



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Autarquia Municipal de Regime Especial

pelo Dec. Fed. nº 78.924/76

Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP

Departamento de Engenharia Elétrica

Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi

Taubaté-Sp 12060-440

Davi Ávila Ferreira Marzagão

**SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGA ATMOSFÉRICA**

**TAUBATÉ
2021**



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Autarquia Municipal de Regime Especial

pelo Dec. Fed. nº 78.924/76

Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP

Departamento de Engenharia Elétrica

Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi

Taubaté-Sp 12060-440

Davi Ávila Ferreira Marzagão

**SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGA ATMOSFÉRICA**

**TAUBATÉ
2021**

Davi Ávila Ferreira Marzagão

**SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGA ATMOSFÉRICA**

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Pedro Peres

**Grupo Especial de Tratamento da Informação -
GETI Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau**

M393s Marzagão, Davi Ávila Ferreira
Sistema de proteção contra descarga atmosférica / -- Davi
Ávila Ferreira Marzagão. -- 2021.
47 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté,
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Mauro Pedro Peres, Departamento
de Engenharia Elétrica.

1. Aterramento. 2. Choques elétricos. 3. Descargas
atmosféricas.

I. Universidade de Taubaté. Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica. Graduação em
Engenharia Elétrica e Eletrônica. II. Título.



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA

DAVI ÁVILA FERREIRA MARZAGÃO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA”

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES

Orientador/UNITAU-DEE

Eng. Me. RAMON MOREIRA PERES

AGC

Prof. Me. CARLOS HENRIQUE SILVA MOURA

Faculdade Anhanguera

Dezembro de 2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, sem ele eu não teria capacidade para desenvolver este trabalho, e aos meus pais que sempre me ajudaram nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, e também a minha falecida vó Dinorah, que sempre esteve do meu lado.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fieis a nós mesmos.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Descargas atmosféricas são fenômenos naturais impressionantes e de grande risco, que podem ser previstos e evitados. Os raios são responsáveis por danos a redes elétricas de baixa e alta tensão e, quando atingem estas instalações, queimam equipamentos ou interrompem a disponibilidade da energia elétrica. Devido à falta de profissionais qualificados para desenvolver projetos na área de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, buscou-se desenvolver um estudo completo de todas as etapas que são necessárias para implantação desses sistemas de proteção. Para tanto, foi projetado o SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) com o levantamento de uma estrutura e detalhamento do seu grau de risco, da avaliação da necessidade de proteção, do dimensionamento, da separação das etapas para o desenvolvimento do projeto, determinação do modelo ideal de proteção e do sistema de aterramento, da avaliação dos critérios necessários para o projeto seguindo as normas da ABNT a NBR 5419 de 2015, a qual sofreu diversas mudanças desde sua última versão de 2005.

Palavras-chave: Aterramentos. Choques elétricos. Descargas atmosféricas. SPDA.

ABSTRACT

Lightning strikes are impressive and highly risky natural phenomena that can be predicted and avoided. Lightning is responsible for damage to low and high voltage electrical networks and, when they reach these installations, they burn equipment or interrupt the availability of electrical energy. Due to the lack of qualified professionals to develop projects in the area of protection systems against atmospheric discharges, we sought to develop a complete study of all the steps that are necessary to implement these protection systems. For this purpose, the SPDA (Atmospheric Discharge Protection System) was designed with the survey of a structure and detailing of its degree of risk, the assessment of the need for protection, the dimensioning, the separation of steps for the development of the project, determination of the ideal model of protection and of the earthing system, of the evaluation of the criteria necessary for the project, following the norms of ABNT NBR 5419 of 2015, which has undergone several changes since its last version in 2005.

Keywords: Groundings. Electric shocks. Atmospheric discharges. LPS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	17
Figura 2.....	22
Figura 3.....	22
Figura 4.....	23
Figura 5.....	23
Figura 6.....	24
Figura 7.....	28
Figura 8.....	28
Figura 9.....	31
Figura 10.....	41
Figura 11.....	41
Figura 12.....	42

LISTA DE TABELAS

Quadro 1.....	19
Quadro 2.....	20
Quadro 3.....	27
Quadro 4.....	32
Quadro 5.....	33
Quadro 6.....	34
Quadro 7.....	36
Quadro 8.....	37
Quadro 9.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
1.2 Justificativa	15
1.3 Estrutura do trabalho	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 A eletricidade	16
2.2 A eletricidade e o risco de acidentes	16
2.2.1 O choque elétrico	18
2.3 História do raio	20
2.3.1 Formação do raio	21
2.3.2 Mapa de densidade demográfica	23
2.3.3 Equipamentos utilizados na proteção contra descargas atmosféricas	24
2.3.4 Danos causados em estrutura	25
2.3.5 Danos causados por descargas atmosféricas na estrutura	25
2.3.6 Danos causados pela descarga atmosférica próxima à estrutura	26
2.3.7 Tipos de Danos	26
2.3.8 Tensão de toque e passo	27
2.4 Subsistema de aterramento	29
2.4.1 Condição geral do aterramento	29
3 ESTUDO DE CASO	30
3.1 Definição de valores e parâmetros	31
3.2 Probabilidades que podem causar danos a seres vivos	34
3.3 Quantidade média de perda	36
3.4 Riscos de perdas permanentes de vida humana R1	37
3.5 Método de projeto	39
Fonte: Dados do autor	40
3.6 Sistema de captação	40
3.7 Condutores de descida	42
4 COMENTÁRIOS E DISCUSSÕES	43
5 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Em 2018, o número de acidentes com origem elétrica subiu em 5,8% em relação a 2017. Foram 1424 acidentes de origem elétrica, sendo que 59% causados por choques, 38% incêndios por sobrecargas e 3% por descargas atmosféricas (raios). O Brasil lidera o ranking de acidentes de origem elétrica. Diante deste cenário de acidentes com eletricidade, constata-se as evidências empíricas de que os acidentes podem ser evitados (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABRACOPEL).

A ABNT NBR 5410 é uma Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – Estabelece as condições mínimas necessárias para o perfeito funcionamento de uma instalação elétrica de baixa tensão, garantindo, assim, a segurança de pessoas, animais e a preservação dos bens. (Licença de uso exclusivo para Target Engenharia e comércio LTDA) (ABNT NBR 5410, 2004).

As falhas causadas pelas descargas atmosféricas afetam o funcionamento normal de indústrias, casas, prédios entre outros pontos consumidores, trazendo prejuízos na produção de bens e serviços, além de transtornos. Busca-se, por meio de estudos, desenvolver dispositivos que contribuam com a proteção de equipamentos, que geralmente possuem grande valor atribuído, e evitar danos maiores. Mesmo desenvolvendo o projeto de SPDA, seguindo as definições que constam na norma, não se está totalmente protegido, mas sim minimizando ao máximo os danos e perdas causados pelas descargas atmosféricas (RIBEIRO; CARDOSO, 2016).

Buscar-se-á abordar integralmente todas as etapas do projeto sistema de proteção contra Raios (SPDA), demonstrando a formação destas descargas (raio) e seus efeitos, estrutura e características elétricas, análise da estrutura a ser protegida, o número determinado pelo aterramento, o equipotencial, resistividade do solo, nível de risco, nível de (SPDA) a ser instalado, método de instalação, entre outros parâmetros, seguindo a norma regulatória brasileira de 2015 NBR 5419 e abordar os pontos que foram alterados nas normas relativas à versão NBR 5419 de 2005.

