

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ RIBAMAR BARROS NETTO

**APLICAÇÃO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
UTILIZANDO COMPONENTES NATURAIS DA ESTRUTURA DE ACORDO COM
A NBR 5419:2015**

São Luís

2016

JOSÉ RIBAMAR BARROS NETTO

**APLICAÇÃO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
UTILIZANDO COMPONENTES NATURAIS DA ESTRUTURA DE ACORDO COM
A NBR 5419:2015**

Projeto de monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil, pela Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Tecnológicas, *campus* de São Luís.
Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli.

São Luís

2016

Barros Netto, José Ribamar.

Aplicação da proteção contra descargas atmosféricas utilizando componentes naturais da estrutura de acordo com a NBR 5419:2015. – São Luís, 2016.

92 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli.

1. Para-raios. 2.Componentes naturais. 3.Economia. 4.Descargas Atmosféricas. 5.Segurança.

CDU: 621.316.93

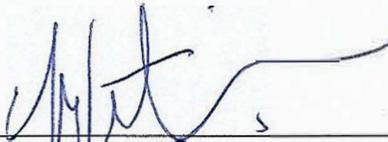
JOSÉ RIBAMAR BARROS NETTO

**APLICAÇÃO DA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
UTILIZANDO COMPONENTES NATURAIS DA ESTRUTURA DE ACORDO COM
A NBR 5419:2015**

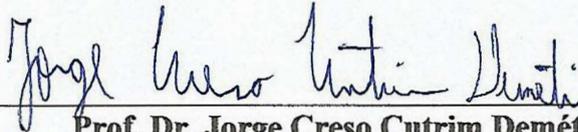
Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil à Coordenação da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, como requisito para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovada em: 15 / 12 / 16

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Ailton Egydio Petinelli (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio
Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho Coelho
Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por chegar a esta etapa do curso com saúde e disposição necessária para a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos meus Pais, por todo o amor e suporte dado ao longo destes 5 anos de curso.

Agradeço a minha namorada Daniele Martins, pela compreensão, amor e companheirismo durante todas as horas difíceis que ocorreram na graduação.

Agradeço aos meus amigos/irmãos que este curso me deu, que estiveram comigo durante toda esta caminhada, me ajudando a crescer tanto como futuro Engenheiro Civil e também como pessoa: João Pavão Neto e Gilberto Tavares.

Agradeço ao meu orientador Airton Egydio Petinelli, por toda a sua competência e profissionalismo, me orientando pelo melhor caminho possível, para que o resultado final fosse alcançado de maneira satisfatória.

Agradeço ao meu amigo Engenheiro Civil Waldemiro Corrêa Abreu, por todo suporte fornecido para a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Drº Hélio Eiji Sueta da USP, componente da banca de revisão da NBR 5419:2015 por todos os contatos, dúvidas tiradas e suporte fornecido ao longo da elaboração deste tcc.

“O sucesso tem muitos pais, mas o fracasso é órfão”.

John F. Kennedy.

RESUMO

A instalação de proteção contra descargas atmosféricas é cada vez mais exigida atualmente, porém nem sempre é utilizada pelos proprietários das edificações, temendo um custo elevado. Com o avanço dos estudos sobre para-raios em todo o mundo, passou-se a utilizar os componentes naturais da estrutura para protegê-las contra descargas atmosféricas, aliando segurança e economia simultaneamente. Este trabalho, mostra através de um estudo de caso, de acordo com a ABNT NBR 5419:2015, que partes da própria estrutura poderão cumprir o seu papel de "autodefesa" com relação aos raios. Por ser uma prática recente, é de grande valor compreender da melhor forma possível como todos os subsistemas de um SPDA estrutural poderão trabalhar em conjunto para proteção de estruturas, pessoas e equipamentos eletrônicos. A ABNT NBR 5419 foi atualizada no ano passado, portanto, este trabalho, reúne materiais atualizados, através normas, artigos, sites e contatos com os participantes da banca de revisão da norma. No estudo de caso será visto um projeto referente a uma creche, no município de São Mateus do Maranhão – MA, onde foram aproveitadas partes naturais da estrutura para a proteção contra descargas atmosféricas, e, portanto, houve um ganho econômico comparado a estruturas que não utilizam o SPDA estrutural.

Palavras-chave: Para-raios. Componentes Naturais. Economia. Descargas Atmosféricas. Segurança.

ABSTRACT

The installation of protections against the atmospheric discharges (The lightning protection) are now highly being needed. However, the owners of the buildings, fearing a high cost, do not use them. With the advancement of studies of surge arresters in the world, natural components of the structure began to be used to protect them against lightning, joining security and economy simultaneously. This paper shows through a case study, according to the NBR 5419: 2015, where parts of the structure itself can fulfill its role of "self-defense" with respect to the rays. As a recent practice, it is important to understand the best way possible of all subsystems of a structural LPS (Lightning Protection System) could work together for protection of structures, people and electronic equipment. The NBR 5419 was updated last year, so this paper, gathers updated materials, through rules, articles, sites and contacts with the participant's boards of the standard review. In the case study will be seen references of a day care center project in the municipality of São Mateus do Maranhão – MA, where they were taken advantage of natural parts of the structure for lightning protection, and therefore there was a certain economic gain compared to structures that do not use structural LPS.

Keywords: Surge arrester. Natural Components. Economy. Atmospheric discharges. Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tempestade com formação de raios.....	21
Figura 2 – Possíveis alternativas para descargas nuvem-solo	22
Figura 3 – Densidade de Descargas atmosféricas Ng – Mapa do Brasil.....	24
Figura 4 – Estrutura atingida por raio em Praia Grande - SP.....	27
Figura 5 – Experiência realizada por Benjamin Franklin para o primeiro para-raios.....	28
Figura 6 – Configuração em série de um SPDA	29
Figura 7 – Captor tipo Franklin em latão	31
Figura 8 – Volume de proteção do mastro (Captor tipo Franklin).....	32
Figura 9 – Ângulo de Proteção do Captor tipo Franklin	33
Figura 10 – Subsistema de captação através do método da esfera rolante.....	34
Figura 11 – Volume de proteção definido por uma esfera rolante	35
Figura 12 – Gaiola de Faraday	35
Figura 13 – Solda entre armação do pilar e da viga na mudança de pavimento	39
Figura 14 – Solda entre armação do pilar da viga e da laje.....	40
Figura 15 – Comprimento do anel I ₁ de acordo com a classe do SPDA.....	43
Figura 16 – Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS)	48
Figura 17 – Fronteiras das Zonas de Proteção Contra Raios.....	50
Figura 18 – MPS usando blindagem espacial e um sistema coordenado de DPS.....	51
Figura 19 – Mapa de curvas isocerânicas do Brasil	54
Figura 20 – Densidade de Descargas atmosféricas Ng – Mapa do Brasil.....	55
Figura 21 – Comprimento do anel x Resistividade do Solo.....	61
Figura 22 – Fachada da Creche	64
Figura 23 – Localização do Município de São Mateus na região nordeste.....	65
Figura 24 – Localização do Município de São Mateus no estado do Maranhão.....	65
Figura 25 – Vista aérea do Município de São Mateus do Maranhão	66
Figura 26 – Entrada de dados técnicos do projeto base.....	67
Figura 27 – Dados adicionais do projeto base.....	68
Figura 28 – Resultados do projeto base.....	68
Figura 29 – Zonas de proteção do projeto base.....	69
Figura 30 – SOLUÇÃO 1: Entrada de dados técnicos	69
Figura 31 – SOLUÇÃO 1: Dados adicionais	70

Figura 32 – SOLUÇÃO 1: Resultados	70
Figura 33 – SOLUÇÃO 1: Zonas de proteção	71
Figura 34 – Planta de cobertura com o Subsistema de captação	76
Figura 35 – Detalhe do Para-raios tipo Franklin	77
Figura 36 – Detalhe da fixação do cabo na telha metálica	78
Figura 37 – Fixação entre a malha e o ferro CA-25 na platibanda.....	78
Figura 38 – Detalhe do Subsistema de Descida	79
Figura 39 – Detalhe da localização da barra de descida no pilar	80
Figura 40 – Detalhe da descida no pilar	81
Figura 41 – Fixação da barra de descida na malha condutora da cobertura.....	81
Figura 42 – Detalhe da descida até o fundo da fundação	82
Figura 43 – Detalhe do Subsistema de Aterramento	83
Figura 44 – Detalhe da ligação da armadura com a malha de aterramento.....	84
Figura 45 – Detalhe da Vala de Aterramento	84
Figura 46 – Detalhe da Caixa de Inspeção	85
Figura 47 – Detalhe da Haste de Aterramento	85
Figura 48 – Detalhe da Caixa de Equalização.....	86
Figura 49 – Detalhe de interligação da Caixa de Equalização	87
Figura 50 – Detalhe do quadro de medição mostrando a utilização do DPS	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas	26
Tabela 2 – Raio da esfera e afastamento da malha	32
Tabela 3 – Espessura mínima de chapas metálicas em sistemas de captação	37
Tabela 4 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida	38
Tabela 5 – Materiais para subsistemas de captação e descidas	41
Tabela 6 – Material, configuração e dimensões do eletrodo de aterramento	42
Tabela 7 – Materiais e dimensões dos componentes de equipotencialização	49
Tabela 8 – Exemplos de classificação de estruturas	56
Tabela 9 – Posicionamento de Captadores conforme o nível de proteção	58
Tabela 10 – Espaçamento médio dos condutores de descida	60
Tabela 11 – Seções mínimas dos materiais do SPDA	62
Tabela 12 – Relatório do caso base	72
Tabela 13 – Relatório da solução 1	74
Tabela 14 – Orçamento do Projeto de Proteção Contra Descargas Atmosféricas.....	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DPS – Dispositivo de Proteção Contra Surtos

EL – Equipotencialização Local

EP – Equipotencialização Principal

FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEMP – Lightning Electromagnetic Pulse

MEG – Modelo Eletrogeométrico

NBR – Norma Brasileira

PDA – Proteção Contra Descargas Atmosféricas

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SPDA – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

ZPR – Zona de Proteção Contra Raios

LISTA DE SÍMBOLOS

KV/m – Quilovolt por metro;

V – Volt;

Km/s – Quilômetro por segundo;

KA – Quiloampère;

N_g – Densidade de descargas atmosféricas;

t' – Espessura da chapa metálica;

N_{cd} – Número dos condutores de descida;

P_{co} – Perímetro da edificação, em metros;

