



**TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

**ESTUDO DE COBERTURAS METÁLICAS DE  
GALPÕES COMERCIAIS SUBMETIDOS A  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

**Caio Coelho Silva**

**Brasília, dezembro de 2016**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

Caio Coelho Silva

# **ESTUDO DE COBERTURAS METÁLICAS DE GALPÕES COMERCIAIS SUBMETIDOS A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao curso de graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade  
de Brasília, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Bacharel  
em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva

Brasília, 2016

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Elétrica

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**ESTUDO DE COBERTURAS METÁLICAS DE  
GALPÕES COMERCIAIS SUBMETIDOS A  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

**Caio Coelho Silva**

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Alcides Leandro Silva, UnB/ ENE

(Orientador)

---

Prof. Dr. Plínio Ricardo Ganime Alves, UnB/ ENE

---

Prof. Dr. Franklin da Costa Silva, UnB/ ENE

---

**Brasília, 2016**

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Silva, Caio Coelho

Estudo de Coberturas Metálicas de Galpões Comerciais Submetidos a Descargas Atmosféricas [Distrito Federal] 2016.

XII 60p. 210X295mm. (ENE/FT/UnB. Engenheiro Eletricista, Engenharia Elétrica, 2016).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica. Brasília, 2016.

Orientação: Dr. Prof. Alcides Leandro da Silva.

1. Descargas Atmosféricas. 2. Galpões Comerciais.

3. NBR 5419.

4. Cobertura Metálica

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

Silva, Caio Coelho (2016). Estudo de Coberturas Metálicas de Galpões Comerciais Submetidos a Descargas Atmosféricas [Distrito Federal] 2016.

Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 62p.

**CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Caio Coelho Silva.

TÍTULO DA MONOGRAFIA: Estudo de Coberturas Metálicas de Galpões Comerciais Submetidos a Descargas Atmosféricas.

GRAU/ANO: Engenheiro Eletricista/2016.

É concedida a Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Caio Coelho Silva

C7 Lote 7/15 Edifício Via Del Plaza, Taguatinga Centro

72010-916 Taguatinga - Brasília, DF - Brasil

## **Dedicatória**

*Dedico este trabalho a meus pais por sempre me darem o apoio que precisei e a meu filho e namorada por terem esperado pacientemente por tanto tempo.*

## Agradecimentos

*Primeiramente a Deus, que me deu força e saúde tanto física quanto mental para chegar até o fim do curso superando todas as dificuldades que apareceram pelo caminho.*

*Aos meus pais José Humberto e Maria Cristina, que sempre me apoiaram, tanto no início, na escolha do curso que faria, na minha escolha de mudança de faculdade para assim poder ficar mais perto do meu filho quanto agora nos semestres finais do curso onde mais preciso de forças para não desistir de tudo que já foi conquistado até aqui.*

*A minha namorada e mãe do meu filho, Camila Franco que apesar de toda a demora e distância sempre esteve ao meu lado me apoiando e me dando forças para não desanimar.*

*A todos os meus colegas de faculdade, pois sem eles chegar aqui jamais teria sido possível.*

*A Rômulo Pereira, Maísa Gontijo, Anita Castro e Rayana Mello que mesmo estando longe nunca deixaram de estar presentes em minha vida, mostrando que amizade é bem mais que estar perto, o apoio de vocês foi de mais.*

*Ao meu orientador Alcides Leandro e ao professor Plínio Ricardo, pela paciência e pela orientação, bem como na participação da minha formação.*

*A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse chegar aqui, agradeço a todos de coração.*

Caio Coelho

## Resumo

Descargas atmosféricas, são descargas elétricas de grande extensão e intensidade podendo ser constituídas por um ou mais impulsos de vários mil amperes. Estas descargas são um fenômeno recorrente no Brasil e quando ocorrem repetidamente em um curto período de tempo faz com que as pessoas busquem abrigo visando manter sua segurança.

Este trabalho tem por objetivo averiguar se as pessoas, presentes em um galpão de cobertura e estrutura metálicas, estão realmente seguras durante uma chuva com um grande número de descargas elétricas em que uma dessas descargas venha a atingir o galpão. Para isso foram realizadas visitas a Feira do Guará pois ela agrega todos os parâmetros necessários para o estudo, como a cobertura metálica, ser de fácil acesso, possuir grande afluência de público e sua localização no Distrito Federal.

Com os dados coletados, foram feitas análises em relação a proteção do galpão contra descargas atmosféricas, uma vez terminadas as análises, foi então determinada a atual situação da segurança do galpão e as possíveis melhorias a serem aplicadas para que a segurança do galpão seja ampliada.

## **Abstract**

Atmospheric discharges, are electric discharges of great extension and intensity, they are constituted by one or more impulses of several thousand amperes. These discharges are recurring phenomenon in Brazil and when they occur repeatedly in a short period of time people seek shelter in order to maintain their safety.

This work aims to study if a group of people inside a shed with cover and metal structure, it is really safe during a rain with a large number of electric discharges in a certain area. For this to happen, the Feira do Guar was chosen because it can include all parameters for the study, such as an metal coverage, easy access to the public and its location in the Distrito Federal.

With the data collected, analyzes were made regarding the protection of the shed against atmospheric discharges, once finished as analyzes, then a current situation of the safety of the shed was determined and as an improvement of the application for a guarantee of the shed is amplified.



# Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Contextualização .....	1
Figura 1 – Mortes causadas por descargas elétricas no Brasil [2].....	2
Figura 2 – Incidência de Descargas Elétricas no Brasil (INPE) [3]. .....	3
1.2. Galpão Comercial .....	4
1.3. Descarga Atmosférica .....	4
1.4. Estrutura do Trabalho .....	7
1.5. Metodologia e Objetivo .....	7
2. NORMAS VIGENTES .....	8
2.1. NBR 5410:2004 .....	8
2.2. NBR 13570:1996 .....	9
2.3. NBR 5419:2015 .....	10
3. ESTUDO DE CASO .....	15
4. ANALISE DE DADOS .....	27
4.1. Análise do número anual de eventos perigosos .....	27
4.2. Probabilidade de Danos Causados por uma Descarga Atmosférica .....	29
4.3. Formas de Proteção .....	32
4.3.1. Gaiola de Faraday.....	32
4.3.2. Para-raio .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3.3. Esferas rolantes.....	41
5. CONCLUSÃO.....	45
5.1. Aspectos Gerais .....	45
5.2. Principais Conclusões Encontradas .....	45
5.3. Perspectivas .....	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47

## Lista de Figuras

Figura 1 – Mortes causadas por descargas elétricas no Brasil .....	2
Figura 2 – Incidência de Descargas Elétricas no Brasil (INPE) .....	3
Figura 3 – Comportamento das massas de ar na cumulu nimbus .....	5
Figura 5 – a) subsistema de recepção tipo condutores malha b) subsistema de recepção tipo Franklin.....	12
Figura 6 – Subsistema de descida juntamente com subsistema de recepção Franklin.....	13
Figura 7 – a) subsistema de aterramento com eletrodo simples, b) subsistema de aterramento com eletrodo em paralelo, c) subsistema de aterramento tipo malha, d) subsistema de aterramento tipo placa . .....	14
Figura 8 – Pilar externo da Feira do Guará .....	15
Figura 9 - Pilar interno da Feira do Guará .....	16
Figura 11 – Ligação da cobertura com a estrutura .....	18
Figura 12 – Chegada da alimentação da feira.....	19
Figura 13 – Interior do quadro geral .....	20
Figura 14 – Refrigeração do quadro geral.....	21
Figura 15 – Interior da casa de força.....	22
Figura 16 – a) Para-raio tipo Franklin situado do lado direito da Feira do Guará, próximo ao metro b) Para-raio tipo Franklin situado ao lado esquerdo da Feira do Guará.....	23
Figura 17 – Distância entre para-raios .....	24
Figura 18 – Caixa d'água da Feira do Guará .....	25
Figura 19 – Representação da vista frontal da Feira do Guará .....	25
Figura 20 – Representação da vista lateral da Feira do guará .....	26
Figura 21 – Área de exposição equivalente AD de uma estrutura isolada (NBR 5419-2:2015) .....	28
Figura 22 – Proteção por gaiola de Faraday.....	33

Figura 23 – Ligação entre a cobertura, estrutura e descidas.....	34
Figura 24 – Volume de proteção promovido por um mastro para edificação de altura única .....	35
Figura 25 – Proteção provida por um mostro para edificação de alturas diferentes .....	36
Figura 26 – Ângulo de proteção correspondente a área a ser protegida .....	37
Figura 27 – Representação da proteção por SPDA Franklin. ....	38
Figura 28 – Proteção provida por elemento condutor suspenso .....	39
Figura 29 – Proteção por duas hastes de Franklin. ....	40
Figura 30 – Subsistema de captação conforme método da esfera rolante a) menor de 60 metros de altura, b) maior de 60 metros de altura .....	41
Figura 31 – Localização das medidas para o método das esferas rolantes .....	42
Figura 32 – Largura do galpão da feira do guará .....	43

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Locais de afluência de público e capacidade mínima .....	9
Tabela 2 – Proteção e eficiência de SPDA .....	10
Tabela 3 – Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção .....	11
Tabela 4 – Fator de localização da estrutura CD .....	28
Tabela 5 - Valores de probabilidade $P_{TA}$ de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas .....	29
Tabela 6 - Valores de probabilidade $P_B$ dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.....	30
Tabela 7 – Classificação de SPDA segundo NBR 5419:1993 .....	31
Tabela 8 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondente a classe do SPDA .....	36

# 1.INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma contextualização da situação do país referente a descargas atmosféricas, bem como apresentar definições de termos que serão estudados.

## 1.1. Contextualização

Quando as pessoas são surpreendidas por chuvas, elas tendem a procurar abrigo, afim de se proteger tanto da água como das possíveis descargas atmosféricas. Entre as várias opções de abrigo, existem os galpões com estruturas e cobertura metálica, uma vez que exista uma grande ocorrência de descargas atmosféricas durante a chuva surge a dúvida se as pessoas estão ou não devidamente protegidas contra as descargas atmosféricas dentro do galpão, uma vez que uma das descargas atinja o galpão. A Figura 1 mostra a incidência de descargas atmosféricas e circunstâncias de fatalidades ocorridas no Brasil de 2000 a 2014, nela pode-se observar que o maior número de acidentes com descargas atmosféricas, acontece no campo, porém uma parcela relativamente grande ocorre em coberturas.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) durante o ano ocorrem cerca de três bilhões de descargas atmosféricas na Terra, mesmo a maior parte do planeta sendo coberta por água, apenas 10% dessas descargas ocorrem nos oceanos, isso se deve a grande variação de temperatura que ocorre nos continentes. A observação global de descargas atmosféricas tem sido feita por sensores ópticos a bordo de satélites, essas observações mostram que a maior parte das descargas ocorrem em regiões tropicais, o que torna o Brasil, devido a sua extensão e proximidade com o equador geográfico, o país com maior incidência do planeta, chegando a ser atingido por cerca de 50 milhões de descargas nuvem solo por ano [1].



Figura 1 – Mortes causadas por descargas elétricas no Brasil [2].

Estudos apontam um grande aumento de descargas em áreas urbanas em relação a áreas vizinhas, acredita-se que isso se deva a grande poluição presente nestas regiões e ao fenômeno conhecido como "ilha de calor", aquecimento provocado pela alteração do tipo de solo e a presença de prédios e elementos que alteram a temperatura local. Devido a essa grande incidência de descargas atmosféricas, o país possui um grande número de incidentes fatais chegando a cerca de 130 casos por ano. Apesar de ser o campeão em incidência de descargas, em relação a acidentes fatais, a China é o país campeão, isso se deve a sua grande população, estima-se que 700 pessoas são atingidas por ano [1].

A Figura 2 mostra a distribuição de descargas elétricas no país, nela é possível observar que a maior concentração de descargas está localizada nas regiões norte centro oeste e parte da região sul, sendo caracterizadas pelas cores amarelo, laranja e vermelho, no litoral brasileiro se encontram as menores concentrações.

