencial Elétrico

DPS - Dispositivo de Proteção Contra Surtos

ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica

EPI - Equipamentos de Proteção Individual

IFTO - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEMP - *Lightning Electromagnetic Impulse*

MPS - Medidas de Proteção contra Surtos

MTE - Ministério do Trabalho e Emprego

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NBR - Norma Brasileira

NR - Norma Regulamentadora

PDA - Proteção Contra Descargas Atmosféricas

SPDA - Proteção Contra Descargas Atmosféricas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 Justificativa	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Estrutura elétrica da atmosfera.....	16
2.2 Formação e Mecanismos dos Raios	17
2.3 Classificação dos Raios.....	18
2.3.1 Classificação geral.....	18
2.3.2 Classificação pelo tipo de ocorrência.....	19
2.4 Densidade de Descargas Atmosféricas	20
2.5 Danos Causados por Descargas Atmosféricas	21
2.5.1 Danos à Estrutura	23
2.5.2 Tipos de Perdas	24
2.5.3 Danos aos Seres Vivos	25
2.6 Necessidade e Vantagem Econômica da Proteção Contra Descargas Atmosféricas	28
2.6.1 Necessidade da proteção contra descargas atmosféricas.....	28
2.6.2 Vantagem econômica da proteção contra descargas atmosféricas	28
2.7 Medidas de proteção conforme a ABNT-NBR.5419:2015.....	29
2.7.1 Medidas de proteção para reduzir danos a pessoas devido a choque elétrico	29
2.7.2 Medidas de proteção para redução de danos físicos	29
2.7.3 Proteção de sistemas elétricos e eletrônicos.....	29
2.7.4 Critérios básicos para proteção de estruturas.....	30
2.8 Zonas de proteção contra descarga atmosférica (ZPR).....	30
2.9 Níveis de Proteção	31
2.10 Métodos de Proteção	32

2.10.1	<i>Captor Franklin - Volume/ângulo de Proteção Provido por Mastro</i>	32
2.10.2	<i>Gaiola de Faraday – Método das Malhas</i>	33
2.10.3	<i>Método da esfera rolante</i>	34
2.11	Subsistema de aterramento	36
2.12	Materiais	37
2.13	Medidas de proteção contra surtos - MPS	39
2.13.1	Seleção de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS)	40
2.13.2	Blindagem Magnética e Roteamento de Linhas	42
2.13.3	Equipotencialização e Aterramento	43
2.14	Incidência de Raios no Brasil	43
2.15	Norma técnica, Legislação Vigente e Fiscalização	45
2.15.1	<i>NR-10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade</i>	45
2.15.3	<i>Fiscalização</i>	47
2.15.4	<i>Diferença entre as normas NBR 5419 (2015) e a NBR 5419 (2005)</i>	48
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	50
3.1	Contextualização	50
3.2	Avaliação do Projeto Existente	51
3.3	Inspeção Visual	52
3.4	Ensaio de Continuidade Elétrica	53
3.5	Medição da Resistência de Aterramento	56
3.5	Avaliação da Necessidade de Readequação e Desenvolvimento de um Novo Projeto Conforme a Norma Vigente NBR 5419-2015	58
3.6	Propor um Cronograma de Manutenções Preventivas	59
4	RESULTADOS	61
4.1	Resultados da análise do projeto existente	61
4.2	Resultados da Inspeção Visual	66
4.3	Resultados dos ensaios de continuidade elétrica	74
4.4	Resultados das medições da resistência de aterramento	76
4.5	Resultados do novo projeto conforme a norma vigente NBR 5419-2015	77
4.6	Comparações entre o projeto Atualizado e o Projeto Existente	79
4.7	Cronograma de Manutenções Preventivas	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82

REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE A – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DOS BLOCOS 14,15,16,17	86
APÊNDICE B – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DO SUBSISTEMA DE DESCIDA E IDENTIFICAÇÃO DAS RESPECTIVAS CAIXAS DE INSPEÇÃO.....	87
APÊNDICE C – PROJETO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS CONFORME AS DIRETRIZES DA ABNT NBR 5419:2015.....	89

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como o país com a maior incidência de raios em todo o mundo, registrando anualmente cerca de 77,8 milhões de descargas atmosféricas. Esse fenômeno singular encontra suas raízes nas características geográficas do país, que se estende predominantemente na zona tropical, com ênfase na região central, onde as condições climáticas propiciam o surgimento de tempestades e relâmpagos, contribuindo para a ocorrência de incêndios, explosões e danos aos seres vivos (INPE, 2021).

A importância da segurança é inegável em todas as esferas da sociedade, alcançando destaque notável em ambientes onde a integridade física das pessoas e a proteção do patrimônio constituem prioridades irrefutáveis. O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas, objeto de estudo neste trabalho, representa um desses ambientes críticos. Assegurar a eficácia do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e medida de proteção contra surtos (MPS), se configura como uma das medidas cruciais para garantir a segurança nesse contexto.

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas instalado no Instituto Federal, de acordo com a norma ABNT NBR 5419 de 2005, foi implementado nos blocos 14 e 15 em 2013 e nos blocos 16 e 17 em 2018. No entanto, desde a instalação, não houve inspeções, o que pode comprometer a segurança das instalações. A norma permite a escolha entre atualizar o sistema para as normas vigentes ou mantê-lo conforme o projeto original, desde que esteja em perfeito funcionamento e com vistorias regulares.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como foco central verificar o estado atual do sistema instalado, avaliando se ele atende à norma vigente do ano de sua instalação e propondo uma readequação para atender à norma vigente. O estudo também comparou os benefícios de cada abordagem, considerando aspectos técnicos, operacionais e econômicos, identificando possíveis falhas e melhorias necessárias para garantir a segurança e a eficiência do sistema de proteção contra descargas atmosféricas do campus.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise detalhada do sistema de proteção contra descargas atmosféricas instalado nos blocos 14,15,16 e 17 do IFTO Campus Palmas,

inicialmente projetado conforme a norma NBR 5419:2005. Além disso, o desenvolvimento de um novo projeto de acordo com a norma vigente NBR 5419:2015 e analisada a necessidade de readequação do sistema existente para garantir sua conformidade com os padrões atuais de segurança.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar inspeção visual nos blocos 14, 15, 16 e 17 do IFTO Campus Palmas;
- Executar testes de continuidade elétrica nos subsistemas do SPDA atualmente instalado;
- Avaliar o Projeto Existente;
- Comparar o projeto em planta com o projeto executado;
- Desenvolver um novo projeto conforme a NBR 5419:2015;
- Avaliar a necessidade de readequação do sistema existente, identificando melhorias e correções conforme a legislação vigente;
- Propor um cronograma de manutenções preventivas.

1.2 Justificativa

As descargas atmosféricas são eventos naturais que representam sérios riscos, que podem resultar em incêndios, explosões, danos estruturais e, mais grave ainda, colocar vidas em perigo. Em ambientes institucionais, como o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, onde há grande circulação de estudantes, professores e servidores, garantir a segurança contra esses eventos é uma prioridade absoluta. Diante disso, a implementação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) eficaz não é apenas uma exigência normativa, mas uma necessidade inegociável para garantir um ambiente seguro.

O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) instalado nos blocos 14 e 15 em 2013 e nos blocos 16 e 17 em 2018 nunca passou por inspeções periódicas, o que levanta preocupações quanto à sua eficácia. Com o tempo, componentes podem sofrer desgastes, conexões podem apresentar falhas e a eficiência do sistema pode ser comprometida, tornando a proteção insuficiente diante de uma descarga atmosférica. A ausência de manutenção e monitoramento contínuo pode resultar em falhas críticas no sistema, aumentando consideravelmente os riscos para as instalações e seus ocupantes.

Além disso, a norma ABNT NBR 5419 sofreu atualizações em 2015, trazendo diretrizes mais rigorosas e completas para o dimensionamento e manutenção de SPDA. Isso reforça a necessidade de uma reavaliação detalhada do sistema atual, garantindo que ele esteja em conformidade com as exigências mais recentes e seja capaz de oferecer proteção efetiva.

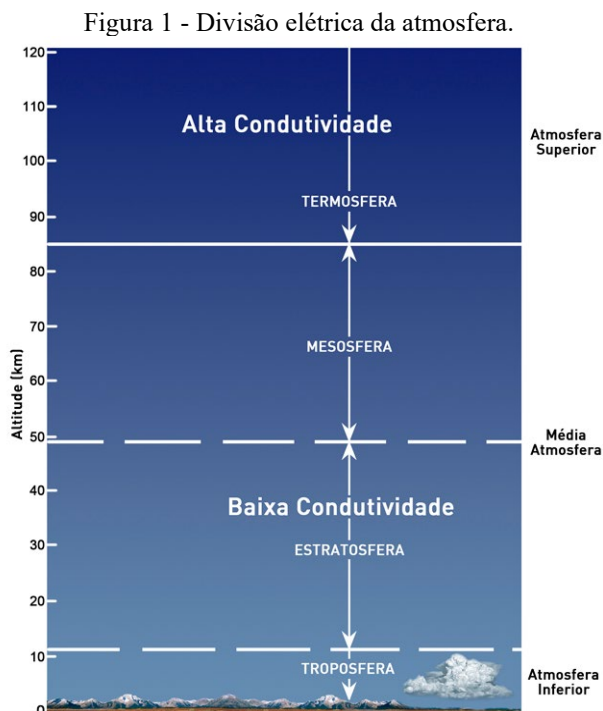
Este estudo justifica-se, portanto, pela necessidade urgente de verificar a conformidade e a eficiência do SPDA instalado no campus, além de propor um novo projeto atualizado com as melhores práticas normativas. A identificação de falhas, a implementação de melhorias e a elaboração de um plano de manutenção preventiva são fundamentais para assegurar um ambiente seguro, minimizando riscos e prevenindo possíveis tragédias. Além do impacto direto na segurança da comunidade acadêmica, este estudo também poderá servir como referência para outras instituições de ensino e edificações similares, contribuindo para a disseminação de boas práticas na área de proteção contra descargas atmosféricas.

Dessa forma, sua realização não apenas resguarda o IFTO – Campus Palmas, mas também fomenta a aplicação de medidas preventivas em outras localidades, promovendo a segurança de um número ainda maior de pessoas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estrutura elétrica da atmosfera

Atualmente já é de conhecimento na comunidade científica que as descargas atmosféricas ocorrem devido à presença de íons na atmosfera, cuja concentração determina a condutividade do ambiente. Quanto maior a concentração de íons em uma região, maior será a condutividade do meio. Esses íons são gerados principalmente pela interação entre os raios cósmicos e as partículas neutras da atmosfera, geralmente moléculas de nitrogênio e oxigênio, produzindo elétrons livres e íons positivos que se combinam com partículas neutras para formar íons negativos. Além disso, o decaimento radioativo de substâncias como o urânio e o gás radônio também contribui para a ionização atmosférica, especialmente em altitudes mais baixas. A Figura 1 ilustra a divisão elétrica da atmosfera, evidenciando que suas camadas inferior e média apresentam baixa condutividade devido à reduzida concentração de íons e à predominância de partículas neutras, o que limita a formação e permanência de íons. Por outro lado, a atmosfera superior possui maior concentração de íons, devido a fotoionização de átomos e moléculas pela radiação solar, gerando uma quantidade considerável de elétrons livres, resultando em maior condutividade (ELAT, 2024).



Fonte: ELAT (2024).

2.2 Formação e Mecanismos dos Raios

O raio é um fenômeno elétrico natural que ocorre durante tempestades, estando diretamente relacionado às condições atmosféricas. Esse fenômeno tem origem na separação de cargas elétricas no interior das nuvens, resultante das colisões entre partículas de gelo e água em movimento. Tais colisões, aliadas às correntes ascendentes de ar, provocam uma separação de cargas: as positivas tendem a se acumular na parte superior da nuvem, enquanto as negativas concentram-se na parte inferior.

À medida que a separação de cargas se acentua, forma-se uma diferença de potencial elétrico significativa entre a base da nuvem, carregada negativamente, e a superfície terrestre, carregada positivamente. Quando essa diferença de potencial torna-se suficientemente alta para superar a rigidez dielétrica do ar, ocorre uma descarga elétrica, o raio. Essa descarga pode atingir valores da ordem de centenas de megavolts e gerar correntes intensas.

A duração de uma descarga completa varia, em média, de meio a um terço de segundo, podendo, em casos mais raros, alcançar até dois segundos. No entanto, cada componente individual da descarga, conhecido como pulso de retorno, dura apenas frações de milissegundos (VISACRO FILHO, 2005; ELAT, 2023a.).

Uma vez iniciada a descarga elétrica, forma-se um canal ionizado, altamente condutor de eletricidade, ao longo do caminho percorrido pelo raio. O fluxo da corrente elétrica através desse canal provoca intenso aquecimento do ar circundante, resultando na emissão de um efeito luminoso conhecido como relâmpago.

Esse aquecimento súbito causa a rápida expansão do ar ao redor do canal ionizado, gerando uma onda de choque que se propaga como uma onda sonora, o trovão. O relâmpago é percebido quase instantaneamente por um observador distante, pois a luz se propaga a aproximadamente 300.000 km/s (3×10^8 m/s). Em contrapartida, o som se propaga a uma velocidade muito inferior, cerca de 343 m/s, fazendo com que o trovão seja ouvido segundos após o clarão, dependendo da distância entre o observador e o ponto de impacto do raio (FILHO, 2005).

A Tabela 1 apresentada a seguir estabelece uma correlação entre a frequência de ocorrência e a intensidade das descargas atmosféricas, auxiliando na compreensão estatística do fenômeno.

Tabela 1 - Porcentagem da Magnitude dos Raios.

Magnitude dos Raios	
0,1%	Excede 200kA
0,7%	Excede 100kA
6,0%	Excede 60kA
50%	Excede 15kA

Fonte: Adaptado de Marzagão (2021).

2.3 Classificação dos Raios

2.3.1 Classificação geral

A classificação geral dos raios depende da polaridade, isto é, se a conexão com o solo ocorre na base (polaridade negativa) ou no topo (polaridade positiva), e da direção da descarga, que indica a proximidade dos canais ionizados em relação ao solo e à nuvem. Esses aspectos são facilmente identificáveis a olho nu, especialmente ao observar o sentido de propagação das ramificações do raio (DANTAS, 2015). A Tabela 2 classifica o tipo de nuvem como ascendente ou descendente, subdividindo-as quanto ao tipo de descarga, positiva ou negativa, e fornecendo informações detalhadas sobre suas características e frequência de ocorrência. Já a Figura 2 apresenta um desenho detalhado.

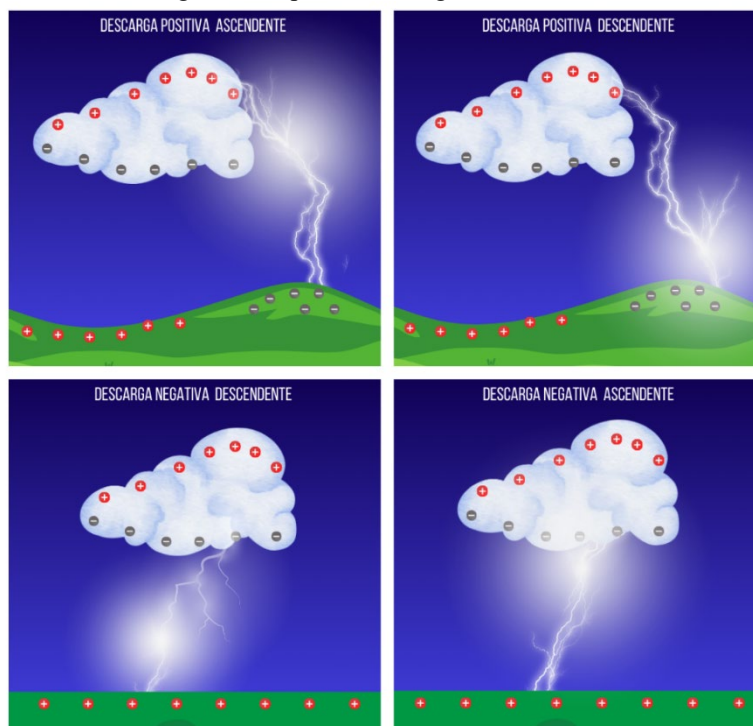
Tabela 2 - Tipificação geral das descargas atmosféricas.

DIREÇÃO		DESCARGA	CARACTERÍSTICA	FREQUÊNCIA
DESCENDENTE	Descargas atmosféricas descendentes são iniciadas por um líder descendente, da nuvem para a terra. Ocorre geralmente em locais planos e em estruturas mais baixas.	POSITIVA	O encontro dos canais se dá mais próximo ao solo. É um caso em que o topo (carregado positivamente) da nuvem se desloca em relação à base e se aproxima de alguma elevação, como uma montanha por exemplo.	Bem mais incomum que as descargas negativas devido ao cenário necessário para sua ocorrência.
		NEGATIVA	Os canais se encontram próximos à terra, e ocorrem entre a base da nuvem e o solo.	Na maioria dos casos e relevantes.
ASCENDENTE	Descargas atmosféricas ascendentes são iniciadas por um líder ascendente, de uma estrutura	POSITIVA	O encontro dos canais se dá mais próximo à nuvem. É um caso em que o topo (carregado positivamente) da nuvem se desloca em relação à base e se aproxima de alguma elevação.	Mais rara que as descargas negativas, e que as positivas descendentes.

	aterrada para a nuvem. Sua ocorrência é predominante em estruturas mais altas.	NEGATIVA	O encontro dos canais se dá mais próximo à nuvem, e a conexão acontece entre a base da nuvem (carregada negativamente) para a terra.	Relativamente raras. Principalmente em relevos elevados com altas construções.
--	--	----------	--	--

Fonte: Adaptado de Dantas (2015) e ABNT-NBR.5419:2015.

Figura 2 - Tipos de descargas atmosféricas.

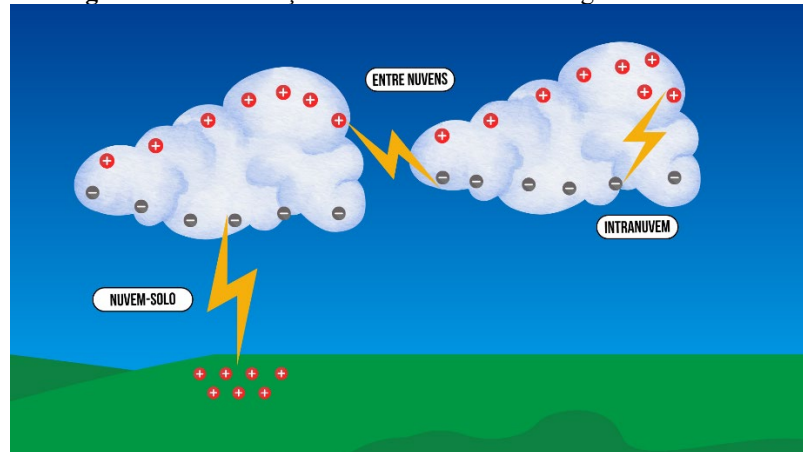


Fonte: Adaptado ELAT (2023b.).

2.3.2 Classificação pelo tipo de ocorrência

A Figura 3 apresenta as três principais categorias de raios, conforme descrito pelo ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica: nuvem-solo, intranuvem e nuvem-nuvem. As descargas nuvem-solo, embora menos frequentes, recebem grande atenção devido ao potencial de danos significativos, representando cerca de 99% dos raios que atingem o solo, enquanto o 1% restante corresponde a descargas solo-nuvem. As descargas intranuvem, que ocorrem dentro de uma mesma nuvem, são as mais comuns, correspondendo a aproximadamente 70% de todas as descargas atmosféricas. Já as descargas nuvem-nuvem acontecem quando um canal se forma entre duas nuvens distintas (ELAT, 2023b).

Figura 3 - Classificação de ocorrência de descargas atmosféricas.



Fonte: Adaptado INPE/ELAT (2023b.).

2.4 Densidade de Descargas Atmosféricas

O mapa de densidade de descargas atmosféricas gerado pelo ELAT/INPE para todo o território brasileiro, fornece a quantidade média de descargas atmosféricas que atingem a superfície de uma determinada região por quilômetro quadrado por ano (ABNT-NBR.5419:2015).