D_{cd} – Espaçamento dos condutores de descida;

I_1 – Comprimento do anel de aterramento;

$\Omega.m$ – Ohm por metro;

ρ – Resistividade;

I_r – Comprimento do eletrodo horizontal;

I_v – Comprimento do eletrodo vertical;

H – Campo magnético;

T_d – Número de dias de trovoadas por ano;

P – Probabilidade de uma estrutura ser atingida;

A – Área da edificação;

m – Metro;

m^2 – Metro quadrado;

cm – Centímetro;

mm^2 – Milímetro quadrado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	18
3 METODOLOGIA	19
4 JUSTIFICATIVA	20
5 REFERENCIAL TEÓRICO	21
5.1 CONCEITOS INICIAIS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	21
5.1.1 PROCESSO DE FORMAÇÃO DOS RAIOS	21
5.1.2 FREQUÊNCIA DE RAIOS NO BRASIL.....	23
5.1.3 PARÂMETROS DOS RAIOS.....	24
5.2 DANOS E PERDAS EM UMA ESTRUTURA	25
5.2.1 INTRODUÇÃO	25
5.2.2 FONTES DE DANOS.....	25
5.2.3 TIPOS DE DANOS.....	25
5.2.4 TIPOS DE PERDAS.....	25
5.3 A PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	27
5.3.1 INTRODUÇÃO	27
5.3.2 SURGIMENTO DO PRIMEIRO SPDA	28
5.3.3 O SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	29
5.3.3.1 <i>Funções do SPDA</i>	29
5.3.3.2 <i>Constituição de um SPDA</i>	30
5.4 SUBSISTEMAS DO SPDA EXTERNO	31
5.4.1 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	31
5.4.1.1 <i>Método do Ângulo de Proteção (Para-raios tipo Franklin)</i>	31

5.4.1.2 Método da Esfera Rolante (Modelo Eletrogeométrico)	33
5.4.1.3 Método das Malhas (Gaiola de Faraday)	35
5.4.1.4 Captores Naturais (Utilizando a própria estrutura)	36
5.4.2 SUBSISTEMA DE DESCIDAS	38
5.4.2.1 Descidas naturais	39
5.4.3 MATERIAIS E SEÇÕES MÍNIMAS DE CONDUTORES DE CAPTAÇÃO E DE DESCIDAS.....	41
5.4.4 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO	42
5.4.4.1 Aterramento Estrutural	45
5.5 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO	46
5.5.1 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS).....	47
5.5.2 MATERIAIS E DIMENSÕES DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO	49
5.5.3 MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (MPS).....	50
5.6 ALTERAÇÕES DA NORMA NBR 5419 (2005-2015)	53
5.6.1 AVALIAÇÃO DO RISCO DE EXPOSIÇÃO	54
5.6.2 AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE PROTEÇÃO/ANÁLISE DE RISCO	56
5.6.3 MÉTODOS DE PROTEÇÃO.....	58
5.6.3.1 Subsistema de captação.....	58
5.6.3.2 Subsistema de Descida	60
5.6.3.3 Subsistema de Aterramento	61
5.6.3.4 Tabela de captores, condutores de descidas e aterramento.....	62
5.6.4 RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E CONTINUIDADE ELÉTRICA	63
6 ESTUDO DE CASO	64
6.1 DADOS DA EDIFICAÇÃO	64
6.2 PROJETO ELABORADO SEGUNDO A NBR 5419:2015.....	67
6.2.1 Análise de risco	67
6.2.2 Subsistema de Captação	76
6.2.3 Subsistema de Descidas.....	79

6.2.4 Subsistema de Aterramento	83
6.2.5 Sistema Interno de Proteção	86
6.2.6 Orçamento do Projeto.....	88
7 CONCLUSÃO	89
7.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	90
REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia, para concretizar algo, primeiramente são feitos estudos preliminares, após isso, é feito o projeto, e posteriormente ele é executado. Porém, para que uma estrutura seja ela de qual tipo for, se mantenha firme por muitos anos, é necessário que ela resista aos fenômenos naturais do planeta, como: tempestades, raios, terremotos, etc.

O Brasil é conhecido como um campeão mundial de descargas atmosféricas, essa afirmação alarmante, traz consigo a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas que as edificações necessitam. São diversos os meios de proteção previstos pela norma brasileira ABNT NBR 5419:2015. Dentre os quais podem ser citados: Método Franklin, Método da Esfera Rolante, Método da Gaiola de Faraday, e também o SPDA estrutural (método abordado no estudo de caso).

Da necessidade de proteção, percebe-se que tanto: estrutura, pessoas e sistemas internos devem ser protegidos. Com a atualização da norma, o projeto de PDA ficou cada vez mais exigente, o primeiro passo para implantação da proteção contra descargas atmosféricas, é o gerenciamento de risco, nesta etapa, descrita na norma NBR 5419:2015 parte 2, são coletadas todas as informações possíveis com relação a edificação que está sendo estudada, para que a melhor solução possível possa ser tomada. Em seguida, são adotadas as medidas de proteção que deverão ser implantadas para a segurança da edificação. O custo de um projeto de PDA varia de acordo com o tamanho da edificação e medidas adotadas no projeto, caso sejam possíveis utilizar partes naturais da estrutura (SPDA estrutural), o projeto poderá ser tornar bem mais econômico mantendo o mesmo padrão de segurança.

Nos próximos capítulos serão mostrados de forma objetiva, os conceitos iniciais sobre descargas atmosféricas, tipos de danos e uma estrutura, alterações que ocorreram com a atualização da norma NBR 5419:2015, os subsistemas de SPDA: Subsistema de Captação, Subsistema de Descidas, Subsistema de Aterramento e Sistema Interno de Proteção. Conteúdos tratados por: Creder (2013), Cavalin e Cervelin (2006), Lima Filho (2014), Alves Cruz e Aniceto (2012) e devidamente atualizados de acordo com as 4 partes referentes a norma brasileira ABNT NBR 5419:2015. Por fim, após toda a parte teórica, será apresentado um estudo de caso com um projeto de PDA do FNDE de uma creche no município de São Mateus do Maranhão – MA, onde partes naturais da estrutura serão utilizadas na proteção contra descargas atmosféricas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as principais mudanças ocorridas com a atualização da norma NBR 5419, aplicando-as em um estudo de caso de uma creche, utilizando o SPDA estrutural.

2.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- a) Determinar as mudanças que ocorreram na alteração da norma NBR 5419:2015;
- b) Analisar um projeto de SPDA estrutural, mostrando como cada parte da estrutura pode ser aproveitada de acordo com a norma NBR 5419:2015;
- c) Analisar as vantagens técnicas e financeiras do SPDA estrutural.

3 METODOLOGIA

Como metodologia de trabalho, foi feita pesquisa bibliográfica através de normas ABNT, livros, artigos, contatos com os participantes da banca de revisão da ABNT NBR 5419:2015 e sites em que abordam o estudo do SPDA nas edificações, e também um estudo de caso de um projeto de uma creche elaborado na norma NBR 5419:2015.

4 JUSTIFICATIVA

Bem antes da Engenharia Elétrica existir, existiam apenas duas engenharias: a Engenharia Civil e a Engenharia Militar, com o avanço de técnicas construtivas, o Engenheiro Civil hoje em dia é cada vez mais solicitado a entender quase que de tudo um pouco, por este motivo, surgiu a ideia de compreender melhor a Proteção Contra Descargas Atmosféricas (PDA) e ficar cada vez mais atualizado com a mudança da norma NBR 5419 de 2015.

O Brasil é conhecido por ser campeão em incidência de raios, não são poucas as histórias ocorridas em função dos mesmos, basta chover para que as más notícias apareçam.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), o País é atingido por 60 milhões de descargas elétricas por ano, o equivalente a dois raios por segundo. E o maior alvo das descargas elétricas são os grandes centros urbanos.

Com todos estes dados preocupantes, surge a necessidade de proteger as edificações como um todo, e para isto devem ser elaborados os projetos de PDA de acordo com a norma NBR 5419-2015.

A nova versão da norma, leva em conta além da edificação, tudo que envolve a área protegida, como: linhas telefônicas, linhas de eletricidade, além de também englobar agora a utilização dos DPS - Dispositivos de Proteção Contra Surtos, pois o SPDA externo protege tanto a estrutura quanto as pessoas, e o SPDA interno (DPS+MPS) é responsável por proteger todos os equipamentos presentes no empreendimento. Dados que anteriormente não eram utilizados durante os cálculos de dimensionamento do projeto.

Dessa forma surgiu a ideia de verificar o quão segura as edificações se encontram no período atual com a alteração da norma, analisando a norma atual aplicada a um projeto existente, utilizando componentes naturais da própria estrutura.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 CONCEITOS INICIAIS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas ou raios, como comumente são conhecidos, são fenômenos naturais que se formam no interior das nuvens e que “descarregam” na superfície terrestre, devem ter atenção especial para evitar todos os tipos de danos, tanto a estrutura quanto a seres humanos.

As descargas atmosféricas ocorrem através de um processo de transformação de energia que antes era eletrostática e passou a ser eletromagnética, acústica e térmica. Nos valores mais elevados de carregamento da nuvem, os valores do campo elétrico ao nível do solo abaixo da nuvem podem atingir até 10 KV/m, e no interior das nuvens podendo chegar a atingir até milhares de volts por metro. (CREDER, 2013).

Figura 1 – Tempestade com formação de raios



Fonte: Dr Osmar Pinto Júnior (2011)

5.1.1 PROCESSO DE FORMAÇÃO DOS RAIOS

Antes do processo de formação dos raios ocorre a primeiramente a formação das nuvens carregadas, para que posteriormente sejam formados os raios, tanto ascendentes quanto descendentes. É interessante frisar que o processo de formação das nuvens carregadas possui até um horário usual para ocorrer, geralmente no final da tarde entre 16 e 18h, por consequência do aquecimento da terra pelo sol. (CREDER, 2013).