1.1 Objetivos

Demonstrar as orientações técnicas e critérios necessários para desenvolver um projeto de SPDA para uma estrutura de um galpão, com objetivo avaliar a necessidade de aplicação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, levando em conta o risco de exposição, probabilidade de perdas e danos que possam ser causados colocando em risco a segurança de pessoas e a integridade das estruturas, entre outros parâmetros.

1.2 Justificativa

Justifica-se a opção pelo tema, visto que poderá ajudar as pessoas interessadas neste tópico a adquirir conhecimento sobre o raio, sua origem, seus efeitos, como se proteger e adaptar o método de instalação ao padrão que fornece o guia usado para instalação estrutural (SPDA). Logo, entender melhor como é gerada a descarga atmosférica, quais os efeitos, e como evitar os possíveis danos causados, utilizando o SPDA, para proteger a construção, a vida de pessoas e animais, e equipamentos faz-se relevante.

1.3 Estrutura do trabalho

Pesquisa realizada por meio de revisão de literatura e posterior estudo de caso, o qual será projetar o SPDA com o levantamento de uma estrutura e detalhamento do seu grau de risco, da avaliação da necessidade de proteção, do dimensionamento do SPDA, da separação das etapas para o desenvolvimento do projeto, determinação do modelo ideal de proteção e do sistema de aterramento, da avaliação dos critérios necessários para o projeto seguindo as normas da ABNT a NBR 5419 de 2015, a qual sofreu diversas mudanças desde sua última versão de 2005. Adequar todas as condições para a segurança das pessoas e integridade das estruturas.

Para realização do estudo utilizou-se da norma da ABNT – NBR 5419 de 2015, considerando todas as condições e critérios para a definição do uso do sistema proteção contra descargas atmosféricas que garante a segurança das pessoas e integridade das estruturas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A eletricidade

A eletricidade teve início com o filósofo Tales de Mileto a 600 a.C. Tales descobriu uma resina vegetal fóssil petrificada chamada âmbar (elektronoi) que atritando a pele com a lã atraía outros objetos. Esse foi o primeiro relato de geração e manipulação da eletricidade estática (GOUVEIA, 2016).

Muitos outros contribuíram com suas descobertas; em 1730 o físico inglês Stephen Cray descobriu os condutores e isolantes elétricos; 1733 o químico Francês Charles Dufay propôs a existência de dois tipos de eletricidade a vítrea e a resinosa; 1750 Benjamin Franklin tornou conhecido o termo positivo e negativo na eletricidade. No século XIX a ideia do átomo foi aceita com ela a convicção que eletricidade que é uma propriedade de partícula elementares que compõem o átomo (elétrons, prótons e neutros) (GOUVEIA, 2016).

A energia elétrica faz parte do nosso dia a dia, pois é impossível pensar em qualidade de vida sem a presença da eletricidade. Não é possível viver sem ela nos dias atuais, está presente em tudo, como residência, banco, computador, hospital, semáforo, celular só existem graças à energia elétrica. Mas utilizada ou manipulada de maneira inadequada pode causar acidentes fatais (PEREIRA, 2009).

A iluminação é muito importante para as atividades humanas, sendo essencial realizar um equilíbrio entre a qualidade e a sua quantidade em um ambiente, deve se levar em consideração também a utilização da luz natural ou solar. Cada indivíduo tem a sua preferência do tipo de iluminação de acordo com a idade, a hora do dia, as atividades executadas e a relação com o ambiente. O uso preferencial da luz natural proporciona às pessoas maior tolerância a mudança do nível de luminosidade iluminância (LAMBERTS et. al., 2014).

2.2 A eletricidade e o risco de acidentes

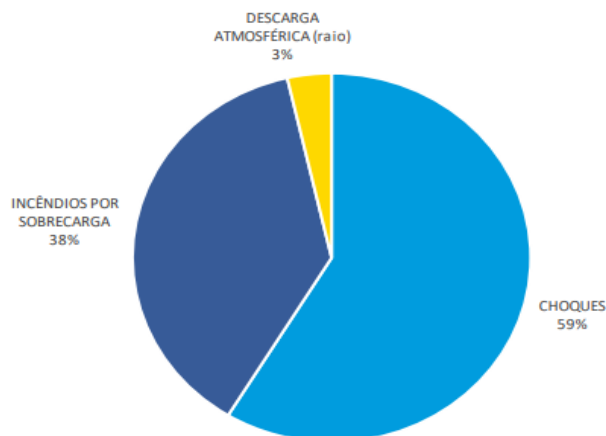
As estatísticas demonstram o crescimento de acidentes causados por eletricidade. Abracopel (Associação Brasileira de Conscientização para Perigos da Eletricidade), relata que em 2018 houve 1424 acidentes causados por origem elétrica. Segue um trecho da matéria explicativa sobre como esses dados são colhidos:

“A Abracopel faz uso da informação eletrônica, disponível nos meios de comunicação, como forma de identificar os acidentes de origem elétrica que acontecem no país. Ao difundirem a notícia sobre os acidentes e incêndios de origem elétrica ocorridos na região de cobertura de seus respectivos veículos de imprensa, os profissionais de mídia - apresentadores, repórteres, radialistas, articulistas, entre outros formadores de opinião - contribuem para os registros contidos no Anuário Abracopel. A essa fonte de informação está incorporada a ferramenta de alerta de notícias criada pelo Google, o que permite à Abracopel acompanhar palavras-chaves específicas de interesse para captação de dados. Outros colaboradores espalhados pelo país são os eletricitistas e profissionais técnicos do setor elétrico, que também informam sobre os acidentes em suas regiões de atuação, ampliando nossa base de dados. De posse dessas informações, uma equipe depura cada uma das notícias recebidas, para constatar a veracidade do fato.” (ABRACOPEL-2019)”

A Figura 1 indica os acidentes de origem elétrica em 2018, somando 836 acidentes por choque elétricos, 537 ocorrências de incêndio e 51 acidentes por descargas atmosféricas.

Figura 1: Acidentes de origem elétrica

1424 ACIDENTES DE ORIGEM ELÉTRICA - 2018



Fonte: www.eng-eletrica.bh.cefetmb.br <Acessado em 23/10/21>

2.2.1 O choque elétrico

O choque Elétrico é a passagem de uma corrente elétrica no corpo humano ou animal, o organismo recebe estímulos rápidos do sistema nervoso. Isso ocorre pela diferença de potencial entre dois corpos distintos (NEITZEL, 2008).

Os acidentes por choques elétricos podem ocorrer por contato direto com a parte viva energizada ou indireta, quando a massa fica sobtensão devida uma falha de isolamento. Os efeitos do choque elétrico sobre o corpo humano são formigamento, dor e forte formigamento, convulsões e parada respiratória, fibrilação, queimaduras e parada cardíaca (NEITZEL, 2008).

Com a passagem de corrente, há um estímulo do sistema nervoso acidental e de curta duração, e a mesma circula no corpo, fazendo-o parte de um circuito elétrico com tensão suficiente para superar sua resistência elétrica (AFFONSO et al., 2007).