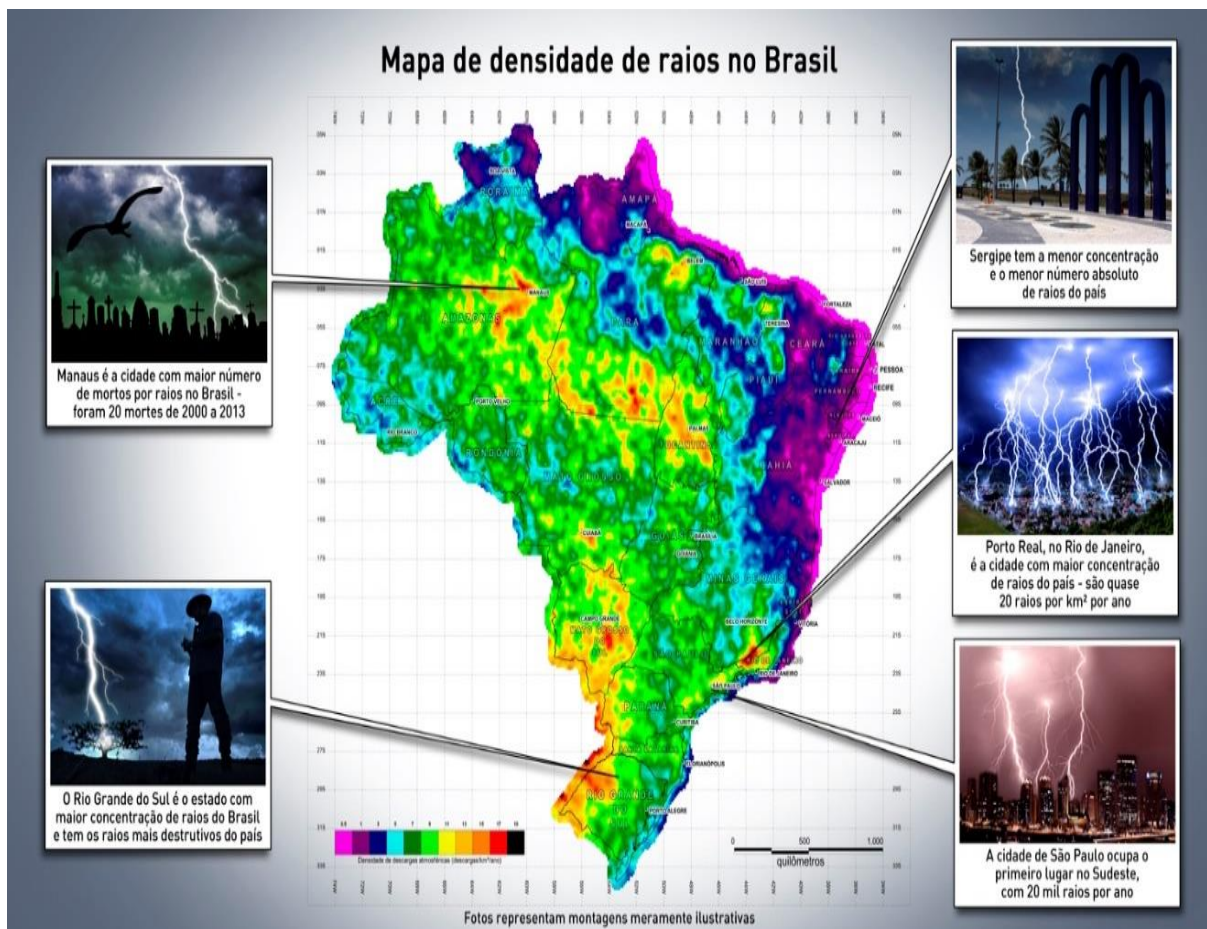


Figura 2 – Incidência de Descargas Elétricas no Brasil (INPE) [3].

Nesta sequência do trabalho serão apresentadas definições dos termos, galpão comercial e descargas atmosféricas, ambos de suma importância para a realização deste trabalho.

## **1.2. Galpão Comercial**

Galpões comerciais são construções em aço geralmente de apenas um pavimento, constituídos de sistemas estruturais compostos por pórticos regularmente espaçados, com cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou tesouras e treliças, com cobertura superior podendo ter ou não cobertura lateral [4].

## **1.3. Descarga Atmosférica**

Descargas atmosféricas, são descargas elétricas de grande extensão e elevada corrente elétrica através da atmosfera (entre 20 e 200 kA). Essas descargas, ocorrem devido ao movimento das massas de ar quente e frio presentes no interior das nuvens Cumulo Nimbus (nuvens com base entre 300 e 1500 metros e altura de até 18 quilômetros, compostas de gotas de água, granizo, e flocos de neve). Como poder ser visto na Figura 3, o ar quente e úmido próximo ao solo se eleva até o topo da nuvem, à medida que se eleva o ar quente vai tendo sua temperatura diminuída, de forma que ao chegar no topo o mesmo se transforma em granizo e começa a cair para a base da nuvem, durante a queda o granizo se choca com cristais de gelo, o que acaba por carregar as duas partículas, o granizo com cargas negativas na base da nuvem e os cristais de gelo na parte superior com cargas positivas. Esse processo se mantém até que a concentração de cargas fica tão forte que rompe o dielétrico do ar fazendo com que a descarga seja produzida [5].





Figura 3 – Comportamento das massas de ar na cumulus nimbus [5].

De forma geral, as descargas atmosféricas podem ocorrer na própria nuvem ou entre a nuvem e o solo.

As descargas na nuvem podem ser, intranuvem, quando a descarga se propaga dentro da nuvem, descarga para o ar, quando a descarga vai para fora da nuvem para uma direção qualquer ou como pode ser visto na Figura 4c nuvem-nuvem, quando a descarga vai em direção a outra nuvem. As descargas entre nuvem e solo como pode ser observado nas Figuras 4a e 4b, podem partir ou da nuvem para o solo ou ao contrário do solo para a nuvem. Mais de 90% das descargas são entre as nuvens. Para os dois casos de descarga nuvem-solo, as descargas são divididas em positivas e negativas, as positivas se originam na parte superior da nuvem, compostas por cargas positivas devido ao ar quente e aos cristais de gelo presentes na parte superior da nuvem, são os mais perigosas e destrutivas pois possuem uma corrente maior e duram cerca de 200 milésimos de segundos, as negativas se originam na parte de baixo da nuvem composta de cargas negativas devido ao ar frio e granizo, as descargas negativas possuem uma corrente menor e tendem a durar metade do tempo das positivas [5].

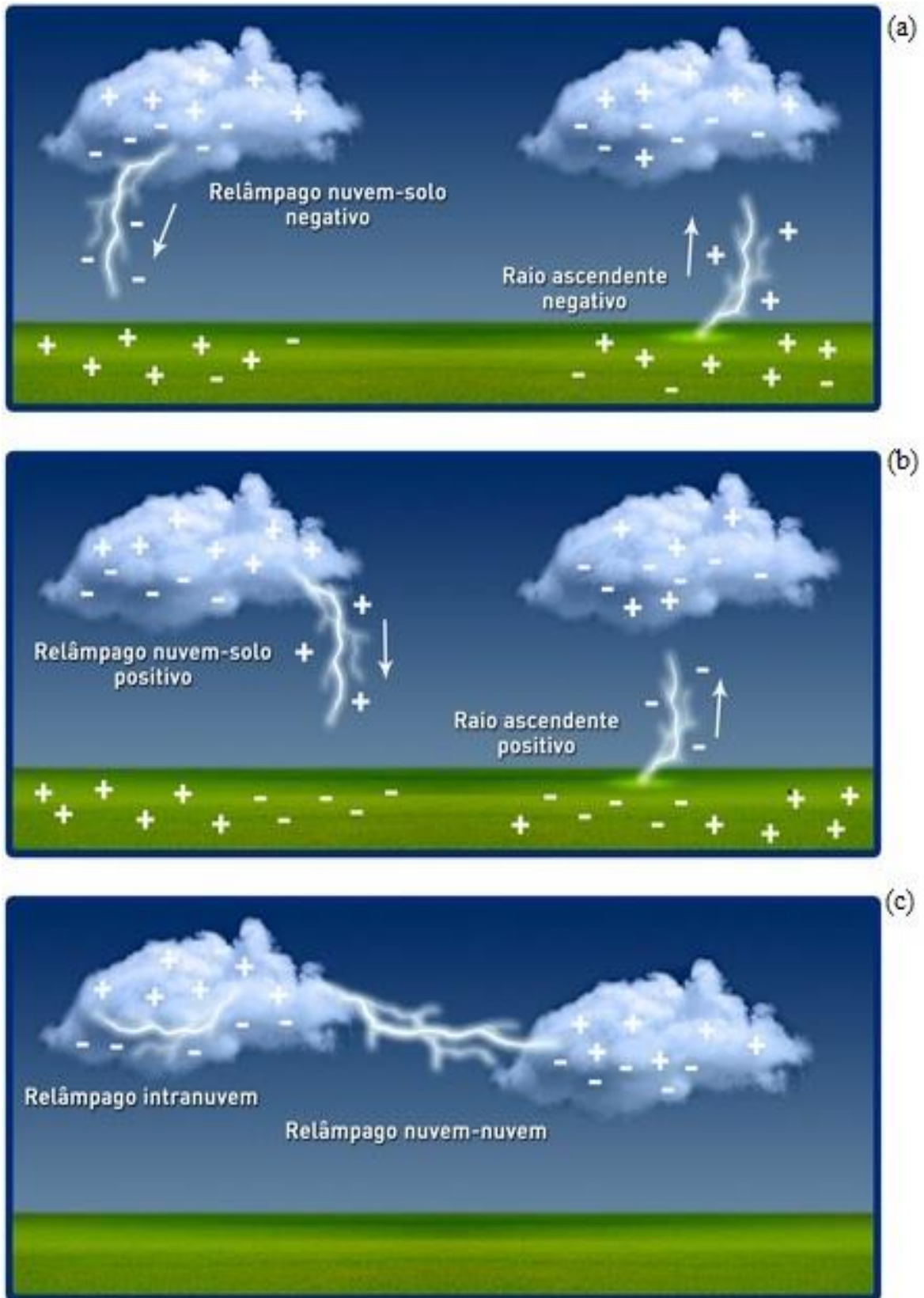


Figura 4 – (a) descarga nuvem solo e solo nuvem negativa; (b) descarga nuvem solo e solo nuvem positiva; (c) descarga intranuvem (INPE) [6].

## **1.4. Estrutura do Trabalho**

O trabalho foi dividido em 5 capítulos visando um melhor entendimento do processo de descargas atmosféricas em galpões metálicos.

O primeiro capítulo, a Introdução, versa sobre a contextualização do problema com o dia a dia da população, a motivação para a escolha do local e a definição de termos que são importantes para o desenvolvimento do trabalho.

O segundo capítulo apresenta as normas que regem a construção e proteção de galpões com coberturas metálicas.

O terceiro capítulo traz uma análise do galpão escolhido, onde são apresentadas as estruturas do galpão, as formas de proteção e recepção da alimentação de energia elétrica.

O quarto capítulo apresenta um estudo das formas de proteção aplicáveis ao galpão, a fim de determinar se as pessoas estão ou não protegidas quando se encontram dentro do galpão em um momento de chuva com descargas elétricas.

O quinto e último capítulo apresentado um balanço de todo o trabalho executado. Reunindo toda a carga teórica e análises feitas em um texto que elenca as principais conclusões acerca do assunto.

## **1.5. Metodologia e Objetivo**

Este trabalho tem por objetivo analisar o efeito de descargas atmosféricas sobre galpões comerciais com coberturas metálicas e propor melhorias se necessário conforme legislação. Visando atingir este objetivo escolheu-se a Feira do Guará, pois seu galpão agrega todos os parâmetros necessários para o estudo de descarga atmosférica bem como possuir uma grande afluência de público, ser de fácil acesso e pela localidade no Distrito Federal.

Para a obtenção de todos os dados referentes a Feira do Guará foram realizadas visitas tanto a administração da Feira, onde foram feitas perguntas ao administrador e retirada de algumas fotos do local, e visitas a prefeitura do guará, onde foram realizadas perguntas aos responsáveis.

## 2.NORMAS VIGENTES

Em geral todas as estruturas devem ser protegidas contra descargas atmosféricas. A decisão de fazê-lo pode vir de um requerimento legal, por leis, códigos ou normas, por uma precaução do projetista e/ou proprietário. No Brasil, as padronizações de instalações são feitas pelas Normas Brasileiras (NBR) que são aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No caso de instalações de galpões as NBRs vigentes são:

- 5410:2004 (com revisão em 2008) (Instalações elétricas de baixa tensão)
- 13570:1996 (Instalações elétricas em locais de afluência de público – Requisitos específicos)
- 5419 :2015 (Proteção contra descargas atmosféricas)
- Demais normas indicadas pela fornecedora de energia local.

Seguindo todas as normas citadas, no projeto deve-se constar os tipos e localizações dos pontos de utilização de energia elétrica, o percurso dos cabos e eletrodutos, bem como o posicionamento dos dispositivos de manobra, memorial de cálculo e materiais utilizados para a instalação.

### 2.1. NBR 5410:2004

A Norma Brasileira 5410:2004 passa a ser válida a partir de sua publicação sendo aplicada a construções novas e a reformas de instalações já existentes, visando estabelecer condições que devam satisfazer instalações de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de todos que venham a passar pelo local da instalação bem como garantir seu funcionamento adequado [7].

Esta norma aplica-se de forma geral a instalações elétricas de edificações seja qual for seu uso, porém, também pode ser aplicada a instalações de áreas descobertas externas a edificação, canteiros de obras, feiras, exposições e circuitos elétricos com tensão nominal igual ou inferior a 1kV em corrente alternada com frequência inferior a 400Hz ou a 1,5kV em corrente contínua [7].

## 2.2. NBR 13570:1996

Esta norma complementa as prescrições de caráter geral contida na NBR 5410 tendo por objetivo fixar os requisitos das instalações elétricas em locais de grande afluência de público, a fim de garantir seu funcionamento adequado e assim garantir a segurança de todos aqueles que a frequentam. Esta norma é válida a instalações novas e a reformas em instalações existentes[8]. A Tabela 1 apresenta os locais em que es norma se aplica.