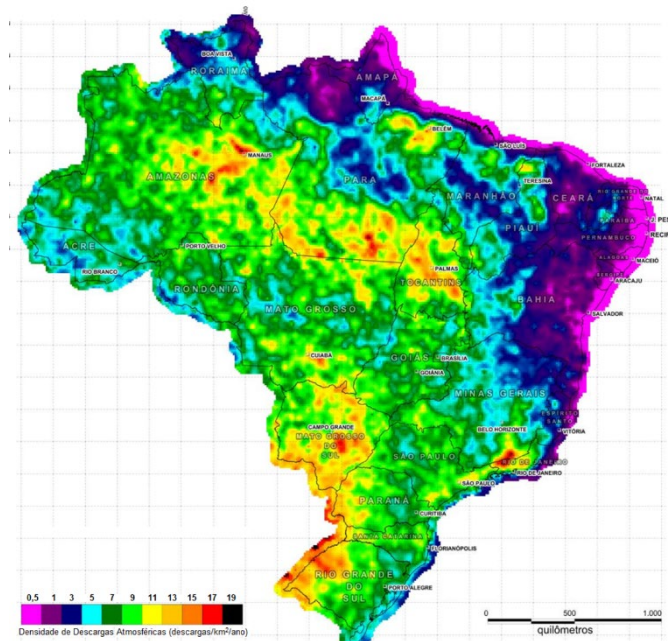
A probabilidade de uma estrutura ser atingida por um raio em um ano pode ser calculada multiplicando-se a densidade de descargas atmosféricas para a terra pela área de exposição equivalente da estrutura. A densidade de descargas atmosféricas para a terra (N_g) representa o número de raios que atingem a terra por quilômetro quadrado por ano. Esse valor (N_g) pode ser estimado utilizando a Equação 1.

$$N_g = 0,04 * T_d^{1,25} \text{ [por } km^2 \text{ / ano]} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde T_d é o número de dias de trovoadas por ano, obtido a partir de mapas isocerânicos (COUTINHO, 2003).

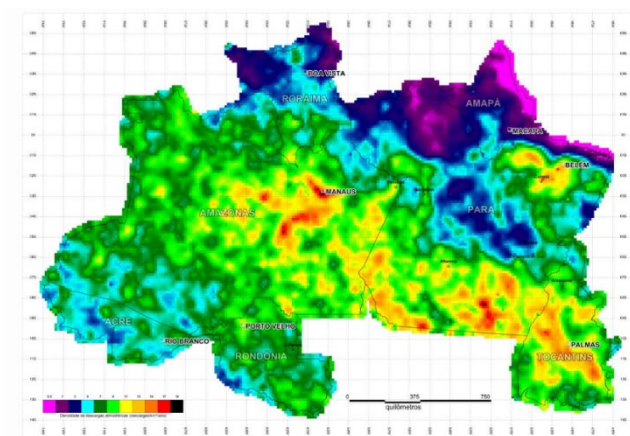
Conforme ilustrado na Figura 4 e detalhado de forma mais evidente na Figura 5, a região de Palmas, Tocantins, apresenta uma incidência significativamente elevada de descargas atmosféricas em comparação a outras regiões do Brasil. Esse panorama ressalta a necessidade de um projeto de proteção criterioso, especialmente em áreas de grande circulação de pessoas, como o IFTO Campus Palmas.

Figura 4 - Densidade de descargas atmosféricas NG – Mapa do Brasil (descargas atmosféricas/km²/ano).



Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

Figura 5 - Densidade de descargas atmosféricas NG – Mapa da região norte (descargas atmosféricas/km²/ano).



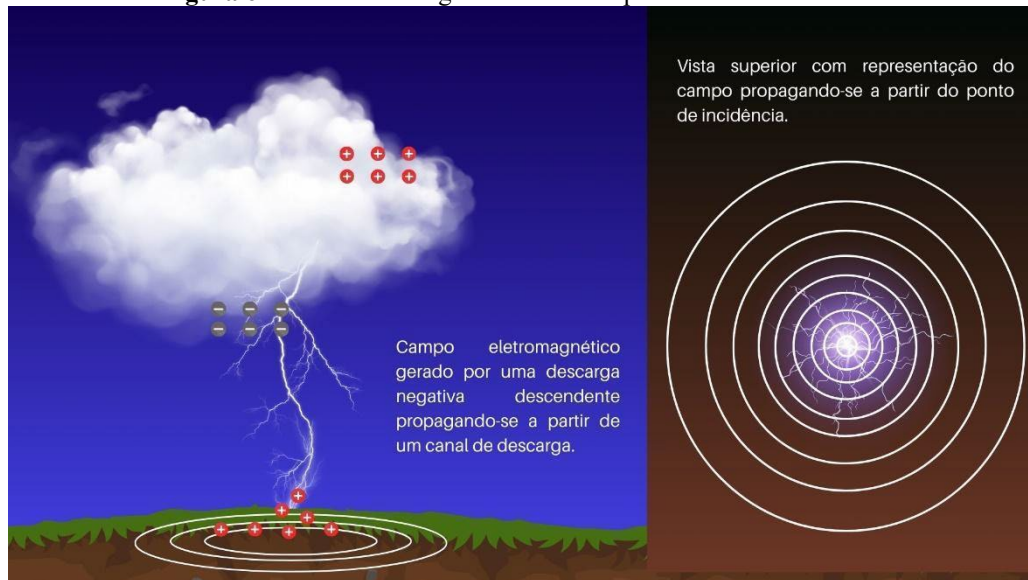
Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

2.5 Danos Causados por Descargas Atmosféricas

A gravidade dos danos ocasionados pelos raios "nuvem-solo" é determinada por diversos fatores, sendo a distância entre o evento e o objeto de estudo um dos mais importantes. Dentro desse contexto, podem ocorrer dois cenários distintos, conforme descrito por Visacro-Filho (2005):

Descarga indireta: São mais comuns do que as diretas, mas menos severas. Elas ocorrem quando um raio incide perto de uma vítima, estrutura ou sistema, gerando uma onda eletromagnética que se propaga a partir do canal do raio, como ilustrado na Figura 6. Esta onda pode induzir tensões em condutores e causar interferência eletromagnética. A intensidade desses efeitos é proporcional à taxa de variação da corrente de retorno do raio. Tensões induzidas em linhas de energia e comunicação podem ser significativas, atingindo centenas de quilovolts, mesmo a 200 metros de distância do ponto de impacto do raio.

Figura 6 - Onda eletromagnética irradiada pela corrente de retorno.



Fonte: Adaptado de Visacro-Filho (2005).

Descarga direta: Responsável pelos efeitos mais severos do fenômeno. Quando atinge diretamente seres vivos (como ilustrado na Figura 7), prédios, estruturas e sistemas elétricos, os raios podem causar destruição, incêndios e, eventualmente, morte.

Figura 7 - Jogador de futebol atingido por descarga direta em área descampada elevada.



Fonte: Adaptado de Visacro-Filho (2005).

2.5.1 Danos à Estrutura

Conforme a ABNT-NBR 5419:2015, uma descarga atmosférica que atinge uma estrutura pode causar danos físicos imediatos, incêndios e até mesmo explosões, afetando uma ou mais estruturas vizinhas. Além disso, se o sistema interno for afetado, podem ocorrer falhas ou mau funcionamento devido a sobretensões induzidas nas linhas de entrada da estrutura. As situações a serem consideradas, com base na posição do ponto de impacto em relação à estrutura, são as seguintes:

- a) S₁: Descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S₂: Descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- c) S₃: Descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
- d) S₄: Descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

As descargas atmosféricas podem causar três tipos básicos de danos:

- a) D₁: Danos às pessoas devido a choque elétrico;
- b) D₂: Danos físicos, como fogo, explosão, destruição mecânica e liberação de produtos químicos, causados pelos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, incluindo centelhamento;

c) D₃: Falhas de sistemas internos devido a LEMP (Pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas).

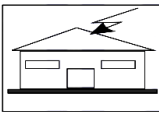
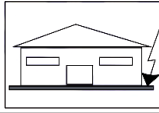
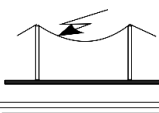
2.5.2 Tipos de Perdas

Diferentes tipos de danos à estrutura podem resultar em diversas perdas, dependendo das características do elemento afetado. De acordo com a ABNT NBR 5419, os seguintes tipos de perdas são considerados como consequência de danos relevantes à estrutura:

- a) L₁: Perda de vida humana, incluindo danos permanentes.
- b) L₂: Perda de serviço ao público.
- c) L₃: Perda de patrimônio cultural.
- d) L₄: Perda de valor econômico, envolvendo a estrutura, seu conteúdo e interrupções de atividades.

É importante observar que apenas os suprimentos de água, gás, energia e sinais de TV e telecomunicações são considerados como serviços ao público para efeitos da ABNT NBR 5419. As perdas dos tipos L₁, L₂ e L₃ são vistas como perdas de valor social, enquanto as perdas do tipo L₄ são consideradas puramente econômicas. A correspondência entre fonte de danos, tipo de danos e perdas é detalhada na Figura 8.

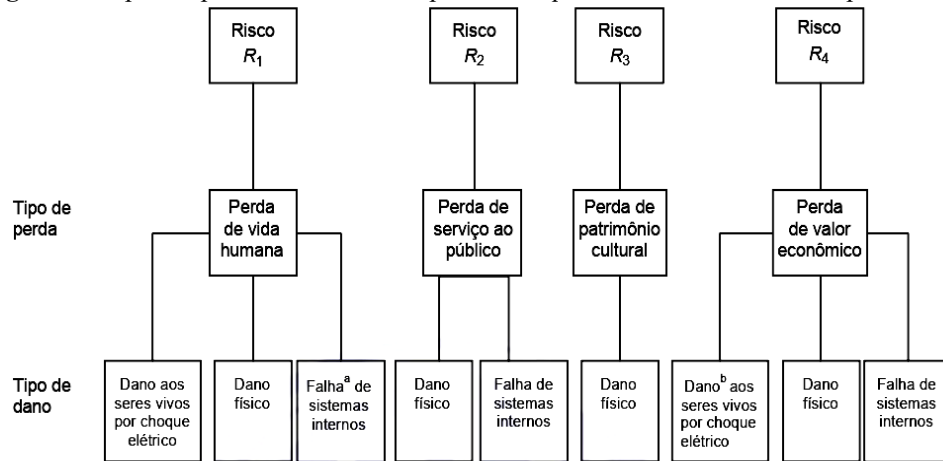
Figura 8 - Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.

Ponto de impacto		Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica		S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais. ^b Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.				

Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

A Figura 9^{ab} ilustra os tipos de perdas e os riscos correspondentes que surgem de diferentes formas de danos.

Figura 9 - Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.



Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

2.5.3 Danos aos Seres Vivos

As mortes ou ferimentos causados pelas descargas atmosféricas ocorrem devido ao fluxo de corrente elétrica pelo corpo humano. Esses incidentes podem ser classificados em dois tipos: aqueles associados à incidência direta de descargas e aqueles em que a corrente de uma descarga próxima é transmitida por um corpo condutor e afeta seres posicionados a alguma distância do ponto de incidência. Muitas vezes, condutores de energia e comunicação e corpos metálicos, como cercas de arame, muitas vezes são responsáveis por essa transferência de corrente (VISACRO-FILHO, 2005). Algumas situações típicas de acidente por descarga, associadas à incidência direta, são representadas na Figura 10.

^a Somente para hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.

^b Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais.

Figura 10 - Situações típicas de acidente por descarga associadas à incidência direta.
a) Descarga direta b) Descarga por contato c) Descarga lateral



Fonte: De autoria própria.

2.5.3.1 Descarga Direta

Quando uma pessoa é atingida diretamente por um raio, a corrente se divide em dois caminhos: interno (corrente volumétrica) e externo (corrente superficial). A corrente interna é a mais perigosa, geralmente resultando em parada cardiorrespiratória e consequente óbito. A corrente superficial causa queimaduras, que, embora graves, são menos nocivas do que a corrente interna. A sobrevivência da vítima em uma descarga direta depende principalmente das condições da pele e das roupas no momento do impacto. Por exemplo, se a pele e as roupas estiverem molhadas, a corrente superficial aumentará devido à diminuição da resistência elétrica. Isso, por sua vez, aumenta as chances de sobrevivência da pessoa afetada (VISACRO-FILHO, 2005).

2.5.3.2 Descarga lateral

Quando uma descarga atmosférica atinge objetos elevados, como árvores, a corrente de retorno pode buscar caminhos de menor resistência, formando arcos no ar que conectam esses objetos condutores ao solo. Isso pode resultar em descargas elétricas no ar, fechando um circuito entre as árvores atingidas e pessoas ou animais abrigados sob elas. As faíscas podem saltar dos ramos para as cabeças das vítimas ou dos troncos para os corpos delas. A gravidade desses acidentes é semelhante à das descargas diretas, já que em ambos os casos a vítima é percorrida por uma parcela significativa da corrente principal da descarga (VISACRO-FILHO, 2005).

2.5.3.3 Descarga por contato

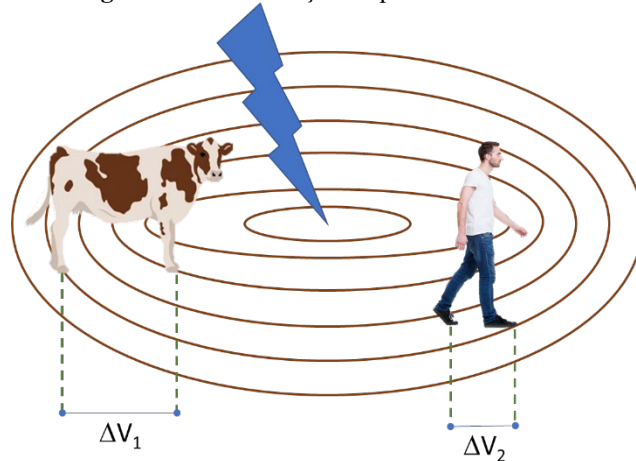
A descarga por contato ocorre quando a vítima está em contato direto com um objeto condutor que faz parte do caminho da corrente de descarga em direção ao solo. Nesse tipo de ocorrência, uma parte da corrente elétrica pode passar pelo corpo da vítima e ser drenada para o solo através dela. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando alguém está em contato com o tronco de uma árvore atingida por um raio. A gravidade desse tipo de acidente está relacionada à intensidade da corrente que percorre o corpo da vítima, sendo influenciada pela relação de impedância entre o corpo da vítima e o objeto condutor. Em alguns casos, a descarga por contato pode ser ainda mais perigosa que a descarga lateral, dependendo das condições específicas do ambiente e dos materiais envolvidos (VISACRO-FILHO, 2005).

2.5.3.4 Acidentes por tensão de passo

Corresponde à diferença de potencial elétrico entre os pés de uma pessoa ou animal quando ambos estão em contato com o solo, mas afastados por uma distância conhecida como "passo". Essa diferença de potencial surge devido à distribuição de corrente elétrica no solo, frequentemente causada por fenômenos como descargas atmosféricas (raios) ou falhas no sistema de aterramento. Em casos de raios, que possuem alta intensidade e curta duração, a diferença de potencial resultante no solo induz correntes no corpo humano capazes de causar perda de sentidos, desmaios e, em casos raros, até levar ao óbito. No entanto, esse mesmo efeito não se observa em animais ruminantes de grande porte. Isso ocorre porque a distância entre suas patas traseiras e dianteiras faz com que relatos de mortes em grande escala sejam comuns nos pastos, especialmente quando esses animais estão próximos a árvores durante uma tempestade (DANTAS, 2015).

A Figura 11 ilustra a distribuição de potenciais no solo próximo a uma descarga, seja diretamente no solo ou em estruturas aterradas, proporcionando uma melhor compreensão desse fenômeno elétrico. É fundamental estar ciente dessas questões e adotar medidas de segurança adequadas em ambientes propensos a riscos elétricos para garantir a proteção de seres humanos e animais durante tais eventos (DANTAS, 2015).

Figura 11 - Distribuição de potenciais no solo.



Fonte: Adaptado de Dantas (2015).

2.6 Necessidade e Vantagem Econômica da Proteção Contra Descargas Atmosféricas

2.6.1 Necessidade da proteção contra descargas atmosféricas

A proteção é avaliada para minimizar as perdas de valor social (L_1 , L_2 , L_3). Para determinar a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas, é fundamental realizar uma avaliação de risco conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 5419-2. Deve-se considerar os seguintes riscos.

- a) R_1 : risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- b) R_2 : risco de perdas de serviços ao público;
- c) R_3 : risco de perdas do patrimônio cultural.

A proteção contra descargas atmosféricas é essencial quando o risco (R_1 a R_3) excede o nível tolerável RT . Nesse cenário, medidas de proteção devem ser implementadas para reduzir o risco (R_1 a R_3) ao nível aceitável RT .

2.6.2 Vantagem econômica da proteção contra descargas atmosféricas

Avalia-se o benefício econômico das medidas de proteção para reduzir a perda econômica L_4 . Se o custo das perdas residuais (CRL) mais o custo das medidas de proteção (CPM) for menor que a perda total sem proteção (CL), então a proteção é economicamente vantajosa (ABNT-NBR.5419:2015), a Equação 2 evidencia a operação desta avaliação.

$$CRL + CPM < CL \quad (\text{Eq. 2})$$

Essas diretrizes ajudam a determinar quando e como implementar medidas de proteção contra descargas atmosféricas, equilibrando segurança e custos.

2.7 Medidas de proteção conforme a ABNT-NBR.5419:2015

2.7.1 Medidas de proteção para reduzir danos a pessoas devido a choque elétrico

- Isolação de partes condutoras expostas.
- Equipotencialização por aterramento em malha.
- Restrições físicas e avisos.
- Ligação equipotencial para descargas atmosféricas (LE).

2.7.2 Medidas de proteção para redução de danos físicos

A proteção é alcançada por meio de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) o qual inclui as seguintes características:

- Subsistema de captação.
- Subsistema de descida.
- Subsistema de aterramento.
- Equipotencialização para descargas atmosféricas (EB).
- Isolação elétrica e distância de segurança.

2.7.3 Proteção de sistemas elétricos e eletrônicos

Medidas de proteção contra surtos (MPS) incluem:

- Aterramento e equipotencialização.
- Blindagem magnética.
- Roteamento da fiação.
- Interfaces isolantes.
- Sistema de DPS coordenado.

2.7.4 Critérios básicos para proteção de estruturas

- Idealmente, a estrutura deve ser envolvida por uma blindagem contínua e aterrada.
- Na prática, a total proteção é inviável, e a falta de continuidade pode causar danos físicos e falhas dos sistemas internos.
- Medidas devem ser projetadas para parâmetros específicos das correntes das descargas atmosféricas e conforme o nível de proteção requerido.

2.8 Zonas de proteção contra descarga atmosférica (ZPR)

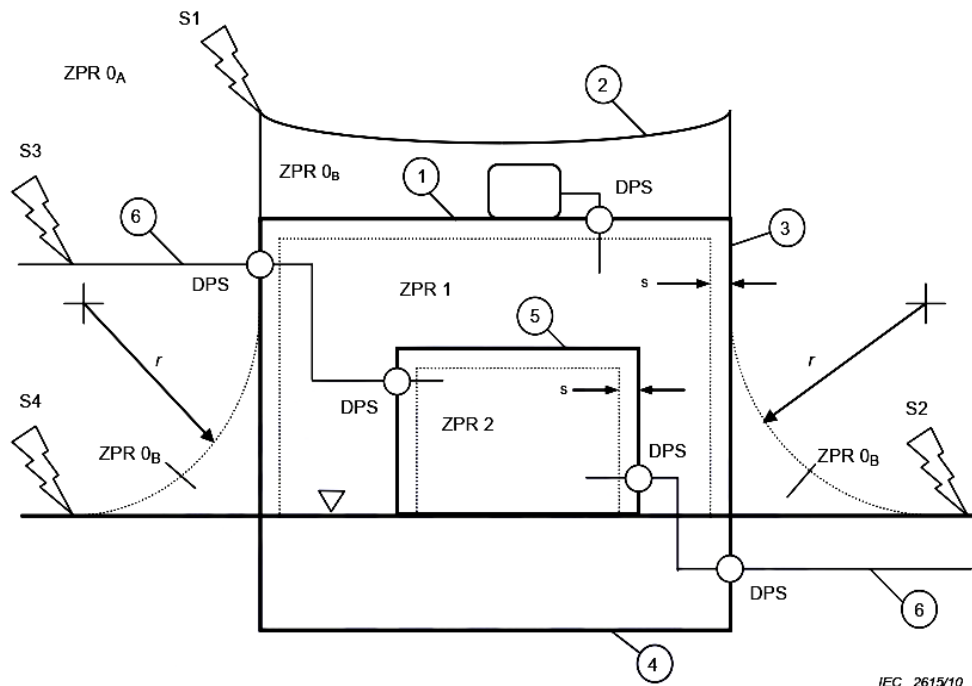
As Zonas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (ZPR), conforme a ABNT NBR 5419-1:2015, definem áreas com diferentes níveis de exposição a surtos eletromagnéticos causados por descargas atmosféricas, sendo delimitadas por medidas de proteção como SPDAs, condutores de blindagem, blindagens magnéticas e Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS).

- ZPR 0A: Área mais exposta, sujeita ao impacto direto de raios e ao campo eletromagnético total, com possibilidade de circulação de corrente total ou parcial da descarga atmosférica.
- ZPR 0B: Protegida contra o impacto direto, mas ainda exposta ao campo eletromagnético total, com possibilidade de corrente parcial.
- ZPR 1: Área com proteção mais eficaz, onde a corrente de surto é reduzida por divisões de corrente e dispositivos isolantes ou DPS, além de blindagens espaciais para atenuar o campo eletromagnético.
- ZPR 2 e superiores: Áreas com proteção mais robusta, onde o campo eletromagnético e as correntes de surto são ainda mais limitados, aplicando-se múltiplos níveis de blindagem e DPS adicionais.

A Figura 12 apresenta de forma esquemática a definição das ZPR, evidenciando a gradação de proteção desde a ZPR 0A, mais exposta ao impacto direto e ao campo eletromagnético total, até as zonas internas com proteção progressivamente maior, como ZPR 1 e ZPR 2.