O choque elétrico pode ser classificado em três categorias: (KINDERMANN, 2000).

- Choque estático, aquele advindo pela descarga de um capacitor (acumulador de cargas elétricas), acumuladas nas capacitâncias parasitas de equipamentos ou em linhas de transmissão desligadas;
- Choque dinâmico, aquele decorrente do contato direto (com um circuito energizado) ao se tocar acidentalmente na parte viva de um condutor energizado nu ou com defeito, fissura ou rachadura na isolação, queda de condutor da rede de energia elétrica, etc.; ou no contato indireto (com um corpo/massa eletrizado), ao se tocar nas massas (carcaças) energizadas por defeitos como fissura na isolação dos condutores elétricos;
- Choque por ação direta ou indireta das descargas atmosféricas, que são gigantescas descargas elétricas entre nuvens ou entre nuvens e terra, que proporcionam choques elétricos de forma semelhante a enormes capacitores e, com isso, altíssimas correntes.

No Quadro 1 pode-se analisar o que cada corrente provoca no corpo humano.

Quadro 1: Danos causados pelo choque elétrico

CORRENTE (mA)	DANOS CAUSADOS
1mA a 10mA	Formigamento
10mA a 20mA	Dor e Forte Formigamento
20mA a 100mA	Convulsões e Parada Respiratória
100mA a 200mA	Fibrilação
>200mA	Queimaduras e Parada Cardíaca

Fonte: dados do autor

Quando a corrente elétrica entra por uma extremidade do corpo humano e sai por outra, pode ser agravante, pois transcorre pelo coração e ou cérebro. Esse é o pior choque elétrico, pois pequenos valores de corrente percorridos por esses caminhos podem resultar em morte (KINDERMANN, 2000).

Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Brasil é campeão mundial em raios. Esse fenômeno da natureza é formado por uma descarga elétrica de imensa intensidade. A elevação térmica chega até 30000°C, chegando a descarregar em um ponto de impacto em fração de segundo. Se esse ponto for um ser humano ele poderá ser eletrocutado devido a passagem elétrica no seu corpo, podendo acarretar serias lesões e até a morte (AFFONSO et al., 2007).

Desta forma, descargas atmosféricas são fenômenos naturais impressionantes e de grande risco, que podem ser previstos e evitados, os raios são responsáveis por danos a redes elétricas de baixa e alta tensão, quando atingem estas instalações queimam equipamentos ou interrompem a disponibilidade da energia elétrica. Esses efeitos causados por essas descargas são de forma direta e indireta, na baixa tensão ocorrem com menos frequência do que na alta tensão, pois, as redes de distribuição ficam em alturas inferiores as redes de transmissão.

A descarga atmosférica pode afetar uma estrutura trazendo risco de morte as pessoas, falhas em instalações elétricas e dispositivos eletrônicos, com isso a necessidade projetos de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), que contribuam para o aumento

da segurança, evitem problemas de interrupção, interferência de sistemas de comunicação e reduzir danos físicos a estruturas. Os problemas de interrupção causados pelos raios, segundo estudos, no Brasil cerca de 30% ocorrem em redes de distribuição. As sobre tensões temporárias são condições severas e causam danos permanentes em equipamentos (NETO; PIANTINI, 2007).

No Quadro 2 pode-se ilustrar os tipos de intensidade de raios mais comuns.

Quadro 2: Percentagem da magnitude dos raios.

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

Fonte: dados do autor

2.3 História do raio

As descargas atmosféricas são um fenômeno incrível que durante muito tempo foi considerado manifestação da fúria dos deuses, em 1706 nasce Benjamin Franklin que anos depois desmistificaria a origem dos raios, Franklin nasceu em Boston nos Estados Unidos, trabalhou desde cedo, sendo jornalista, editor, autor, abolicionista, filantropo, funcionário público, diplomata, cientista e inventor. Por volta de 1748, Franklin já desenvolvia estudos relacionados a eletricidade, o que o ocuparia juntamente com a vida política e de negócios, até sua morte em 1790. Ele desenvolveu descoberta das cargas positivas e negativas da eletricidade que lhe renderiam uma reputação internacional. Em 1752, descobriu brincando com seu filho durante uma tempestade com uma pipa em formato de papagaio, sentiu pequenas descargas

elétricas, o que contribuiu para a invenção do para-raios tipo Franklin para proteger as casas, e estruturas e instalações (ISAACSON, 2015).

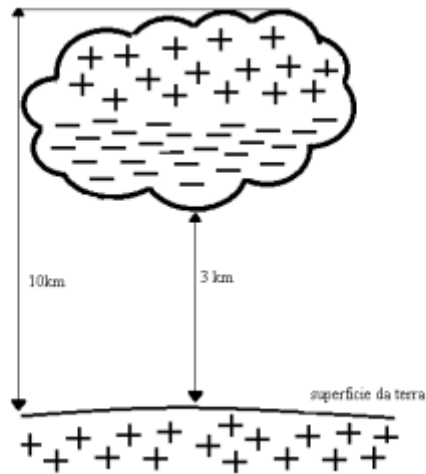
2.3.1 Formação do raio

Ao longo do tempo, foi criada a teoria que explicasse o raio. Pode-se dizer, nos dias atuais, que as descargas elétricas têm como criação no interior das nuvens, pela fricção de partículas de H₂O (água). Um estudo foi verificado que cargas positivamente carregadas se situam na parte superior, enquanto as cargas negativamente carregadas situam-se na parte inferior das nuvens, criando assim a característica bipolar, apresentado na figura 1.

A terra possui cargas positivas, a união dessas cargas produz uma diferença de potencial (DDP), entre a nuvem e a terra, o ar possui uma rigidez dielétrica variável de acordo com as condições do ambiente, a rigidez é alta em dias de baixa umidade do ar e baixa em dias de mais umidade. O aumento da (DDP) entre a nuvem e a terra é denominado gradiente de tensão e seus valores podem ultrapassar a resistência dielétrica do ar, o que resulta na migração das cargas elétricas em direção a terra, por um caminho tortuoso e normalmente com várias ramificações, denominado como descarga piloto.

O valor do gradiente de tensão onde a rigidez dielétrica do ar é rompida é de aproximadamente 1kV/ mm. O caminho é aberto pela ionização do ar seguido pela descarga 22 piloto o que favorece a condução elétrica. O aumento do gradiente de tensão entre a nuvem e a terra gera-se uma ramificação da descarga piloto, que se constitui de cargas elétricas positivas e é denominado descarga ascendente que sobe da terra para a nuvem e posteriormente a descarga principal desce em sentido a terra, gerando o fenômeno do trovão, o qual produz um estrondo causado pelo deslocamento de ar que circula o caminho do raio em efeito do aumento de temperatura (MAMEDE, 2010). A Figura 2 ilustra a composição de cargas elétricas na nuvem e no solo.