*Tabela 1 – Locais de afluência de público e capacidade mínima [8]*

Item	Local	Capacidade mínima (Nº de pessoas)
01	Auditórios, salas e conferências/reuniões	200
02	Cinemas	50
03	Hotéis, motéis e similares	50
04	Locais de culto	300
05	Estabelecimentos de atendimento ao público	100
06	Bibliotecas, arquivos públicos, museus e salas de arte	100
07	Teatros, arenas, casas de espetáculos e locais análogos	50
08	Salas polivalentes ou modulares, galpões de usos diversos e usos sazonais	100
09	Lojas de departamentos	100
10	Restaurantes, lanchonetes, cafés e locais análogos	100
11	Boates e danceterias	50
12	Supermercados e locais análogos	100
13	Circulações e áreas comuns em centros comerciais, shopping centers	- <sup>1)</sup>
14	Salões de bailes, salões de festas, salões de jogos	120
15	Boliches, diversões eletrônicas e locais análogos	60
16	Estabelecimentos de ensino	100
17	Estabelecimentos esportivos e de lazer cobertos	200
18	Estabelecimentos esportivos e de lazer ao ar livre, estádios	300
19	Locais de feiras e exposições ao ar livre	300
20	Parques de diversões	- <sup>1)</sup>
21	Circos	200
22	Locais de feiras e exposições cobertos, mercados cobertos com boxes	200
23	Estruturas infálveis	50
24	Estações e terminais de sistemas de transporte	- <sup>1)</sup>
- <sup>1)</sup> Nestes locais, a aplicação da norma independe da capacidade de pessoas.		

### 2.3. NBR 5419:2015

Esta norma fixa as condições de projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), para proteger edificações e estruturas atingidas diretamente por raios, é aplicável às estruturas comuns para fins comerciais, industriais, agrícolas, administrativas ou residenciais, porém, as prescrições desta norma não garantem a proteção de pessoas e eletroeletrônicos presentes no interior das zonas protegidas [9].

A norma também define que a melhor forma de proteção contra descargas elétricas é envolvendo toda a estrutura a ser protegida com um material condutor, aterrado, equipotencializado e de espessura adequada, pois isto impede penetração da corrente da descarga atmosférica e campo eletromagnético associado na estrutura a ser protegida e evita efeitos térmicos e eletrodinâmicos perigosos da corrente, assim como centelhamentos e sobretensões perigosas para os sistemas internos (este método é conhecido como gaiola de Faraday). Na prática, porém esta aplicação em grande parte dos casos é inviável e desta forma utiliza-se de outros métodos para se proteger as estruturas, entre eles destaca-se o método SPDA, que é composto pelo sistema interno e externo e é dividido em quatro classes (I, II, III e V), que devem ser selecionadas de acordo com o nível de proteção (NP) adotado para cada construção, os níveis de proteção são determinados de acordo com as descargas atmosféricas [9, 10].

A Tabela 2 apresenta a classificação dos SPDA de acordo com sua eficiência de proteção.

*Tabela 2 – Proteção e eficiência de SPDA [11]*

<b>Proteção e Eficiência Contra descargas elétricas</b>		
Nível de Proteção	Características da proteção	Eficiência da proteção
I	Nível máximo de proteção	98%
II	Nível médio de proteção	95%
III	Nível moderado de proteção	90%
IV	Nível normal de proteção	80%

A tabela 3 apresenta os valores máximos dos parâmetros que determinam qual a melhor classe de SPDA para ser utilizada na proteção de uma determinada edificação

em que um termo de ao se deve ter bastante atenção são as correntes de pico de cada parâmetro.

*Tabela 3 – Valores máximos dos parâmetros das descargas atmosféricas correspondentes aos níveis de proteção [9].*

Primeiro impulso positivo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Corrente de pico	I	kA	200	150	100	
Carga do impulso	$Q_{curta}$	C	100	75	50	
Energia específica	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
Parâmetros de tempo	$T_1/T_2$	μs/μs	1/350			
Primeiro impulso negativo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	I	kA	100	75	50	
Taxa média de variação	di/dt	kA/μs	100	75	50	
Parâmetros de tempo	$T_1/T_2$	μs/μs	1/200			
Impulso subsequente			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Valor de pico	I	kA	50	37,5	25	
Taxa média de variação	di/dt	kA/μs	200	150	100	
Parâmetros de tempo	$T_1/T_2$	μs/μs	0,25/100			
Componente longa da descarga atmosférica			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da componente longa	$Q_{longa}$	C	200	150	100	
Parâmetros de tempo	$T_{longa}$	s	0,5			
Primeiro impulso positivo			NP			
Parâmetros da corrente	Símbolo	Unidade	I	II	III	IV
Carga da descarga atmosférica	$Q_{flash}$	C	300	225	150	

O SPDA interno é destinado a reduzir os riscos com centelhamentos perigosos dentro do volume de proteção criado pelo SPDA externo, utilizando-se da equipotencialização, que é a ligação ao SPDA de partes condutoras separadas, por conexões diretas ou via dispositivos de proteção contra surto (DPS), para reduzir diferenças de potencial causadas pela corrente da descarga atmosférica, ou distância de segurança entre os componentes do SPDA externo.

O SPDA externo é projetado para interceptar as descargas atmosféricas diretas e laterais à estrutura e conduzir a corrente da descarga atmosférica do ponto de impacto à terra, tem também a finalidade de dispersar esta corrente na terra sem causar danos térmicos ou mecânicos.

Além do SPDA interno e externo, o SPDA é composto por subsistemas, sendo eles, recepção, descida e aterramento.

O subsistema de recepção pode ser composto por hastes e mastros (na grande maioria para-raios modelo Franklin), condutores suspensos ou condutores malha, para um melhor funcionamento deste subsistema os componentes devem ser instalados em posições estratégicas sendo elas cantos salientes, pontas expostas e beiradas. A Figura 5a mostra um subsistema de recepção do tipo malha e a Figura 5b apresenta um subsistema de recepção do Franklin composto por 4 pontas, nas extremidades do subsistema de malha existem hastes receptoras. Existem três métodos aceitáveis para a determinação do posicionamento do subsistema, ângulo de proteção, esfera rolante e malhas, em que os dois últimos são indicados a qualquer tipo de estrutura e o primeiro é adequado a edificações de formato simples, estes métodos de proteção serão analisados no capítulo 4 [10].

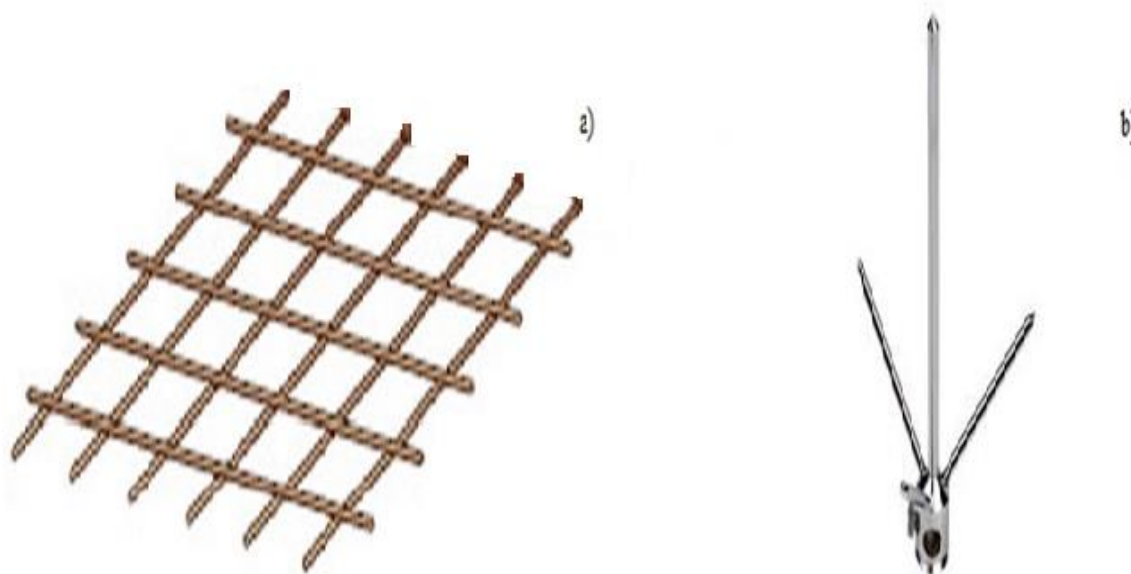


Figura 5 – a) subsistema de recepção tipo condutores malha b) subsistema de recepção tipo Franklin

O subsistema de descida tem o propósito de reduzir a probabilidade de danos causados pela corrente da descarga que percorre o SPDA. Este subsistema é construído de forma a garantir diversos caminhos paralelos para a corrente da descarga elétrica, o menor caminho possível para a corrente chegar a terra e a equipotencialização das partes condutoras da estrutura. O posicionamento do



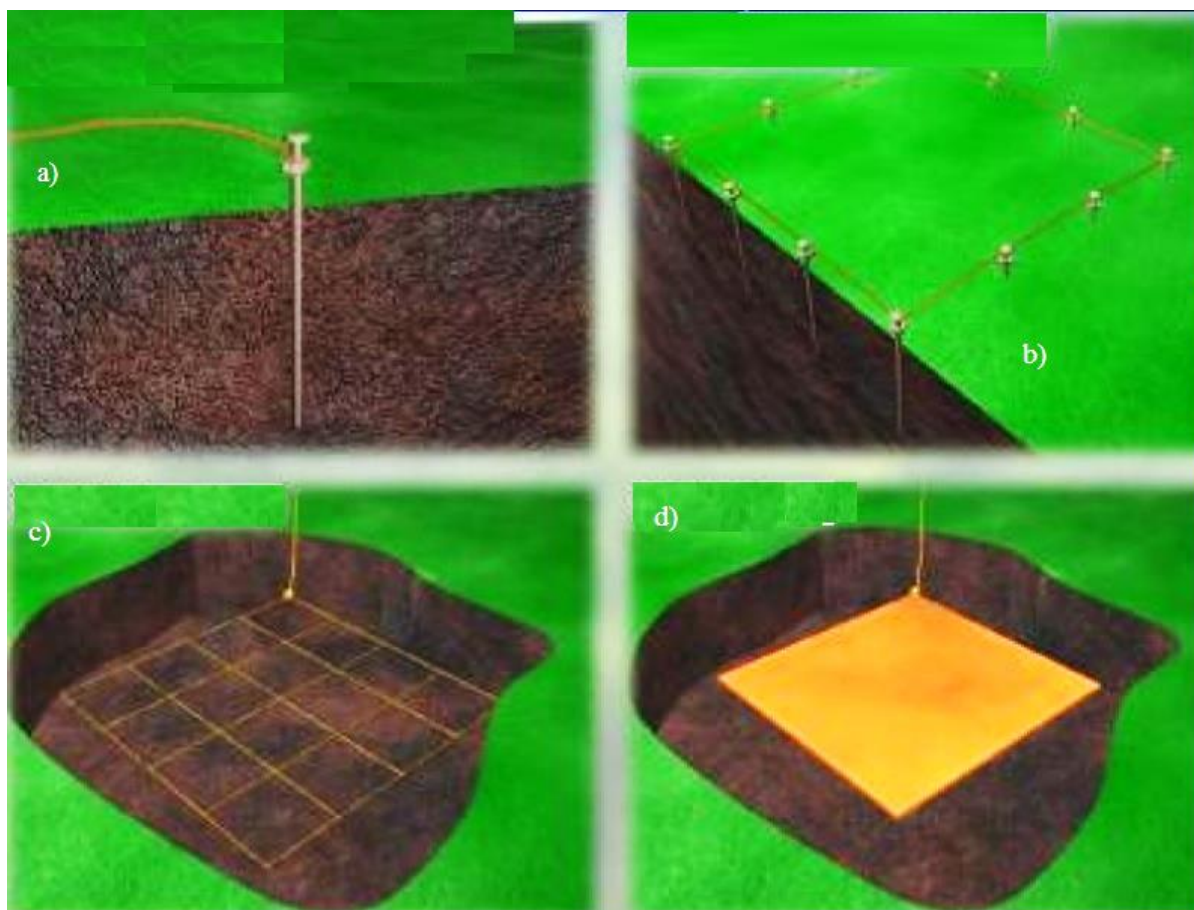
subsistema de descida varia de acordo com o subsistema de recepção, se este for constituído por hastes em mastros separados não metálicos e não interligados as armaduras, é necessário pelo menos uma descida para cada mastro, se o captor forem condutores suspensos, pelo menos um condutor de descida é necessário em cada suporte da estrutura e por fim, se os captores forem uma rede de condutores é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores. Armadura de estruturas de concreto armado, vigamento de aço interconectado a estrutura, elementos de fachada e subconstruções de fachada podem ser usados como subsistemas de descida [10].

A Figura 6 apresenta um subsistema de descida de um subsistema de recepção Franklin, ele é composto de duas descidas e cada uma é ligada a uma haste ligada a terra.



*Figura 6 – Subsistema de descida juntamente com subsistema de recepção Franklin*

Ao se tratar de subsistemas de aterramento deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com a topologia e resistividade do solo local e com o arranjo do eletrodo. Na impossibilidade do uso das armaduras como subsistema de aterramento, o mesmo é composto por um condutor em anel cujo 80% de seu comprimento total situa-se em contato com o solo e é situado externamente a estrutura a ser protegida. O eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 metros e ficar a uma distância de 1 metro do local a ser protegido. A Figura 7 mostra quatro tipos de aterramento, em que o melhor deles está presente na Figura 7c, aterramento por malha.