O conceito de ZPR visa garantir que os equipamentos e estruturas estejam em zonas adequadamente protegidas, compatíveis com sua capacidade de suportar surtos eletromagnéticos, reduzindo o risco de danos físicos e falhas em sistemas eletrônicos.

Figura 12 - Zonas de proteção (ZPR's).



Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

2.9 Níveis de Proteção

A norma define quatro níveis de proteção para SPDA, de acordo com o risco e o tipo de estrutura:

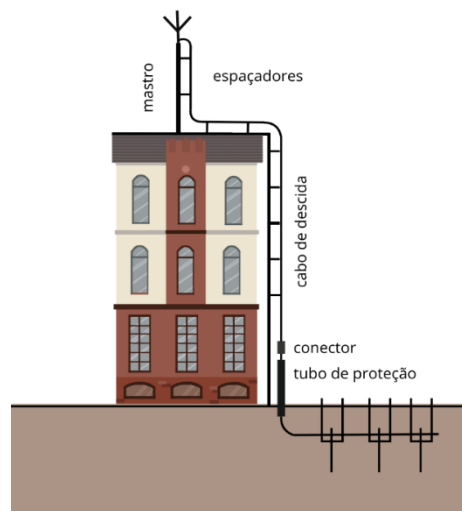
- **Nível I:** Máxima proteção, aplicado a estruturas críticas onde falhas podem afetar áreas vizinhas ou o meio ambiente, como depósitos de explosivos, produtos tóxicos ou radioativos.
- **Nível II:** Alto nível de proteção para estruturas com danos significativos ou perda de bens históricos e risco de pânico, como museus e ginásios esportivos.
- **Nível III:** Proteção padrão para estruturas comuns, como residências, escritórios e fábricas não classificadas como áreas de risco.
- **Nível IV:** Proteção mínima, para estruturas não inflamáveis, de pouco acesso ao público e conteúdo não inflamável, como depósitos de concreto ou produtos agrícolas.

2.10 Métodos de Proteção

2.10.1 Captor Franklin - Volume/ângulo de Proteção Provido por Mastro

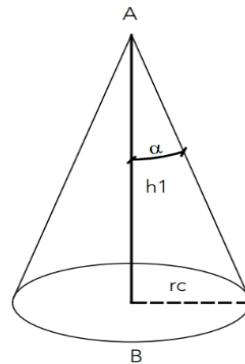
Conforme apresentado por Dantas (2015), o método do ângulo de proteção consiste em atrair as descargas atmosféricas por meio de um ou mais mastros metálicos, estrategicamente posicionados nos pontos mais altos da estrutura. Esses mastros estão conectados aos condutores de descida, os quais são sustentados por espaçadores, garantindo o caminho seguro da corrente elétrica até o solo, conforme exemplificado na Figura 13.

Figura 13 - Componentes dos para-raios Franklin.



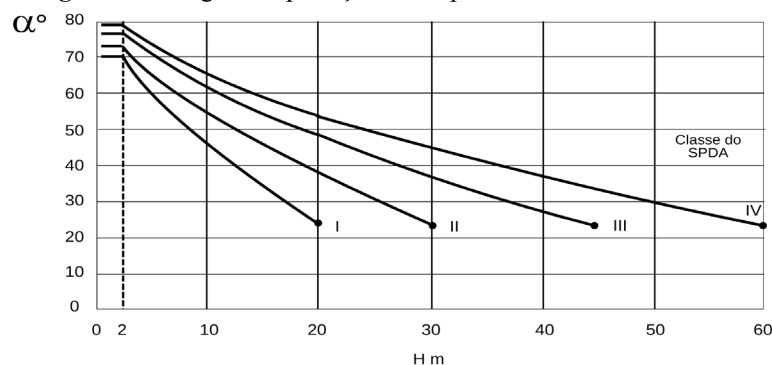
Fonte: Adaptado de Dantas (2015).

O método do volume de proteção provido por mastro é empregado em estruturas de área horizontal reduzida e altura limitada, conforme a classe do SPDA a ser instalado. Sua função é proporcionar proteção, realizada por meio de um cone que tem seu vértice na extremidade superior do captor e cuja linha que o liga forma um ângulo α em relação à vertical (Figura 14). Se a área abrangida pelo cone for menor que a área total da edificação a ser protegida, mais de um captor deve ser instalado na edificação a fim de protegê-la em sua totalidade (ABNT NBR 5419, 2015; SOUZA, 2014).

Figura 14 - Volume de proteção provido por mastro.

Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

Ao realizar uma comparação entre as versões da ABNT NBR 5419, nota-se que houve uma ampliação no volume de proteção dos captores tipo Franklin em relação às edições anteriores, resultado da atualização no método de cálculo do ângulo de proteção. A partir de então, o cálculo considera a altura do captor em relação ao plano de referência da área a ser protegida, além do nível de proteção adotado (I, II, III ou IV), conforme ilustrado na Figura 15. Para alturas do captor (H, m) superiores aos limites das curvas das classes I a IV, apenas os métodos da esfera rolante e das malhas são aplicáveis. A altura H é definida como a distância do captor ao plano de referência da área a ser protegida, enquanto o ângulo α se mantém constante para alturas H inferiores a 2 metros.

Figura 15 - Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.

Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

2.10.2 Gaiola de Faraday – Método das Malhas

A gaiola de Faraday é uma estrutura condutora que atua como uma blindagem eletrostática, impedindo a penetração de campos elétricos em seu interior. Isso ocorre porque as cargas elétricas induzidas se distribuem na superfície do condutor, anulando o campo interno, conforme descrito pelas equações de Maxwell para campos eletrostáticos. Aplicada à proteção de edificações, a instalação de uma malha de captores condutores interligados permite a

dissipação segura de descargas atmosféricas, garantindo a segurança dos ocupantes e dos equipamentos internos. (TAVEIRA,2017).

Embora o campo seja anulado no centro da gaiola, perto dos condutores pode haver uma indução de tensões em sistemas elétricos próximos. Para maior proteção, é recomendável envolver a estrutura com uma caixa metálica de paredes soldadas e espessas, para resistir ao impacto térmico de um raio. Contudo, devido à infrequência dessa solução, o método de Faraday envolve a instalação de um sistema de captos compostos por condutores horizontais interligados em forma de malha. A distância entre esses condutores ou a abertura da malha está ligada ao nível desejado de proteção (COUTINHO, 2003).

Conforme a norma ABNT NBR 5419-3:2015, o método das malhas é apropriado para aplicação em superfícies planas, incluindo telhados horizontais e inclinados sem curvatura. Além disso, este método é indicado para proteger superfícies laterais planas contra o impacto de descargas atmosféricas laterais. Para tanto, os seguintes requisitos devem ser cumpridos:

- a) condutores captos devem ser instalados: — na periferia da cobertura da estrutura;
- b) as dimensões de malha não podem ser maiores que os valores encontrados na Tabela 3;
- c) o conjunto de condutores do subsistema de captação deve ser construído de tal modo que a corrente elétrica da descarga atmosférica sempre encontre pelo menos duas rotas condutoras distintas para o subsistema de aterramento;
- d) Nenhuma instalação metálica, que por suas características não possa assumir a condição de elemento captor, ultrapasse para fora o volume protegido pela malha do subsistema de captação.
- e) os condutores da malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível da instalação.

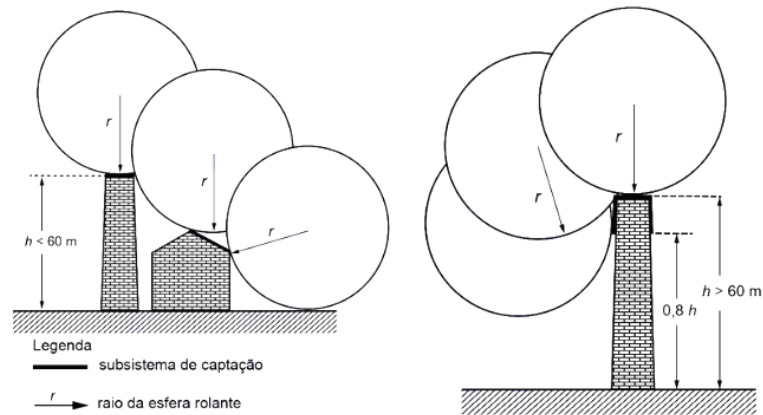
2.10.3 Método da esfera rolante

O posicionamento correto do subsistema de captação, ao aplicar o método da esfera rolante, ocorre quando nenhum ponto da estrutura a ser protegida entra em contato com uma esfera fictícia que rola ao redor e sobre a estrutura em todas as direções possíveis. O raio, r , dessa esfera é determinado pela classe do SPDA, conforme indicado na Tabela 3. Sendo assim, a esfera somente poderá tocar o próprio subsistema de captação (ABNT NBR 5419-3, 2015)

Para estruturas com altura superior ao raio " r " da esfera, o impacto direto pode ocorrer nas laterais, mas é geralmente negligenciável para edificações com menos de 60 m de altura.

Acima de 60 m, é mais provável que descargas atinjam a cobertura, especialmente nas extremidades, e é recomendado instalar dispositivos de captação nas laterais superiores, o método da esfera rolante é representado na Figura 16.

Figura 16 - Projeto do subsistema de captação conforme o método da esfera rolante.



Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

Tabela 3 - Valores máximos dos raios da esfera rolante e tamanho da malha correspondentes a classe do 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
II	30	10 x 10
III	45	15 x 15
IV	60	20 x 20

Fonte: Adaptado de MARZAGÃO (2021).

2.11 Subsistema de aterramento

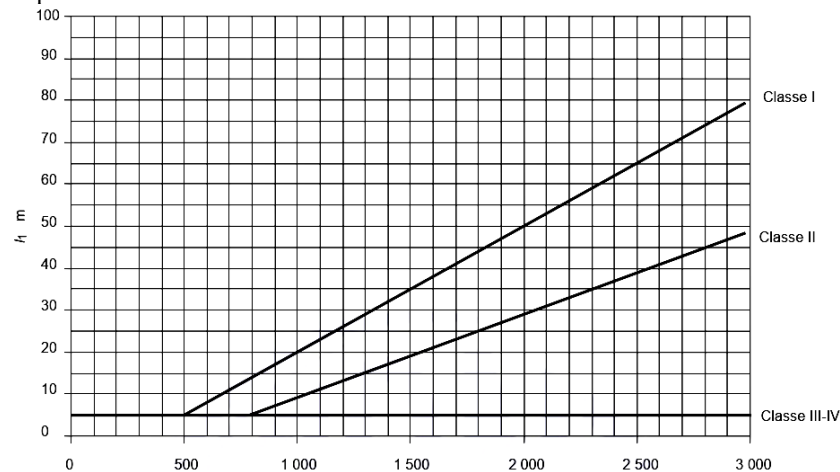
A malha de aterramento desempenha a função de receber as correntes elétricas provenientes dos condutores de descida e dissipá-las de forma segura no solo. Além disso, ela equaliza os potenciais entre os condutores de descida e o solo, garantindo maior segurança. É essencial priorizar as áreas frequentadas por pessoas, adotando medidas para minimizar as tensões de passo nesses locais e reduzir o risco de choques elétricos. O sistema é constituído por hastes de aterramento, cabos de cobre nu e caixas projetadas para inspeção e manutenção periódica. A norma 5419:2015 cita:

Quando se tratar da dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, o método mais importante de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento. Deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local.

Sob o ponto de vista da proteção contra descargas atmosféricas, uma única infraestrutura de aterramento integrada é preferível e adequada para todos os propósitos, ou seja, o eletrodo deve ser comum e atender à proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal (telecomunicações, TV a cabo, dados etc.) (ABNT NBR 5419-3:2015, item 5.4.1).

Quando as fundações não puderem ser utilizadas como aterramento, a ABNT NBR 5419 recomenda a instalação de um arranjo em anel, que deve estar em contato com o solo por pelo menos 80% de seu comprimento total. Além disso, é necessário garantir a continuidade elétrica em todo o anel. O raio médio (r_e) da área abrangida pelo arranjo deve ser maior ou igual ao comprimento mínimo do eletrodo (l_1), conforme especificado para cada classe de SPDA. Essa relação é ilustrada na Figura 17.

Figura 17 - Comprimento mínimo l_1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.



Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

Os eletrodos de aterramento em anel devem ser enterrados a pelo menos 0,5 m de profundidade e dispostos a 1m das paredes externas. É fundamental que sua instalação permita inspeção e minimize os efeitos da corrosão e do ressecamento do solo, estabilizando sua eficiência. Em situações técnicas que impeçam a construção do anel externo, ele pode ser instalado internamente, desde que medidas para reduzir tensões superficiais sejam adotadas (ABNT NBR 5419-3, 2015).

2.12 Materiais

De acordo com a NBR 5419-3:2015, a seleção dos materiais e suas dimensões deve levar em conta a possibilidade de corrosão, tanto na estrutura protegida quanto no próprio SPDA. As tabelas a seguir apresentam as especificações das configurações e das áreas de seção mínima dos condutores, a Tabela 4 descreve os requisitos para os subsistemas de captação e descida, enquanto a Tabela 5 fornece as configurações e dimensões mínimas dos condutores do subsistema de aterramento.

Tabela 4 - Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas.

Material	Configuração	Área da seção mínima mm²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondamento maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoadado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondamento maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondamento maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondamento maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30% ^c	Arredondamento maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64%	Arredondamento maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente ^a	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondamento maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
	Arredondamento maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável ^c	Fita maciça	50	Diâmetro 2 mm
	Arredondamento maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoadado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 1,7 mm
	Arredondamento maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm

^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 [1].

^b Aplicável somente a minicaptadores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.

^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16%, níquel 8%, carbono 0,07%.

^d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5%, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2%.

^e A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30% IACS (*International Annealed Copper Standard*).

NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 5 sejam atendidas.

NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

Tabela 5 - Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento.

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado ^c	-	50 mm ²	Diâmetro de cada fio da corda: 3 mm
	Arredondado maciço ^c	-	50 mm ²	Diâmetro: 8 mm
	Fita maciça ^c	-	50 mm ²	Espessura: 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	-	Espessura da parede: 2 mm
	Tubo	20 mm	-	Espessura da parede: 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço ^{d, b}	16 mm	10 mm	-
	Tubo ^{a, b}	25 mm	90 mm ²	Espessura da parede: 2 mm
	Fita maciça ^a	-	90 mm ²	Espessura: 3 mm
	Encordoado	-	70 mm ²	-
Aço cobreado	Arredondado maciço ^d Encordoado ^g	12.7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da corda: 3.45 mm
Aço inoxidável	Arredondado maciço Fita maciça	15 mm	Diâmetro 10 mm 100 mm ²	Espessura mínima: 2 mm

a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323.

b Aplicável somente a mini captores. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1m.

c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16%, níquel 8 %, carbono 0,07%.

d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5%, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2%.

e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender às prescrições desta tabela .

f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (International Annealed Copper Standard).

g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Fonte: ABNT-NBR.5419:2015.

2.13 Medidas de proteção contra surtos - MPS

As MPS têm como função proteger sistemas elétricos e eletrônicos contra sobretensões transitórias, causadas por descargas atmosféricas ou manobras na rede elétrica. Essas

sobretensões podem danificar equipamentos, interromper operações e gerar custos elevados com manutenção. As técnicas aplicadas incluem aterramento, equalização de potenciais, blindagem, roteamento de linhas, instalação coordenada de Dispositivos de Proteção contra Surtos e o uso de interfaces isolantes.

2.13.1 Seleção de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS)

Os DPS são elementos fundamentais das Medidas de Proteção contra Surtos, projetados para desviar e limitar sobretensões transitórias, impedindo que estas atinjam e danifiquem equipamentos sensíveis. Sua função principal é proporcionar um caminho alternativo para a corrente de surto, direcionando-a ao sistema de aterramento e reduzindo a tensão aplicada aos dispositivos protegidos (PAULINO, 2016).

Para garantir a eficácia da proteção, é fundamental compreender e analisar os parâmetros técnicos dos DPS. A escolha do modelo adequado dependerá das características do sistema elétrico, dos equipamentos a serem protegidos e do nível de proteção desejado. A Tabela 6 apresenta alguns parâmetros que devem ser apresentados pelo fabricante (ABNT NBR IEC 61643-1). A Figura 18 ilustra um exemplo de dispositivo de proteção contra surtos.

Tabela 6 - Parâmetros e características dos dispositivos de proteção.

Termo	Descrição
Corrente de Curto-Circuito (I_p)	Corrente máxima que pode ocorrer em um curto-circuito.
Corrente Nominal de Descarga (I_n)	Pico repetido que o Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) suporta com a forma de onda da corrente induzida.
Máxima Corrente de Descarga ($I_{máx}$)	Valor extremo suportado pelo DPS na mesma forma de onda da corrente induzida.
Corrente de Impulso (I_{imp})	Caracteriza surtos intensos medidos com uma forma de onda de uma descarga direta.
Tensão Nominal (U_n)	Tensão do sistema elétrico à qual o DPS deve ser compatível.
Tensão c)	Tensão máxima que o DPS pode suportar continuamente sem ativação.
Nível de Proteção de Tensão (U_p)	Tensão residual que o DPS permite passar para os equipamentos protegidos; valores menores indicam maior proteção.

Fonte: ABNT NBR IEC 61643-1.

Figura 18 - Dispositivo de proteção contra surtos.



Fonte: CLAMPER (2025).

Os DPS são classificados em três categorias principais, conforme sua aplicação e capacidade de absorção de energia (ABNT NBR IEC 61643-1:2007):

1. DPS Classe I: Projetado para suportar descargas atmosféricas diretas na estrutura ou no SPDA. Esses dispositivos são instalados no quadro geral de distribuição e devem ser capazes de suportar correntes impulsivas de alta energia, tipicamente superiores a 12,5 kA.
2. DPS Classe II: Destinado à proteção contra sobretensões induzidas e conduzidas ao longo das linhas elétricas. São instalados em quadros de distribuição secundários, reduzindo a amplitude das sobretensões que ainda possam estar presentes após a primeira barreira de proteção (DPS Classe I). Esses dispositivos devem suportar correntes nominais de descarga na faixa de 5 a 20 kA.
3. DPS Classe III: Utilizado para a proteção direta de equipamentos sensíveis, evitando danos causados por surtos residuais que não foram eliminados pelas camadas anteriores de proteção. São instalados próximos aos dispositivos a serem protegidos, como computadores, servidores e sistemas de automação. Normalmente, esses DPS têm capacidade de descarga menor, mas oferecem um nível de proteção de tensão mais baixo ($U_p \leq 1,5 \text{ kV}$), garantindo maior segurança para circuitos eletrônicos delicados.

Para obter um sistema de proteção eficaz, recomenda-se a implementação de uma proteção em cascata, utilizando DPS de diferentes classes em pontos estratégicos da instalação elétrica. Esse método assegura uma proteção gradual e eficiente contra surtos de diferentes intensidades, minimizando os riscos de falha em equipamentos críticos.

2.13.2 Blindagem Magnética e Roteamento de Linhas

A blindagem de linhas consiste na utilização de cabos ou dutos blindados, os quais reduzem significativamente a incidência de surtos induzidos internamente. Essa estratégia é especialmente eficaz em ambientes industriais, onde a alta densidade de equipamentos sensíveis exige um nível superior de proteção contra interferências eletromagnéticas.

Outra estratégia fundamental, conforme preconizado pela NBR 5419, é o roteamento adequado das linhas elétricas e de comunicação. Este processo visa minimizar os efeitos da indução eletromagnética, promovendo o posicionamento estratégico dos cabos de forma que se evitem a formação de laços de indução e se reduza o acoplamento com fontes externas de interferência. Ao adotar essas práticas de roteamento, é possível garantir que os sistemas operem de maneira mais segura e eficiente, minimizando o risco de falhas e danos.

Além disso, a redução da área dos laços de indução, conforme ilustrado na Figura 19 - Redução do valor da tensão induzida devido à redução da área dos laços formados pelas linhas de alimentação e de comunicação., resulta diretamente na diminuição da tensão induzida. O controle do roteamento das linhas, ao minimizar esses loops, e o uso de cabos blindados ou dutos metálicos, que mitigam a indução interna, são medidas complementares que contribuem para a proteção global do sistema.

Figura 19 - Redução do valor da tensão induzida devido à redução da área dos laços formados pelas linhas de alimentação e de comunicação.

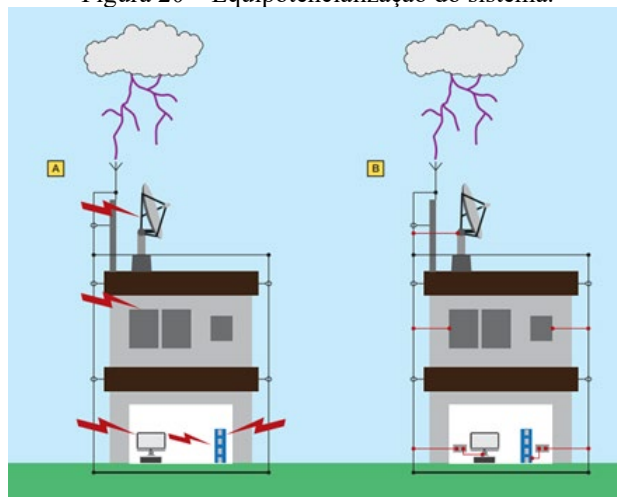


Fonte: PAULINO (2016).