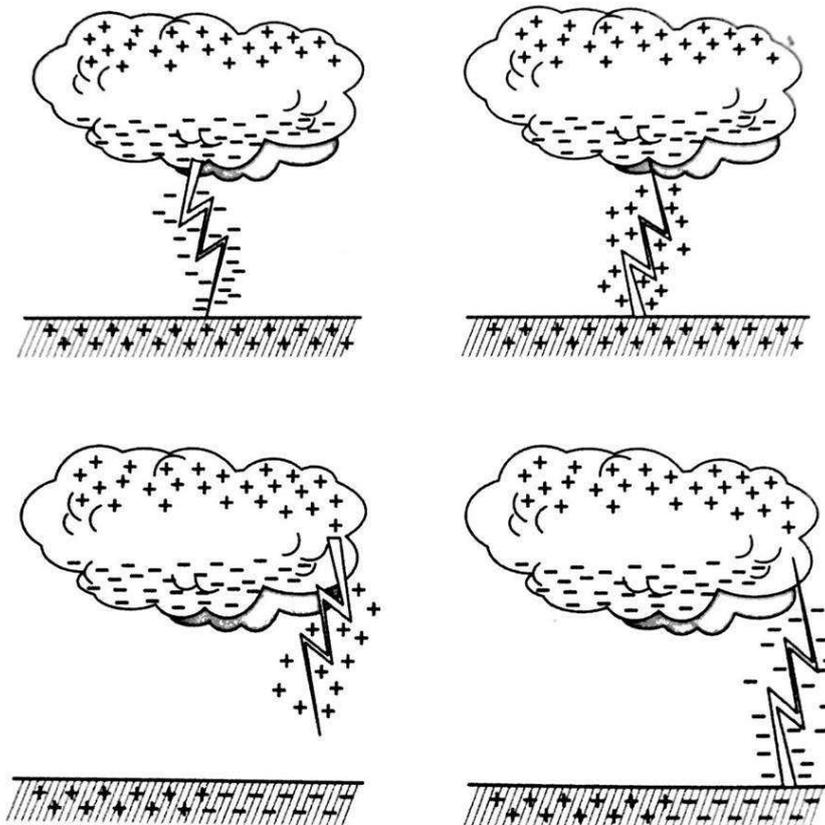
Segundo Creder (2013, p.251), a formação das nuvens de tempestade é dada da seguinte forma:

“[...] inicia-se com o aquecimento da mistura de ar e vapor d’água nos dias quentes, que se expande, diminui de densidade e sobe para camadas mais frias da atmosfera. Se nestas camadas a temperatura for igual ou inferior ao ponto de orvalho (ou de condensação), o vapor volta ao estado líquido sob a forma de gotículas, dando origem às nuvens carregadas. ”

Após a formação das nuvens carregadas chegamos a etapa dos raios propriamente ditos, no interior das nuvens após a mistura entre o vapor d’água e ar, ocorre a transformação em granizo. Em função do seu peso, o granizo começa a precipitar para a base da nuvem, e como é mais pesado, fica carregado negativamente, por sua vez, os cristais de gelo ficam carregados positivamente, e por isso deslocam-se para a parte superior da nuvem, quando as cargas atingem valores máximos, acontece o relâmpago. (CAVALIN; CERVELIN, 2006)

Na figura 2, pode-se verificar as possíveis alternativas para descarga nuvem-solo.

Figura 2 – Possíveis alternativas para descargas nuvem-solo



Fonte: Creder (2013)

Analisando a figura 2, pode-se perceber que existem 4 tipos básicos de descargas atmosféricas, são elas:

- a) Positivas: Ascendentes e Descendentes;
- b) Negativas: Ascendentes e Descendentes.

A grande maioria dos raios, nascem e morrem no interior das nuvens, são “poucos” os que conseguem realmente chegar a superfície terrestre (cerca de 60 milhões anuais no Brasil).

Segundo Cavalin e Cervelin (2006, p.374) os raios nascem e morrem da seguinte forma:

“No início, forma-se uma pequena faísca, que nesse estágio denomina-se “líder escalonado”. O “líder escalonado”, à medida que vai descendo, vai se ramificando pelo caminho. Ao aproximar-se do solo (em torno de 50 metros), sai a uma velocidade de 1500 km/s. nesse momento, as duas faíscas se encontram. É chamada de “descarga de retorno ou principal”. Isso é o que, de fato, enxergamos. A descarga de retorno ou principal começa a subida em direção à nuvem a uma velocidade de 30.000 km/s e intensidade de corrente elétrica de 2 kA a 200 kA. Quando a faísca chega lá, ela atinge o máximo da luminosidade.”

5.1.2 FREQUÊNCIA DE RAIOS NO BRASIL

Pode parecer brincadeira, mas não é, o Brasil é reconhecido como um campeão mundial de descargas atmosféricas, muito em função de sua extensão territorial que chega a mais de 8.516.000 km².

Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o local onde ocorrem os maiores números de descargas atmosféricas é no Amazonas com um total de 11 milhões de registros por ano, seguido por Pará com 7,8 milhões e o Mato Grosso com 6,81 milhões de casos. Ao todo, no território brasileiro, temos uma média de 57,8 milhões de raios por ano, resultando em 100 mortes por ano e também um prejuízo de 500 milhões de reais anuais.

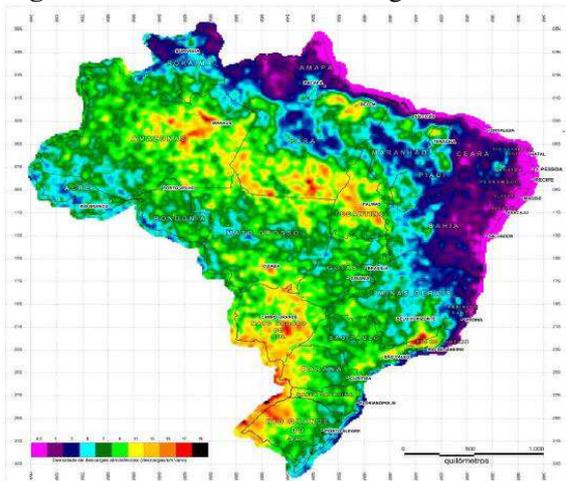
Através de todos esses dados pode-se perceber que é extremamente necessário a utilização de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, assunto que será tratado nos capítulos seguintes.

5.1.3 PARÂMETROS DOS RAIOS

Para que sejam feitos os estudos de previsão para o correto planejamento da prevenção dos raios, devem ser levados em conta alguns parâmetros, de acordo com Creder (2013) são eles: “frequência de ocorrência, intensidade e polaridade da corrente e ângulo de incidência”.

Para que seja feita uma previsão da probabilidade da ocorrência de raio em uma determinada região, a norma ABNT NBR 5419-2 (2015) em seu anexo F fornece um mapa do Brasil que contem a densidade de descargas atmosféricas N_g (descargas atmosféricas/ano/km²) que pode ser visto na figura 3. Para obter a probabilidade de uma estrutura ser atingida por um raio basta realizar o produto da densidade de descargas atmosféricas para a terra pela área de exposição equivalente da estrutura. (NBR 5419-2, 2015)

Figura 3 – Densidade de Descargas atmosféricas N_g – Mapa do Brasil



Fonte: Anexo F da NBR 5419-2 (2015)

Além da grande importância do mapa de densidade de descargas (N_g), também são levadas em consideração quando é feito o estudo sobre as descargas atmosféricas, o valor da corrente de crista e também o ângulo de incidência. Tanto os valores de corrente, quanto o ângulo de incidência são obtidos através de uma distribuição estatística. No caso do valor da corrente, essa distribuição estatística existe através de uma relação inversa entre a intensidade da corrente e a probabilidade desta descarga acontecer novamente, ou seja, quanto maior for a descarga, menor será sua probabilidade de ocorrência. No caso do ângulo de incidência, a incidência vertical é a que apresenta maior probabilidade de ocorrência, que vai diminuindo à medida que o ângulo vai aumentando, ou seja, pode-se notar que a probabilidade de uma fachada de um prédio ser atingida é bem menor do que uma cobertura de um prédio, devido a maior probabilidade e de incidência vertical. (CREDER, 2013).

5.2 DANOS E PERDAS EM UMA ESTRUTURA

5.2.1 INTRODUÇÃO

Nas seções anteriores, foram discutidos os processos de formação das nuvens/raios, agora neste tópico, serão vistos, os danos que uma descarga atmosférica pode causar em uma estrutura, os tipos de perdas que podem ocorrer em função do tipo da edificação segundo a NBR 5419-2 (2015).

5.2.2 FONTES DE DANOS

A única fonte de dano é a corrente proveniente da descarga atmosférica, a NBR 5419-2:2015, diferencia os tipos de fontes são distinguidas em função do local onde atingiu a descarga atmosférica, temos:

- a) S1: descarga atmosférica na estrutura;
- b) S2: descarga atmosférica perto da estrutura;
- c) S3: descarga atmosférica na linha;
- d) S4: descarga atmosférica perto da linha.

5.2.3 TIPOS DE DANOS

De maneira geral, os tipos de danos podem ser entendidos como sendo 3: Os danos a estrutura propriamente dita, danos a seres vivos e danos aos sistemas eletrônicos. Estes danos são classificados de acordo com a norma NBR 5419-2:2015, da seguinte forma:

- a) D1: ferimento aos seres vivos por choque elétrico;
- b) D2: danos físicos;
- c) D3: falhas de sistemas eletrônicos.

5.2.4 TIPOS DE PERDAS

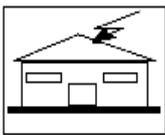
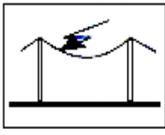
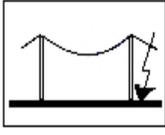
Existem 3 tipos de danos, porém cada um sozinho ou combinados uns aos outros, podem causar diferentes tipos de perdas para uma estrutura, a NBR 5419-2:2015 trata da seguinte forma:

- a) L1: perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público;

- c) L3: perda de patrimônio cultural;
 d) L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

A NBR 5419-2:2015 traz uma tabela resumo, que facilita o entendimento destas perdas/danos:

Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas

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

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

Fonte: NBR 5419-2 (2015)

5.3 A PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

5.3.1 INTRODUÇÃO

Como o Brasil é considerado campeão em descargas atmosféricas, quase 60 milhões de descargas anuais, é de extrema importância para a segurança de todos, que seja elaborada uma maneira de se proteger destes fenômenos naturais. O papel da Proteção Contra Descargas Atmosféricas (PDA), é essencial para todas as edificações que necessitam de proteção de acordo com os aspectos normativos. Desta maneira nos próximos capítulos, serão desenvolvidos de forma clara todos os componentes deste sistema, e como ele protege, tanto as edificações quanto seres humanos e sistemas eletrônicos.