*Figura 7 – a) subsistema de aterramento com eletrodo simples, b) subsistema de aterramento com eletrodo em paralelo, c) subsistema de aterramento tipo malha, d) subsistema de aterramento tipo placa [12].*



### 3. ESTUDO DE CASO

O local escolhido para este trabalho foi a Feira do Guará, situada no Guará II QE 25 – Guará, Brasília DF. A Feira do Guará existe desde 1967, mas foi apenas em 1984 que a o galpão, em que hoje ocorre seu funcionamento, foi criado. A feira funciona de 8 horas as 18 horas de quarta-feira a domingo, tendo como atividades comerciais a venda de alimentos, vestuário, eletrnicos e outros, atraindo por semana cerca de trinta mil pessoas.

A Feira  montada em um galpão constituído de estruturas e coberturas metálicas, com pilares laterais feitos também em metal que são encravados na terra como mostrada na Figura 8. Os pilares externos são chumbados no baldrame preso às sapatas.



Figura 8 – Pilar externo da Feira do Guará



Além dos pilares externos o galpão possui 18 pilares internos feita em metal, que são ligadas a uma chapa metálica fixada num bloco de concreto e com contato direto com a terra, a Figura 9 apresenta o pilar interno e nesta figura é possível se observar a ligação da estrutura com a placa metálica no pilar de cimento, essa ligação é feita pelo parafuso que segura a estrutura no engate da placa.



*Figura 9 - Pilar interno da Feira do Guará*

O galpão como pode ser observado na figura 10 possui largura aproximada 70,58 metros e comprimento aproximado de 150 metros, segundo o administrador possui área total de 12000 m<sup>2</sup>, p direito de 6 metros e altura até o teto, de 7 metros.



Figura 10 – Medidas do comprimento e da largura do galpão da Feira do Guará [14].

A ligação entre a estrutura e a cobertura da Feira, como pode ser visto na figura 11 é feita com o emprego de solda e um parafuso, assegurando assim um maior contato entre estrutura e cobertura.





*Figura 11 – Ligação da cobertura com a estrutura*

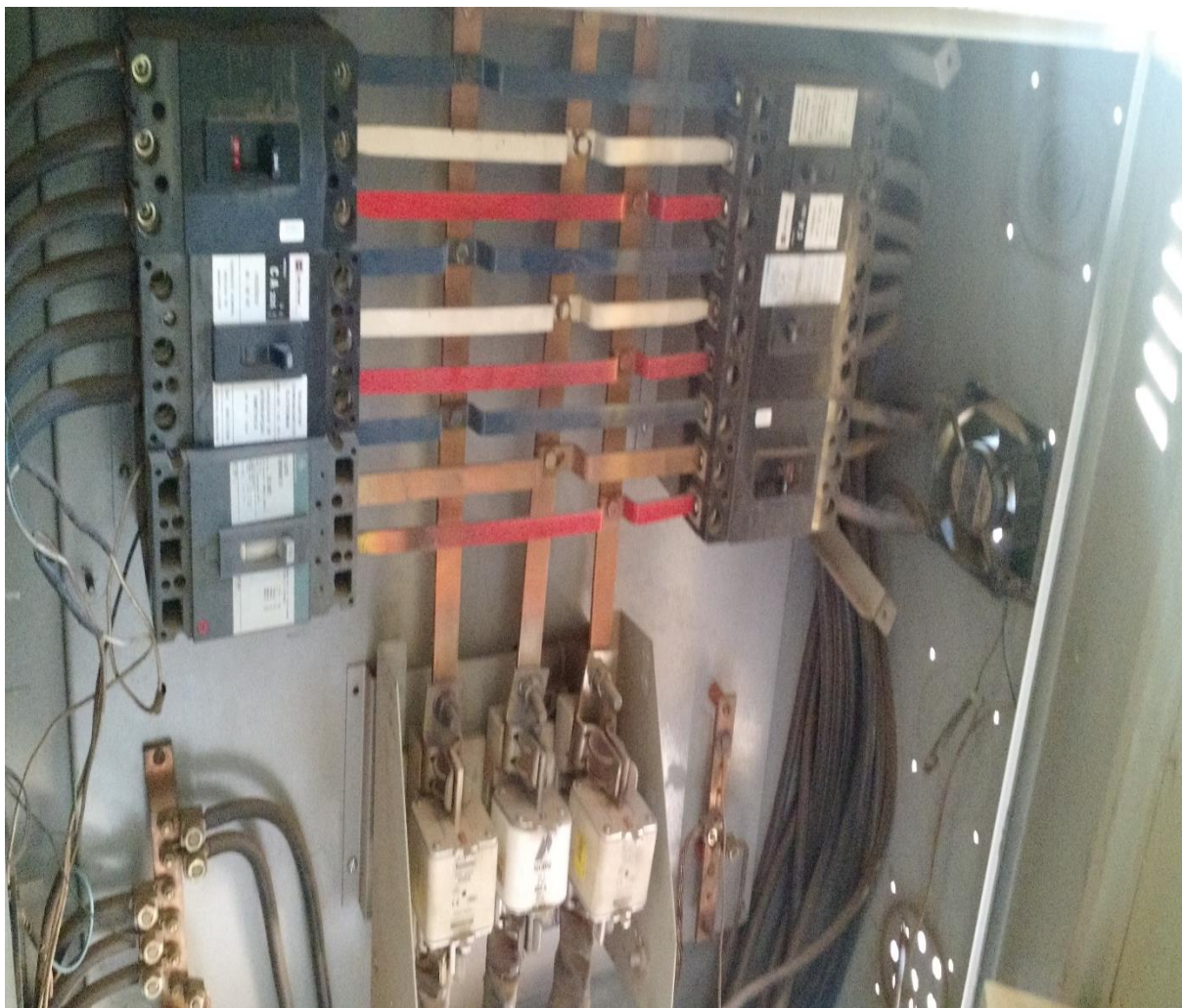
O galpão possui alimentação trifásica de 13,8 kV que é recebida diretamente da distribuidora de energia, em um poste presente na entrada da Feira, como pode ser visto na Figura 12, após a chegada da alimentação ela passa por um transformador e é direcionada de forma subterrânea para a casa de força que fica ao lado do poste.



*Figura 12 – Chegada da alimentação da feira*

A distribuição da energia elétrica para a maioria dos boxes é feita na forma monofásica e para alguns poucos na forma trifásica. O quadro geral como pode ser observado na Figura 13, é composta de disjuntores termodinâmicos e não possui dispositivo de proteção contra surtos (DPS) nem diferencial residual (DR).





*Figura 13 – Interior do quadro geral*

Conforme poder ser observado na Figura 14 o quadro geral é refrigerado por um ventilador de parede, que fica apontado diretamente para a entrada do quadro geral, o qual por sua vez fica com uma pequena porta aberta para que o vento possa assim passar por um orifício ali presente. Os disjuntores são em sua maioria responsáveis por quatro boxes, salvo algumas exceções que atendem a apenas um.





*Figura 14 – Refrigeração do quadro geral*

A Figura 15 mostra o interior da casa de força, onde é possível se constatar a chegada subterrânea da alimentação bem como a alimentação dos medidores de energia elétrica. Segundo o administrador da feira, o galpão não possui aterramento, apenas as barracas que possuem alimentação trifásica possuem aterramento sendo que o este foi feito pelos próprios donos dos boxes.



*Figura 15 – Interior da casa de força*

O administrador afirma ainda, que o local possui três para-raios, sendo dois deles como poderá ser visto nas Figuras 16a e b, chumbados no topo de postes de concreto de 9,4 metros de altura e haste de 2 metros, possuindo aterramento de haste simples em que cada subsistema de descida é ligado diretamente a uma haste, estando cada um dos para-raios em uma lateral da feira.



Figura 16 – a) Para-raios tipo Franklin situado do lado direito da Feira do Guará, próximo ao metro b) Para-raios tipo Franklin situado ao lado esquerdo da Feira do Guará.

Como pode ser observado na figura 16 os para-raios estão distantes entre si de aproximadamente 100 metros, não estando rentes um ao outro, gerando assim uma diagonal sobre o galpão.



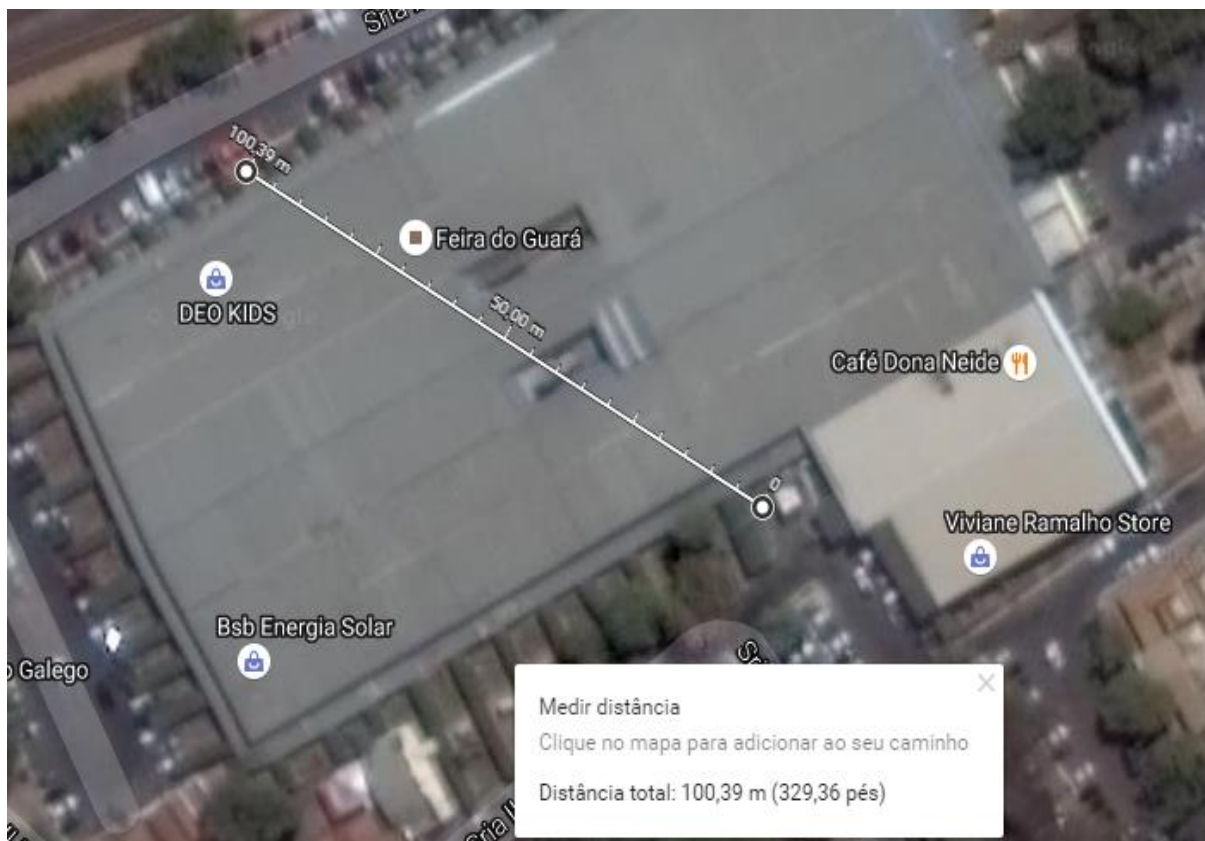


Figura 17 – Distância entre para-raios [14]

O último para-raios, deveria estar sobre a caixa d’água, porém, quando a análise do local foi feita apenas os dois das laterais foram encontrados. A Figura 18 mostra a parte superior do galpão onde deveria constar o para-raios sobre a caixa d’gua.

No capítulo a seguir serão apresentados estudos sobre o número médio de casos perigosos que podem ocorrer em uma região, a probabilidade de danos que a descarga pode causar a seres vivos no interior da estrutura e as formas de proteo para o galpão para que então através dos dados obtidos do galpão possamos determinar se o mesmo está ou não protegido. A medida que os estudos forem sendo apresentados o cálculo referente ao galpão será realizado.



Figura 18 – Caixa d'água da Feira do Guará

A Figura 19 apresenta uma representao da vista frontal da Feira e a Figura 20 apresenta uma representao da vista lateral da Feira.