2.13.3 Equipotencialização e Aterramento

A equipotencialização consiste na interligação de elementos metálicos condutores para estabelecer um mesmo potencial elétrico em toda a instalação. Esse processo impede a formação de diferenças de tensão que poderiam gerar correntes perigosas, especialmente durante eventos de surtos ou descargas atmosféricas. De acordo com a NBR 5419, a equipotencialização deve abranger condutores de proteção, estruturas metálicas, tubulações e o sistema de aterramento. O uso de barramentos equipotenciais em quadros elétricos e a interligação adequada de todos os elementos condutores são práticas essenciais para reduzir os efeitos de sobretensões e melhorar a segurança do sistema. A Figura 20 – Equipotencialização do sistema. ilustra o cenário “a” sem equipotencialização, onde diversos pontos podem ser afetados por uma descarga elétrica, enquanto no cenário “b” é apresentado um sistema devidamente equipotencializado, garantindo maior proteção.

Figura 20 – Equipotencialização do sistema.



Fonte: PAULINO (2016).

O aterramento, por sua vez, tem a função de dissipar a energia dos surtos de forma segura para o solo, garantindo que a resistência da terra seja suficientemente baixa para evitar potenciais elevados.

2.14 Incidência de Raios no Brasil

O Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo, registrando cerca de 77,8 milhões de descargas anualmente. Essa alta prevalência no Brasil é resultado da sua geografia

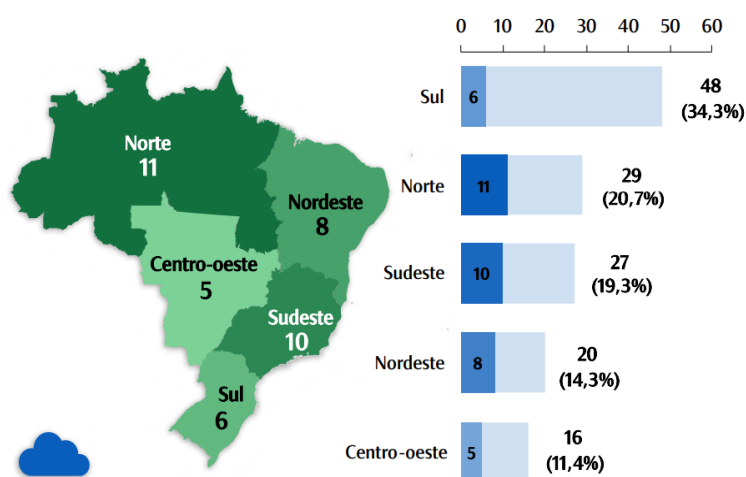
singular, sendo o país com maior área na zona tropical, a região central apresenta um clima mais quente, propício à formação de tempestades e raios (INPE/ELAT).

A Figura 21 - Número de acidentes e de mortes causados por descargas atmosféricas (raios) ocorridos em 2023, estratificados por regiões do Brasil, apresenta dados sobre incidentes e óbitos por descargas atmosféricas no Brasil em 2023, destacando que a região Norte foi a mais impactada com vítimas fatais. Essa elevada concentração de fatalidades é atribuída a três fatores principais: (i) os altos índices pluviométricos, (ii) a predominância de atividades rurais e (iii) a presença de comunidades em áreas rurais com edificações desprovidas de proteção adequada contra raios (ABRACOPEL 2024).

A desinformação sobre segurança durante tempestades, como buscar abrigo sob árvores ou permanecer ao ar livre em atividades recreativas (como jogar futebol ou pescar) e laborais, também contribui significativamente para o número de mortes. Esse cenário evidencia a necessidade de intensificar a conscientização por meio de campanhas informativas. Além disso, torna-se fundamental a adoção de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) em locais de alto risco, como os edifícios do IFTO, visando à segurança e à redução de vítimas fatais na região.

Figura 21 - Número de acidentes e de mortes causados por descargas atmosféricas (raios) ocorridos em 2023, estratificados por regiões do Brasil.

Gráfico 29 - Número de descargas atmosféricas (raios) por região em 2023



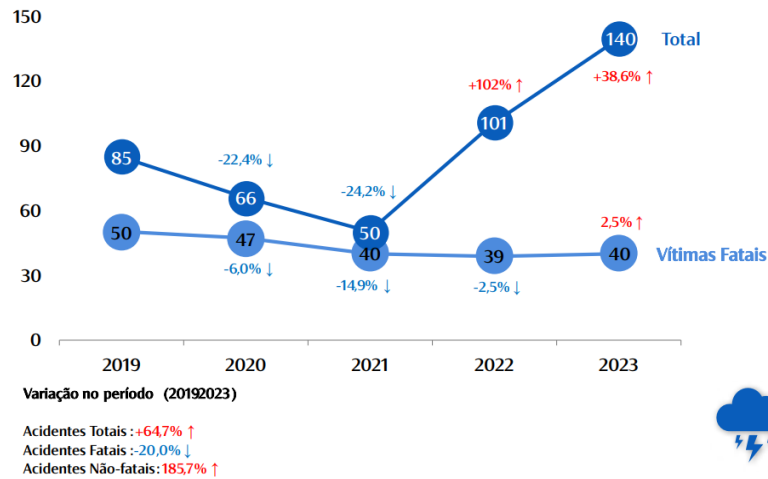
Total no território nacional: 40 mortes (28,6%) em 140 acidentes. Período: 2023

Fonte: ABRACOPEL (2024).

A Figura 22 - Acidentes com descargas atmosféricas – comparativo de 5 anos (2018-2022). revela um aumento de 180% nos registros de acidentes causados por descargas atmosféricas no Brasil entre 2019 e 2023. Os dados são coletados por meio de informações eletrônicas, disponíveis nos meios de comunicação e destaca-se que as fatalidades causadas por

essas descargas nem sempre são facilmente discerníveis, especialmente quando ocorrem dentro de estruturas edificadas. Tais eventos podem ser erroneamente reportados pela mídia como choques elétricos convencionais ou até mesmo paradas cardíacas. Diante desses aspectos, surge a suposição de que o número real de óbitos possa exceder consideravelmente a quantidade documentada (ABRACOPEL, 2024).

Figura 22 - Acidentes com descargas atmosféricas – comparativo de 5 anos (2018-2022).



Fonte: ABRACOPEL (2024).

2.15 Norma técnica, Legislação Vigente e Fiscalização

2.15.1 NR-10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade

A Norma Regulamentadora 10 (NR-10) – Segurança em instalações e serviços em eletricidade, elaborada pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) adverte sobre as responsabilidades associadas ao SPDA, conforme a seguinte descrição:

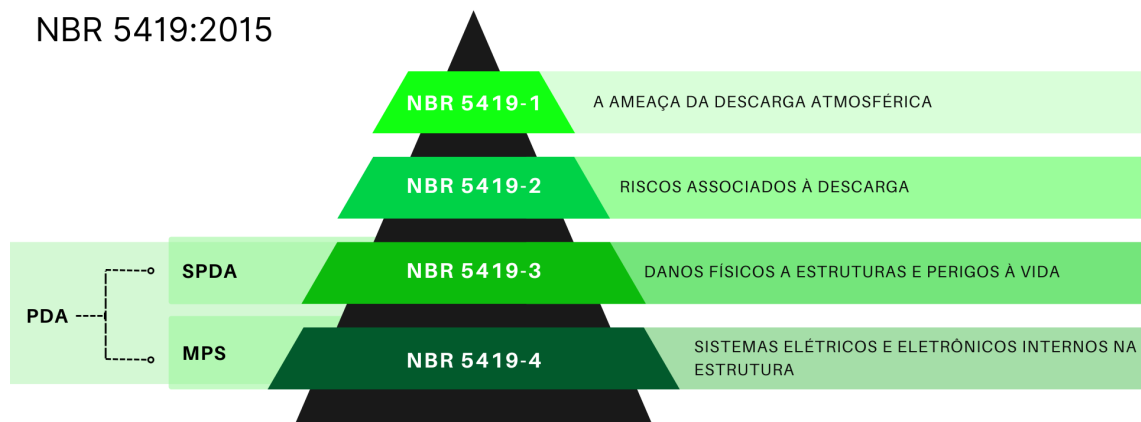
10.2.3 As empresas estão obrigadas a manter esquemas unifilares atualizados das instalações elétricas dos seus estabelecimentos com as especificações do sistema de aterramento e demais equipamentos e dispositivos de proteção. 10.2.4 Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo: a) conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas de segurança e saúde, implantadas e relacionadas a esta NR e descrição das medidas de controle existentes; b) documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos;

10.4.4 As instalações elétricas devem ser mantidas em condições seguras de funcionamento e seus sistemas de proteção devem ser inspecionados e controlados periodicamente, de acordo com as regulamentações existentes e definições de projetos.

2.15.2 ABNT NBR 5419:2015 - Proteção contra descargas atmosféricas.

A ABNT NBR 5419 é uma norma brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece as diretrizes para a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, estabelecendo as condições para o projeto, instalação e manutenção do SPDA. A norma é segmentada em quatro partes, vide Figura 23 - Conexões entre as partes da ABNT 5419., garantindo uma sequência lógica de ideias.

Figura 23 - Conexões entre as partes da ABNT 5419.



Fonte: Adaptado de ABNT-NBR.5419:2015.

Cada parte da norma ABNT NBR 5419:2015 é detalhada a seguir:

Parte 1 – Princípios Gerais: Define os fundamentos da proteção contra descargas atmosféricas, abrangendo a terminologia, os conceitos básicos e os critérios para a necessidade de adoção do SPDA, além das classificações dos sistemas de proteção.

Parte 2 – Gerenciamento de Risco: Apresenta a metodologia para a análise de risco, considerando os impactos das descargas atmosféricas em edificações, equipamentos e ocupantes. Essa seção estabelece os critérios para a determinação do nível de proteção requerido, fundamentados na probabilidade de ocorrência e nas consequências dos efeitos das descargas.

Parte 3 – Danos Físicos e Risco à Vida: Especifica os requisitos técnicos para o dimensionamento e implementação do SPDA externo (subsistema de captação, descidas e aterramento) e do SPDA interno (blindagem eletromagnética e equipotencialização), com o

objetivo de minimizar danos estruturais e riscos à integridade física dos ocupantes da edificação.

Parte 4 – Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura: Define as diretrizes para a proteção de sistemas elétricos e eletrônicos internos contra surtos e interferências eletromagnéticas, incluindo critérios para a seleção e instalação de dispositivos de proteção contra surtos, malhas de aterramento e caminhos preferenciais para as correntes induzidas.

2.15.3 Fiscalização

A fiscalização da proteção contra descargas atmosféricas no Brasil envolve diferentes níveis de atuação. No nível estadual, os Corpos de Bombeiros exigem e fiscalizam a implementação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, frequentemente solicitando inspeções realizadas por profissionais habilitados. No nível nacional, a NR-10 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) estabelece diretrizes de segurança para instalações elétricas, exigindo que estejam em conformidade com normas técnicas, como a ABNT NBR 5419/2015. Segundo a NBR 5419/2015, o SPDA deve ser inspecionado periodicamente, com a renovação do laudo variando entre 6 meses e 3 anos, dependendo do risco da edificação.

O Laudo de SPDA deve ser elaborado por profissionais legalmente habilitados, como engenheiros eletricitas, e acompanhado da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), conforme o item 10.2.7 da NR-10. O MTE, por meio de suas fiscalizações, analisa esses laudos para assegurar que as instalações elétricas estejam em conformidade com as normas de segurança, incluindo a proteção contra descargas atmosféricas. A conformidade com essas exigências é fundamental para garantir a segurança dos trabalhadores e a integridade das instalações.

O Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Tocantins realiza vistorias anuais e inspeções de segurança em edificações comerciais, industriais e públicas para verificar a conformidade com as normas de segurança contra incêndio, incluindo a proteção contra descargas atmosféricas. Essas inspeções são obrigatórias para a obtenção e renovação de alvarás de funcionamento. Além disso, antes da construção ou reforma de uma edificação, o projeto técnico deve ser aprovado pelo Corpo de Bombeiros para garantir que o sistema de proteção contra descargas atmosféricas esteja conforme as normas. De acordo com o Art. 13, §2 (Lei Estadual Nº 3798 DE 13/07/2021):

§ 2º As instalações elétricas e o Sistema de Proteção contra Descargas Elétricas - SPDA devem ser executados de acordo com as prescrições das normas brasileiras oficiais, bem como aquelas expedidas pelas concessionárias dos serviços locais.

2.15.4 Diferença entre as normas NBR 5419 (2015) e a NBR 5419 (2005).

A norma ABNT NBR 5419, que estabelece critérios para a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, passou por uma revisão significativa em 2015, substituindo sua versão anterior de 2005. Essa atualização seguiu diretrizes internacionais, aprimorando a avaliação de risco, o dimensionamento dos sistemas de proteção e incorporando novas tecnologias para tornar as instalações mais seguras e eficientes.

Uma das principais mudanças foi a reestruturação da norma. Enquanto a versão de 2005 consolidava todas as diretrizes em um único documento, a edição de 2015 foi dividida em quatro partes, permitindo uma abordagem mais detalhada e modular. Essa segmentação facilita a compreensão e aplicação dos requisitos normativos, abrangendo desde conceitos básicos até medidas avançadas de proteção (SANTINI, 2016).

Outro avanço importante foi a introdução de uma metodologia mais rigorosa para o gerenciamento de risco, baseada na norma IEC 62305-2. A versão de 2005 apresentava critérios mais genéricos, enquanto a de 2015 trouxe um método matematicamente fundamentado para determinar o nível de proteção adequado. Com isso, o dimensionamento do SPDA se tornou mais preciso, considerando fatores como a probabilidade de ocorrência de descargas e os impactos sobre edificações, equipamentos e pessoas.

A proteção interna das estruturas também foi ampliada na nova versão da norma. Em 2005, o foco principal estava no SPDA externo, abrangendo captadores, condutores de descida e aterramento. Já em 2015, a importância do SPDA interno foi reforçada, com diretrizes detalhadas sobre blindagem eletromagnética, equipotencialização e proteção contra sobretensões. Além disso, foram incluídos critérios específicos para a seleção e instalação de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS), garantindo maior segurança para equipamentos elétricos e eletrônicos.

A abordagem sobre sistemas de aterramento também foi aprimorada. A norma de 2005 apresentava diretrizes mais genéricas, enquanto a versão de 2015 trouxe recomendações mais detalhadas sobre a redução da impedância de aterramento, otimização de malhas e diferentes

configurações para dissipação eficiente das correntes de descarga atmosférica. Essas melhorias garantem um desempenho mais eficaz do sistema de proteção.

Em resumo, a NBR 5419:2015 modernizou os critérios de proteção contra descargas atmosféricas, tornando os projetos mais seguros e confiáveis. Com maior detalhamento técnico, uma metodologia mais precisa de avaliação de risco e aprimoramentos na proteção interna e no aterramento, a nova norma está alinhada com padrões internacionais e oferece maior confiabilidade para as instalações elétricas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

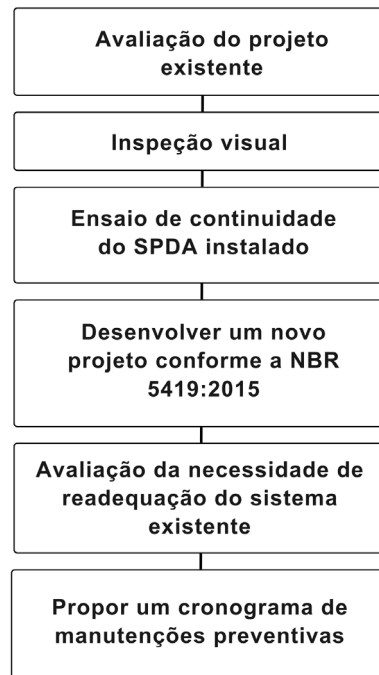
3.1 Contextualização

O presente estudo foi elaborado com uma abordagem qualitativa, conforme definido por Proetti. Este método envolve a apresentação dos resultados de maneira lógica e coerente, resultantes da análise científica realizada pelo pesquisador. A abordagem qualitativa permite investigar e compreender os eventos dentro do contexto em que ocorrem, englobando a coleta de dados no local e a análise necessária para entender a dinâmica dos acontecimentos.

Neste estudo, foram consideradas análises prévias relacionadas ao tópico em questão. A pesquisa fundamentou-se em uma revisão da literatura, a qual abrangeu trabalhos anteriores pertinentes ao tema e normas relevantes. Diversas fontes foram utilizadas para embasar a pesquisa bibliográfica, tais como: livros, artigos científicos e publicações eletrônicas. Segundo Sousa, Oliveira e Alves (2021), a pesquisa bibliográfica é essencial para a pesquisa científica, pois enriquece a compreensão do fenômeno estudado, orientando o processo investigativo na busca de soluções, respostas ou um aprofundamento nas questões relacionadas a esse fenômeno.

Dentro desse contexto, a metodologia para analisar a eficiência do sistema de proteção contra descargas atmosféricas nos blocos do IFTO - Campus Palmas envolveu a realização de inspeções visuais e medições de continuidade e resistência, a fim de avaliar o estado físico do sistema e verificar a conformidade entre o projeto e sua execução. Além disso, foi desenvolvido um novo projeto em conformidade com a norma NBR 5419:2015, acompanhado por um cronograma de manutenções preventivas. A abordagem metodológica desenvolvida no presente trabalho é apresentada na Figura 24 - Fluxograma da abordagem metodológica..

Figura 24 - Fluxograma da abordagem metodológica.



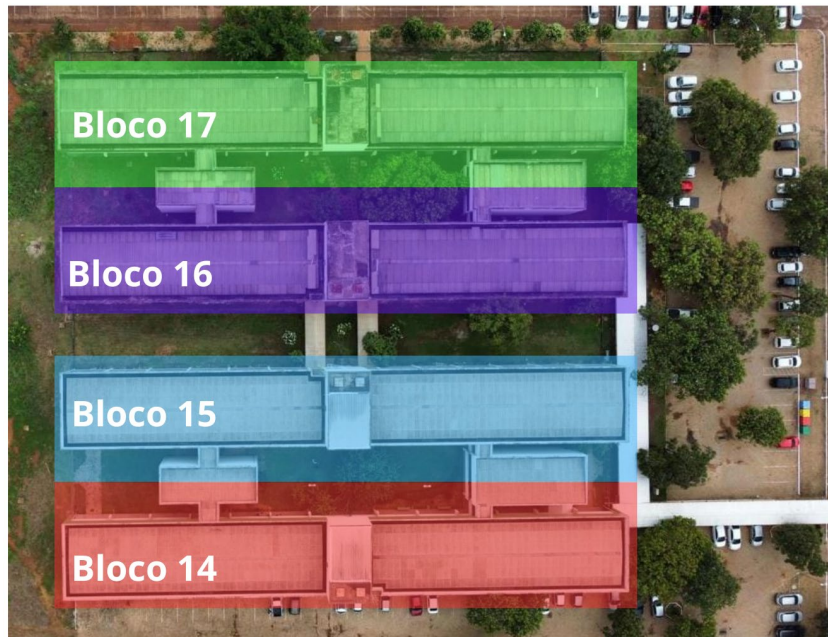
Fonte: De autoria própria (2025).

3.2 Avaliação do Projeto Existente

O presente estudo foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), instituição fundada em 29 de dezembro de 2008. O campus está situado na Quadra AE 310 Sul, Avenida NS 10, no Plano Diretor Sul, em Palmas – TO, CEP 77021-090.

A Figura 25 apresenta uma vista aérea das instalações do IFTO, destacando os blocos de aula 14, 15, 16 e 17, que são os principais alvos desta pesquisa. Esses blocos ocupam uma área total de aproximadamente 7.000 m², e seu sistema de proteção contra descargas atmosféricas será o foco da avaliação, uma vez que são essenciais para garantir a segurança estrutural e a proteção dos ocupantes contra os riscos de descargas atmosféricas.

Figura 25 - Vista superior dos blocos de aula 14-17.



Fonte: De autoria própria (2025).

A primeira etapa do estudo consiste na coleta e análise dos documentos técnicos do projeto de SPDA original, disponíveis no acervo do IFTO. Esses documentos fornecem informações essenciais sobre os critérios de dimensionamento, os materiais utilizados e as metodologias de instalação adotadas, permitindo entender as premissas e identificar as técnicas e materiais empregados na execução do projeto.

3.3 Inspeção Visual

A inspeção visual tem como objetivo avaliar a conformidade e a integridade do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 5419:2015. Esse processo é fundamental para identificar possíveis falhas ou irregularidades que possam comprometer a eficiência do sistema. Os principais aspectos analisados durante a inspeção incluem:

1. Verificação da ausência de maus contatos em condutores e conexões.
2. Avaliação da integridade de todas as partes do sistema.
3. Inspeção dos condutores de equipotencialização e das blindagens dos cabos.
4. Verificação de sinais de danos nos dispositivos de proteção contra surtos (DPS), bem como em seus fusíveis ou interruptores.
5. Garantia de que as distâncias de segurança para as blindagens especiais estejam sendo respeitadas.