Figura 4 – Estrutura atingida por raio em Praia Grande - SP



Fonte: Rogério Soares (2014)

A figura 4, traz o estrago causado por um raio, em uma edificação do interior de São Paulo, neste prédio, não havia nenhum sistema de proteção contra descargas atmosféricas, então tiveram danos do tipo:

- D2: danos físicos (estrutura);
- D3: falhas de sistemas eletrônicos.

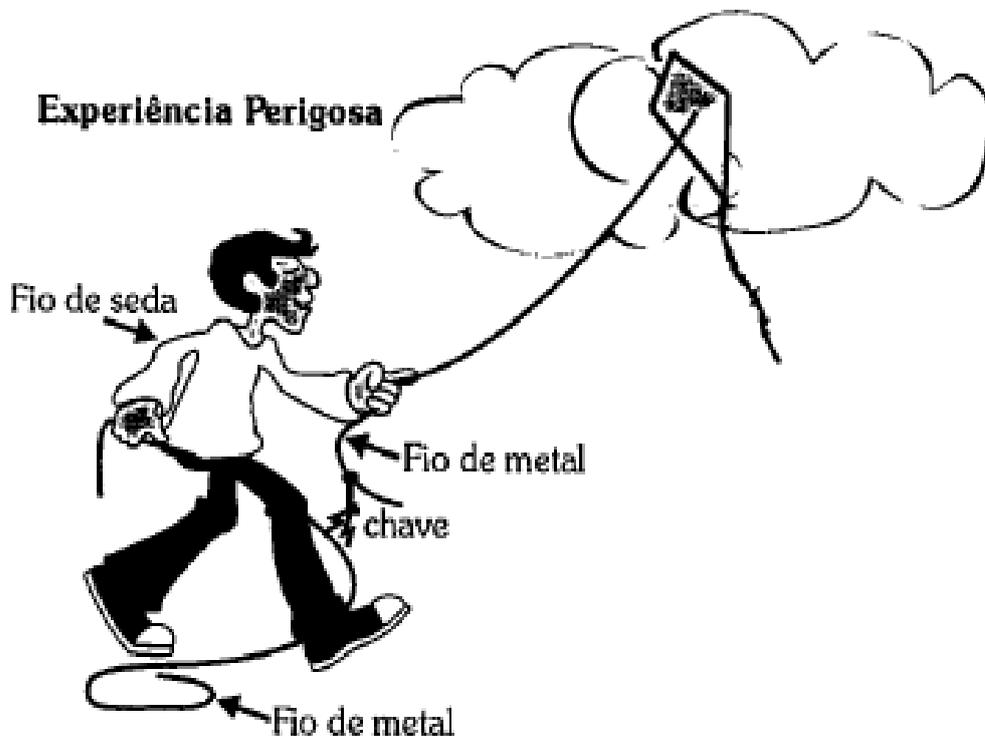
E perdas do tipo:

- L4: perda de valores econômicos (estrutura, conteúdo, e perdas de atividades).

5.3.2 SURGIMENTO DO PRIMEIRO SPDA

O primeiro SPDA foi criado através de uma experiência do cientista Benjamin Franklin (1752). Ele realizou uma experiência que pode ser considerada perigosa, antes de uma tempestade, ele empinou uma pipa indo em direção às nuvens, desconfiando que elas estivessem carregadas eletricamente. Com muita coragem e habilidade, ele verificou que parte das cargas descia por um fio de seda. Foi uma atitude corajosa, pois se o raio houvesse caído na direção do fio, ele não teria sobrevivido para desenvolver sua teoria. (CAVALIN; CERVELIN, 2006).

Figura 5 – Experiência realizada por Benjamin Franklin para o primeiro para-raios



Fonte: Cavalin, Cervelin (2005)

O experimento consistia em amarrar um fio bem fino de metal na pipa e uma chave na ponta. A partir da chave, ele segurou um fio de seda com a mão esquerda, e com a mão direita, ele segurava outro fio de metal que fazia contato com o solo. Ao aproximá-lo da chave, ela soltava faíscas, e foi desta forma que surgiram os primeiros para-raios que são conhecidos até os dias de hoje. (CAVALIN; CERVELIN, 2006). É importante frisar que houveram poucas evoluções no que diz respeito ao SPDA, tanto que até os dias de hoje, mais de 200 anos depois, o captor tipo Franklin é o mais utilizado nas edificações de pequeno porte.

5.3.3 O SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O princípio fundamental de uma descarga atmosférica é basicamente de atingir a superfície terrestre em algum ponto, e no meio deste caminho podem estar, casas, prédios, pessoas, etc. Para que tudo isto seja evitado, é utilizado o SPDA, cuja principal função é oferecer um ponto de **captação**, e um sistema de **escoamento** para que as descargas não gerem nenhum tipo de dano. (LIMA-FILHO, 2014).

Segundo Lima Filho (2014), o SPDA é composto pelos seguintes componentes:

- Os captores de raio;
- Os cabos de descida;
- O sistema de aterramento.

Figura 6 – Configuração em série de um SPDA



Fonte: Cavalin e Cervelin (2006)

5.3.3.1 Funções do SPDA

É interessante frisar que, apesar de muitas pessoas acreditarem que o para-raios atrai raios, isso é apenas um mito, um sistema de proteção, tem basicamente duas funções: **proteger** e **prevenir**. A função preventiva se dá através do escoamento permanente de cargas elétricas do meio ambiente para a terra, através do poder de atração das pontas, desta forma ele procura

neutralizar o gradiente de potencial entre o solo e as nuvens. E a função protetora se dá, por estar localizado nos pontos mais altos dos edifícios, garantindo assim, um caminho de escoamento para uma eventual descarga elétrica, dessa forma, reduz o risco de incidência de descargas na própria estrutura. (LIMA-FILHO, 2014).

Segundo Lima Filho (2014), as seguintes afirmações também podem ser feitas a respeito do SPDA:

- Um SPDA não impede a ocorrência de raios;
- Um SPDA corretamente projetado/instalado, reduz de maneira significativa a possibilidade de danos e perdas na estrutura, pois oferece a descarga um caminho seguro e com uma resistência bem menor ao escoamento das correntes atmosféricas.
- É melhor não ter um SPDA do que um SPDA mal instalado.

5.3.3.2 *Constituição de um SPDA*

Como foi citado no item 5.3.3, o sistema é composto por 3 subsistemas, o subsistema de captação, subsistema de descidas e o subsistema de aterramento.

A norma NBR 5419 (2015), admite 3 métodos de proteção contra descargas atmosféricas, o Método de Franklin (Método do ângulo de proteção), o Método da gaiola de faraday (Método das Malhas) e o Modelo Eletrogeométrico (Método da Esfera Rolante). Além de cada um destes métodos, é possível também utilizar componentes naturais da própria estrutura para realizar a tarefa de captação, a norma permite esta adaptação desde que sejam obedecidos determinados parâmetros.

Após o subsistema de captação, vem o subsistema de descidas, este por sua vez, pode ser feito utilizando, tanto componentes naturais (armaduras dos pilares de concreto armado) quanto não naturais (fios de cobre, alumínio).

E por último, vem o subsistema de aterramento, que segue a mesma ideia dos demais, poderá ser feito tanto com os componentes naturais da estrutura (armadura das fundações) quanto os não naturais.

Lembrando que, um projeto de PDA é dividido segundo a NBR 5419-1(2015) em externo e interno, a captação descidas e aterramento, compõe a parte externa do SPDA, a parte interna será composta por equipotencialização e dispositivos de proteção contra surtos.

Todos os métodos supracitados, serão tratados detalhadamente nos capítulos seguintes.

5.4 SUBSISTEMAS DO SPDA EXTERNO

5.4.1 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

Parte principal de todo o sistema, o subsistema de captação como o próprio nome sugere, é o responsável por captar a descarga atmosférica, guiando-a para o subsistema de descida e por consequência ao subsistema de aterramento. Ele é composto de 4 tipos: Método do Ângulo de Proteção (para-raios tipo Franklin), Método da Esfera Rolante (Modelo Eletrogeométrico) e o Método das Malhas (Gaiola de Faraday), e também, pode ser feito aproveitando partes naturais da própria estrutura, como por exemplo: telhas metálicas. (NBR 5419-3, 2015).

5.4.1.1 Método do Ângulo de Proteção (Para-raios tipo Franklin)

É o método de proteção mais antigo e simples que existe, ele consiste em uma haste metálica (captor), colocada na parte mais alta da edificação e ligado aos cabos de descida que por sua vez é ligado a uma haste de aterramento, por onde a carga irá escoar. O captor tipo Franklin, é composto por quatro pontas metálicas, podendo ser de cobre, latão niquelado, aço inoxidável, ou outro tipo de metal. (ALVES CRUZ; ANICETO, 2012).

Figura 7 – Captor tipo Franklin em latão



Fonte: Site do Raycon (2015)

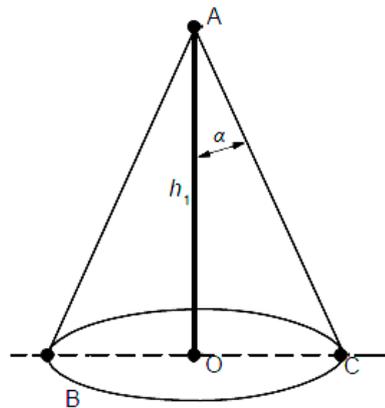
O captor tipo Franklin, possui uma zona de proteção em forma de cone, alguns parâmetros devem ser definidos até que sejam obtidos os valores do ângulo de proteção e o raio da base do cone. Devem ser definidos anteriormente os seguintes parâmetros: classe do SPDA, altura do captor, para que desta forma, seja analisado se toda a estrutura será protegida pelas escolhas feitas anteriormente. (NBR 5419-3, 2015).