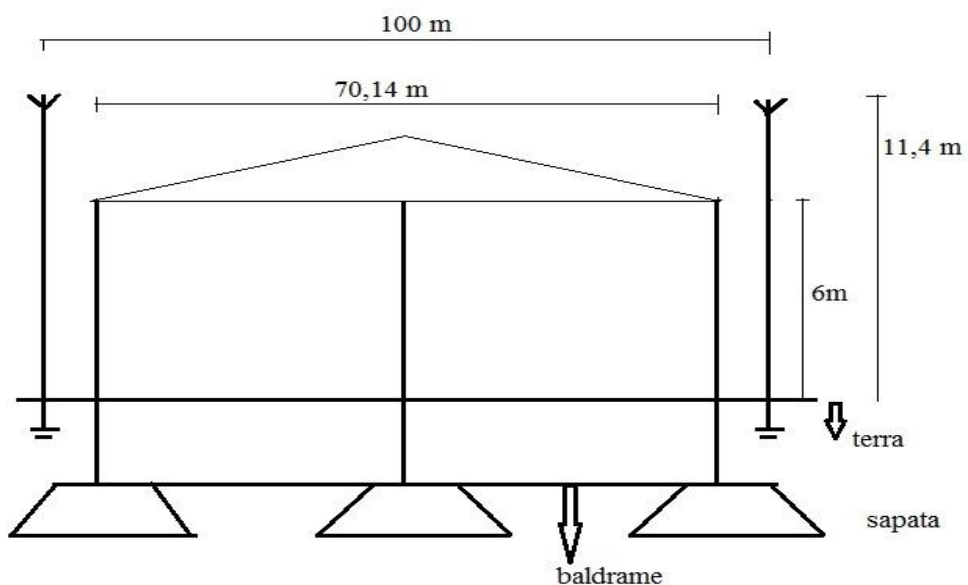


Figura 19 – Representao da vista frontal da Feira do Guará

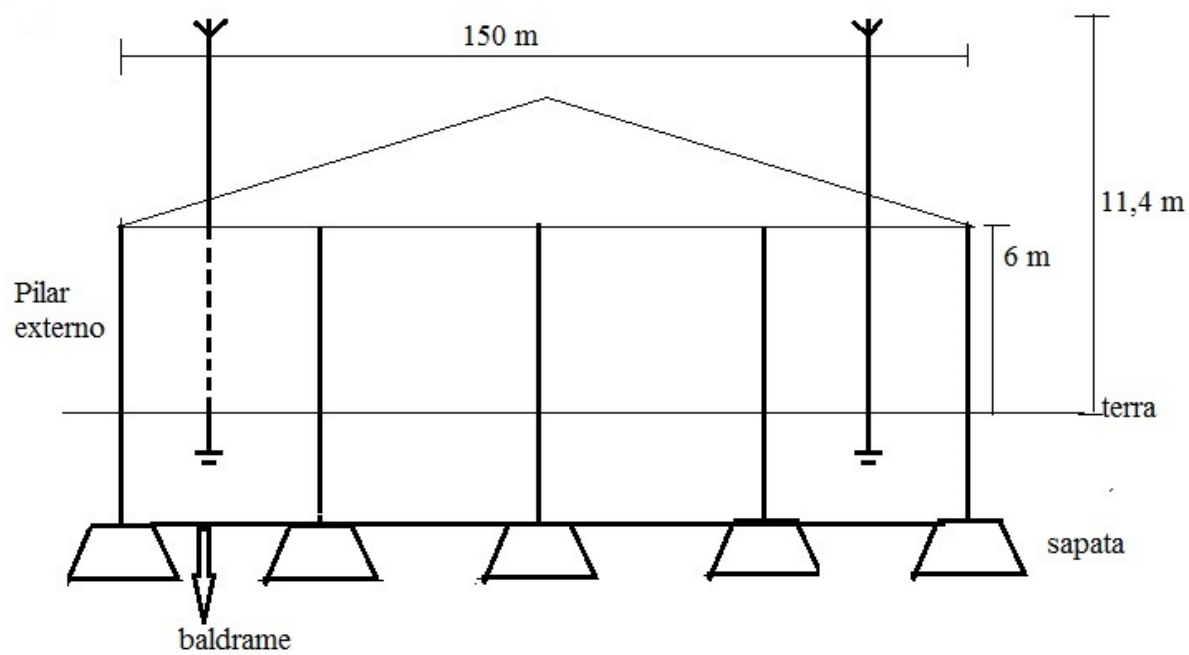


Figura 20 – Representação da vista lateral da Feira do guará

## 4. ANALISE DE DADOS

### 4.1. Análise do número anual de eventos perigosos

O número médio de eventos perigosos causados por descargas atmosféricas que influenciam uma estrutura depende da atividade atmosférica, das características físicas da estrutura e da região onde ela se encontra. Para se determinar este número, segundo a NBR 5419-2:2015, deve-se multiplicar a densidade de descargas atmosféricas para a terra pela área de exposição equivalente da estrutura, levando em conta os fatores de correção para as características físicas da estrutura [13].

A densidade de descargas atmosféricas na terra ( $N_G$ ) é o número de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado em um ano, este valor no Brasil é determinado e disponibilizado ao público pelo INPE [15].

Existem cinco eventos que são considerados como perigosos para a estrutura, são eles, descargas atmosféricas na estrutura, próximas a estrutura, em uma linha conectada a estrutura, próximo a uma linha de transmissão conectada a estrutura e por fim, descarga atmosférica em outra estrutura na qual a linha da primeira está conectada, porém o foco deste trabalho será no primeiro evento.

Para se determinar a quantidade de eventos perigosos para a estrutura, inicia-se calculando a área de exposição equivalente ( $A_D$ ) da estrutura, para uma estrutura isolada em um solo plano a área de exposição equivalente é dada pela intersecção entre a superfície do solo com a linha reta de inclinação 1:3 que passa pelas partes mais altas da estrutura e rotacionando ao seu redor. Para uma estrutura retangular temos que

$$A_D = LW + 2(3H)(L+W) + \pi(3H)^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

onde L, W e H são expressos em metros e são mostrados na Figura 21.

Para o local de estudos temos que

$$H = 7 \text{ metros}$$

$$L = 150 \text{ metros}$$

$$W = 70,58 \text{ metros}$$

$$A_D = 12235,02 \text{ m}^2$$

Temos então que o número de eventos perigosos é dado por:

$$N_D = N_G A_D C_D \cdot 10^{-6} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde  $C_D$  é determinado pela Tabela 7, em que se percebe que quando mais alto a estrutura maior o fator.

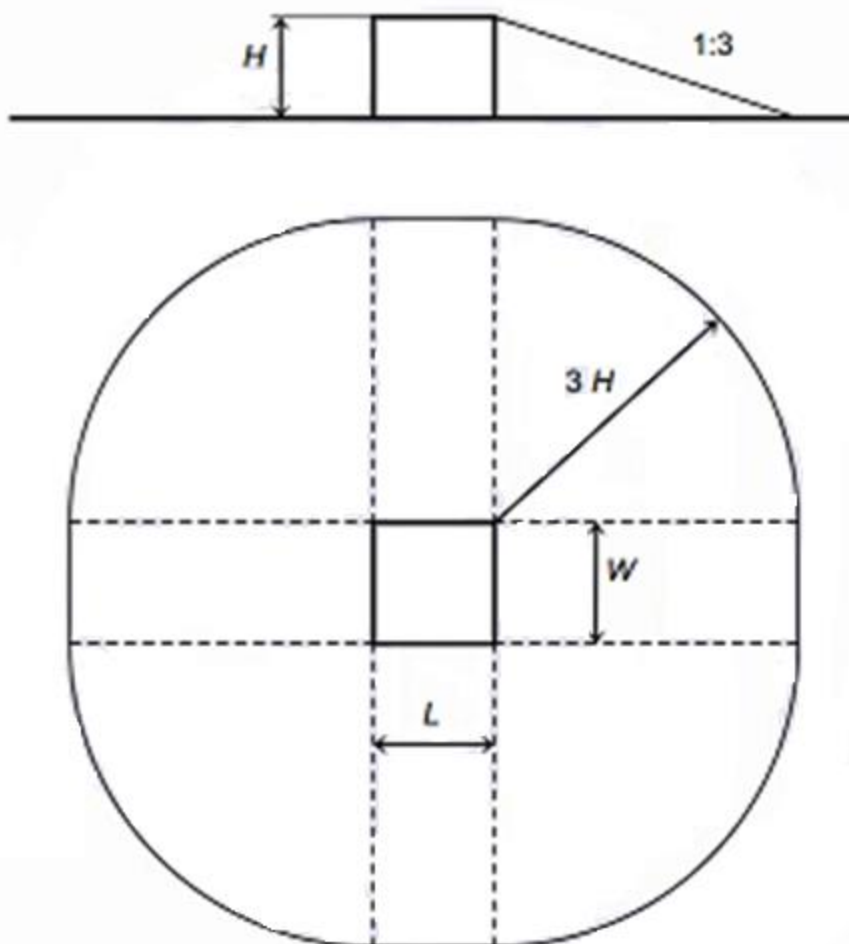


Figura 21 – Área de exposição equivalente AD de uma estrutura isolada (NBR 5419-2:2015)

Tabela 4 – Fator de localização da estrutura  $C_D$

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



Para o local escolhido tem-se

$N_G$  segundo o site do INPE para a região da feira  $N_G = 6,3$  descargas/km<sup>2</sup>/ano [15]

$C_D$  pela tabela 4 é 0,25

$N_D = 1,9515 \cdot 10^{-2}$

## 4.2. Probabilidade de Danos Causados por uma Descarga Atmosférica

A probabilidade de um dano a um ser vivo a ocorrer dentro de uma estrutura devidamente protegida varia de acordo com o SPDA adotado para a proteção

$$P_A = P_{TA} P_B \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde  $P_{TA}$  é determinado de acordo com as medidas de proteção adicionais presentes na edificação, seus possíveis valores são apresentados na Tabela 5.

*Tabela 5 - Valores de probabilidade  $P_{TA}$  de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas*

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

$P_B$  é determinado de acordo com as medidas de proteção adotadas para se evitar danos físicos, a Tabela 6 apresenta seus possíveis valores.

*Tabela 6 - Valores de probabilidade  $P_B$  dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos*

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

Uma vez que não foi informada a classe do SPDA utilizado para a proteção do galpão, consideraremos a classificação da NBR 5419:1993, que será apresentada na Tabela 7, essa consideração será feita pois segundo a atualização da NBR 5419 ocorrida em 2015, a classificação do SPDA é dependente do cálculo de 100 parâmetros diferentes, que dependem de dados os quais não foram possíveis de serem adquiridos.

Tabela 7 – Classificação de SPDA segundo NBR 5419:1993

Classificação das estruturas	Estruturas típicas	Efeito dos raios	Nível de proteção
<b>1º Estruturas comuns:</b> as preocupações devem ser com os efeitos na própria estrutura	Residências	Perfuração da isolação de instalação elétrica, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio.	III
	Fazendas	Risco primário de incêndio e tensões de passo perigosas. Risco secundário devido à interrupção de energia, e risco de vida a animais devido à perda de controle eletrônico de ventilação, suprimento de alimento etc.	III ou IV
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas	Danos às instalações elétricas possibilidade de pânico, falha do sistema de alarme contra incêndio.	II
	Bancos, companhia de seguro, companhia comercial	Efeitos adicionais às na ligação com perda de comunicação, falha dos computadores e perda de dados.	II
	Hospitais, casas de repouso e prisões	Efeitos adicionais às pessoas em tratamento intensivo, dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas.	II
	Indústrias	Efeitos adicionais na fabricação, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda da produção.	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de tesouros insubstituíveis.	II
<b>2º Estruturas com danos confinados:</b> as preocupações dever ser com os efeitos na própria estrutura e com a atividade executada internamente	Telecomunicações, usinas de força, indústria com risco de incêndio	Inaceitável perda de serviço ao público por pequeno ou longo período de tempo. Perigo às imediações devido a incêndios.	I

Continuação da tabela 7

Classificação das estruturas	Estruturas típicas	Efeito dos raios	Nível de proteção
<b>3º Estruturas com perigo aos arredores:</b> as preocupações devem ser com os efeitos anteriores, mais com os efeitos nas estruturas adjacentes ou de certa região	Refinarias, depósitos de combustíveis, fábricas de inflamáveis, fábricas de munição .	Consequências de incêndio e explosão da instalação para os arredores	I
<b>4º Estruturas com danos ao meio ambiente:</b> as preocupações devem ser com os efeitos temporários ou permanentes no meio ambiente	Instalações químicas, laboratórios, instalações nucleares, bioquímicas, etc.	Fogo e mal funcionamento da fábrica com consequências perigosas ao local e ao meio ambiente como um todo	I

De acordo com as tabelas temos que o galpão de estudo se enquadra na classificação II, desta forma temos

$$P_{TA} = 10^{-2} \text{ e } P_B = 0,05$$

$$P_A = 0,0005$$

### 4.3. Formas de Proteção

A instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas tem a função de neutralizar o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens através do escoamento constante de cargas elétricas do meio para a terra e oferecer a descarga que venha a cair próximo ou sobre a proteção um caminho preferencial, reduzindo assim os riscos as estruturas. Existem três formas de proteção que serão expostas a seguir.

#### 4.3.1. Gaiola de Faraday

É a proteção mais eficiente utilizada hoje e consiste em cobrir toda a estrutura a ser protegida com uma grade metálica que é devidamente aterrada. Uma vez que a descarga elétrica atinge a estrutura, sua corrente escoar pela periferia da grade e desce pelos cabos de descida. Na grande maioria a distribuição dos cabos de descida se faz de modo assimétrico, visando garantir a redução da tensão nas instalações e reduzir o risco de choque, utiliza-se da equipotencialização que é a interligação direta ou indireta de toda a estrutura ao mesmo terra, no caso da gaiola de Faraday essa interligação é feita a cada 20 metros de altura, essas ligações equipotenciais podem

ser feitas aproveitando a própria estrutura, um exemplo da gaiola de Faraday pode ser visto na Figura 22 [10].