A inspeção visual desempenha um papel essencial na manutenção preventiva do SPDA, permitindo a identificação precoce de problemas e garantindo a continuidade da proteção eficiente contra descargas atmosféricas.

3.4 Ensaio de Continuidade Elétrica

O ensaio de continuidade foi realizado com o objetivo de verificar a interligação de todos os componentes do SPDA, abrangendo o subsistema de captação, o subsistema de descida e o subsistema de aterramento. Essa verificação foi essencial para assegurar a conformidade com os requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 5419:2015.

Inicialmente, foi necessário proceder com a abertura das caixas de inspeção, tanto as suspensas quanto as instaladas em piso, seguida de uma limpeza detalhada do interior dessas caixas. Essa limpeza incluiu a remoção de detritos, terra acumulada e sinais de corrosão nos pontos de contato onde foram realizadas as medições. A etapa de limpeza foi indispensável para garantir o contato elétrico adequado entre os pontos de medição e o instrumento utilizado, minimizando possíveis interferências nos resultados obtidos.

Para a realização das medições, foi empregado o miliohmímetro HMMD-1 de medição a 4 fios (utilizando dois fios para corrente e dois para potencial), apresentado na Figura 26, que está em conformidade com os requisitos estipulados na norma 5419-3:2015, item F.2.3.2. Estes requisitos incluem a operação na faixa de corrente entre 1A e 10A, com a condição de que a frequência não seja de 60 Hz ou seus múltiplos e assegurar que a corrente aplicada seja adequada para garantir a precisão dos resultados sem danificar as armaduras.

Figura 26 - Miliohmímetro HMMD-1 de medição a 4 fios.

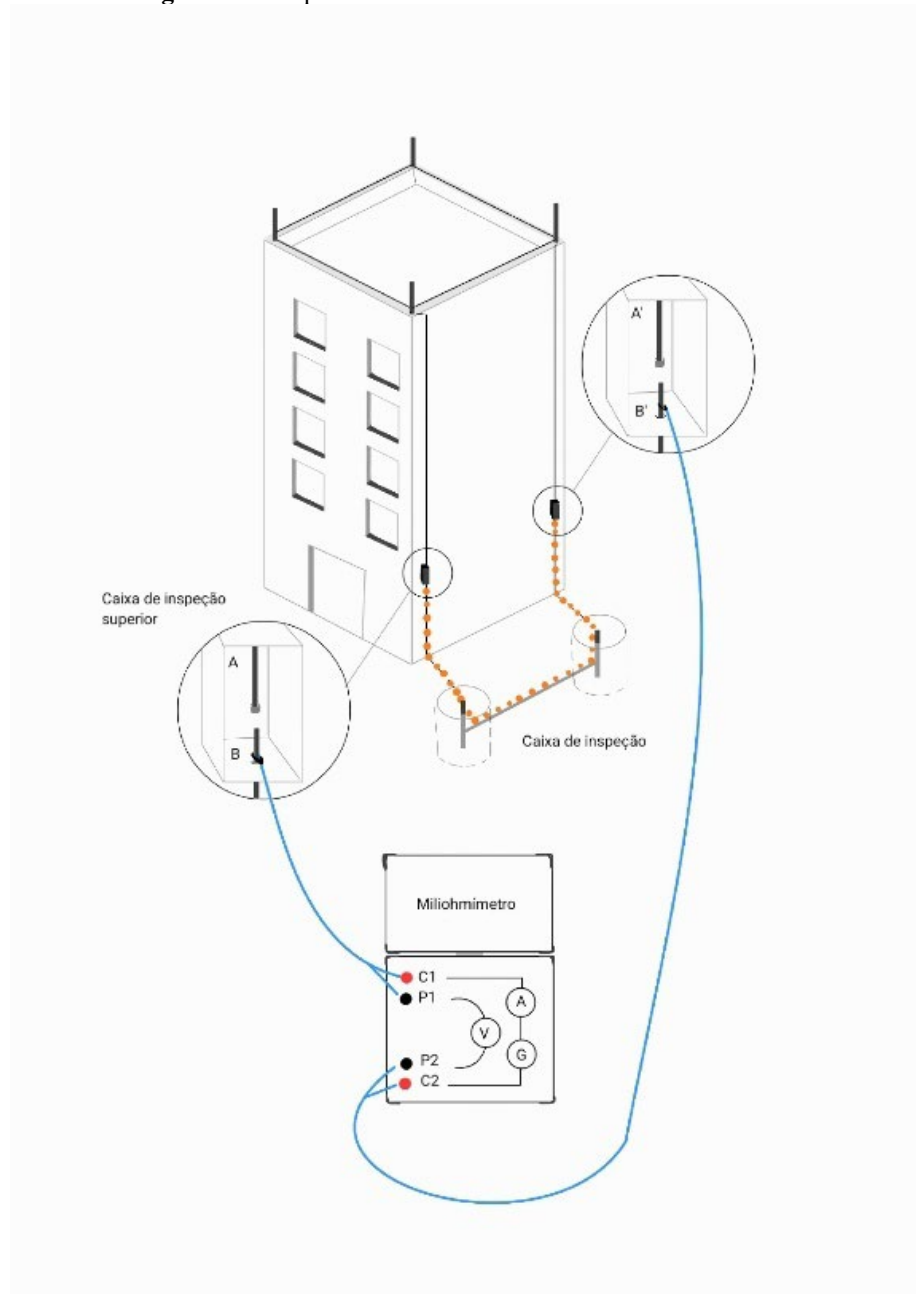


Fonte: De autoria própria (2025).

Na sequência, para prosseguimento do ensaio de continuidade, foi necessário desconectar os condutores interligados por conectores nas caixas de inspeção suspensas. Essa operação foi repetida para todas as caixas de inspeção do sistema. A presente etapa possibilita a verificação separada da continuidade da malha de aterramento, bem como do subsistema de captação e descida.

Na medição da continuidade do subsistema de aterramento, escolheu-se uma caixa de inspeção suspensa como ponto inicial de referência. Em seguida, o miliohmímetro foi conectado entre um ponto B e o ponto B', conforme ilustrado na Figura 27. O teste foi realizado sequencialmente, mantendo o ponto inicial como referência. Em casos de detecção da descontinuidade entre o ponto de referência e o ponto subsequente, este último foi adotado como a nova referência, e as medições prosseguiram de forma sequencial.

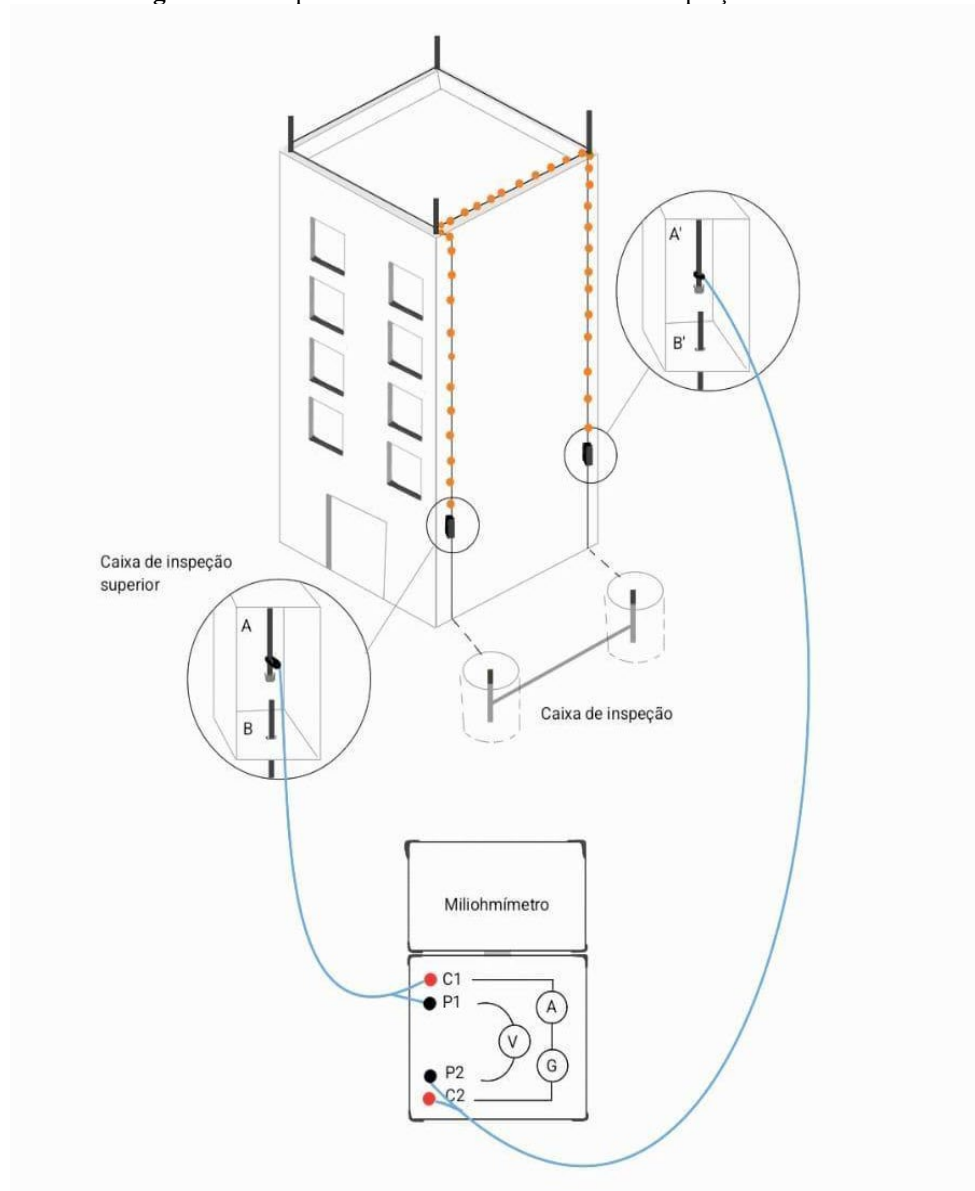
Figura 27 - Esquema de ensaio do subsistema de aterramento.



Fonte: De autoria própria (2025).

A medição do subsistema de captação e descida foi realizada de forma semelhante ao apresentado na medição da continuidade do aterramento, permanecendo na mesma caixa de inspeção e alterando apenas os pontos de medição, que agora são "A" e "A'", conforme indicado na Figura 28.

Figura 28 - Esquema de ensaio do subsistema de captação e descida.



Fonte: De autoria própria (2025).

3.5 Medição da Resistência de Aterramento

A avaliação da eficácia do sistema de aterramento foi realizada por meio da medição da resistência de aterramento, utilizando o método da queda de potencial, também denominado método de três pontas. Esse procedimento é amplamente reconhecido por sua precisão e confiabilidade na determinação da resistência de dispersão ao solo. Para a execução desta medição, empregou-se o terrômetro digital modelo MTD20KWR, ilustrado na Figura 29, acompanhado de seus acessórios necessários para a correta condução das medições, garantindo resultados precisos e representativos das condições reais do sistema de aterramento analisado.

pela norma ABNT NBR 15749. Essa zona representa a estabilidade dos valores de resistência, indicando a eficiência do sistema de aterramento na dissipação da corrente elétrica no solo.

Durante os testes, foram obtidos três valores distintos, com alterações na posição do eletrodo auxiliar de tensão em diferentes distâncias. A variação desses valores ficou dentro de uma margem máxima de 10%, conforme exigido pela norma (ABNT NBR 15749). Quando essa condição foi atendida, considera-se que o sistema atingiu a zona de patamar, validando a uniformidade e a confiabilidade do aterramento.

3.5 Avaliação da Necessidade de Readequação e Desenvolvimento de um Novo Projeto Conforme a Norma Vigente NBR 5419-2015

Para a análise entre o projeto existente e o executado, foi necessário a realização de um levantamento documental acerca das plantas baixas, memoriais descritivos e de cálculo, bem como também dos detalhamentos executivos de projeto referente as instalações do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas dos blocos de Sala de Aula do IFTO-Campus Palmas.

Após o levantamento dos arquivos de projeto existentes, procedeu-se para uma comparação entre o previsto (projeto) e o executado, sendo este último realizado por meio das inspeções visuais no sistema de SPDA instalado nos blocos de aula 14 ao 17 do IFTO Campus Palmas.

Na sequência, após a comparação entre projeto/execução, deu-se a sequência para a verificação da conformidade do sistema existente com a ABNT NBR 5419:2005, norma vigente na época de sua implementação. Durante essa avaliação, foram examinados os memoriais de cálculo e dimensionamento do projeto, bem como também os principais componentes do sistema (captação, condutores de descida, aterramento, e dispositivos de proteção contra surtos), a fim de verificar suas condições estruturais e operacionais.

Vale ressaltar que as normas regulamentadoras não exigem a atualização do SPDA instalado que esteja em conformidade com a norma vigente no momento de sua aplicação, desde que seu funcionamento seja adequado. No entanto, caso sejam identificadas deficiências ou a necessidade de incorporar novas diretrizes normativas, a atualização do sistema deve ser considerada. Diante disso, foi necessária a elaboração de um novo projeto, alinhado à ABNT NBR 5419:2015, com o objetivo de garantir que o sistema atendessem aos critérios técnicos mais recentes e proporcionasse um nível adequado de proteção para a edificação.

Para o desenvolvimento do novo projeto foi utilizado a versão estudantil do software AutoCAD, permitindo a criação de um modelo detalhado e em conformidade com as

normativas vigentes. Além disso, a análise de risco foi conduzida conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 5419-2 (2015) para definição do nível de proteção adequado à edificação. Essa análise envolveu o cálculo da frequência estimada de descargas atmosféricas na região e avaliação da vulnerabilidade estrutural da edificação. Com base nesses fatores, foram definidos os componentes e as configurações necessárias para garantir a eficácia do SPDA.

A modelagem do novo projeto de SPDA dos blocos de aulas 14 ao 17 do IFTO Campus Palmas foi desenvolvida com foco nos seguintes itens: (a) distribuição estratégica dos captadores, garantindo uma cobertura eficiente contra descargas diretas, (b) dimensionamento otimizado dos condutores de descida, assegurando um caminho seguro e contínuo para a dissipação da corrente elétrica, e, (c) configuração aprimorada do aterramento, visando reduzir a resistência do solo e melhorar a dispersão da energia elétrica. Além disso, o projeto contemplou a especificação adequada de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS), essenciais para proteger os sistemas elétricos e eletrônicos internos contra sobretensões induzidas.

Dessa forma, a atualização do projeto visou não apenas corrigir as deficiências identificadas, mas também adequar a edificação às exigências normativas atuais, garantindo maior segurança e confiabilidade ao sistema de proteção.

3.6 Propor um Cronograma de Manutenções Preventivas

A manutenção regular garante o bom funcionamento do SPDA, minimizando o risco de acidentes e mantendo o sistema em conformidade com as normas regulamentadoras. A manutenção preventiva identifica problemas de corrosão, mau contato e outros defeitos antes que afetem a eficácia do sistema, aumentando a segurança e evitando possíveis penalidades legais. Para a criação do cronograma de manutenção preventiva, foi levado em consideração:

- **Normas e Padrões Regulamentares:** A NBR 5419-3 orienta os requisitos mínimos para a inspeção e manutenção do SPDA, incluindo frequência e detalhamento dos testes e medições.
- **Condições Ambientais e Desgaste:** Locais expostos a condições severas, como maresia ou poluição, demandam uma inspeção mais frequente devido à maior propensão à corrosão e deterioração.
- **Frequência de Ocorrência de Descargas Atmosféricas:** Conforme a NBR 5419, o cronograma de manutenção do SPDA é dividido em três tipos de inspeção:

- **Inspeção Visual (Mensal ou Semestral):** Verificação de sinais de corrosão, conexões soltas e condições dos condutores.
- **Inspeção Completa (Anual):** Avaliação do estado físico e funcional de todos os componentes, com medições da continuidade elétrica e resistência de aterramento.
- **Inspeção Especial:** Realizada após eventos que possam comprometer o sistema, como descargas diretas no edifício ou reformas.

O acompanhamento do cronograma de manutenção do SPDA pode ser realizado em uma planilha detalhada, que facilite o registro de dados e o monitoramento das datas. Além disso, recomenda-se que todos os resultados das inspeções sejam arquivados para referência futura, garantindo que a integridade do sistema possa ser avaliada ao longo do tempo. Esse processo proporciona uma visão clara do estado do SPDA e contribui para a segurança e conformidade da edificação.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados da análise do projeto existente.

O Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas dos blocos 14 e 15 foi instalado no ano de 2014, enquanto o dos blocos 16 e 17 foi implementado no ano de 2018. Ambos os conjuntos foram projetados com base na norma ABNT NBR 5419:2005. Entretanto, por serem idênticos, o projeto foi replicado de um bloco para os demais sem considerar as atualizações normativas. Esse procedimento é inadequado, pois, à época da instalação dos blocos 16 e 17, já estava em vigor a ABNT NBR 5419:2015.

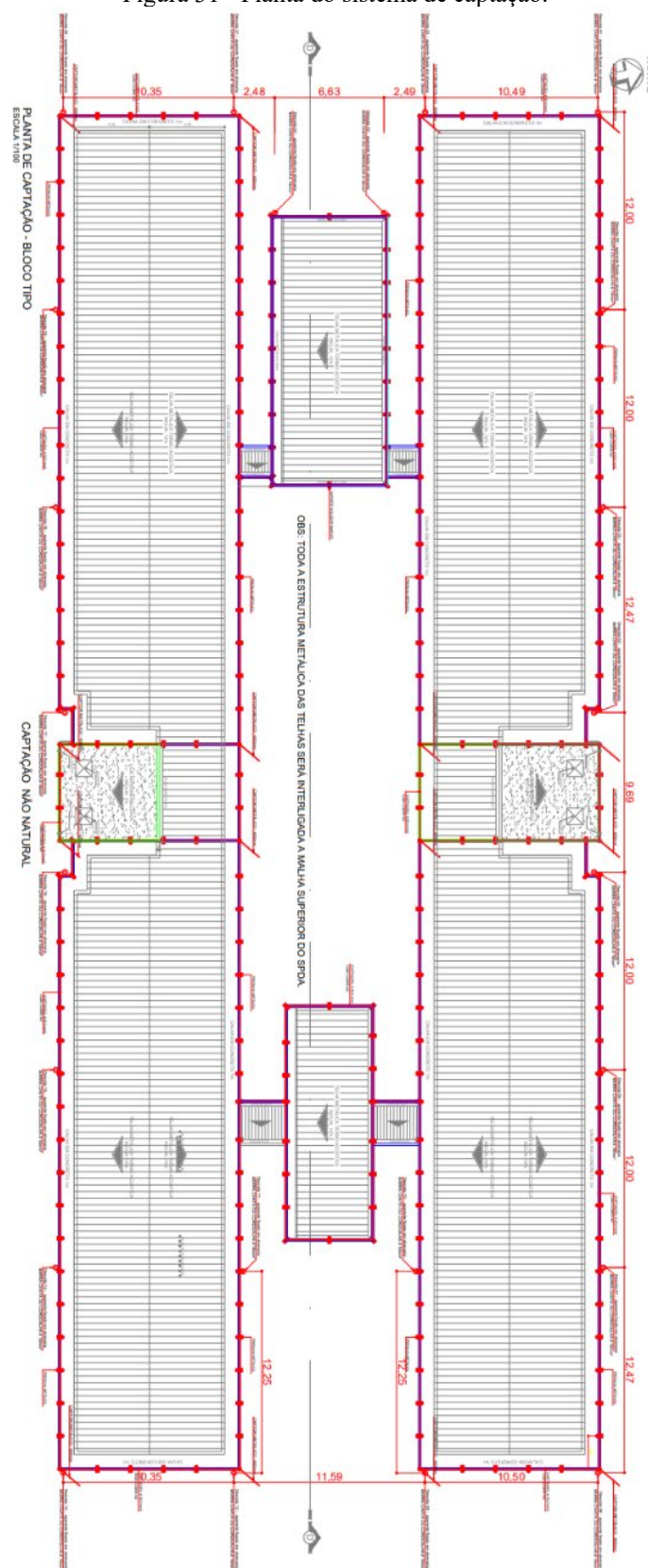
A seguir, são apresentados os detalhes do projeto de SPDA existente, destacando seus principais subsistemas e componentes.

O projeto do subsistema de captação, representado na Figura 31, utiliza captadores de 600 mm e cordoalha de cobre de 35 mm², fixada por meio de presilhas metálicas para garantir a continuidade elétrica e a resistência mecânica do sistema.

O projeto do subsistema de aterramento, ilustrado na Figura 32, é composto por cordoalha de cobre nu de 50 mm², caixa de medição tipo solo instalada em uma vala de 50 cm de profundidade e haste de aterramento tipo Ø5/8" x 2,40 m (modelo TEL-5814).