Tabela 2 – Raio da esfera e afastamento da malha

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

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Figura 8 – Volume de proteção do mastro (Captor tipo Franklin)

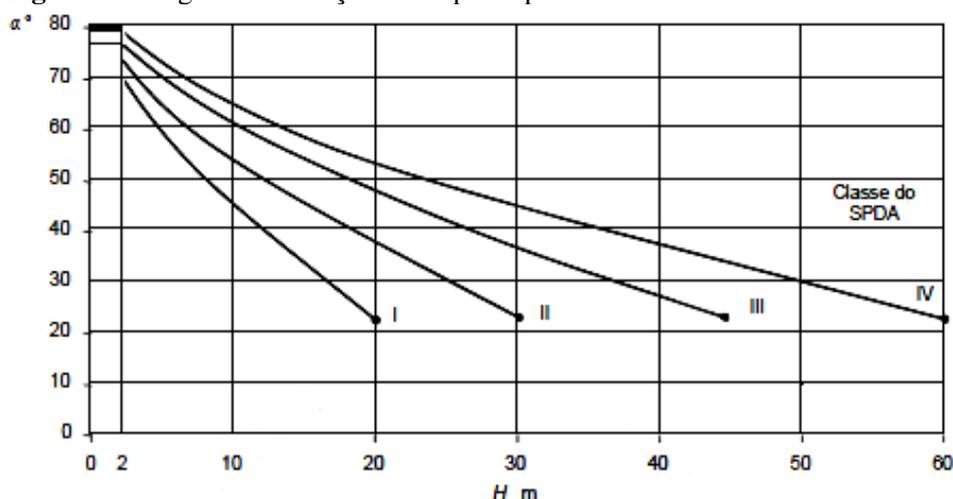


Legenda

- A topo do captor
- B plano de referência
- OC raio da base do cone de proteção
- h_1 altura de um mastro acima do plano de referência
- α ângulo de proteção conforme Tabela 2

Fonte: Anexo A da NBR 5419-3 (2015)

O ângulo de proteção é definido pela NBR 5419-3 através da figura 9:

Figura 9 – Ângulo de Proteção do Captor tipo Franklin

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Ao analisar a figura 9, é possível notar que para que sejam encontrados os ângulos de proteção do captor tipo Franklin, é necessário que se encontre primeiro a classe de SPDA, que por sua vez é encontrada após uma análise de risco completa, através da NBR 5419-2(2015), assunto que será abordado no Estudo de caso.

5.4.1.2 Método da Esfera Rolante (Modelo Eletrogeométrico)

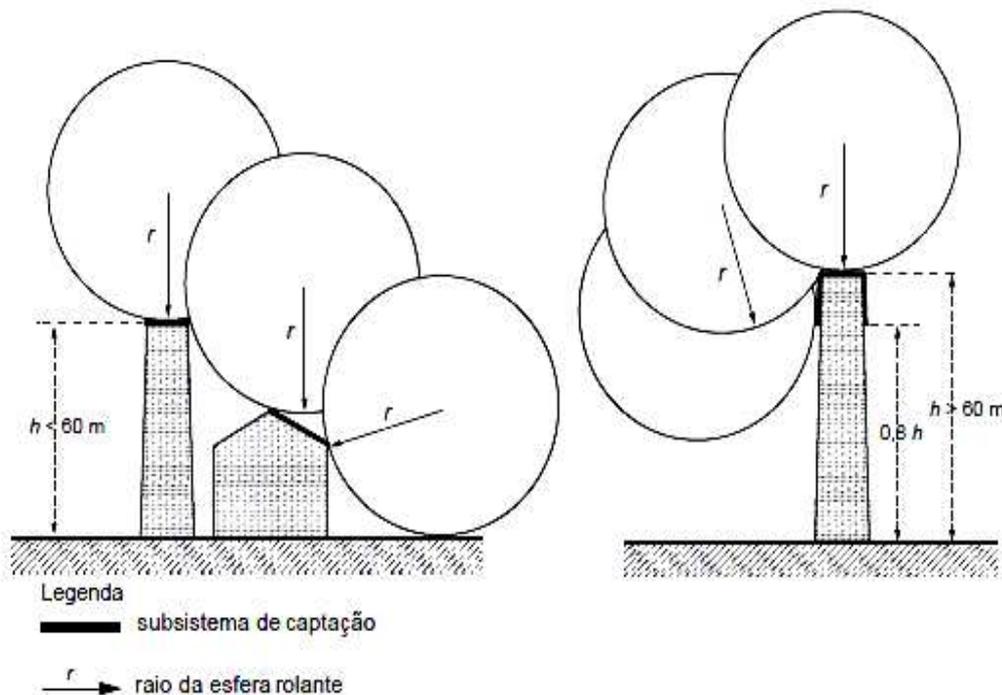
Este modelo é uma evolução do modelo proposto por Preece em 1881, Creder (2013, p.255) o define da seguinte forma:

“O modelo eletrogeométrico (MEG) resgatou, com um atraso de quase 100 anos, porém embasado em extensivo trabalho de pesquisa, o modelo sugerido por Preece em 1881, que previa que o volume de proteção de um elemento captor seria definido por um cone com vértice na extremidade do captor, delimitado pela rotação de um segmento de círculo tangente ao solo. O raio desse segmento de círculo é função do nível de proteção desejado para instalação.”

Este modelo é indicado para edificações altas, pois como visto em seções anteriores, a probabilidade de uma descarga lateral atingir uma edificação é bem reduzida, porém, quanto mais alta é a edificação (altura superior a 60m), maior a chance de ser atingida por uma descarga atmosférica lateralmente. Desta forma, o Método da Esfera Rolante, consegue através de seu raio, proteger a estrutura contra eventuais descargas laterais, e também verticais. Os valores do raio em função da classe de SPDA, podem ser vistos na tabela 2. (NBR 5419-3, 2015).

Através da figura 10, pode ser visto como é realizado o posicionamento deste modelo de captação:

Figura 10 – Subsistema de captação através do método da esfera rolante



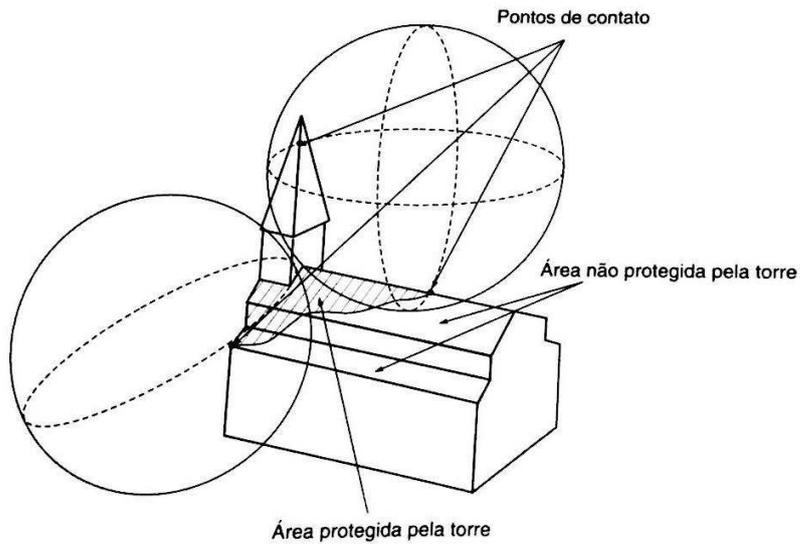
Fonte: Anexo A da NBR 5419-3 (2015)

Confirmando o que foi dito, pode-se observar que para estruturas acima de 60m, o subsistema de captação é instalado também em uma pequena parte lateral (20% da altura) próxima a cobertura, garantindo assim a segurança necessária contra descargas laterais, algo que não seria possível utilizando apenas o captor tipo Franklin.

A esfera é rolada por todas as partes de uma instalação protegida, porém ela não poderá tocar nenhuma parte da estrutura que não seja um elemento captor, pois se isto acontecer, será considerada falha de blindagem, dessa forma serão pontos expostos a descargas atmosféricas diretas. Outro ponto importante ocorre quando existem edificações “coladas” umas às outras, dessa forma, ao ser analisado a proteção da estrutura, deve ser levada em consideração as estruturas como um todo, e não uma a uma, tendo dessa forma, ganhos econômicos e estéticos. (CREDER, 2013).

Na figura 11, pode ser visto o esquema do volume de proteção desenvolvido por um captor eletromagnético:

Figura 11 – Volume de proteção definido por uma esfera rolante

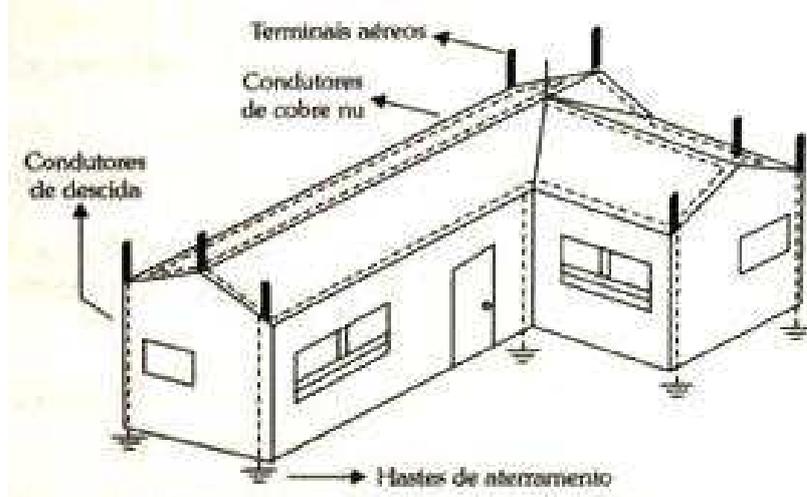


Fonte: Creder (2013)

5.4.1.3 Método das Malhas (Gaiola de Faraday)

O método das malhas como é conhecido, trata-se de uma “malha” de condutores lançados na cobertura e nas laterais da instalação conforme a figura 12. Este método é ideal para estruturas de grandes áreas de cobertura, pois uma outra técnica de captação implicaria em um número muito grande de mastros captadores, que por sua vez, necessitariam também de um grande número de condutores de interligação, por consequência se aproximaria bastante ao princípio da Gaiola de Faraday. (CREDER, 2013).

Figura 12 – Gaiola de Faraday



Fonte: Alves Cruz e Aniceto (2012)

Este método é bastante eficiente, e de acordo com a tabela 2, quanto menor for os espaçamentos determinados por norma, maior será o grau de proteção da estrutura. A NBR 5419-3:2015 em seu anexo A, mostra que alguns requisitos devem ser seguidos para que o posicionamento dos captosres seja feito de maneira adequada, são eles:

- a) Condutores captosres devem ser instalados:
 - Na periferia da cobertura da estrutura;
 - Nas saliências da cobertura da estrutura;
 - Nas cumeeiras dos telhados, se o declive deste exceder 1/10;
- b) as dimensões de malha não podem ser maiores que os valores encontrados na tabela 2;
- c) o conjunto de condutores do subsistema de captação deve ser construído de tal modo que a corrente elétrica da descarga atmosférica sempre encontre pelo menos duas rotas condutoras distintas para o subsistema de aterramento;
- d) nenhuma instalação metálica, que por suas características não possa assumir a condição de elemento captor, ultrapasse para fora o volume protegido pela malha do subsistema de captação;
- e) os condutores de malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível da instalação.