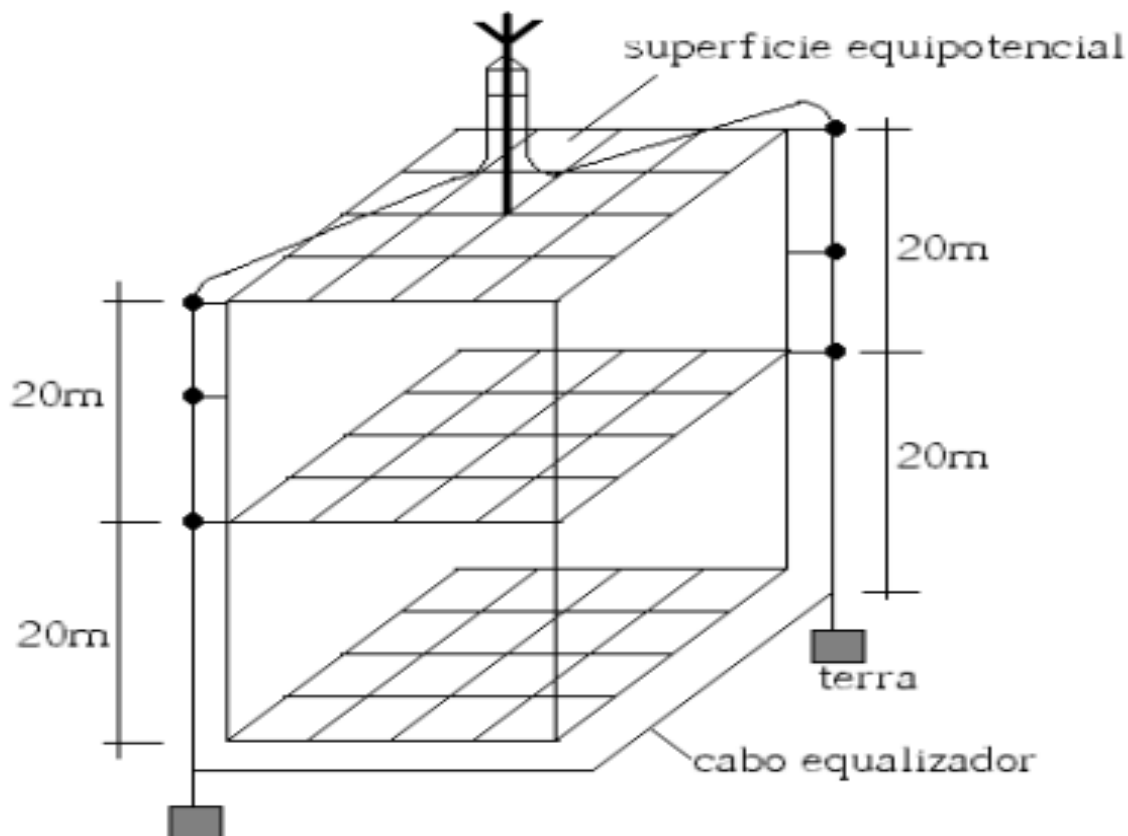


Figura 22 – Proteção por gaiola de Faraday

Como pode ser observado na Figura 23 a cobertura e a sua estrutura de suporte são interligadas por parafusos de forma a manter o contato entre eles o melhor possível, buscando assim manter a equipotencialização entre estrutura e cobertura. Como dito no capítulo 3, a estrutura do galpão é feita através da interligação dos pilares externos as sapatas, blocos de concreto e ferro que ficam em baixo da terra para dar sustentação para estrutura, essa interligação é feita por meio de parafusos, entre cada sapata existe o baldrame, estrutura de metal que serve para interligar as sapatas e desta forma também interligar os pilares, uma vez que todas as sapatas estão a mesma profundidade e interligadas, isso garante a equipotencialização da estrutura do galpão, tornando possível a proteção por gaiola de Faraday.



*Figura 23 – Ligação entre a cobertura, estrutura e descidas*

### **4.3.2. Para-raios**

Os para-raios tipo Franklin levam esse nome devido a terem sido criados por Benjamin Franklin e são compostos por três partes, captadores de raio, cabos de descida e sistema de aterramento. Com os para-raios Franklin pode-se usar as seguintes configurações para a proteção de uma estrutura [10].

- De forma geral em que a posição do subsistema de captação é considerada adequada se a estrutura a ser protegida estiver situada totalmente dentro do volume de proteção provido pelo subsistema de captação, em que devem ser consideradas apenas as dimensões físicas dos elementos metálicos do subsistema de captação para determinação do volume de proteção.

- Por um mastro, que é definida ela forma de um cone circular cujo vértice está posicionado no eixo do mastro, o ângulo  $\alpha$ , dependendo da classe do SPDA, e a altura do mastro como consta na Tabela 8, esta proteção pode ser feita para construções de altura única ou com alturas diferentes como mostrado nas Figuras 24 e 25 respectivamente.

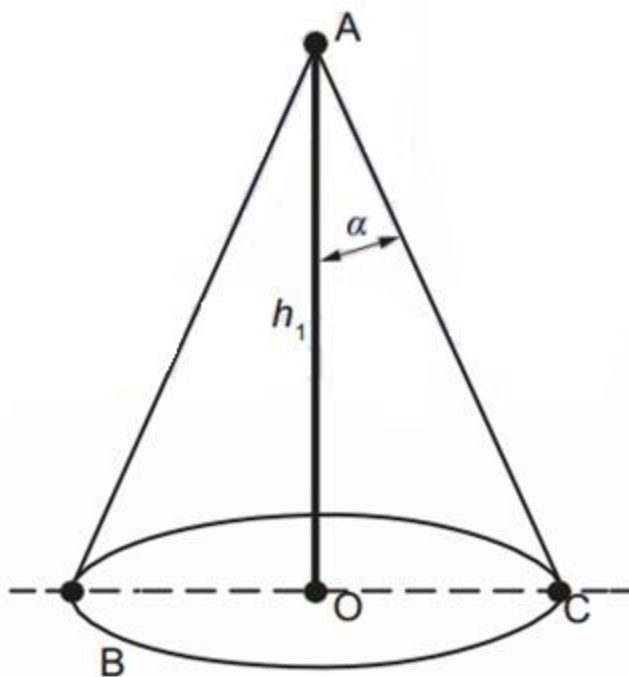


Figura 24 – Volume de proteção promovido por um mastro para edificação de altura única [10]

<b>A</b>	topo do captor
<b>B</b>	plano de referência
<b>OC</b>	raio base do cone de proteção
<b>h<sub>1</sub></b>	altura do mastro acima do plano de referência
<b><math>\alpha</math></b>	ângulo de proteção conforme a Tabela 8, se houver mais de um captor adiciona-se 10° ao ângulo encontrado na figura

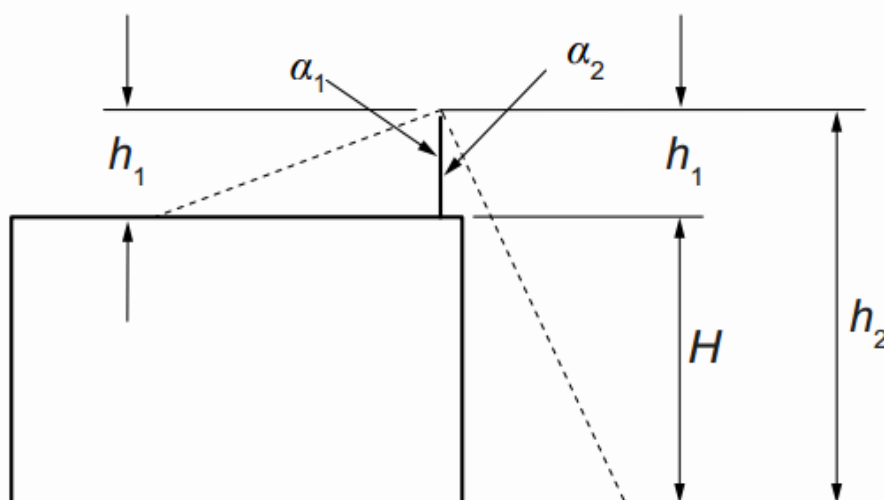


Figura 25 – Proteção provida por um mastro para edificação de alturas diferentes [10]

O ângulo de proteção  $\alpha_1$  corresponde à altura  $h_1$  do mastro, sendo esta a altura acima da superfície da cobertura da estrutura a ser protegida; o ângulo de proteção  $\alpha_2$  corresponde à altura  $h_2 = h_1 + H$ , com o solo sendo o plano de referência;  $\alpha_1$  está relacionado com  $h_1$ , e  $\alpha_2$  está relacionado com  $h_2$

Tabela 8 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondente a classe do SPDA [10]

-	Método de proteção		
	Classe do SPDA	Raio da esfera rolante R (m)	Máximo afastamento dos condutores da malha (m)
I	20	5x5	Ver figura 26
II	30	10x10	
III	45	15x15	
IV	60	20x20	



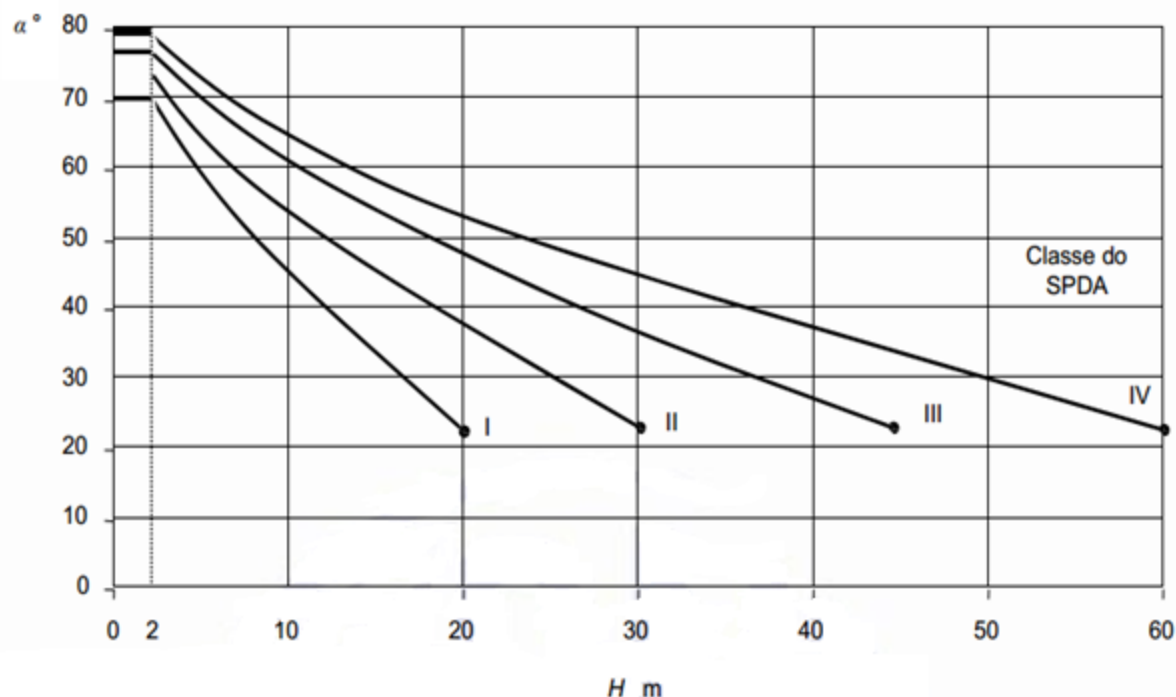


Figura 26 – Ângulo de proteção correspondente a área a ser protegida [10].

NOTA 1 Para valores de H (m) acima dos valores finais de cada curva (classes I a IV) são aplicáveis

apenas os métodos da esfera rolante e das malhas.

NOTA 2 H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida.

NOTA 3 O ângulo não será alterado para valores de H abaixo de 2 m

NOTA 4 Para locais com mais de um para-raios acrescenta-se 10° [16]

A Figura 24 mostra o ângulo de proteção do para-raios mediante a altura em que o para-raios se encontra

Como o galpão do estudo se trata de uma construção de altura única usa-se o primeiro método para a análise da proteção, lembrando que como não foi informada a classe do SPDA usaremos a NBR 5419:1993, temos que

$$R_p = H * \text{tag}(\alpha) \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida., para o local escolhido temos que H será a altura do chão ao topo do para raio menos a altura do galpão e  $R_p$  é o raio de proteção do SPDA, logo

$$H = 11,4 - 7$$

$$H = 4,4 \text{ metros}$$

para o valor de H encontrado segundo a Figura 26, para a classe II temos que  $\alpha$  é aproximadamente  $70^\circ$ , como existem dois captosres temos então que  $\alpha$  é aproximadamente  $80^\circ$

$$R_p = 24,95 \text{ metros}$$

Uma vez que a largura do galpão é de 70,58 metros fica evidente que ele não está protegido pelo método de Franklin pois com os raios deste tamanho não a encontro sobre o galpão deixando assim pontos cegos na proteção como pode ser visto na Figura 27.