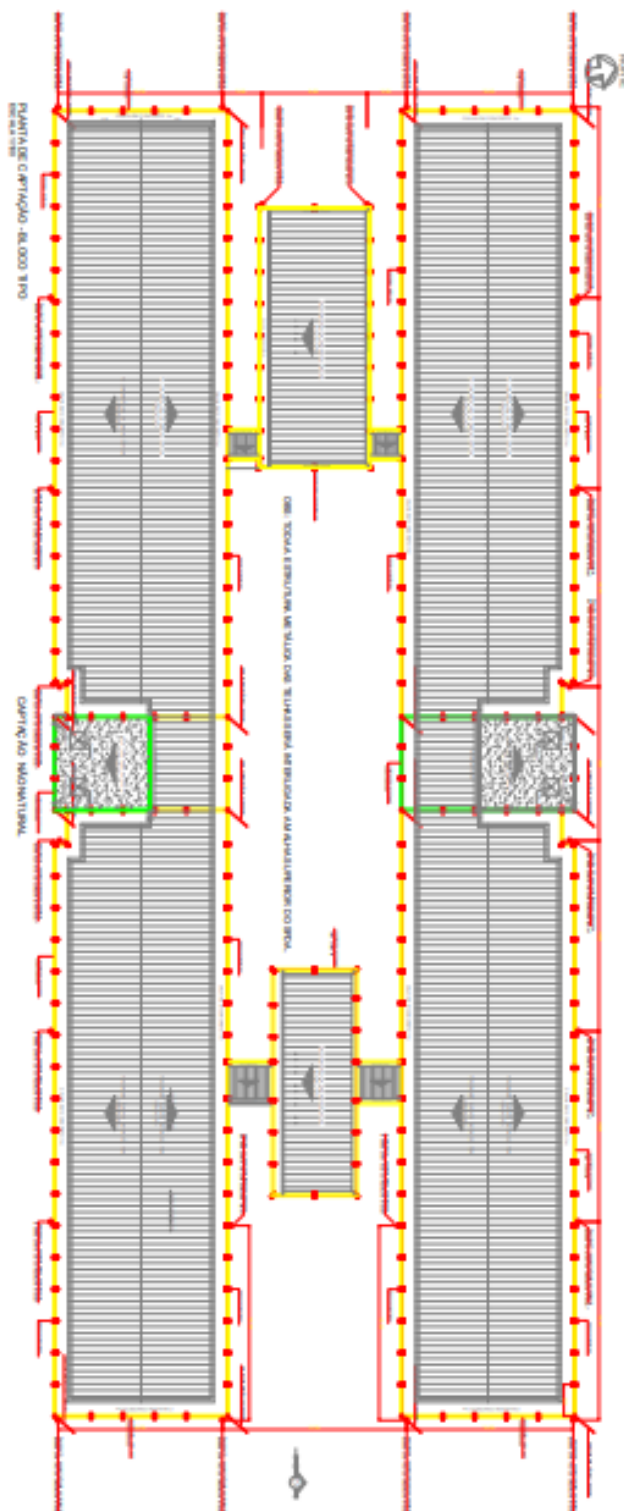
Para o projeto do subsistema de descida, apresentado na Figura 33, conta com suporte simples com reforços e roldanas (espaçadores) para fixação segura da estrutura. Além disso, tubos de PVC de 2,5 m são empregados para a proteção mecânica dos condutores. A interligação entre os subsistemas de captação e aterramento é realizada por meio de uma cordoalha de cobre nu de 16 mm², garantindo a condução eficiente da corrente elétrica.

Figura 31 - Planta do sistema de captação.



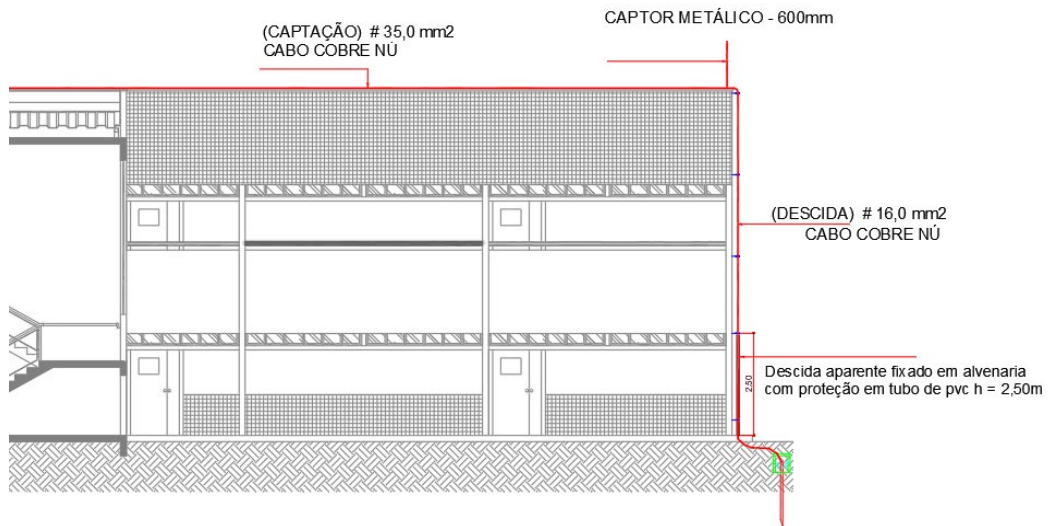
Fonte: Acervo IFTO (2010).

Figura 32 - Planta do sistema de aterramento.



Fonte: Acervo IFTO (2010).

Figura 33 - Detalhe da planta do sistema de descida.



Fonte: Acervo IFTO (2010).

Ao analisar o projeto é possível observar nas notas gerais do projeto, conforme ilustrado na Figura 34, que o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas foi classificado como tipo II. De acordo com essa classificação, o projeto implementa o método de proteção conhecido como gaiola de Faraday (método das malhas).

É importante ressaltar que o projeto destaca a relevância da manutenção preventiva do SPDA, estabelecendo a necessidade de vistorias anuais para inspeções visuais e testes de continuidade elétrica das armaduras a cada três anos. Essas práticas são essenciais para garantir a conformidade e a eficácia do sistema ao longo do tempo. Contudo, é preocupante notar que até o momento não foram realizadas quaisquer inspeções.

Ademais, é possível verificar que o projeto não prevê a proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra interferências eletromagnéticas causadas pelas descargas atmosféricas. Essa proteção é de extrema importância, pois as descargas de raios podem induzir altas tensões nos circuitos elétricos, afetando o desempenho e, em muitos casos, causando danos irreparáveis a equipamentos sensíveis.

Figura 34 - Notas gerais do projeto.

NOTAS GERAIS DE PROJETO	
1. ESTA NORMA NÃO CONTEMPLA A PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTO ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS CONTRA INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICOS CAUSADAS PELAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS. PARA A PROTEÇÃO DESTES EQUIPAMENTOS É NECESSÁRIO A UTILIZAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTOS (DPS).	12. O PROJETO FOI ELABORADO DE ACORDO COM PRESCRITOS NA NBR5419.
2. TODAS AS NOVAS CONSTRUÇÕES DEVERÃO ESTAR CONTIDAS NO VOLUME PROTEGIDO.	13. O SPDA DEVERÁ TER UMA MANUTENÇÃO PREVENTIVA ANUAL E SEMPRE QUE FOR ATINGIDO POR UM RAIO, PARA VERIFICAR EVENTUAIS IRREGULARIDADES E GARANTIR A EFICIÊNCIA DO SPDA;
3. NENHUM PONTO DAS EDIFICAÇÕES, EQUIPAMENTOS E APARELHOS SEREM PROTEGIDOS PODERÃO FICAR FORA DO CAMPO DE PROTEÇÃO.	14. O PERÍMETRO DA EDIFICAÇÃO É DE 455,37M;
4. ONDE HOUVER GASES CORROSIVOS NA ATMOSFERA, O USO DE COBRE SERÁ OBRIGATÓRIO NAS INSTALAÇÕES.	15. A EDIFICAÇÃO POR SER COMERCIAL (ESCOLAR) É DE NÍVEL II;
5. É PROIBIDO O USO DE CAPTORES RADIOATIVOS OU OUTRO SISTEMA QUE TENHAM COMO OBJETIVO O AUMENTO DA ÁREA DE PROTEÇÃO PRESCRITA PELOS MÉTODOS DA NBR 5419. AS EDIFICAÇÕES EXISTENTES QUE UTILIZAM ESTE MODELO DEVERÃO SUBSTITUIR-LOS DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DO CNEC (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR).	16. O SISTEMA DE CAPTAÇÃO DO PÁRA-RAIOS SERÁ TIPO GAIOLA DE FARADAY;
6. NADA EM TERMOS PRÁTICOS PODE SER FEITO PARA SE IMPEDIR "QUEDA" DE UMA DESCARGA EM DETERMINADA REGIÃO. NÃO EXISTE "ATRAÇÃO" AS 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.	17. DEVERÃO SER INTERLIGADAS À MALHA DE ATERRAMENTO ATRAVÉS DA CAIXA DE EQUALIZAÇÃO, TODAS AS PARTES ELÉTRICAS INSTALADAS NA EDIFICAÇÃO;
7. É DE FUNDAMENTAL IMPORTÂNCIA QUE APÓS A INSTALAÇÃO HAJA UMA MANUTENÇÃO PERIÓDICA ANUAL A FIM DE SE GARANTIR A CONFIABILIDADE DO SISTEMA. SÃO TAMBÉM RECOMENDADAS VISTÓRIAS PREVENTIVAS APÓS REFORMAS QUE POSSAM ALTERAR O SISTEMA E TAMBÉM TODA QUE A EDIFICAÇÃO FOR ATINGIDA POR DESCARGA DIRETA.	18. A INSTALAÇÃO DEVERÁ SER EXECUTADA POR EMPRESA ESPECIALIZADA E CADASTRADA JUNTO AO CREA E QUE ANOTE ART JUNTO AO CREA E CREDENCIADA JUNTO AO CBMT.
8. TODAS AS PEÇAS E ACESSÓRIOS DE ORIGEM FERROSA, USADOS N SPDA, DEVERÃO SER GALVANIZADOS A FOGO OU BANHADOS COM 254 MICRÔMETROS DE COBRE. FICA ASSIM PROIBIDA A ZINCAÇÃO ELETROLÍTICA.	19. AS TUBULAÇÕES METÁLICAS COMO AS DOS RESPIROS, DEVERÃO SER CONECTADAS À CAIXA DE EQUALIZAÇÃO E MALHA DE ATERRAMENTO.
9. É RECOMENDADA CONFORME NBR 5419 A UTILIZAÇÃO DE DPS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DE SURTOS ESSENCIALMENTE NOS QDS DOS ELEVADORES E NO QDG DA EDIFICAÇÃO.	20. TODAS AS ESTRUTURAS METÁLICAS EXISTENTES NAS COBERTURAS DA EDIFICAÇÃO, COMO ANTENAS, CHAMINÊS, ETC, DEVERÃO SER INTERLIGADAS AO PONTO MAIS PRÓXIMO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO, PARA EQUALIZAÇÃO DE POTENCIAL E ESCOMENTO DE ALGUMA POSSÍVEL DECARGA;
10. CASO VENHA A SER INSTALADAS ESTRUTURAS METÁLICAS NO TOP DO PRÉDIO (ANTENA COLETIVA DE TV, PARABÓLICA, PLACAS DE AQUECIMENTO SOLAR, BOILER DE ÁGUA QUENTE, TORRES DE AR CONDICIONADO, ETC) DEVERÁ SER INSTALADO UM MASTRO COM CAPTOR TIPO FRANKLIN, SUPERANDO A ALTURA DESTAS ESTRUTURAS, DE MODO A PROTEGÊ-LAS CONTRA DESCARGA DIRETAS. TODAS AS ESTRUTURAS METÁLICAS NO TOPO DA EDIFICAÇÃO DEVERÃO SER INTERLIGADAS AO SPDA.	21. ESTE PROJETO NÃO DEVERÁ SOFRER ALTERAÇÕES SEM A AUTORIZAÇÃO DO PROJETISTA;
11. NO PAVIMENTO TÉRREO OU NO SUBSOLO E A CADA 20 METROS DE ALTURA DEVE SER FEITA A EQUALIZAÇÃO DE POTENCIAIS, SENDO ASSIM DEVE SER FEITA A INTERLIGAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO, TELEFÔNICO E MASSAS METÁLICAS CONSIDERÁVEIS TAIS COMO: INCÊNDIO, RECALQUE, TUBOS DE GÁS, TUBOS DE COBRE, CENTRAL DE GÁS, GUARDA CORPOS, ETC. À MALHA DE ATERRAMENTO DO SPDA.	22. NENHUM PROJETO SUBSTITUI A BOA QUALIDADE DA EXECUÇÃO;
	23. A EXECUÇÃO DO SISTEMA SEM OBEDECER AOS PROJETOS ISENTA O PROJETISTA DE SUA RESPONSABILIDADE;
	24. A INSTALAÇÃO DEVERÁ SOFRER VISTÓRIAS ANUAIS E ENSAIO DE CONTINUIDADE ELÉTRICA DAS MALHAS DE ATERRAMENTO A CADA 3 ANOS;
	25. AS TELHAS METÁLICAS SERÃO UTILIZADAS COMO CAPTAÇÃO NATURAL, OBEDECENDO A ESPESURA MÍNIMA DE 0,5MM;
	26. O ANEL DA MALHA DE TERRA DEVERÁ SER CONSTRUÍDO COM CABO DE COBRE DE 50MM² E AFASTADO NO MÍNIMO DE 1,00M DA EDIFICAÇÃO;
	27. A RESISTÊNCIA DA MALHA DEVERÁ SER DE 10 OHMS, MEDIDA EM QUALQUER ÉPOCA DO ANO;
	28. O SPDA NÃO PROTEGE OS EQUIPAMENTOS INTERNOS;

Fonte: Acervo IFTO (2010).

A Tabela 7 apresenta a relação completa dos materiais previstos em projeto, juntamente com suas respectivas quantidades. Essa organização facilita a visualização das expectativas em relação aos materiais, permitindo uma comparação eficiente entre o projeto planejado e o executado.

Tabela 7 - Relação completa dos materiais previstos em projeto.

LISTA DE MATERIAIS		
DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE.
Cordoalha cobre nú 16mm², p/ para-raio	m	249,60
Cordoalha cobre nú 35mm², p/ para-raio	m	548,84
Cordoalha cobre nú 50mm², p/ para-raio	m	320,00
Aterramento c/ haste 5/8x3m	unid.	78,00
Captor (para-raios) haste 600mm	unid.	16,00
Caixa insp. Suspensa pvc 15x10cm p/ aterramento	unid.	24,00
Caixa insp. Pvc 300mm p/ aterr. Tampa fºfº	unid.	24,00

Caixa equalização barr 20x20x14cm 9 term	unid.	2,00
Eletroduto de pvc rígido rosq. (1")	m	72,00
Solda exotérmica	unid.	100,00
Escavação mec. De valas p/ tubulações até 1,5m	m³	35,75
Reaterro s/ apilado de valas p/ tubulações	m³	45,00
Parafuso 8mm 85mm sextavado	unid.	1000,00
Bucha plástica s8 para parafuso 8mm	unid.	1000,00
Conector fendido para cabo 35mm²	unid.	50,00
Adaptador 1" para eletroduto rígido	unid.	48,00
Fixador universal em latão estanhado p/ SPDA	unid.	550,00
Suporte simples com reforço e roldana p/ SPDA	unid.	120,00
Conector split bolt com furo vertical para captação 3/4"	unid.	16,00
Conector para haste de aterramento 5/8"	unid.	90,00

Fonte: De autoria própria (2025).

4.2 Resultados da Inspeção Visual

No primeiro trimestre de 2024, foi realizada uma inspeção visual minuciosa da instalação existente, com o objetivo de verificar a conformidade e a integridade do SPDA. Os resultados da avaliação estão organizados na ficha apresentada no Apêndice A, e serão detalhados a seguir.

Para verificar a adequação dos materiais utilizados, foi realizada a medição da seção da cordoalha com um paquímetro, conforme demonstrado na Figura 35. O diâmetro aferido confirmou a compatibilidade do material utilizado em campo com as especificações do projeto.

Figura 35 - Verificação do diâmetro das cordoalhas utilizadas no projeto.



Fonte: De autoria própria (2025).

Adicionalmente, identificou-se a redução no número de descidas executadas em relação ao quantitativo projetado. Enquanto o projeto previa 24 descidas ao longo dos blocos 14 e 15 e 24 descidas no entorno dos blocos 16 e 17, constatou-se a presença de apenas 22 descidas nos blocos 14 e 15 e 21 descidas nos blocos 16 e 17. Essa diminuição pode comprometer a eficiência

da dissipação das correntes elétricas para o solo, aumentando a vulnerabilidade da estrutura a impactos diretos de descargas atmosféricas.

Foram observadas falhas estruturais nas caixas de inspeção, essenciais para a manutenção e monitoramento do sistema. No bloco 16, a caixa de inspeção suspensa apresenta um condutor rompido, conforme apresentado na Figura 36. Já no bloco 14, a caixa de inspeção tipo solo apresenta a ruptura total da cordoalha (Figura 37). Do mesmo modo, diversas caixas apresentaram rompimentos parciais e condutores expostos, como evidenciado na Figura 38. Essas falhas criam descontinuidade elétrica nos trechos, dificultando a condução eficiente das descargas atmosféricas para o aterramento e, consequentemente, tornando o sistema vulnerável a falhas durante eventos de descargas diretas.

A NBR 5419-3/2015, em seu item 5.4.3, determina que o eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado a uma profundidade mínima de 0,5 m e posicionado a aproximadamente 1 m ao redor das paredes externas. A presença de condutores rompidos ou expostos nas caixas de inspeção vai contra essa exigência e pode comprometer a segurança do sistema.

Portanto, fica evidente a necessidade urgente da realização de reparos nas caixas de inspeção e a correção do número de descidas, a fim de garantir que o sistema de SPDA funcione de forma eficaz e esteja em conformidade tanto com o projeto existente quanto com as normas técnicas. Esses reparos são fundamentais para restabelecer a segurança e a funcionalidade da instalação, protegendo-a adequadamente contra descargas atmosféricas.

Figura 36 - Caixa superior com condutor rompido (bloco 16).



Fonte: De autoria própria (2025).

Figura 37 - Conexão de aterramento rompida (bloco 14).



Fonte: De autoria própria (2025).

Figura 38 - Caixa de inspeção tipo solo com rompimento parcial e condutor exposto (bloco 16).



Fonte: De autoria própria (2025).

Além disso, verificou-se que muitas caixas de inspeção apresentam acesso dificultado. A Figura 39 ilustra uma caixa totalmente soterrada, com o tracejado indicando o local das caixas de inspeção. Por sua vez, a Figura 40 demonstra o estado precário de duas caixas distintas, nas quais também se observa o soterramento dos condutores.

Figura 39 - Caixas de inspeção enterradas (Bloco 14).



Fonte: De autoria própria (2025).

Figura 40 - Caixas de difícil acesso (Bloco 17).



Fonte: De autoria própria (2025).

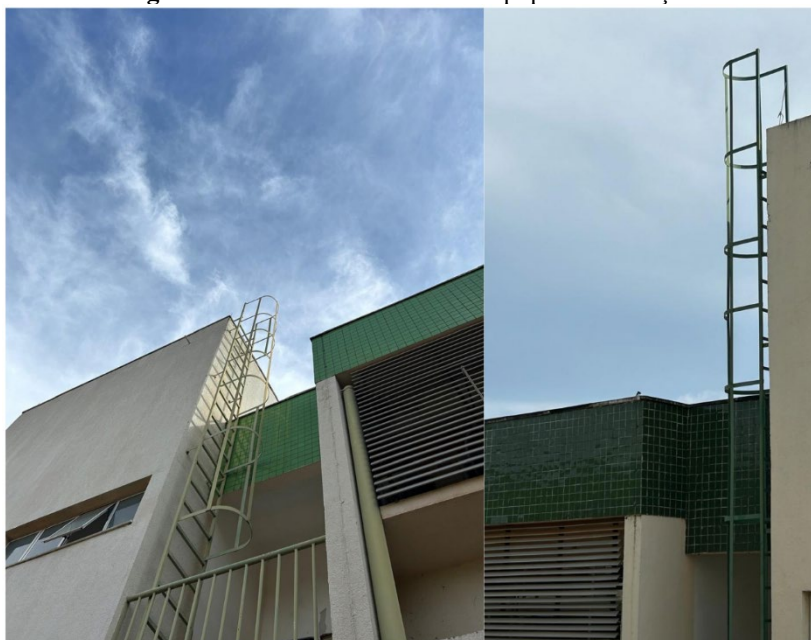
No decorrer da inspeção, verificou-se uma inconsistência na execução do SPDA, pois os suportes com reforço e roldanas especificados no projeto não foram instalados. No entanto, essa ausência não compromete a eficácia do sistema na edificação analisada, devido à superfície não condutora da platibanda, que dispensa esses suportes. Contudo, em outras situações, sua falta poderia comprometer a integridade do SPDA, elevando o risco de centelhamento.