5.4.1.4 Captosres Naturais (Utilizando a própria estrutura)

Além dos 3 métodos anteriores, é possível também, seguindo os requisitos mínimos apresentados pela NBR 5419, utilizar os componentes naturais da estrutura. No caso do subsistema de captação, a norma admite os seguintes componentes:

- a) Chapas metálicas cobrindo a estrutura a ser protegida, desde que:
 - A continuidade elétrica entre as diversas partes seja feita de forma duradoura;
 - A espessura da chapa metálica não seja menor que o valor t' fornecido na tabela 3, se não for importante que se previna a perfuração da chapa ou se não for importante considerar a ignição de qualquer material inflamável abaixo da cobertura;
 - A espessura da folha metálica não seja menor que o valor t fornecido na tabela 3, se forem necessárias precauções contra perfuração ou se for necessário considerar os problemas com pontos quentes;
 - Elas não sejam revestidas com material isolantes.

Tabela 3 – Espessura mínima de chapas metálicas em sistemas de captação

Classe do SPDA	Material	Espessura ^a t mm	Espessura ^b t' mm
I a IV	Chumbo	–	2,0
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5
	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	–	0,7
^a t previne perfuração, pontos quentes ou ignição. ^b t' somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição.			

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

- b) Componentes metálicos da construção da cobertura (treliças, ganchos de ancoragem, armadura de aço da estrutura etc.), abaixo de cobertura não metálica, desde que esta possa ser excluída do volume de proteção;
- c) Partes metálicas, como nas ornamentações, grades, tubulações, coberturas de parapeitos etc., que estejam instaladas de forma permanente, ou seja, que sua retirada configura característica da estrutura e que tenham seções transversais não inferiores as especificadas para componentes captadores;
- d) Tubulações metálicas e tanques na cobertura, desde que eles sejam construídos de material com espessuras e seções transversais definidos pela norma;
- e) Tubulações metálicas e tanques contendo misturas explosivas ou prontamente combustíveis, desde que elas sejam construídas de material com espessura não inferior aos valores apropriados de t fornecidos na tabela 3 e que a elevação de temperatura da superfície interna no ponto de impacto não constitua alto grau de risco.

Portanto, percebe-se que os captadores naturais são exclusivamente de materiais metálicos, por garantirem uma condutibilidade elétrica adequada, porém seu uso deverá ser extremamente acompanhado, seguindo todos os critérios normativos para evitar falhas no sistema de proteção.

5.4.2 SUBSISTEMA DE DESCIDAS

Este subsistema é o próximo caminho que será tomado pela descarga atmosférica, após ser “captado” pelo subsistema de captação, as descidas irão guiar o raio até o subsistema de aterramento, portanto, é essencial para a proteção das edificações. A NBR 5419-3 cita que o número mínimo de descidas de PDA não deve ser menor que 2.

O cálculo do número de descidas é feito da seguinte forma:

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}} \quad (1)$$

Onde:

N_{cd} = número dos condutores de descida;

P_{co} = perímetro da edificação, em metros;

D_{cd} = espaçamento dos condutores de descida.

A tabela 4 apresenta os valores de espaçamento entre condutores de descidas:

Tabela 4 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida

Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20
NOTA É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20 % além dos valores acima.	

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

É importante frisar que, o cálculo do número de descidas não depende do tipo do modelo adotado pelo subsistema de captação. As descidas, tem a função de fornecer diversos caminhos paralelos de corrente elétrica, fornecendo o menor comprimento possível para o caminho da mesma. (NBR 5419-3, 2015).

5.4.2.1 Descidas naturais

De maneira similar, os subsistemas de descidas também possuem a possibilidade de aproveitar partes da estrutura para compor um sistema de proteção. As armaduras dos pilares podem ser utilizadas nessa situação, desde que estas sigam corretamente os requisitos necessários exigidos em norma. A NBR 5419-3 (2015) considera como condutores naturais de descida:

- a) As instalações metálicas, desde que:
 - A continuidade elétrica entre as várias partes seja feita de forma durável;
 - Dimensões atendam os valores mínimos exigidos em norma. Tubulações contendo misturas inflamáveis ou explosivas não podem ser consideradas como um componente natural de descida se as gaxetas nos acoplamentos dos flanges não forem metálicas ou se os lados dos flanges não forem apropriadamente conectados.
- b) as **armaduras de concreto armado** eletricamente contínuas;
- c) o vigamento de aço interconectado na estrutura;
- d) elementos da fachada, perfis e subconstruções metálicas das fachadas, desde que:
 - Suas dimensões estejam conforme aos requisitos dos condutores de descidas e que, para folhas metálicas ou tubulações metálicas, as espessuras não sejam inferiores a t' ;
 - Sua continuidade elétrica na direção vertical respeite os requisitos exigidos por norma.

Figura 13 – Solda entre armação do pilar e da viga na mudança de pavimento



Fonte: Site O Setor elétrico

Figura 14 – Solda entre armação do pilar da viga e da laje



Fonte: Site O Setor elétrico

Portanto, a utilização das armaduras dos pilares, tornou-se uma prática bem comum entre as construtoras, pois além do ganho econômico, tem-se também um ganho estético no projeto inteiro, desde que sejam seguidos os requisitos normativos de continuidade elétrica, as armaduras podem ser aproveitadas naturalmente como componentes naturais de descidas.

Uma prática que deve ser evitada, é a colocação de descidas em *shafts*, que ficam situados geralmente no interior do edifício. Os shafts estão na maioria das vezes, próximos a ambientes de pequenas dimensões, como banheiros por exemplo, aumentando drasticamente a probabilidade de acidentes fatais por parada cardíaca, resultantes da circulação de corrente no corpo humano pela indução do raio. (CREDER, 2013).

5.4.3 MATERIAIS E SEÇÕES MÍNIMAS DE CONDUTORES DE CAPTAÇÃO E DE DESCIDAS

A NBR 5419-3 (2015) fornece uma tabela com os tipos de materiais admitidos e suas respectivas seções para a instalação dos subsistemas de captação e de descidas:

Tabela 5 – Materiais para subsistemas de captação e descidas

Material	Configuração	Área da seção mínima mm ²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30 % ^e	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64 %	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente ^a	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável ^c	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 8323 [1]. ^b Aplicável somente a minicaptos. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m. ^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %. ^d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %. ^e A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (<i>International Annealed Copper Standard</i>).			
NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas. NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.			

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

5.4.4 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

Após a descarga atmosférica ser captada pelo subsistema de captação e seguir o seu caminho guiado através do subsistema de descidas, ela deverá ser dispersa na terra através do subsistema de aterramento. A NBR 5419-3(2015) não prevê um valor de resistência mínimo, porém, deve-se obter o menor valor possível de resistência de aterramento, compatibilizando o arranjo do eletrodo e a resistividade do solo, no local que está sendo instalado o aterramento. De maneira similar, este subsistema também poderá “aproveitar” partes da própria estrutura, através das armaduras das fundações, desde que sigam os critérios normativos. Os tipos de materiais que podem ser utilizados e seções mínimas são fornecidos pela norma e podem ser vistos de acordo com a tabela 6.

Tabela 6 – Material, configuração e dimensões do eletrodo de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado ^c	–	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	–	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	–	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço ^{a, b}	16 mm	Diâmetro 10 mm	–
	Tubo ^{a, b}	25 mm	–	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça ^a	–	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordoado	–	70 mm ²	–
Aço cobreado	Arredondado Maciço ^d Encordoado ^g	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável ^e	Arredondado maciço	15 mm	Diâmetro 10 mm	Espessura mínima 2 mm
	Fita maciça		100 mm ²	

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

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

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

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

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

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

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

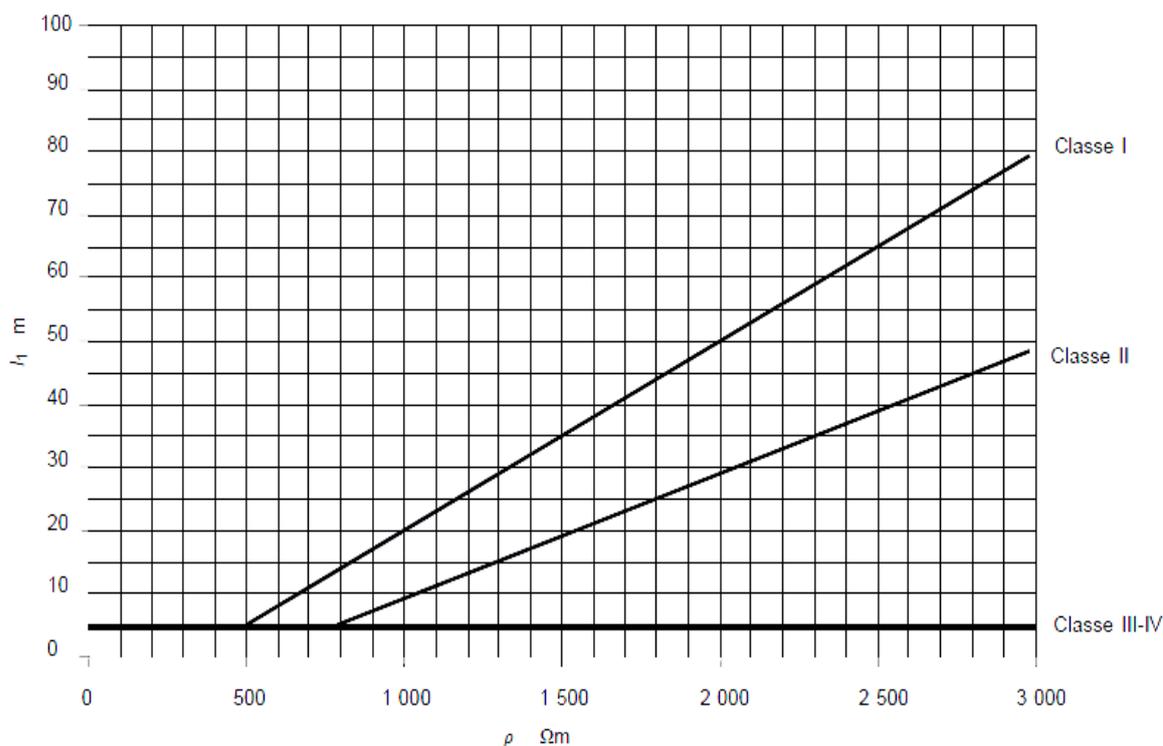
Caso a estrutura não possa ser aproveitada para um subsistema de aterramento, a NBR 5419-3(2015, p.17) recomenda que:

“[...] o arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo à estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80% do comprimento total, ou elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da fundação (sapatas). Estes eletrodos de aterramento podem também ser do tipo malha de aterramento. Devem ser consideradas medidas preventivas para evitar eventuais situações que envolvam tensões superficiais perigosas.”