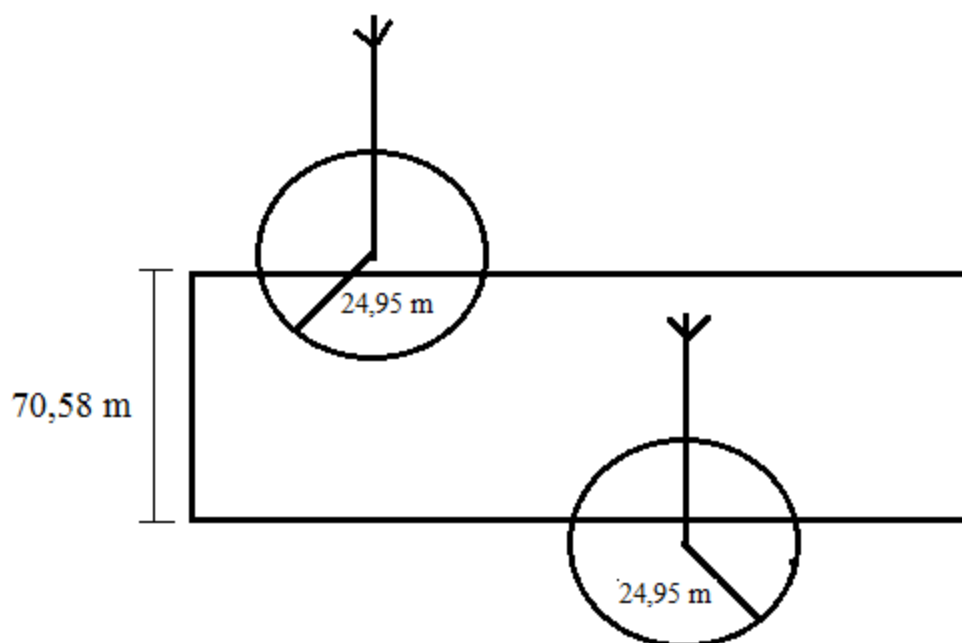


Figura 27 – Representação da proteção por SPDA Franklin.

- Por condutor suspenso, é definida como sendo a composição do volume de proteção virtual de mastros com seus vértices alinhados nesse condutor, como pode ser visto na Figura 28.

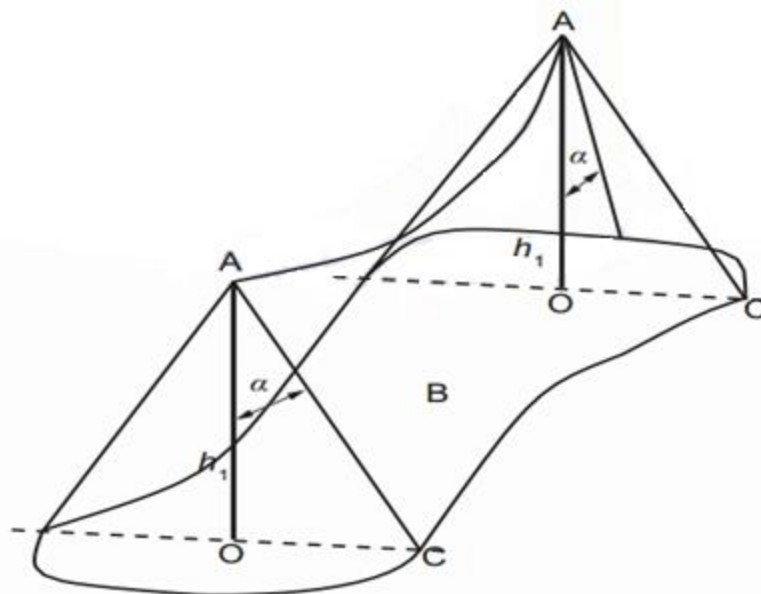


Figura 28 – Proteção provida por elemento condutor suspenso

- A** topo do captor
- B** plano de referência
- OC** raio base do cone de proteção
- h<sub>1</sub>** altura do mastro acima do plano de referência
- α** ângulo de proteção conforme a Tabela 8

Uma vez que os para raios não estão conectados esta proteção não se aplica.

- Duas hastes paralelas entre si que formam um cabo horizontal fictício estendido entre elas o que aumenta a zona de proteção como pode ser visto na figura 29

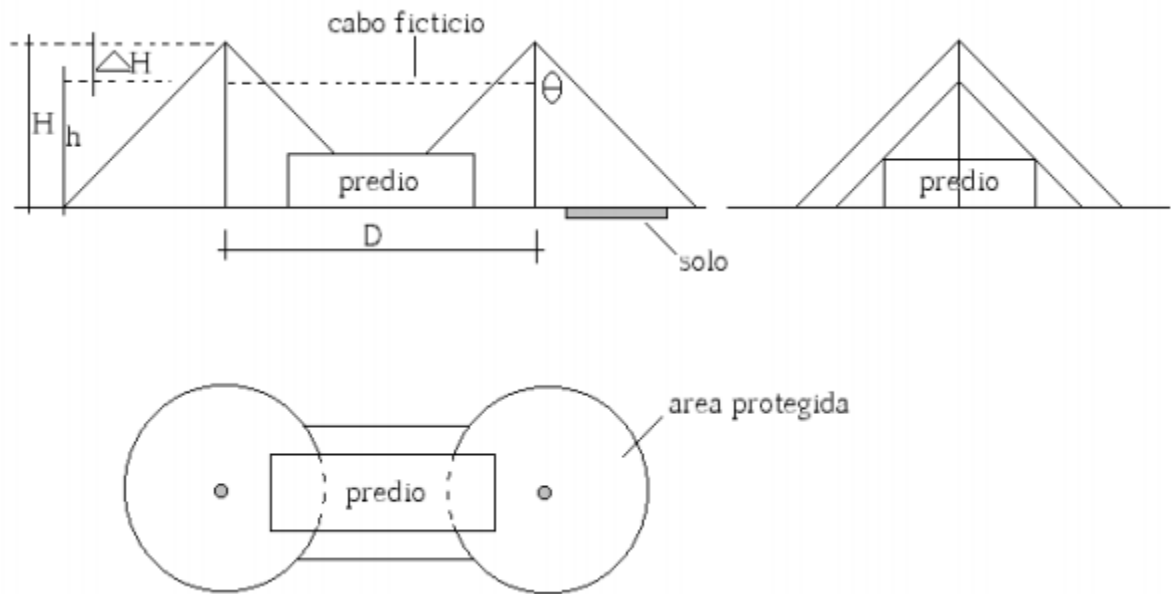


Figura 29 – Proteção por duas hastes de Franklin.

H altura do chão ao topo do para-raios

$\theta = \alpha$  retirado da Figura 15

h altura do cabo fictício

D distância entre os para-raios

O tamanho da haste do para raio é determinado por

$$h = H - \Delta H \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\Delta H = H - Q + \sqrt{(Q - H)^2 + \frac{D^2}{4}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Para que ocorra o efeito do cabo fictício duas condições devem ser satisfeitas

$$H \leq Q \quad \text{e} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$D \leq 2\sqrt{2QH - H^2} \quad (\text{Eq. 9})$$

O valor de Q é o raio da esfera dado pela tabela 8

Analisando as condições para o galpão da feira temos que

$$H = 11,4 \text{ m}$$

$$Q = 45 \text{ m (pela Tabela 8)}$$

$$D = 100,39 \text{ m}$$

A primeira condição é atendida  $H \leq Q$  porém a segunda não

$$D \leq 2\sqrt{2QH - H^2} \Rightarrow 100,39 \leq 59,88$$

Logo esse método de proteção não pode ser aplicado

### 4.3.3. Esferas rolantes

Este método define que o posicionamento adequado do subsistema de captação na aplicação deste método ocorre se nenhum ponto da estrutura a ser protegida entrar em contato com uma esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções possíveis. O raio,  $r$ , dessa esfera depende da classe do SPDA, como pode ser visto na tabela 12. Sendo assim, a esfera somente poderá tocar o próprio subsistema de captação, como pode ser observado na Figura 30 que apresenta o método de esfera rolante para construções abaixo e a cima de 60 metros de altura respectivamente.

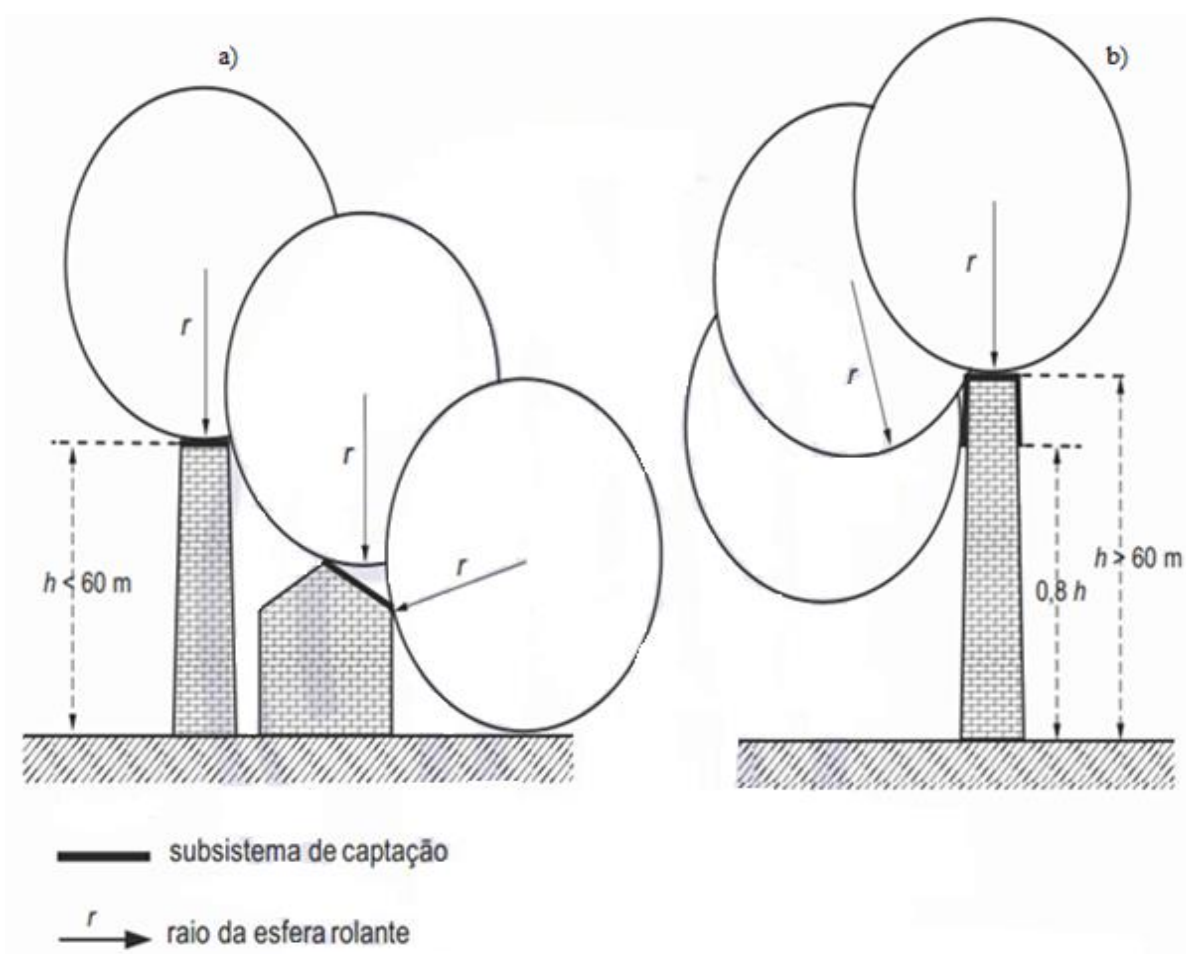


Figura 30 – Subsistema de captação conforme método da esfera rolante a) menor de 60 metros de altura, b) maior de 60 metros de altura

Com o método da esfera rolante pode-se definir qual o tamanho ideal da haste do SPDA ( $H_c$ ) para que o galpão esteja protegido, o tamanho é definido por

$$H_c = R_e * \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left[ \frac{L_e/4}{R_e} + \sqrt{\frac{H_{ext}}{R_e} * \left( 2 - \frac{H_{ext}}{R_e} \right)} \right]^2} \right\} \quad (\text{Eq. 10})$$

A Figura 31, mostra a localização de cada valor necessário para a realização do cálculo fica cada medida