Durante a verificação da equipotencialização das estruturas, constatou-se que os racks dos CPDs estão equipotencializados, garantindo segurança elétrica e proteção contra falhas e oscilações de tensão, com alimentação fornecida por *nobreaks*. No entanto, as eletrocalhas metálicas não estão conectadas ao sistema de aterramento, o que compromete sua função de blindagem eletromagnética contra tensões induzidas. Para garantir a proteção adequada e evitar interferências, recomenda-se a conexão das eletrocalhas ao aterramento, utilizando condutores e acessórios apropriados para assegurar a continuidade elétrica e a eliminação de diferenças de potencial

Além disso, constatou-se que o alambrado ao redor dos blocos 14 a 17 não possui aterramento próprio e nem está equipotencializado ao aterramento da edificação. A ausência de conexão ao sistema de equipotencialização pode representar um risco de tensões perigosas em caso de descargas atmosféricas ou falhas elétricas.

Outro problema identificado foi a presença de uma escada metálica localizada na parte superior do prédio, cuja altura excede a dos mini captos conforme exposto na Figura 41. Além de não estar equipotencializada, o que por si só representa um risco considerável, ela ainda pode se tornar o ponto preferencial de impacto de descargas atmosféricas em razão de sua altura. Sem uma equipotencialização adequada, a escada pode concentrar as correntes das descargas, ocasionando danos à estrutura, aos equipamentos próximos e colocar em risco a segurança das pessoas na zona de impacto.

Figura 41 - Escada metálica sem equipotencialização.



Fonte: De autoria própria (2025).

Ademais, foi detectado um problema significativo: grande parte da malha de captação está ausente ou cortada/seccionada, como observado na Figura 42. A observação direta revelou que as conexões entre os componentes da malha, que deveriam garantir a continuidade elétrica e a dispersão das correntes provenientes de descargas atmosféricas, estão ausentes ou mal executadas.

Figura 42 - Ruptura de parte da malha de aterramento.



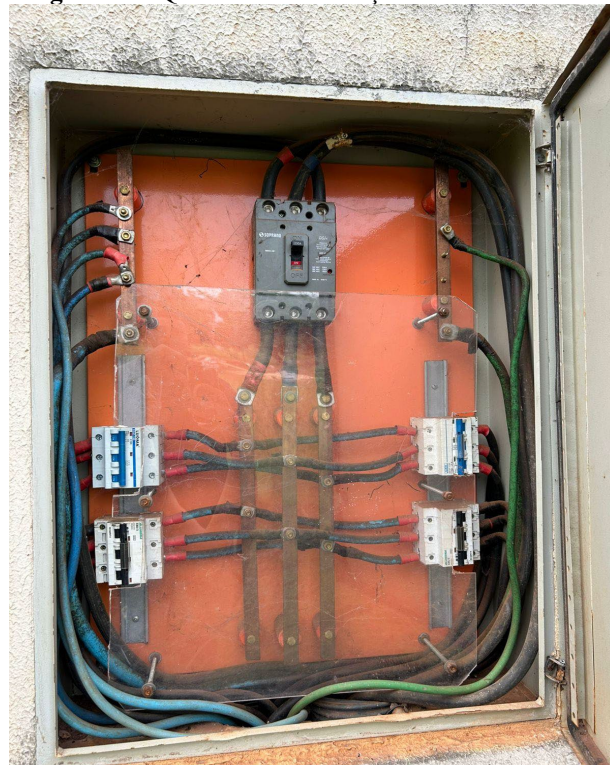
Fonte: De autoria própria (2025).

Embora o projeto executado não especifique medidas detalhadas de proteção contra surtos, verificou-se a existência de DPS Classe 2 em todos os quadros de distribuição dos

blocos, o que é fundamental para a proteção de equipamentos sensíveis contra os efeitos do pulso eletromagnético devido as descargas atmosféricas (LEMP). Cada bloco conta com um quadro de distribuição localizado na parte superior e outro na parte inferior. Além disso, observou-se que os blocos 16 e 17 compartilham um quadro de alimentação único, conforme ilustrado na Figura 43, enquanto os blocos 14 e 15 são alimentados diretamente da subestação, conforme apresentado na Figura 44.

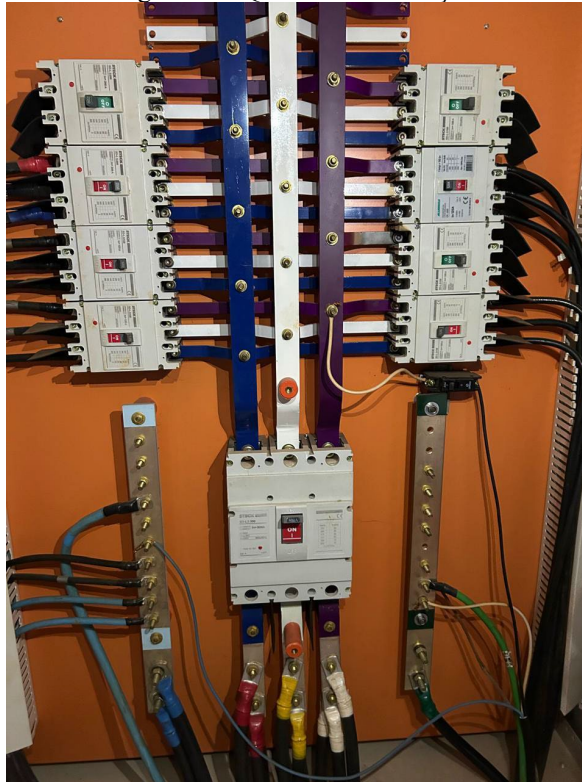
No entanto, constatou-se a ausência de DPS Classe 1, um componente essencial para locais onde há a instalação de SPDA. O DPS Classe 1 é responsável por suportar surtos de alta intensidade decorrentes de descargas atmosféricas diretas na estrutura ou na rede de alimentação, descarregando essa energia de forma segura para o sistema de aterramento. Assim, recomenda-se a implementação de DPS Classe 1 nos quadros de distribuição principais, conforme preconizado pela ABNT NBR IEC 61643-1:2007, a fim de garantir a conformidade normativa e a segurança da instalação.

Figura 43 - Quadro de alimentação dos blocos 16-17.



Fonte: De autoria própria (2025).

Figura 44 - Quadro da subestação.

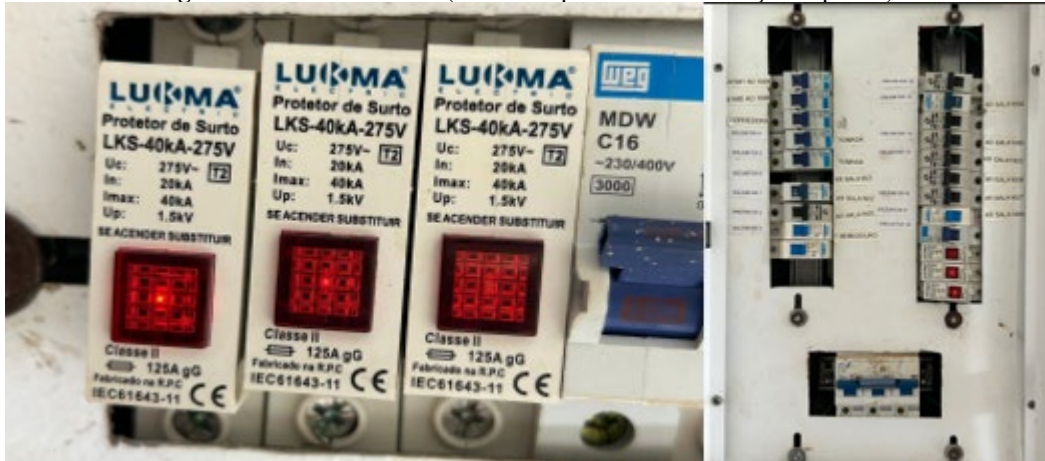


Fonte: De autoria própria (2025).

Foi constatado que os DPS instalados nos blocos 16 (Figura 45) e 17 (Figura 46) foram acionados. Esse acionamento ocorre quando os dispositivos absorvem surtos transitórios, perdendo sua capacidade de proteção. Conforme as normativas técnicas, os DPS devem ser substituídos imediatamente após o acionamento para garantir a continuidade da proteção contra surtos.

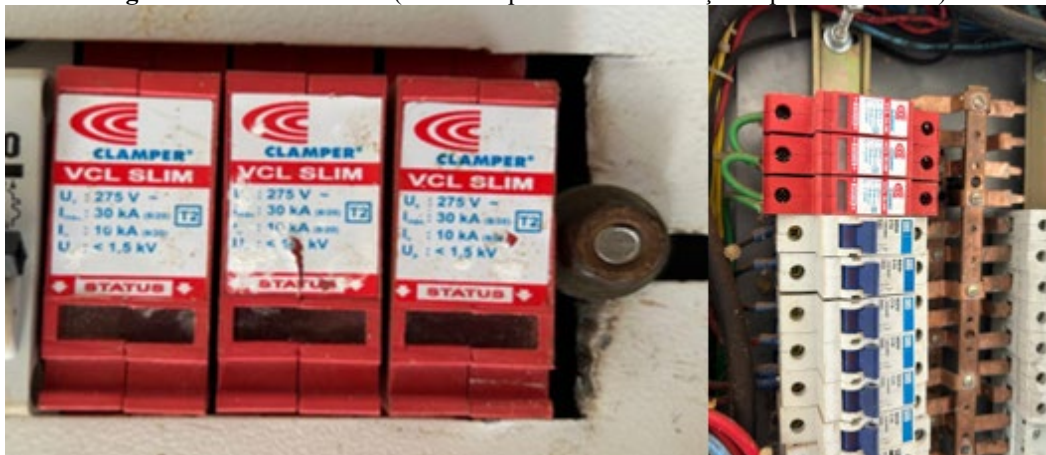
A condição de acionamento foi identificada pelos indicadores visuais dos dispositivos, evidenciando a necessidade de inspeções periódicas e manutenções preventivas para assegurar o funcionamento adequado do sistema elétrico e a proteção dos equipamentos conectados.

Figura 45 - DPS acionado (bloco 16 quadro de distribuição superior).



Fonte: De autoria própria (2025).

Figura 46 - DPS acionado (bloco 17 quadro de distribuição superior e inferior).



Fonte: De autoria própria (2025).

Diante dessas constatações, conclui-se que o SPDA do IFTO – Campus Palmas apresenta sérias deficiências que comprometem sua conformidade com as normas técnicas. O sistema não está apto a oferecer a proteção necessária contra descargas atmosféricas, sendo imprescindível a adoção de medidas corretivas.

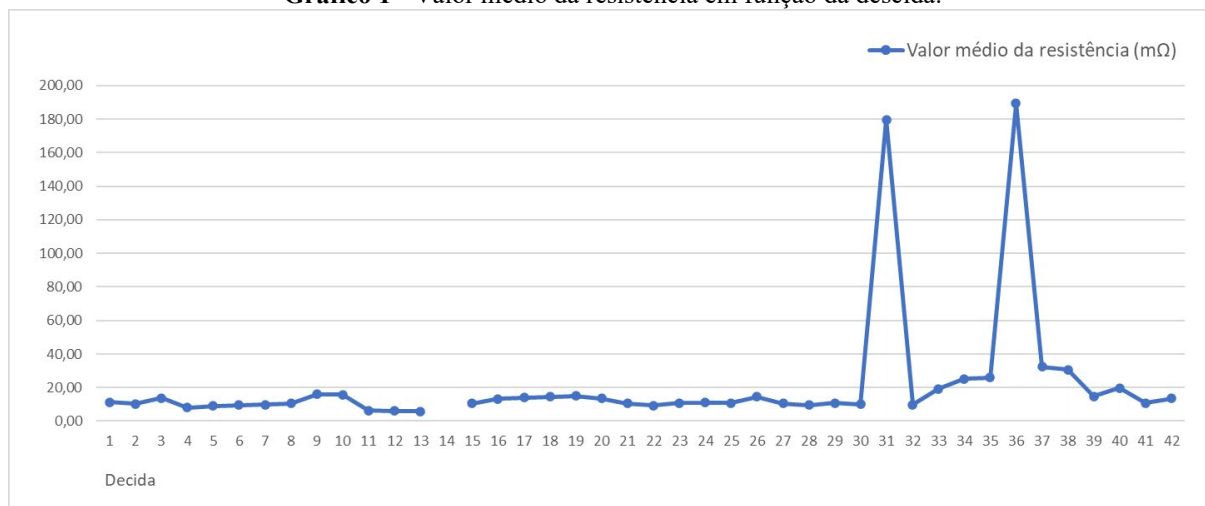
4.3 Resultados dos ensaios de continuidade elétrica

Os resultados das medições do subsistema de descida, assim como a identificação das caixas de inspeção verificadas em campo, estão detalhados no Apêndice B.

Foram realizadas três medições da resistência elétrica em cada descida do sistema. Em seguida, calculou-se a média aritmética dos valores obtidos para cada descida, a fim de obter um valor representativo da resistência média em cada ponto de medição. O Gráfico 1 apresenta os valores de resistência do subsistema de descida do SPDA nos blocos de aula 14 ao 17 do IFTO Campus Palmas.

No eixo vertical, encontram-se os valores de resistência obtidos a partir das medições realizadas, enquanto o eixo horizontal corresponde às descidas numeradas de 1 a 42. Cada numeração indica uma descida específica do sistema, que foi submetida às medições individuais para avaliar a eficácia do sistema de proteção. A interpretação dos dados evidencia a variação dos valores de resistência entre as diferentes descidas, proporcionando uma visão detalhada do desempenho do sistema de proteção.

Gráfico 1 - Valor médio da resistência em função da descida.



Fonte: De autoria própria (2025).

A análise indica que a maioria das descidas apresentou resistência média entre 10 e 20 mΩ, refletindo boa continuidade elétrica. Essa faixa de valores sugere que, em grande parte do sistema, as condições dos condutores e a integridade das conexões estão em conformidade com os padrões técnicos estabelecidos. No entanto, a descida representada pelo número 14 no gráfico não apresenta continuidade devido ao rompimento do condutor retratado na Figura 30, e verificaram-se picos de resistência elevados, próximos de 180 mΩ, nas descidas 31 e 36. Esses valores atípicos podem estar relacionados a conexões inadequadas, oxidação, corrosão ou falhas estruturais nos condutores.

Paralelamente, o ensaio de continuidade do sistema de aterramento dos blocos de aula 14 ao 17 do IFTO - Campus Palmas não foi realizado devido à ausência de conectores nas caixas de inspeção superiores, o que impediu a desconexão entre o sistema superior e o inferior. Dessa forma, foi possível apenas verificar a continuidade entre os blocos, confirmando que estavam devidamente interligados.

Adicionalmente, foi constatado um problema crítico nos blocos 14 e 17, onde a continuidade das medições cruzadas foi comprometida com a ausência de uma grande parte do condutor da malha de captação. Essa falha representa um risco significativo, uma vez que o SPDA não está devidamente interligado, prejudicando a proteção integral contra descargas atmosféricas.

Conclui-se que, embora as medições do subsistema de descida tenham apresentado resultados satisfatórios, o SPDA possui diversas irregularidades que comprometem sua eficácia e segurança. Entre as principais falhas identificadas, destacam-se a descontinuidade elétrica em vários pontos, com a ausência de trechos dos condutores da malha de captação, rompimento do condutor de descida e impossibilidade das medições do subsistema de aterramento. Essas não conformidades indicam que o sistema está em desacordo com as normas técnicas vigentes, exigindo correções para garantir seu pleno funcionamento.

4.4 Resultados das medições da resistência de aterramento

As medições ocorreram na manhã do dia 20 de novembro de 2024, em um dia ensolarado, com temperatura ambiente de 26°C, condições que não interferiram nas medições devido à estabilidade climática ao longo do processo. Os testes realizados para a avaliação da resistência de aterramento foram conduzidos de acordo com a metodologia previamente estabelecida, utilizando o terrômetro digital modelo MTD20KWR. Durante o procedimento, o eletrodo auxiliar de tensão foi ajustado em três distâncias distintas, a fim de determinar a região de patamar e, com isso, a precisão das medições.

A área selecionada para as medições foi a parte leste do bloco de aula 14 do Instituto Federal do Tocantins (IFTO), Campus Palmas.

Durante os testes, foram registrados os seguintes valores de resistência de aterramento: 15,7 ohms, 16,87 ohms e 18,90 ohms. A média aritmética desses valores resultou em 17,15 ohms, valor adotado como referência para a análise da resistência de aterramento do local. Este valor reflete as condições do solo no momento das medições, proporcionando uma estimativa precisa da sua resistência à passagem de corrente elétrica.

De acordo com a norma ABNT NBR 15749, que estabelece os critérios para a realização de testes de resistência de aterramento, foi verificado que a variação entre os valores individuais obtidos ficou dentro da margem de 10%, um limite aceitável que atesta a consistência e a precisão dos resultados. Esse comportamento atendendo os limites da zona de patamar, estipulados pela norma, assegura que os valores obtidos são válidos e confiáveis.

Vale ressaltar, que a distribuidora de energia local, Energisa Tocantins (ETO), estabelece que a resistência do solo, em relação ao sistema de aterramento, deve ser inferior a 20 ohms, conforme consta na NDU 001 v7.0 de 2024. Assim, os resultados obtidos, com uma média de 17,15 ohms, estão em total conformidade com os requisitos da ETO, garantindo que o sistema de aterramento do bloco de aulas, no que tange à resistência de terra, está adequado às normas de segurança e eficiência exigidas pela regulamentação local.

A Figura 47, apresenta um dos valores de resistência registrados durante os testes, ilustrando a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Figura 47 - Valor da resistência do solo.



Fonte: De autoria própria (2025).

4.5 Resultados do novo projeto conforme a norma vigente NBR 5419-2015

Diante do processo metodológico apresentado anteriormente, foi desenvolvida a proposta de readequação do projeto do SPDA dos blocos de aula 14 ao 17 do IFTO Campus Palmas, utilizando a plataforma Autocad versão estudantil. A princípio, conforme a análise de risco realizada previamente, classificou a edificação a Classe II do SPDA, considerando as características da edificação e o nível de risco envolvido. Com base nessa necessidade, foi adotado o Método das Malhas, assegurando a proteção abrangente em toda a área construída.

Em relação ao descritivo da proposta de projeto desenvolvida, apresenta-se que para o Sistema de Captação, foram projetados mini captos dispostos sobre a extensão do telhado, interligados por uma malha de captação em barra chata de alumínio de $\frac{7}{8}$ " x $\frac{1}{8}$ " (70 mm²), um material com excelente custo benefício, sendo altamente condutor e resistente à corrosão. A disposição dos mini captos no projeto foi feita de forma a garantir uma cobertura uniforme e eficaz, minimizando os pontos de vulnerabilidade da edificação.

Além disso, para o subsistema de descida, projetou-se os condutores deste subsistema conforme o distanciamento e memorial de cálculo estabelecido pela normativa vigente, ABNT NBR 5419-3:2015, totalizando 38 descidas ao longo de toda a estrutura. O condutor de descida indicado em projeto foi a barra chata de alumínio de $\frac{7}{8}$ " x $\frac{1}{8}$ " (70 mm²).

Por fim, no dimensionamento do sistema de aterramento, foi projetada uma malha de aterramento em forma de anel em torno de cada conjunto de blocos, equipotencializando todos os condutores de terra e partes metálicas da edificação em Barramentos de Equipotencialização Principal (BEP's) e Barramentos de Equipotencialização Local (BEL's).

O condutor da malha de aterramento projetada foi o cabo de cobre nú encordado, com bitola de 50 mm² e fabricado com 7 fios. A escolha do condutor da malha considerou a bitola mínima de utilização de acordo com os critérios mecânicos e térmicos constantes na ABNT NBR 5419:2015 para condutores de cobre do aterramento.

A configuração adotada no projeto do subsistema de aterramento foi cuidadosamente planejada para reduzir significativamente os riscos associados às tensões de passo e toque, aumentando a segurança dos ocupantes dos blocos de aula. O sistema foi dimensionado para garantir uma adequada dissipação da corrente de descarga atmosférica, minimizando potenciais gradientes de tensão na superfície.

Além disso, foi recomendada a instalação de caixas de inspeção de concreto estrategicamente distribuídas ao longo do subsistema, permitindo a manutenção periódica e a verificação do desempenho do aterramento ao longo do tempo. Essa medida possibilita a inspeção visual, a realização de medições de resistência e continuidade elétrica, bem como eventuais intervenções corretivas, garantindo a conformidade do sistema com as normas técnicas vigentes.

Paralelamente, foi prevista a instalação de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) para mitigar sobretensões transitórias que possam comprometer a infraestrutura elétrica. Dessa forma, a inclusão de DPS Tipo 1 na subestação e no quadro de alimentação dos blocos 16-17 assegura a proteção contra descargas atmosféricas diretas, enquanto a especificação de DPS Tipo 2 em todos os quadros locais resguarda os equipamentos elétricos e eletrônicos contra

sobretensões induzidas. Essa abordagem integrada fortalece a confiabilidade e a longevidade do sistema elétrico, prevenindo falhas e danos aos dispositivos sensíveis conectados à rede.

Em síntese, todo o projeto foi estruturado em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 5419 (2015), garantindo que o sistema atualizado atendesse às exigências normativas e proporcionasse um nível de proteção eficiente para as edificações de aula do IFTO. Sendo assim, o projeto de proposta da adequação do SPDA buscou corrigir as deficiências identificadas e incorporar melhorias técnicas que asseguram a integridade estrutural do edifício e a segurança de seus usuários.