Da mesma forma que nas descidas, e em todos os outros casos é de extrema importância, que a continuidade elétrica do eletrodo de aterramento em anel seja garantida ao longo de todo o seu comprimento. A norma recomenda que o raio médio r_e protegido tanto pelo eletrodo de aterramento em anel, quanto interligando as fundações descontínuas, não pode ser menor que o comprimento do anel I_1 , através da figura 15 pode ser visto o comprimento do anel de acordo com a classe do SPDA.

$$r_e \geq I_1 \quad (2)$$

Figura 15 – Comprimento do anel I_1 de acordo com a classe do SPDA



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Segundo a NBR 5419-3 (2015), as classes III e IV do SPDA, são independentes da resistividade do solo. Para os solos com resistividades superiores a 3 000 Ω .m, deverão ser:

$$I_1 = 0,03\rho-10 \text{ (para classe I)} \quad (3)$$

$$I_1 = 0,02\rho-11 \text{ (para classe II)} \quad (4)$$

Caso seja necessário, também é permitido por norma, que sejam instalados eletrodos adicionais, desde que estes, sejam devidamente conectados ao eletrodo em anel, e estejam situados o mais próximo possível dos condutores de descida. Quando o valor requerido de I_1 for maior do que o valor conveniente de r_e , deverão ser instalados, eletrodos verticais ou horizontais ou até mesmo inclinados, com seus respectivos comprimentos individuais: I_r (horizontal) e I_v (vertical). (NBR 5419-3, 2015).

$$I_r = I_1 - r_e \quad (5)$$

$$I_v = (I_1 - r_e)/2 \quad (6)$$

Após a escolha do tipo de aterramento que será utilizado, é necessário saber que, a norma determina uma profundidade mínima de aterramento para o eletrodo em anel de 0,50m e deverá ficar posicionado a distância aproximada de 1m do perímetro das paredes externas. Outro ponto importante na instalação deste subsistema, é o de que estes eletrodos deverão ser construídos e ao com o avançar da obra deverão ser constantemente inspecionados para evitar possíveis alterações de resistência. A união entre a profundidade de aterramento e o tipo de eletrodo é feita com o intuito de minimizar os efeitos corrosivos e dos efeitos causados através do ressecamento do solo, minimizando estes efeitos, será possível estabilizar a qualidade e efetividade do conjunto. No caso de uma impossibilidade de construção de um aterramento em anel externo a estrutura, é permitido que seja construído um anel de aterramento interno a estrutura. (NBR 5419-3, 2015).

5.4.4.1 Aterramento Estrutural

Este nada mais é do que o aproveitamento das fundações como parte natural de um subsistema de aterramento. O concreto seco, possui uma resistividade muito elevada, porém quando o mesmo está em contato direto com o solo, permanece úmido o que torna a sua resistividade bem próxima a do solo, que geralmente é baixa (ideal para as condições de aterramento). Por este motivo, as armaduras das fundações podem ser aproveitadas como aterramento natural da estrutura, desde que sejam corretamente interligadas seguindo os critérios normativos. (CREDER, 2013).

Como vantagem, pode-se perceber que de maneira análoga aos subsistemas antecessores ocorre um ganho econômico quando é utilizada a própria estrutura para que seja realizado o aterramento. Por outro lado, também é bem mais fácil de serem cometidos erros de execução, não garantindo a continuidade elétrica necessária para que a estrutura se torne protegida como pede a NBR 5419-3 (2015).

5.5 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO

Um projeto de PDA é composto por um sistema externo (protegendo a estrutura e as pessoas) e por um sistema interno (protegendo as instalações e equipamentos eletrônicos). Após a descarga atmosférica chegar ao subsistema de aterramento, é importante perceber que até 50% dela poderá voltar para o subsistema de descida, por esta razão, é necessária a utilização do SPDA interno, para que esta descarga não tome caminhos diferentes através de possíveis condutores em potencial. A função principal deste sistema é o de evitar o centelhamento perigoso, ou seja, evitar a existência de uma descarga elétrica inadmissível, no interior da estrutura ou nas proximidades do volume protegido. (NBR 5419-3, 2015).

De acordo com a norma, o centelhamento perigoso poderá ocorrer entre o SPDA externo e alguns componentes, como:

- a) As instalações metálicas;
- b) Os sistemas internos;
- c) As partes condutivas externas e linhas conectadas à estrutura.

Podendo ser evitado através de: **ligações equipotenciais** e isolação elétrica entre as partes. Lembrando que, estas equipotencializações devem ser instaladas de forma retilínea e com o menor comprimento possível. (NBR 5419-3, 2015).

Os meios de interligação de acordo com a NBR 5419-3, são:

- a) Direto: condutores de ligação, onde a continuidade elétrica não seja garantida pelas ligações naturais;
- b) Indireto: **Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)**, onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não possa ser realizada;
- c) Indireto: centelhadores, onde a conexão direta por meio de condutores de ligação não seja permitida.

As equipotencializações deverão ser feitas de maneiras diretas ou indiretas em 4 pontos da estrutura, são eles: Equipotencialização para instalações metálicas, para elementos condutores externos, para sistemas internos e para linhas conectadas à estrutura a ser protegida, mais informações poderão ser encontradas com mais detalhes na NBR 5419-3.

5.5.1 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS)

Os dispositivos de proteção contra surtos, são meios de interligação indiretos que tem a função de proteger tanto os sistemas internos quanto os equipamentos eletrônicos presentes no interior de uma edificação, eles deverão ser instalados em pontos de fácil verificação. (NBR 5419-3).

Existem 3 tipos de DPS, são eles: DPS Comutador de Tensão ou Curto-Circuitante, DPS Atenuador de Tensão ou Supressor de Surto e o DPS Combinado. De acordo com a NBR IEC 61643-1(2007) Dispositivos de proteção contra surtos em baixa tensão, eles são descritos como:

a) DPS Comutador de Tensão ou Curto-Circuitante:

Dispositivo que tem a função de mudar bruscamente o valor de sua impedância, de muito alto para praticamente desprezível, em função do aparecimento de um impulso de tensão em seus terminais.

b) DPS Atenuador de Tensão ou Supressor de Surto:

Dispositivo que tem a capacidade de mudar paulatinamente o valor de sua impedância, de muito alto para praticamente desprezível, quando aparece um impulso de tensão em seus terminais.

c) DPS Combinado:

Incorpora no mesmo dispositivo as propriedades dos DPS comutadores e dos atenuadores de tensão.

Da mesma forma, existem 3 classes de DPS que são diferenciadas de acordo com o tipo de ensaio proposto pela NBR IEC 61643-1(2007), são elas:

- Classe 1:

DPS ensaiado em condições de corrente que melhor simule o melhor primeiro golpe da descarga atmosférica (surtos conduzidos).

Aplicação: Proteção Contra sobretensões sobre a edificação ou em suas proximidades.

- Classe 2:

DPS ensaiado em condições de correntes que melhor simulem os golpes subsequentes das descargas atmosféricas e as condições de influências indiretas nas instalações, I_N (surtos induzidos).

Aplicação: Proteção contra sobretensões transmitidas pela linha externa de alimentação, ou seja, contra descargas indiretas.

- Classe 3:

Por ser um dispositivo atenuador de ajuste de tensão, utilizado em níveis internos de proteção, este DPS é ensaiado em forma de onda combinada.

Aplicação: Utilizado na proteção de equipamentos eletrônicos, possuindo uma capacidade de tensão menor, porém, eficiente para proteção dos equipamentos.

Portanto, é possível notar que, a utilização do DPS é de extrema importância para o sistema interno de proteção, seu uso é obrigatório conforme a NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, lembrando que as ligações equipotenciais são feitas para que sejam evitados os centelhamentos perigosos, já os DPS são utilizados para evitar inúmeros prejuízos com relação aos eletrônicos e aos sistemas instalados na edificação, eles devem ser aplicados de acordo com as recomendações da NBR 5410.

Figura 16 – Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS)



Fonte: Site da Ngeletrica

5.5.2 MATERIAIS E DIMENSÕES DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

A NBR 5419-4 fornece uma tabela com os materiais e suas respectivas seções mínimas na utilização dos mesmos para a realização da equipotencialização.

Tabela 7 – Materiais e dimensões dos componentes de equipotencialização

Componentes da equipotencialização		Material ^a	Seção transversal mm ²
Barras de equipotencialização (cobre, aço cobreado ou aço galvanizado)		Cu Fe	50 50
Condutores para conexão de barras de equipotencialização para o subsistema de aterramento		Cu Fe	50 80
Condutores para conexão entre barras de equipotencialização (Conduzindo total ou parte significativa da corrente da descarga atmosférica)		Cu Al Fe	16 25 50
Condutores para conexão de partes metálicas internas da instalação para as barras de equipotencialização (conduzindo uma parcela da corrente de raio)		Cu Al Fe	6 10 16
Condutores de aterramento para os DPS (conduzindo a totalidade ou parte significativa da corrente da descarga atmosférica) ^b	Classe I Classe II Classe III Outros DPS ^c	Cu	16 6 1 1
^a Outros materiais utilizados devem ter seção transversal assegurando resistência mecânica e condutância equivalentes. ^b Para DPS usados em aplicações de energia, informações adicionais de condutores para conexão são fornecidas na ABNT NBR 5410:2004, 6.3.5.. ^c Incluindo DPS usados em sistemas de sinal.			