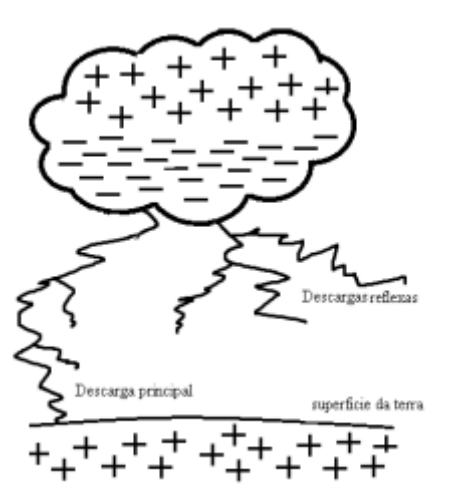
Figura 2 – Composição de cargas elétricas na nuvem e no solo



Fonte: Dados do autor

Na Figura 2, é visto a nuvem carregada com cargas positivas e negativas e a terra com carregada com cargas positivas, e as distancias em que a nuvem fica da terra.

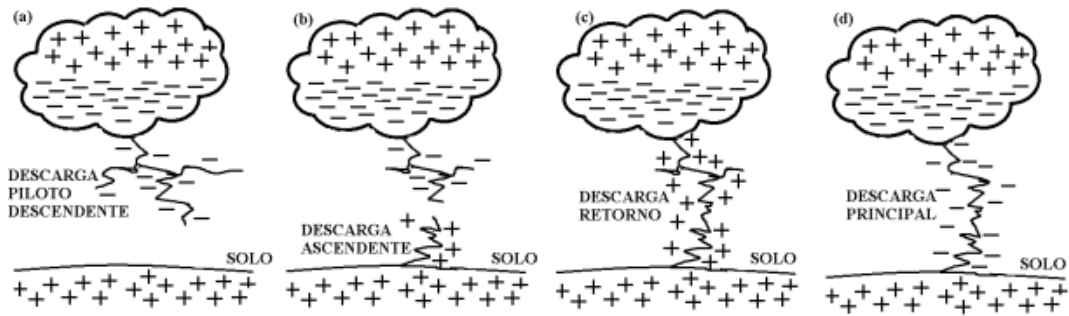
Figura 3 – Descargas atmosféricas múltiplas



Fonte: Dados do autor

Na Figura 3, as nuvens podem acumular grandes quantidades de cargas elétricas e se não descarregarem totalmente em uma descarga principal, logo após ocorrem diversas outras semelhantes a principal que são chamadas de descargas reflexas, para melhor entendimento das etapas de formação das descargas atmosféricas estão representadas na Figura 4.

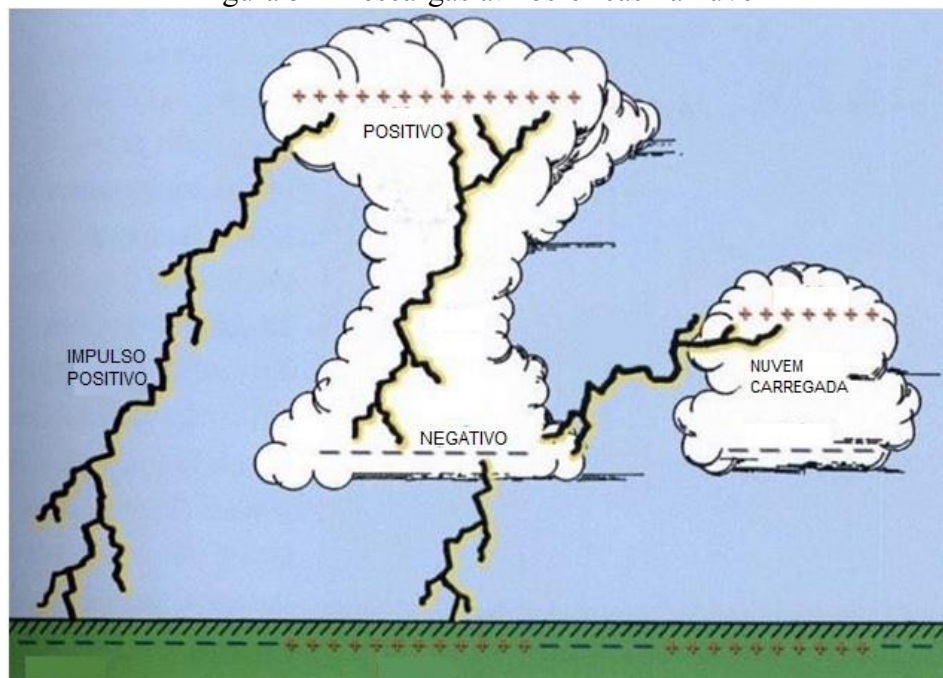
Figura 4 – Etapas de formação do raio



Fonte: dados do autor

Quando o relâmpago se conecta ao solo é chamada de raio, podendo ser denominado ascendente, quando inicia no solo e sobe em direção a tempestade, ou descendente, quando inicia na tempestade e desce em direção ao solo, como é demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Descargas atmosféricas na nuvem



Fonte: dados do autor

2.3.2 Mapa de densidade demográfica

A utilização do mapa isoceráunico (mapa de curvas que representa o número de dias com trovoadas por ano), que deixou de ser utilizado para avaliação da necessidade de um

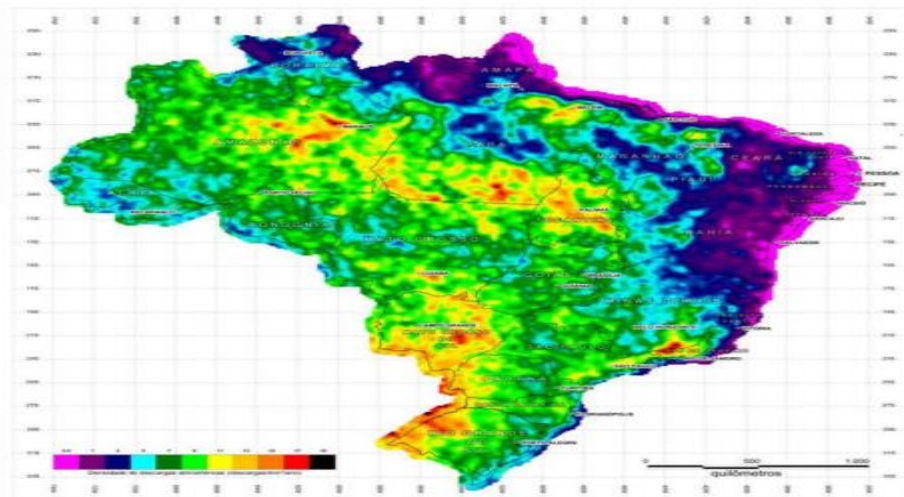
sistema de proteção contra descargas atmosféricas, para determinação da densidade de descargas atmosféricas N_g , visando a obtenção de valores mais precisos para N_g e utilizando-se das novas tecnologias a atualização da norma ABNT NBR 5419 de 2015 adotou uma nova forma de consulta.

O Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (ELAT/INPE) disponibiliza o mapa de densidade de descargas atmosféricas, através do site do ELAT na internet, traz dados para todo território nacional, utilizando-se dos registros de pulsos luminosos capturados do espaço, pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM da NASA. Durante o período de 1998 a 2011.

O mapa possui uma escala de cores na legenda que contém dez valores de densidade de descargas atmosféricas. Valores que vão de 0,5 a 19 descargas atmosféricas/km²/ano e são representados pelas cores de lilás claro para 0,5 e preto 19.