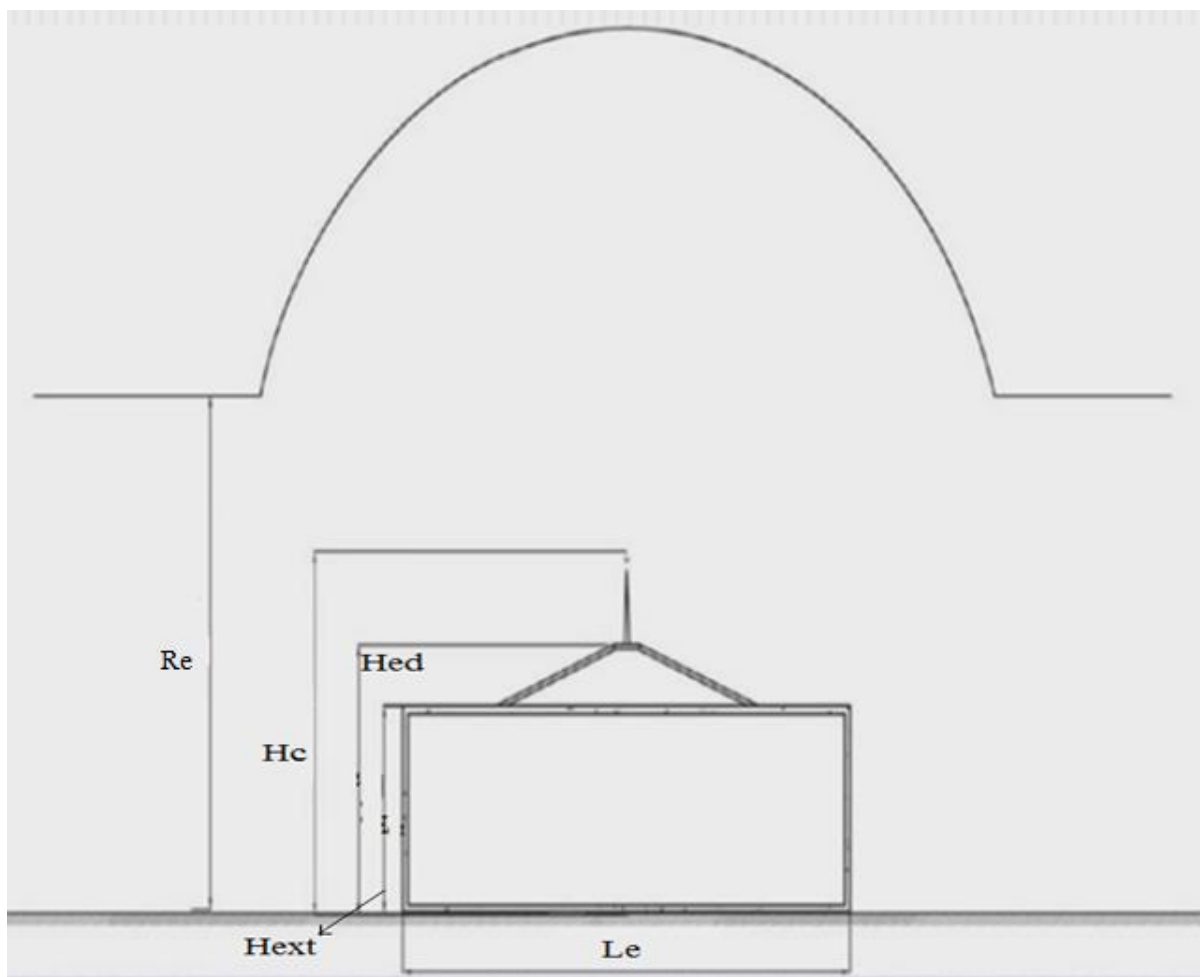


Figura 31 – Localização das medidas para o método das esferas rolantes

- \$H\_c\$ é a altura do solo até a ponta do SPDA
- \$L\_e\$ largura da edificação
- \$H\_{ext}\$ altura da edificação
- \$H\_{ed}\$ altura do ponto mais alto da edificação
- \$R\_e\$ raio da esfera determinado pela Tabela 8

A Figura 32 apresenta uma vista superior da Feira do Guará e através dela é possível mensurar o valor de \$L\_e\$

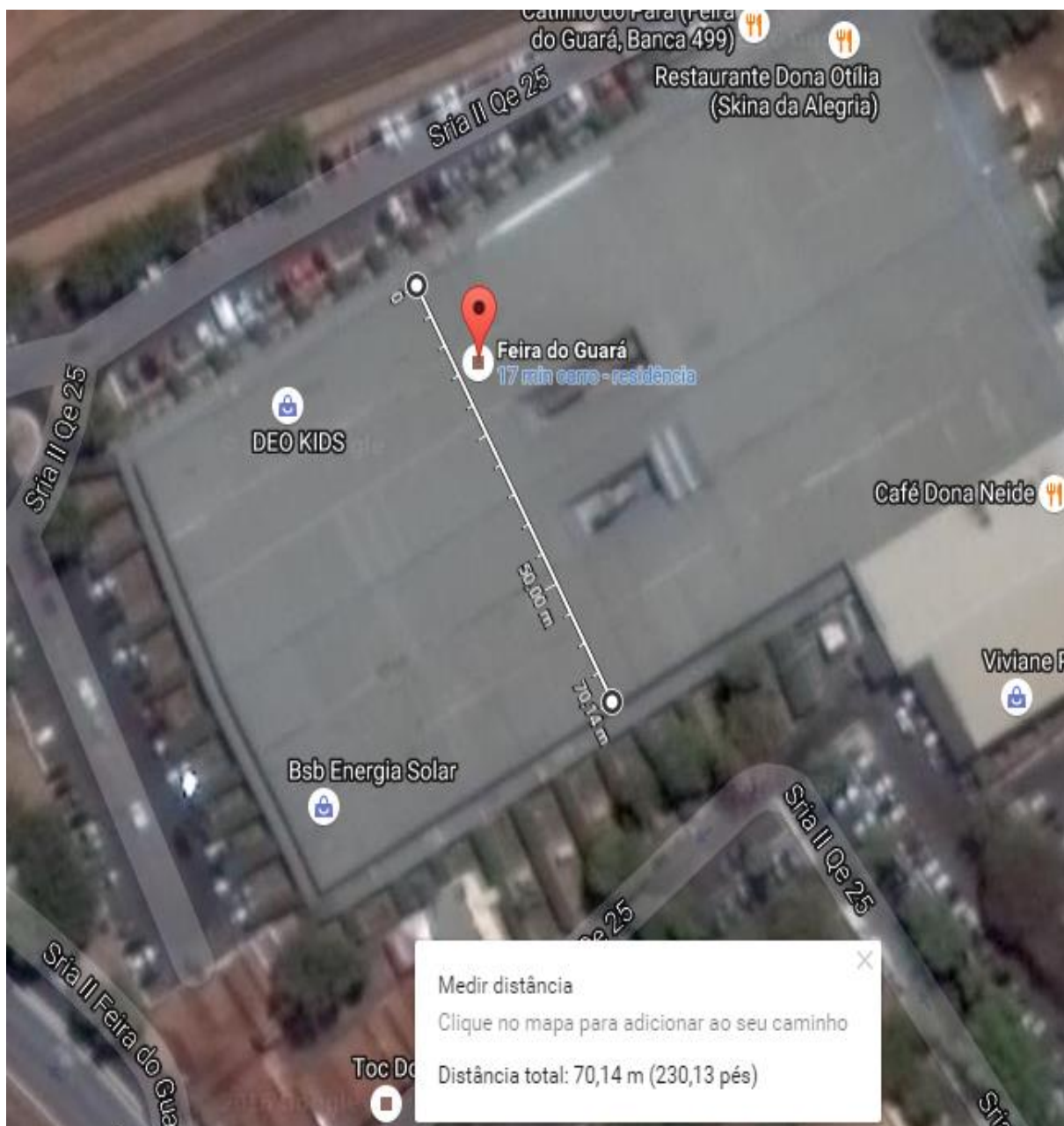


Figura 32 – Largura do galpão da feira do guará

$Le = 70,58$  metros

$H_{ext} = 7$  metros

$H_{ed} = 7$  metros

$Re = 45$  metros segundo a Tabela 8

$H_c = 28,21$  metros

$H_m = H_c - H_{ed} = 28,21 - 7$

$H_m = 21,21$  metros

$H_m$  é a altura média que a haste deve ter para que a proteção por esfera rolante seja viável, desta forma como a haste da Feira só possui 2 metros esta forma de proteção não se aplica.



## **5.CONCLUSÃO**

### **5.1. Aspectos Gerais**

As descargas atmosféricas são fenômenos presentes nas diversas regiões do mundo. Suas características são por muitos desconhecidas, mas é censo comum o alto poder destrutivo deste fenômeno.

Tendo em vista o grande risco que as descargas atmosféricas podem causar torna-se cada vez mais evidente a importância de que toda edificação, principalmente as com grandes afluências de público devem possuir um sistema de proteção contra descargas, mesmo que seja o mais simples, porém deve estar funcional e de acordo com a legislação.

### **5.2. Principais Conclusões Encontradas**

Pelos resultados há evidências de que a Feira não está devidamente protegida, uma vez que para todos os métodos analisados, em nenhum deles a proteção não foi satisfatório. Pelo o método de Faraday, o erro está na falta de aterramento da estrutura que não está interligado ao aterramento dos para-raios. Para o modelo de Franklin, o problema está no raio de proteção, que não foi suficiente para envolver toda a estrutura. Para os modelos de cabo flutuante e cabo fictício, a aplicação de ambos os métodos não é viável devido à falta de requisitos necessários. O modelo de proteção por esferas rolantes não é aplicável devido ao tamanho da haste não atingir o valor mínimo necessário para aplicação do método.

Tendo em vista os resultados obtidos e visando uma melhoria na proteção contra descargas atmosféricas, uma vez que a construção está finalizada, é aconselhável que a administração do Feira do Guará faça um planejamento para interligar todos os pilares externos e internos da estrutura juntamente com o aterramento do para raio, para que assim haja uma equipotencialização de toda estrutura, evitando assim que haja diferença de potencial entre eles. Visando melhorar o subsistema de recepção é aconselhável uma mudança na quantidade e na posição das hastes situando-as nas extremidades da cobertura, dessa forma tanto o método de Franklin e o método de proteção por esperas rolantes terão uma melhoria significativa protegendo toda a extensão do galpão. Por fim, uma última mudança que deveria ser feita é na entrada

de alimentação da CEB, na qual se deve instalar dispositivos de proteções contra surtos (DPS), dispositivos DR e uma refrigeração adequada para a caixa de força principal, visto que esta, atualmente é feita por um ventilador comum. Desta forma o galpão passa a estar totalmente seguro contra descargas atmosféricas. Além de todas melhorias citadas seria de grande importância existir uma fiscalização assídua visando manter o galpão dentro dos padrões de proteção exigidos pela legislação.

### **5.3. Perspectivas**

A partir deste trabalho, existe a perspectiva de continuidade à esta linha de pesquisa, com diversos temas relacionados. Alguns deles são:

- Estudo do comportamento da carga elétrica proveniente da descarga atmosférica na estrutura do galpão.
- Estudo do efeito eletromagnético gerado por descargas que ocorram próximo ao galpão.
- Propor um projeto para reforma do galpão da Feira do Guará com foco na melhoria da segurança contra descargas atmosféricas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Relâmpagos. Ocorrência na Terra Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/ocorrencia.na.terra.php>>. Acesso em 24 de outubro de 2016.

[2] Vítimas de raios infográfico Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/vitimas.de.raios.-infografico.php>>. Acesso em 24 de outubro de 2016.

[3] Infográfico – Densidade de raios no Brasil. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/infografico.-densidade.de.raios.no.brasil.php>>. Acesso em 24 de outubro de 2016

[4] DREHMER, Gilnei; MESACASA, Enio; PRAVIA, Zacarias. Galpões Para Uso Gerais. 4 ed. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.

[5] Conceitos meteorológicos Disponível em <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/conceitos.meteorologicos.php>>. Acesso em 25 de outubro de 2016

[6] INPE, Tipos de relâmpagos. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/tipos.php>>. Acesso em 24 de outubro de 2016.

[7] NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão

[8] NBR 13570:1996 – Instalações Elétricas em locais de Afluência de público

[9] NBR 5419-1:2015 – Proteção De Estruturas Contrás Descargas Atmosféricas

[10] NBR 5419-3:2015 – Proteção De Estruturas Contrás Descargas Atmosféricas: Danos físicos a estruturas e perigos à vida

[11] ADOLAR, Ricardo Bohn. Projeto de Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas. UFSC, Departamento de Engenharia Civil

[12] PAULINO, José Osvaldo S. Conceitos Básicos de Aterramento

[13] NBR 5419-1:2015 – Proteção De Estruturas Contras Descargas Atmosféricas

[14] Disponível em <  
<https://www.google.com.br/maps/place/Feira+do+Guar%C3%A1/@-15.8240839,-47.9756757,183m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x935a31c280000003:0x4305a75bc432cb4e!8m2!3d-15.82396!4d-47.975952>> Acesso em 25 de novembro de 2016

[15] Densidade de descargas atmosféricas (Ng) Disponível em: <  
[http://www.inpe.br/webelat/ABNT\\_NBR5419\\_Ng/](http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/)>. Acesso em 28 de novembro de 2016.

[16] DUQUE, Lucino. Projeto de um SPDA Franklin Determinação dos Captores.

[17] Julio Ninkier, A.J. Macintyre. Instalações Elétricas Editora LTC, 6 Ed.

[18] Disponível em: <[http://www.dge.inpe.br/wotan/wotan\\_br/relampago.htm](http://www.dge.inpe.br/wotan/wotan_br/relampago.htm)> acesso em 25/06/2016

[19] Disponível em:  
<<http://www.faglionipaineis.com/resources/Sistemas%20de%20Aterramento.pdf>>  
acesso em 25/06/2016

[20]<<http://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/projetos-instalacoes-eletricas-prediais.htm>> acesso em 04/07/2016