4.6 Comparações entre o projeto Atualizado e o Projeto Existente

Com a atualização do projeto do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), foi possível propor melhorias significativas em conformidade com a norma ABNT NBR 5419:2015. Essas mudanças visam aprimorar a eficiência e a segurança do sistema em comparação ao projeto anterior, atendendo aos novos parâmetros normativos. Nesse viés, será detalhado os principais avanços realizados.

Entre as melhorias propostas, destaca-se a redução na distância entre os condutores de descida, o que levou ao aumento do número de descidas no sistema. Essa alteração proporciona maior eficiência na condução das correntes elétricas para o solo, reduzindo os riscos associados às descargas atmosféricas. Além disso, o sistema de captação também foi ampliado, com a instalação de captosres em pontos estratégicos. Além de proteger as periferias do edifício, captosres foram posicionados na parte central, aumentando significativamente a área protegida contra descargas.

Outro aspecto relevante foi a ampliação do sistema de aterramento, com o aumento do número de hastes instaladas. Essa medida foi atribuída com o objetivo de reduzir a resistência do sistema, garantindo uma dissipação mais eficaz das correntes no solo. Por fim, as caixas de inspeção de PVC foram substituídas por modelos em concreto, mais resistentes e duráveis. Essas caixas foram estrategicamente posicionadas para facilitar manutenções preventivas, otimizando a acessibilidade e a vida útil do sistema.

As mudanças implementadas no novo projeto do SPDA refletem um avanço significativo em relação ao sistema anterior. Com o aumento do número de descidas, a ampliação do sistema de captação, o aumento no número de hastes de aterramento e a substituição das caixas de inspeção, o sistema agora oferece maior segurança, eficiência e conformidade com as exigências normativas. Essas melhorias reforçam a proteção das

instalações e demonstram um compromisso com a durabilidade e a manutenção eficiente do sistema. Nesse contexto, a Tabela 8 mostra de maneira clara e objetiva as principais diferenças refletidas na readequação do projeto do SPDA.

Tabela 8 - Visão Geral: Projeto existente, Situação em campo e Projeto atualizado.

Aspecto Avaliado	Projeto Existente	Situação em Campo	Projeto Atualizado
Sistema de Captação	Captorez posicionados apenas nas periferias do Edifício.	Posicionados apenas nas periferias do bloco, sinais de desgastes e desalinhados.	Captorez posicionados também na parte central do telhado.
Subsistema de Descida	24 descidas, maior distância entre os condutores.	Apenas 21 descidas, quantidade inferior ao projeto existente	38 descidas com uma distância menor entre os condutores.
Sistema de Aterramento	Menor número de hastes de Aterramento.	Número de hastes reduzidas, em desacordo com o previsto no projeto	Maior número de hastes com intuito de reduzir a resistência
Caixa de Inspeção	Caixas de PVC, menos duráveis e resistentes.	Quantidade menor ao que foi exigido pelo projeto, mau estado e locais de difícil acesso	Caixa de Concreto, maior durabilidade em locais estratégicos.

Fonte: De autoria própria (2025).

4.7 Cronograma de Manutenções Preventivas

Foi desenvolvido um cronograma, conforme apresentado na Tabela 9, que documenta a situação atual do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas do campus, abrangendo as tarefas a serem desenvolvidas e suas respectivas periodicidades. Esse planejamento foi estruturado de forma a garantir o acompanhamento contínuo das condições do sistema, contribuindo para a segurança das instalações e a conformidade com as normas técnicas vigentes.

A proposta prevê a participação ativa dos estudantes do curso de Engenharia Elétrica na atualização e monitoramento desse cronograma, permitindo que os discentes acompanhem e registrem os resultados das inspeções realizadas por profissionais especializados. Além disso, os próprios estudantes poderão realizar vistorias e medições periódicas, sob orientação dos professores responsáveis pela disciplina de SPDA, promovendo a aplicação prática dos conceitos estudados em sala de aula. Essa abordagem integrativa não apenas fortalece a formação técnica e profissional dos alunos, como também estimula o senso de responsabilidade na manutenção de sistemas elétricos críticos.

Adicionalmente, o presente trabalho pode ser utilizado como um guia técnico para a implementação de manutenções preventivas no SPDA, oferecendo uma referência estruturada e padronizada para a execução de inspeções periódicas. Essa documentação detalha os critérios de avaliação, os procedimentos de medição e os parâmetros aceitáveis para a resistência de aterramento, visando a identificação precoce de falhas e a preservação da eficiência do sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Tabela 9 - Cronograma de manutenções preventivas.

Tarefa	Frequência	Descrição da Tarefa	Responsável	Data de início	Data de término	Observação
Inspeção visual do sistema de captação e decida	Anual	Verificar captores, condutores, suportes e conexões quanto à integridade física e corrosão.	[Nome]	[Data]	[Data]	-
Verificação das caixas de inspeção	Semestral	Avaliar acessibilidade, conexões e estado das caixas.	[Nome]	[Data]	[Data]	-
Teste de continuidade elétrica	Anual	Medir resistência elétrica dos subsistemas de captação, descida e aterramentos.	[Nome]	[Data]	[Data]	-
Medição da resistência de aterramento	Anual	Avaliar a eficiência do aterramento	[Nome]	[Data]	[Data]	-
Verificação e substituição de DPS	Semestral	Identificar dispositivos acionados e substituí-los, se necessário.	[Nome]	[Data]	[Data]	-

Fonte: De autoria própria (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas nos Blocos 14 a 17 do IFTO – Campus Palmas revelou deficiências significativas que comprometem a segurança da edificação e de seus ocupantes. Problemas como a ausência de equipotencialização nos elementos metálicos, cortes na malha de captação, falhas no subsistema de descida e no acionamento de Dispositivos de Proteção contra Surto (DPS) foram identificados, destacando a urgência de ações corretivas para adequação à norma vigente.

As medições de continuidade elétrica e resistência de aterramento indicaram inconsistências que impactam diretamente a segurança da estrutura. Embora a resistência de aterramento esteja dentro dos limites exigidos pela distribuidora local, a descontinuidade elétrica em certos pontos representa riscos elevados de falhas no sistema de proteção. Para mitigar essas falhas, um novo projeto de SPDA foi desenvolvido, levando em consideração os requisitos normativos e as condições específicas da infraestrutura. As principais melhorias incluem a redistribuição dos captadores, o aumento do número de descidas para reduzir a distância entre os condutores, a ampliação do sistema de aterramento com a inclusão de mais hastes e a substituição das caixas de inspeção de PVC por modelos de concreto, garantindo maior durabilidade e facilidade de manutenção.

Além disso, foi proposto um cronograma de manutenção preventiva para o acompanhamento regular do sistema, prevenindo futuras falhas. A participação dos estudantes de Engenharia Elétrica nesse processo fortalece sua formação acadêmica e profissional, promovendo a integração entre teoria e prática na área de proteção contra descargas atmosféricas.

Por fim, o estudo evidencia a importância da avaliação contínua e da adequação dos sistemas de proteção elétrica, não apenas para garantir a segurança dos ocupantes e a preservação da infraestrutura, mas também para reforçar a necessidade de revisões periódicas de PDAs em instituições de ensino. Este processo contribui para a criação de ambientes mais seguros e a disseminação de boas práticas na área, ampliando a conscientização sobre a importância da proteção contra descargas atmosféricas.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15749. **Medição de resistências de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento.** Rio de Janeiro, p. 49. 2009.

ABNT NBR 5419:2015. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT NBR 5419:2010. **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT NBR IEC 61643-1:2007. **Dispositivos de proteção contra surtos em baixa tensão. Parte 1:** Dispositivos de proteção conectados a sistemas de distribuição de energia de baixa tensão - requisitos de desempenho e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2007.

ABRACOPEL - **Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade.** Disponível em: <<https://abracopel.org/blog/os-maiores-problemas-gerados-por-choques-eletricos/>> Acesso em: 17 de Setembro de 2024.

CLAMPER. Loja Clamper. Disponível em: <https://www.lojaclamper.com.br/?srsltid=AfmBOoq2ju1wD8JAxgobPHGenro0Ol5tyP7O9CKwXuEnCZZAf6KiiOZK>. Acesso em: 2 fev. 2025.

COUTINHO, Fernando Nominato; ALTOÉ, Cássio Alexandre. Levantamento de Estruturas que Necessitam de SPDA na UnB e Análise de seus Efetivos Sistemas de Proteção. **Projeto Final de Graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília**, 2003.

DANTAS, Rômulo Marucci. **Levantamento prévio de acidentes e danos materiais causados por descargas em edificações atmosféricas em edificações no Distrito Federal.** 2015.

ELAT (2024) **A estrutura elétrica da atmosfera.** Grupo de Eletricidade Atmosférica - ELAT, INPE, S.D. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/eletricidade.atmosferica/estrutura.eletrica.da.atmosfera.php> Acesso em: 29 de Maio de 2024.

ELAT (2023a) **Você sabia ? Perguntas e Respostas.** Grupo de Eletricidade Atmosférica - ELAT, INPE, S.D. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>> Acesso em: 18 de Julho de 2023.

ELAT (2023b) **Tipos de relâmpagos.** Grupo de Eletricidade Atmosférica - ELAT, INPE, S.D. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/tipos.php>>. Acesso em: 10 de Julho de 2023.

ENERGISA (2024) **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária a Edificações Individuais.** Norma de Distribuição Unificada NDU – 001, Versão 7.0, 2024. Disponível em: Acesso em: < <https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/normas-tecnicas.aspx> >

FLORES, Ana J. M. **Análise e Aplicação de Métodos para o Cálculo da Resistência de Terra em Sistemas com N Elétrodos Instalados em Solos Heterogêneos**, PORTO, P.10, set. 2014.

INPE (2021) **Levantamento inédito sobre mortes por raios no Brasil resulta em segunda melhor matéria de divulgação científica em 2020**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Portal Elat, São José dos Campos, SP, 2021. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5770. Acesso em: 10 de Julho de 2023.

MARZAGÃO, Davi Ávila Ferreira. **Sistema de Proteção contra Descarga Atmosférica**. Universidade de Taubaté - Unitau, 2021.

MEGABRAS. **Terrômetro Digital MTD-20KWR**. Megabras, [s.d.]. Disponível em: <https://www.megabras.com/pt-br/produtos/terrometro/terrometro-digital-MTD20KWR.php>. Acesso em: 3 fev. 2025.

Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004.

NACCARATO, Kleber Pinheiro. **Análise das características dos relâmpagos na região sudeste do Brasil. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, 2005.

PAULINO, José Osvaldo Saldanha; BARBOSA, Célio Fonseca; MOREIRA, Ronaldo Kascher; BARBOSA, Wagner Almeida; LOBO, Marcelo Augusto Freire; LOBO, Ailton Ricaldoni. **Proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra surtos elétricos em instalações**. 1. ed. Lagoa Santa: Editora Clamper, 2016. ISBN 978-85-93065-00-2.

PROETTI, Sidney. **As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: Um estudo comparativo e objetivo**. Revista Lumen-ISSN: 2447-8717, v. 2, n. 4, 2018.

SILVA, Josiel da Cunha. **A relação entre raios e chuvas nos arredores de Manaus: análise de casos extremos**. 2013.

SOUZA, André Nunes de et al. **SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas Teoria, Prática e Legislação**. São Paulo: Érica, 2014.

SOUSA, Angélica Silva; DE OLIVEIRA, Guilherme Saramago; ALVES, Laís Hilário. **A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos**. Cadernos da FUCAMP, v. 20, n. 43, 2021.

TOKEN ENGENHARIA - Disponível em: <<https://tokenengenharia.com.br/tensao-de-passo-e-tensao-de-toque-formula-calculo-e-medidas-de-protecao/>> Acesso em: 18 de Julho de 2023.

TAVEIRA, Arthur Breciani dos Santos Marques. **Descargas atmosféricas em conjunto de árvores próximas: um estudo qualitativo das copas e raízes e equivalência com a gaiola de Faraday. 2017.** 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

VISACRO-FILHO, Silvério. **Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia.** 1.ed. São Paulo: Artiber, 2005, 272p.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE INSPEÇÃO DOS BLOCOS 14,15,16,17.

Relatório de Inspeção do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosférica	
Dados Gerais	
Nome da Edificação: IFTO	UF: TO
Endereço da Edificação: Quadra Ae 310 Sul, Av. NS 10, S/N - Palmas - TO	
Data da Vistoria: 06/05/2024	
Condições Climáticas da região: (X) Período chuvoso () Período de Seca	
Perímetro da Edificação (m): 350	Altura Total da Edificação (m): 8,52
Dados Construtivos da Edificação	
Telhado (Cobertura): Metálicas	Paredes: Concreto pré moldado
Colunas: Concreto pré moldado	Aterramento: Em anel
Riscos Associados à edificação	
R1 - Risco de perda de vida humana	R3 - Risco de perda de patrimônio cultural
R2 - Risco de perda de serviço ao público	R4 - Risco de perda de valores econômicos
Informações do SPDA Instalado	
Item	Observações
Metodologia da Inspeção:	Inspeção visual, medições de resistência de aterramento e análise das condições gerais do sistema.
Sistema de Captação:	Mini captos apresentam sinais de desgaste e corrosão, comprometendo sua eficácia na captação de descargas.
Malha de Captação e Descida:	Foram identificadas múltiplas rupturas, incluindo pontos onde a cordoalha está completamente rompida.
Sistema de Aterramento:	O sistema de aterramento apresenta resistência de aterramento fora dos parâmetros exigidos pelo projeto.
Caixa de Inspeção:	Caixas existentes encontram-se em mal estado de conservação.
Testes Realizados:	Testes de Aterramento e Testes de Continuidade das Descidas.
DPS:	Foram identificados DPS's Classe 2 acionados e a ausência de DPS Classe 1 no quadro geral.
Equipotencialização:	Parte das estruturas metálicas não estão devidamente equipotencializadas.
CONSIDERAÇÕES FINAIS	
Em conformidade com a norma: () SIM (X) NÃO	
OBSERVAÇÕES GERAIS	
O SPDA existente apresenta sérias deficiências e requer adequações para garantir a segurança e a conformidade com as normas vigentes.	

APÊNDICE B – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DO SUBSISTEMA DE DESCIDA E IDENTIFICAÇÃO DAS RESPECTIVAS CAIXAS DE INSPEÇÃO.

Os resultados das medições de continuidade estão apresentados na Tabela 10 (Bloco 16 e 17) e na Tabela 11 (14 e 15).

Tabela 10 – Medições de continuidade dos Blocos de Aula 16 e 17 do IFTO

Decida	Resistência média	1ª Medição (mΩ)	2ª Medição (mΩ)	3ª Medição (mΩ)
1	11,20	11	11,1	11,5
2	10,33	10,3	10,3	10,4
3	13,87	14	14,1	13,5
4	7,97	7,8	7,9	8,2
5	8,93	8,9	8,9	9
6	9,63	9,5	9,6	9,8
7	9,83	9,8	9,8	9,9
8	10,43	10,5	10,3	10,5
9	16,10	15,8	16	16,5
10	15,87	15,6	16	16
11	6,30	6,2	6,3	6,4
12	5,97	5,9	6	6
13	5,90	5,9	5,9	5,9
14	Condutor rompido	Condutor rompido	Condutor rompido	Condutor rompido
15	10,53	10,6	10,5	10,5
16	13,17	13	13	13,5
17	14,00	14	14	14
18	14,50	14,5	14,5	14,5
19	15,00	15	15	15
20	13,63	13,5	13,5	13,9
21	10,67	10,6	10,7	10,7

Fonte: De autoria própria (2025).

Tabela 11 – Medições de continuidade dos Blocos de Aula 14 e 15 do IFTO

Decida	Resistência média	1ª Medição (mΩ)	2ª Medição (mΩ)	3ª Medição (mΩ)
22	9,33	8,8	8,8	10,4
23	10,87	9,6	9,5	13,5
24	10,97	12,4	12,3	8,2
25	10,87	11,9	11,7	9
26	14,47	16,8	16,8	9,8
27	10,50	10,8	10,8	9,9
28	9,57	9,1	9,1	10,5
29	10,73	9,2	11,5	11,5
30	10,17	9,8	11	9,7
31	179,67	179	180	180
32	9,70	9,3	10,1	9,7
33	19,20	19,2	19,2	19,2
34	25,27	25,2	25,3	25,3
35	25,83	25,5	26	26
36	189,33	195	180	193
37	32,33	32	32	33
38	30,67	30	32	30
39	14,77	14,6	15	14,7
40	19,83	22,2	17,3	20
41	10,87	10,7	11	10,9
42	13,43	13,3	13,4	13,6

Fonte: De autoria própria (2025).

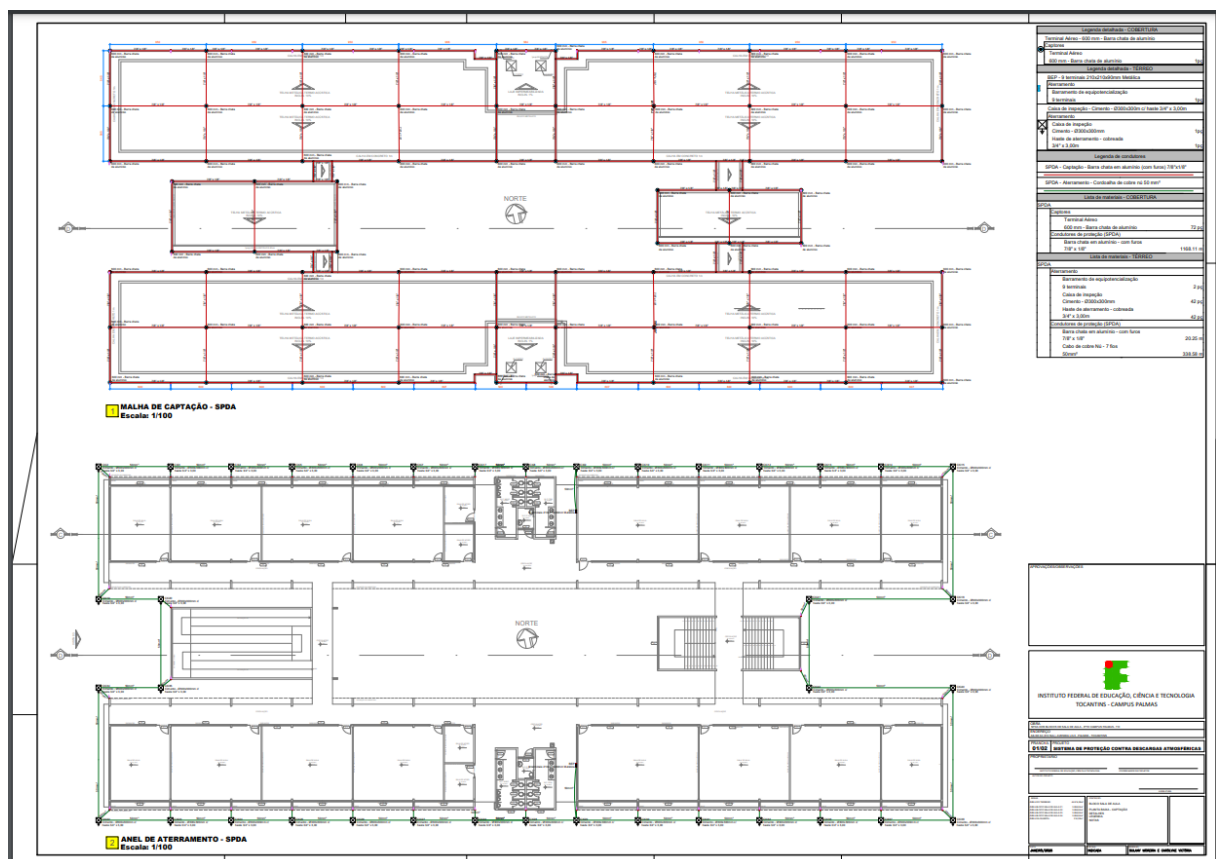
A planta baixa para verificação das descidas enumeradas nas Tabelas 10 e 11 estará disponível para visualização no Acervo do presente trabalho, acessível aos Estudantes e Servidores do IFTO, por meio do link:
<https://drive.google.com/drive/folders/1s00sTf9e9ZAxz5G_I2cB1jk-yz5xY6XH>

APÊNDICE C – PROJETO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS CONFORME AS DIRETRIZES DA ABNT NBR 5419:2015.

O projeto atualizado de readequação do SPDA dos Blocos de aula 14 ao 17 do IFTO Campus Palmas está disponível para consulta no Google Drive. O acesso ao acervo pode ser feito pelo seguinte link: <https://drive.google.com/drive/folders/1wcYwM4NGMk_huqlmCRYj7m9F_HrOtt0D>. O conteúdo é restrito à comunidade acadêmica do IFTO, sendo necessário utilizar o e-mail institucional (@ifto.edu.br) para o acesso.

A Figura 48 apresenta a primeira folha do projeto de readequação do SPDA dos Blocos de aula 14 ao 17 do IFTO Campus Palmas, já com as devidas atualizações exigidas pela ABNT NBR 5419-3:2015.

Figura 48 – Folha nº 1 da planta baixa de readequação do SPDA dos blocos de aula



Fonte: De autoria própria (2025).