Verifica-se que índices menores de incidência de descargas atmosféricas ocorrem nos estados litorâneos do nordeste do Brasil e os lugares com maiores densidades de descargas estão espalhados por vários pontos do mapa, sendo os estados: Amazonas, entre o Rio de Janeiro e Minas Gerais, Sul do Pará, Sudeste de Mato Grosso do Sul entre outros pontos do mapa. Conforme Figura 6.

Figura 6 – Mapa de densidade de descargas atmosféricas



Fonte: ABNT (2015)

2.3.3 Equipamentos utilizados na proteção contra descargas atmosféricas

Conforme os critérios básicos para proteção de estruturas, item oito da NBR 5419 parte um, define-se em um aspecto geral, para se obter a proteção ideal de uma estrutura, precisa-se

envolver a estrutura em um circuito blindado e perfeitamente condutor, que esteja aterrado, com espessura correta e tenha suas ligações equipotenciais adequadas para as linhas elétricas e tubulações metálicas que a estrutura possui, a fim de impedir que a corrente de descarga e campo eletromagnético invada sistemas internos, causando centelhamentos, sobretensões, efeitos eletromagnéticos entre outros distúrbios perigosos.

Considera-se que frequentemente é inviável obter proteção total seguindo essas medidas, sendo que quando mal projetados esses sistemas de proteção podem se tornar um risco eminente, a falta de continuidade na blindagem do sistema condutor ou espessuras inadequadas, podem permitir a entrada da corrente do raio, podendo causar danos a estruturas, circuitos internos, equipamentos eletrônicos e risco de vida as pessoas. Para evitar tais problemas, deve-se tomar medidas de proteção e projetar conforme os parâmetros de corrente e níveis de proteção contra descargas atmosféricas prescritos na norma (ABNT, 2015).

2.3.4 Danos causados em estrutura

Estruturas atingidas por descargas atmosféricas podem sofrer danos, causar falhas de sistemas internos e pôr em risco a vida de pessoas, as estruturas vizinhas podem ser afetadas também, mas depende da intensidade do raio e da característica das estruturas vizinhas. Devem ser considerados a posição do ponto de impacto em relação a estrutura, que pode ser: descargas atmosféricas na estrutura e próxima dela, sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura e próximas delas (NETO; PIANTINI, 2007).

Os distúrbios que ocorrem na linha de energia elétrica, não só interrompem a indução de sobretensão a estrutura, como também causam falhas ou danos a equipamentos de sistema dos consumidores.

2.3.5 Danos causados por descargas atmosféricas na estrutura

Os danos mecânicos à estrutura são causados por raios, e podem ocasionar explosões e fogo, pelo motivo de sobreaquecimento dos condutores, pode gerar o centelhamento também. Outros danos que podem ocasionar são a pessoas, devido a tensão de toque e passo gerada por

interferência de ondas eletromagnéticas geradas pelas descargas atmosféricas, conhecida como LEMP (*Lighting Eletromagnetic Impulse*) (RIBEIRO; CARDOSO, 2016).

A estrutura sofre danos com a queda de descargas atmosféricas, causa um visível dano físico a estrutura, podendo afetar estruturas vizinhas variando conforme o nível de intensidade da descarga, a incidência de raios depende da localização, como picos de morros ou áreas abertas, tamanho, tipo de estrutura e características construtivas, geralmente estruturas isoladas e grandes, como barracões com grande área construída, prédios e arranha-céus tem probabilidades maiores de sofrer uma descarga atmosférica.

2.3.6 Danos causados pela descarga atmosférica próxima à estrutura

Os danos causados quando a descarga atinge um ponto próximo a estrutura pode ocorrer falhas ou mau funcionamento em equipamentos de sistemas internos devido a interferência de ondas eletromagnéticas geradas pelas descargas atmosféricas, também conhecida como LEMP (*Lightning Eletromagnetic Impulse*).

As descargas podem causar falhas e mau funcionamento de sistemas internos devido as sobre tensões que são induzidas nas linhas que entram na estrutura, e podem causar três tipos de danos:

- D1 - Danos as pessoas pelo choque elétrico.
- D2 - Danos físicos e mecânicos as estruturas
- D3 - Falhas devido a LEMP (*Lightning Eletromagnetic Impulse*).

2.3.7 Tipos de Danos

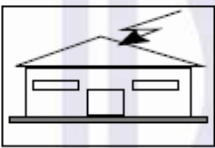
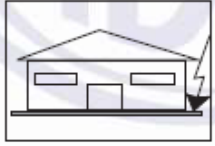
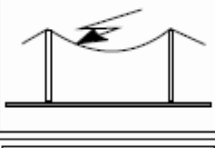

É de grande importância definir o tipo de dano que pode se causar na estrutura a ser protegida, em conjunto ou sozinha podem produzir diferentes tipos perdas. Na NBR 5419, considera-se os tipos de perdas:

- a) L1 - Danos permanentes ou perda da vida humana

- b) L2 - Perda de serviço público
- c) L3 - Perda de patrimônio cultural
- d) L4 - Perda de valores econômicos, por danos ou falhas que acarretam paradas de atividades

No Quadro 3, são definidos quais os danos e perdas que são causados pelas descargas atmosféricas em diferentes pontos da estrutura.

Quadro 3 – Danos e perdas da descarga atmosférica

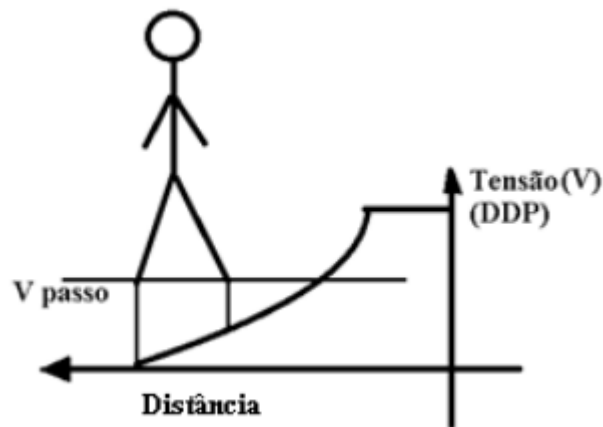
Ponto de impacto		Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Proximidades 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

2.3.8 Tensão de toque e passo

Segundo Raggi (2009) a tensão de passo é definida: é a diferença de potencial (DDP) que se estabelece entre a distância dos pés da pessoa, quando há a passagem de corrente no solo do local a tensão aumenta conforme a distância do passo, representado pela Figura 7.

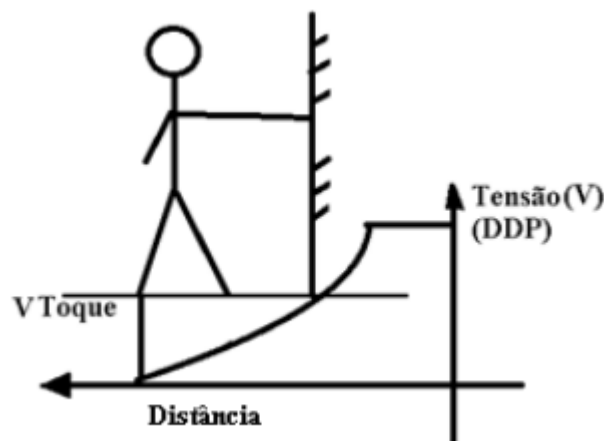
Figura 7- Relação distância X DDP que ocasiona na tensão de passo



Fonte: www.repositorio.roca.utfpr.edu.br <Acessado em 22/10/21>

A tensão de passo pode contrair os músculos das pernas fazendo o indivíduo cair, ao entrar em contato com o solo as demais extremidades do corpo transforma-se em tensão de toque que possui um agravante maior aos músculos e possível fibrilação muscular e cardíaca.

Figura 8 – DDP máx. entre mãos e pés



Fonte: www.repositorio.roca.utfpr.edu.br <Acessado em 22/10/21>

Segundo Flores (2014), tensão de toque é definido como o valor máximo da DDP entre a mão e os pés de uma pessoa que eventualmente pode ser submetida, causando a circulação de corrente elétrica pelo corpo da pessoa. Representado pela Figura 8. O indivíduo ao entrar em contato com a superfície que tenha a passagem de corrente elétrica poderá levar um choque, a intensidade ficará por conta da corrente que circula na superfície e da DDP das pernas com as

mãos, casos comuns de choques pela causa da tensão de toque são em carcaças de motores elétricos, que não estando aterradas facilitam a ocorrência, por exemplo.

2.4 Subsistema de aterramento

Método fundamental para dispersar a corrente elétrica da descarga atmosférica para a terra, avaliando o comportamento para reduzir ao máximo qualquer sobre tensão que possa ser potencialmente perigosa, e buscar aprimorar as dimensões geométricas do sistema de aterramento a fim de se obter o menor valor de resistência de aterramento possível levando em conta o arranjo do eletrodo e a topologia do solo. Para a proteção do conjunto da infraestrutura deve ser integrado para ser comum para diversos sistemas.

2.4.1 Condição geral do aterramento

Quando não se pode utilizar as fundações como aterramento, deve-se utilizar o arranjo em anel que é externo a estrutura a ser protegida, o qual deve ser interligado com as sapatas da fundação ou estar 80% em contato com o solo. Assim devem ser consideradas medidas preventivas contra as tensões superficiais perigosas, evitando danos pela tensão de passo ou toque.

3 ESTUDO DE CASO

O conceito de metodologia da pesquisa é modificado de acordo com sua tipologia, na qual se podem definir as seguintes categorias: A primeira definição é acerca da própria pesquisa, que é o:

[...] procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados (GIL, 2007).

Quanto aos objetivos, a presente pesquisa é definida como exploratória, que para Gil (2007), tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.

O estudo tem como objetivo avaliar a necessidade de aplicação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas levando em consideração o risco de exposição, probabilidade de perdas e danos que possam colocar em risco a segurança de pessoas e da estrutura, para uma estrutura metálica dentro da fábrica LG ELETRONICS DO BRASIL, no Prédio de Monitores, situado na cidade de Taubaté – SP, a estrutura fica situada no bairro do Piracandagua, na rua dom Pedro I. Foi representado através de desenhos criados no software AUTOCAD.

Dimensões da estrutura

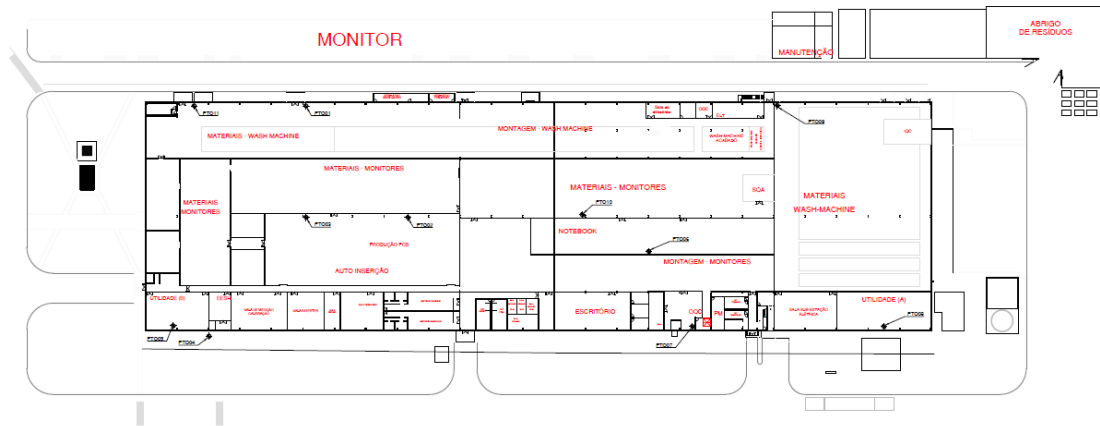
H - Altura: 12 m

W - Largura: 72 m

L - Comprimento: 260 m

O prédio está representado pela vista superior na Figura 9.

Figura 9 – Estrutura metálica do prédio



Fonte: Dados do autor

Para constar qual tipo de perda para essa estrutura foi verificado o parâmetro de densidade de descargas atmosféricas NG, no mapa de densidades, que é fornecido pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas espaciais (ELAT/INPE) com dados de todo território nacional. Foi utilizado o endereço de pesquisa no site, a cidade de Taubaté. A densidade NG utilizada foi de 9,49 por Km² por ano.

3.1 Definição de valores e parâmetros

Para avaliar os parâmetros de exposição e características da estrutura do meio ambiente, dos riscos e danos é definido através do Quadro 4.

Quadro 4 – Número de eventos perigosos

Parâmetros de entrada	Valor	Símbolo	Comentários
Densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km ² /ano)	9,4	Ng	Valor apresentado do site do ELAT
Área de exposição equivalente de uma estrutura isolada	$AD = 260 \times 72 + 2 \times (3 \times 12) \times (260 + 72) + \pi \times (3 \times 12)^2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $AD = 46.693,44$ </div>	AD	Área abrangente protegida
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada = 1	CD	Dado da tabela da norma
Consideração do número de eventos perigosos	$ND = 9,4 \times 46693,44 \times 1 \times 10^{-6}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $ND = 0,44$ </div>	ND	Formula na norma

Fonte: Dados do autor

-Consideração do número de eventos perigosos NL devido as descargas atmosféricas na linha

No Quadro 5 são definidos os critérios da área de exposição equivalente de descargas que atingem a linha AL, fator de instalação da linha CI, fator tipo de linha CT, e o fator ambiental CE.

Quadro 5 – Número de eventos perigosos

Parâmetros de entrada	Valor	Símbolo	Comentários
Número de eventos perigosos na linha	$NL = 9,4 \times 40000 \times 1 \times 0,5 \times 1 \times 10^{-6}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $NL = 0,1898$ </div>	NL	Formula na norma
Área de exposição equivalente que atingem a linha	$AL = 40 \times 1000$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $AL = 40000$ </div>	AL	Formula na norma
Área de exposição equivalente que atingem prox. linha	$AI = 4000 \times 1000$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $AI = 4000000$ </div>	AI	Formula na norma
Número de eventos perigosos próximos	$NI = NG \times AI \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6}$	NI	Formula na norma

a linha	NI = 18,98		
Fator instalação da linha	Isolada = 1	CI	Valor tabelado de acordo com a norma
Fator tipo de linha	Linha de energia ou sinal = 1	CT	Valor tabelado de acordo com a norma
Fator ambiental da linha	Urbano = 0,5	CE	Valor tabelado de acordo com a norma

Fonte: Dados do autor

3.2 Probabilidades que podem causar danos a seres vivos

São definidas as probabilidades de danos através do Quadro 6.

Quadro 6 – Probabilidade de dano

Parâmetros de entrada	Valor	Símbolo	Comentários
Probabilidade de causar danos a seres vivos	PA = 1×1 PA = 1	PA	Formula da norma
Valores de probabilidade	Sem SPDA	PB	Tabela de acordo com a norma

para reduzir danos físico	1		
A probabilidade que atinge uma linha e causa ferimentos em seres vivos	$PU = PTU \times PEB \times PLD \times CLD$ $PU = 0,005$	PU	Formula da norma
Probabilidade que atinge uma linha adentre a estrutura causando danos a seres vivos	<p>Avisos e alertas</p> <hr/> <p>0,1</p>	PTU	Formula da norma
Valor da probabilidade PEB em função do NP para o qual os DPS foram projetados	<p>Sem DPS</p> <hr/> <p>0,05</p>	PEB	Formula da norma
Valores da probabilidade resistência RS da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso UW do equipamento	1	PLD	Tabela de acordo com a norma
Linha enterrada não blindada	1	CLD	Tabela de acordo com a norma
Probabilidade que atinge uma linha e causa danos	$PV = PEB \times PLD \times CLD$	PV	Formula da norma

físicos		PV = 1			
---------	--	-----------	--	--	--

Fonte: Dados do autor

3.3 Quantidade média de perda

Nesse estudo considera-se apenas a quantidade média do tipo de perda L1.

-Perda de vida humana (L1).

Considerado nessa avaliação que os valores podem variar conforme o fator a ser escolhido, foi determinado que a construção seja com piso tipo asfalto. Possui um número médio de circulação de pessoas de 500 (quinhentas) pessoas e a presença de cada pessoa com 8760 (oito mil setecentos e sessenta) horas anuais.

O Quadro 7 indica os parâmetros de da quantidade média de perda do tipo L1.

Quadro 7 – Perda L1 vitimas

Parâmetros de entrada	Valor	Símbolo	Comentário
Fator de redução r_t em função do tipo de solo ou piso	0,00001	R_t	Tabela de acordo com a norma
Ferimentos	$LU = LA = 0,001 \times 0,01 \times$ $52 / 52 \times 8760 / 8760$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $LU = LA = 4,16 \times 10^{-8}$ </div>	D1	Formula da norma
Danos físicos	1	D2	Tabela de acordo com a norma
Fator de redução r_f em função do			

risco de incêndio ou explosão na estrutura	Normal = 0,001	Rf	Tabela de acordo com a norma
Fator hz aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial	2	hz	Tabela de acordo com a norma
Danos físicos LB	$LB = LV = 1 \times 0,001 \times 2 \times 0,02 \times (500/1200) \times 8760 / 8760$ $LB = LV = 1,66 \times 10^{-5}$	D2	Formula da norma

Fonte: Dados do autor

3.4 Riscos de perdas permanentes de vida humana R1

O Quadro 8 demonstra os riscos de perda de vida humana (R1)

Quadro 8 – Risco R1

Parâmetros de entrada	Valor	Símbolo	Comentários
-----------------------	-------	---------	-------------

Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1)	$RA = ND \times PA \times LA$ $RA = 1,84 \times 10^{-8}$	RA	Formula da norma
Componente que relaciona aos danos físicos (D2)	$RB = ND \times PB \times LB$ $RB = 7,38 \times 10^{-6}$	RB	Formula da norma
Componente de dano a seres vivos por choque elétrico (D1) S3	$RU = (NL + NDJ) \times$ $PU \times LU$ $RU = 6,8 \times 10^{-11}$	RU	Formula da norma
Componente relacionado a danos físicos(D2) S3	$RV = (NL + NDJ) \times$ $PV \times LV$ $RV = 1,36 \times 10^{-6}$	RV	Formula da norma
Risco de vítimas humanas	$R1 = RA + RB + RU +$ RV $R1 = 1,84 \times 10^{-8} + 7,38 \times 10^{-6} + 6,8 \times 10^{-11} + 1,36 \times 10^{-6}$	R1	Formula da norma

	$R1 = 1,90 \times 10^{-1}$	
--	----------------------------	--

Fonte: Dados do autor

O resultado obtido definiu que o risco R1 é maior que o valor definido de RT, com isso a instalação do SPDA é obrigatória a fim proteger a estrutura e garantir a segurança as pessoas. No entanto é indispensável o uso da ABNT NBR 5419 de 2015, para avaliar demais critérios e considerações.

Para reduzir o risco R1 a um valor menor que 10^{-5} , deve ser aplicado as medidas para reduzir os valores das componentes críticas RA e RB através de PB. Com o uso do SPDA classe III, se reduz o valor de RA e RB, assim chega-se em um valor de R1 igual a $9,65 \times 10^{-6}$. Valor abaixo do risco total, para os riscos que a estrutura está sujeita.

3.5 Método de projeto

Em função dos resultados obtidos, que mostra a necessidade de proteger a estrutura utilizando o SPDA, apresenta-se os procedimentos que devem ser seguidos para fazer o correto posicionamento do sistema de captore, conforme o Quadro 9.

Quadro 9- Aplicação do SPDA

Parâmetros de entrada	Valor	Símbolo	Referencia
Nível de proteção da estrutura predial	3	-	Dado de acordo com a norma
Classe do SPDA	3	-	Dado de acordo com a norma
Máximo afastamento			

dos condutores da malha (m)	15 × 15	-	Dado de acordo com a norma
H = 12 m – nível de proteção 3	Escolhido o método da Gaiola de Faraday	-	Dado de acordo com a norma

Fonte: Dados do autor

3.6 Sistema de captação

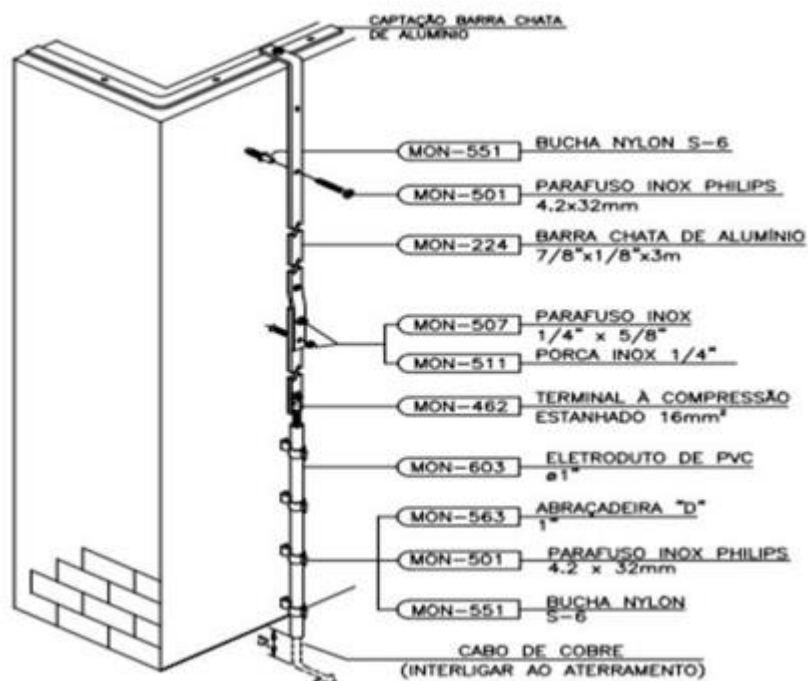
Para o sistema de captação, será utilizado como captores e condutores de captação a fita maciça de alumínio, utilizando-se a própria estrutura do telhado de Zinco para garantir a equipotencialização, que serão interligados ao sistema de descida utilizando cordoalhas. Na Figura 10 será ilustrado onde estarão situados as descidas e os pontos para a medição.

3.7 Condutores de descida

Foi escolhido a fita maciça de alumínio, mesma utilizada no sistema de captação, definiu-se trinta e oito descidas ao longo da estrutura predial, as descidas são conectadas na malha de aterramento, os condutores devem ser fixados na edificação, conforme Figura 12.

Para o subsistema de aterramento deve se construir um anel de aterramento para que garanta o contato com o solo, deve ser enterrado ao menos meio metro de profundidade, distante da parede a um metro na horizontal, em contorno da estrutura, deve-se realizar medições para aferir a resistência do solo e avaliar se há necessidade de adicionar mais hastes para reduzir a resistência de terra do subsistema.

Figura 12 – Subsistema de descidas



Fonte: MONTAL (2018)

4 COMENTÁRIOS E DISCUSSÕES

O foco do estudo foi avaliar a necessidade de aplicar o sistema de proteção contra descargas atmosféricas em uma estrutura, demonstrando os critérios utilizados pela ABNT NBR 5419 de 2015, desde as características de formação das descargas atmosféricas, incidência delas no Brasil e quais riscos e probabilidade de danos podem ser causados em estruturas, pessoas e sistemas causando perdas de vida humana, perda de serviço ao público, perdas de valores culturais e econômicos. Demonstraram-se os métodos de proteção contra descargas atmosféricas e suas características, como subsistemas de captação, subsistemas de descidas, e subsistemas de aterramento, SPDA internos e equipotencialização de sistemas, listas de materiais e métodos de posicionamento, fixação e conexão e por fim aplicação no estudo de caso.

Considerando a relação de valores dos riscos toleráveis RT e a perda de vida humana ou danos à saúde permanentes R1, obteve-se o valor de R1 acima do valor de RT. Conclui-se que a estrutura metálica situada na LG ELETRONICS DO BRASIL, no prédio de Monitor, que foi construído na cidade de Taubaté – SP, necessita da aplicação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, para evitar danos à saúde das pessoas e a integridade do edifício. Aplicou-se o método da gaiola de Faraday e definidos parâmetros e recalculado as componentes de Risco para se obter um resultado de R1 menor que RT, que foi igual a $9,65 \times 10^{-6}$, dentro do limite tolerável. Com isso pode-se projetar os subsistemas de captação, descidas e aterramento, e adequá-los ao melhor posicionamento.

5 CONCLUSÃO

A proposta do estudo do tema foi fundamentar o conhecimento nessa área importante da engenharia elétrica, auxiliar profissionais para desenvolver tais projetos, que buscam a integridade de estruturas e pessoas. O estudo de caso foi realizado de maneira didática, considerado apenas os possíveis danos a vida humana devido a choques elétricos. Para aplicação prática é indispensável a definição dos demais riscos, danos e particularidades conforme critérios da ABNT NBR 5419 de 2015.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, Rodrigo, GUIMARAES, Luís Felipe Antunes, OLIVEIRA, Fernando Antunes, SOUZA, Paulo Sérgio de, VIVEIROS, Nilton. **Adequação de procedimentos de trabalho a NR-10**. Estudo de caso. 2007. X f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) – Faculdade Politécnica de Jundiaí.

AGENCIA FAPESP. **Ranking de raios**. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/ranking_de_cidades_com_mais_raios/13806/>. Acesso em: 21 mai. 2020.

AGENCIA FAPESP. **Estado de são Paulo terá maior incidência de raios nos próximos 30 anos**. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/estado_de_sao_paulo_tera_maior_incidencia_de_raios_nos_proxim_os_30_anos/26491/>. Acesso em: 21 mai. 2020.

AGENCIA FAPESP. **INPE divulga dados de mortes por raios dos últimos 15 anos no brasil**. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/inpe_divulga_dados_de_mortes_por_raios_dos_ultimos_15_anos_n_o_brasil_/24586/>. Acesso em: 21 mai. 2020.

AGENCIA FAPESP. **Sistema prevê a ocorrência de raios com 24 horas de antecedência**. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/sistema_preve_a_ocorrencia_de_raios_com_24_horas_de_antecedencia/21942/>. Acesso em: 21 mai. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410. **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro: 2004. 209p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-1**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-2**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-3**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-4**, Rio de Janeiro, 2015.

COSTA, Caio R.; XAVIER, Cenildo de S. **Estudo sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA**, Montes Claros, p.8, nov.2016.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: Editora LTC,15. ed.2007.

ELAT. Grupo de densidade atmosférica. (2020). Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>. Acesso em: 12 out. 2020.

FLORES, Ana J. M. **Análise e Aplicação de Métodos para o Cálculo da Resistência de Terra em Sistemas com N Eléttodos Instalados em Solos Heterogéneos**, PORTO, P.10, set. 2014. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/76656/2/32768.pdf>> Acesso em: 13 out. 2020.

GOUVEIA, J. R.B. **Eficiência energética num edifício escolar** – caso de estudo escola secundária Francisco de Holanda. Portugal: FEUP, 2016. Disponível em <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/85609>> Acesso em: 22 ago. 2021.

ISAACSON, Walter. **Benjamin Franklin: uma vida americana**, tradução Pedro Maia Soares. 1ª ed. — São Paulo, Companhia das Letras, 2015.

KINDERMANN, Geraldo. **Choque elétrico**. 2 ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2000.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed., ELETROBRAS/PROCEL, Brasil, 2014. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>> Acesso em: 20 set. 2021.

MAMEDE, João F. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 8ª ed., 2010.

NEITZEL, Dennis K. **The hazards of the electricity** – Do you what they are? 2008.

NETO A.S.; PIANTINI, Alexandre. **Sobretensões Induzidas por Descargas Atmosféricas em Redes Secundárias**, São Paulo, p.1, 2007.

PEREIRA, M. J. **Energia**: eficiência e alternativas. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

RAGGI, Livia M. R. **Projeto de malhas de aterramento: contribuição ao cômputo da estratificação do solo**, Belo Horizonte, p.10, agosto. 2009. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/319M.PDF>> Acesso em: 13 out. 2020.

RIBEIRO, A. G.; CARDOSO M. C. **Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: a Avaliação de Risco Segundo a Versão da Norma ABNT NBR 5419 de maio de 2015**, Itajubá, p.2, out.2016.

TERMOTÉCNICA. **Apostila do Projetista**. Disponível em <<https://tel.com.br/conteudo-tecnico/apostila-projetista/>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

TERMOTECNICA. **Elaboração do projeto de SPDA**. Disponível em:<<https://tel.com.br/engenharia/elaboracao-do-projeto-de-spda/>>. Acesso em: dia 22 mai. 20.