Fonte: NBR 5419-4 (2015)

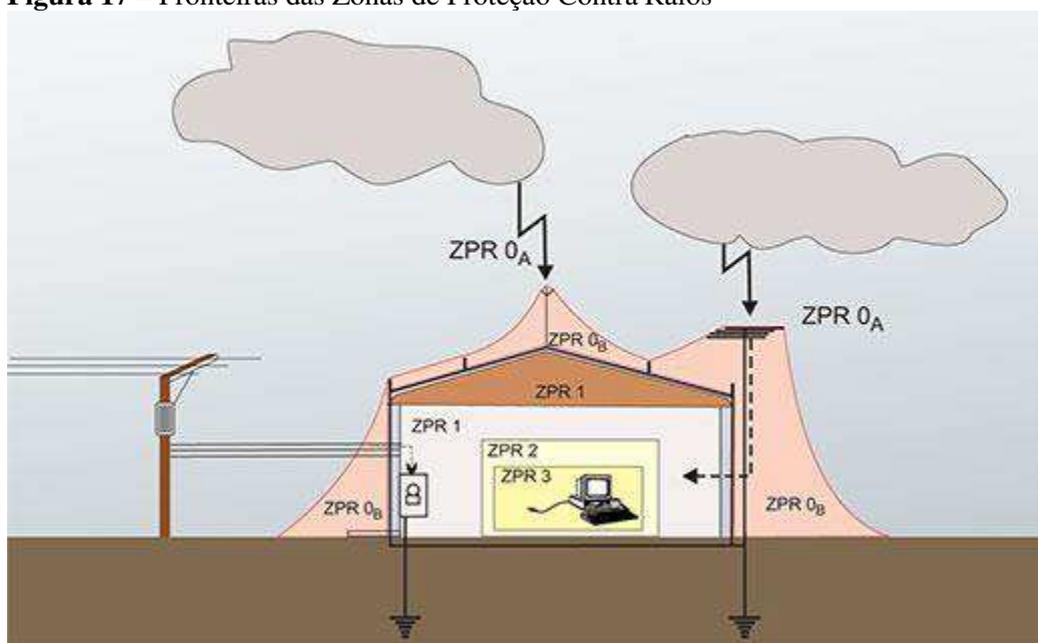
5.5.3 MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (MPS)

Os surtos podem ter sua origem de duas maneiras: de maneira externa e de maneira interna. O surto de origem externa ou induzido, ocorre quando a descarga atmosférica atinge uma linha entrando na própria estrutura, ou no solo próximo a ela, e posteriormente essa descarga será transmitida para os sistemas internos a estrutura, causando danos materiais. O surto de origem interna ou conduzido, acontece quando a descarga atmosférica atinge a própria estrutura ou o solo próximo a estrutura, gerando o mesmo dano material, caso não sejam instaladas medidas de proteção. (NBR 5419-4, 2015).

A NBR 5419-4 é uma novidade com relação as normas anteriores, pois trata com exclusividade da proteção dos sistemas internos da estrutura contra o LEMP (Lightning Electromagnetic Pulse), conhecido como impulsos eletromagnéticos causados pelas descargas atmosféricas.

Devido aos vários tipos de proteção existentes dentro da estrutura, criou-se a divisão por zonas de proteção contra raios (ZPR), onde cada zona é definida através de parte do espaço onde existe a compatibilidade do LEMP com os respectivos sistemas internos, e a fronteira entre as zonas é definida pelas medidas de proteção que serão empregadas, a figura 17 traz um exemplo das fronteiras entre as zonas de proteção. (NBR 5419-4).

Figura 17 – Fronteiras das Zonas de Proteção Contra Raios



Fonte: Site Antirraio

As ZPR's são definidas pela NBR 5419-4, da seguinte maneira:

a) Zonas Externas:

- ZPR 0: Zona fora da estrutura e próxima ao volume de proteção gerado pelo SPDA, é subdividida em:
 - ZPR 0A: Zona exposta a descargas atmosféricas diretas e a totalidade do campo eletromagnético, ou seja, fora do volume de proteção do SPDA.
 - ZPR 0B: Zona protegida contra descargas atmosféricas, porém, exposta a correntes parciais.

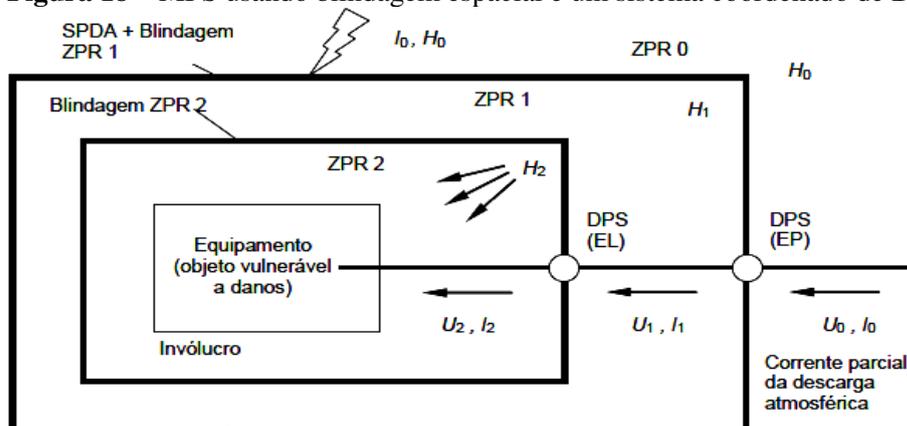
b) Zonas Internas:

- ZPR 1: Zona protegida pelo SPDA, onde a corrente de surto é limitada pela distribuição das correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS ou blindagem especial instalados na fronteira das zonas.
- ZPR 2/ZPR 3/ZPR n: Zonas também protegidas pelo SPDA, onde as correntes de surtos estarão bem mais limitadas, pois as zonas anteriores e os DPS anteriores já atenuaram a corrente de descarga.

É importante frisar que, devem ser instalados DPS coordenados (escolhidos de acordo com o tipo de situação), entre as fronteiras existentes entre as zonas de proteção. Caso o uso de DPS não seja feito, todo o sistema interno estará comprometido, pois não haverá proteção contra surto. (NBR 5419-4, 2015).

Um sistema interno seguro, é constituído por um aterramento bem feito, seguido de uma equipotencialização junto ao SPDA externo e também a instalação de DPS para a prevenção contra surtos. A NBR 5419-4, traz exemplos de MPS seguros que podem ser vistos através da figura 18.

Figura 18 – MPS usando blindagem espacial e um sistema coordenado de DPS



Onde:

- EP → equipotencialização principal;
- EL → equipotencialização local;
- H → campo magnético.
- U → Tensão Elétrica
- I → Corrente Elétrica

É possível notar que existem alguns DPS instalados entre as fronteiras das zonas, desta forma, os surtos conduzidos chegam até determinado equipamento com valores muito abaixo garantindo desta forma a integridade do mesmo, $U_2 \ll U_0$ e $I_2 \ll I_0$. O mesmo acontece com o valor do campo magnético, $H_2 \ll H_0$.

Desta forma, é visível que para garantir a completa segurança de uma edificação contra descargas atmosféricas, todos os detalhes citados nos tópicos anteriores deverão ser seguidos em conformidade com a NBR 5419 em suas 4 partes, desde o subsistema de captação ao sistema de proteção interno, visando garantir a segurança da estrutura, das pessoas, das instalações internas e também dos equipamentos eletrônicos.

5.6 ALTERAÇÕES DA NORMA NBR 5419 (2005-2015)

Como ocorre em todas as atualizações de normas nas áreas tecnológicas, muitos se questionam a respeito da quantidade de alterações ocorridas com a atualização. Partindo da ideia de que a NBR 5419:2005 possuía 42 páginas e em sua nova versão de 2015 passou a ter 309 páginas, é de se esperar que ocorreram inúmeras mudanças em grande parte do sistema de PDA. A NBR 5419:2015 entrou em vigor em 22 de junho de 2015, e foi dividida em 4 partes, são elas:

- Parte 1: Princípios Gerais
- Parte 2: Gerenciamento de Risco
- Parte 3: Danos Físicos a Estruturas e Perigos à Vida
- Parte 4: Sistemas Elétricos e Eletrônicos Internos na Estrutura

Na norma de 2005, todos os componentes de PDA, incluindo também os ensaios, todos eram agrupados em um único volume da norma, ou seja, os parâmetros relacionados aos projetos eram bastante resumidos se comparados com os atuais.

Para efeito comparativo neste tópico será realizada uma abordagem destas normas por partes, verificando assim de maneira organizada as principais alterações/benefícios que foram incluídas com esta atualização.

5.6.1 AVALIAÇÃO DO RISCO DE EXPOSIÇÃO

Anteriormente, na NBR 5419:2005 o risco de exposição de uma estrutura a descargas atmosféricas era obtido por meio de um mapa chamado isocerâunico mostrado na figura 19, onde através dele, retirava-se o valor T_d correspondente ao número de dias de trovoadas por ano, e através deste valor, calculava-se o valor N_g correspondente a densidade de descargas atmosféricas para terra. Após encontrado o valor de N_g , para encontrar a probabilidade de uma estrutura ser atingida (P) por uma descarga atmosférica, basta multiplicar a área de exposição (A) em km² da edificação pela densidade de descargas no local. Tem-se:

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \text{ [descargas atmosféricas/ano/km}^2\text{]} \quad (7)$$

$$P = N_g \cdot A \text{ [descargas atmosféricas/ano]} \quad (8)$$

Figura 19 – Mapa de curvas isocerânicas do Brasil



Fonte: Anexo B da NBR 5419 (2005)

5.6.2 AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE PROTEÇÃO/ANÁLISE DE RISCO

Anteriormente, na NBR 5419:2005 a escolha do nível de proteção do SPDA era feita de maneira bastante superficial, através da tabela 8 indicando o tipo de estrutura, e para cada tipo de estrutura estava indicado um nível de proteção a ser adotado.

Tabela 8 – Exemplos de classificação de estruturas

Classificação da estrutura	Tipo da estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas comuns ¹⁾	Residências	Perfuração da isolamento de instalações elétricas, incêndio, e danos materiais Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio	III
	Fazendas, estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de vida para animais devido à perda de controles eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros	III ou IV ²⁾
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas e igrejas	Danos às instalações elétricas (por exemplo: iluminação) e possibilidade de pânico Falha do sistema de alarme contra incêndio, causando atraso no socorro	II
	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais, e outros	Como acima, além de efeitos indiretos com a perda de comunicações, falhas dos computadores e perda de dados	II
	Hospitais, casa de repouso e prisões	Como para escolas, além de efeitos indiretos para pessoas em tratamento intensivo e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas	II
	Indústrias	Efeitos indiretos conforme o conteúdo das estruturas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível	II
Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicação usinas elétricas Indústrias	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo Risco indireto para as imediações devido a incêndios, e outros com risco de incêndio	I
Estruturas com risco para os arredores	Refinarias, postos de combustível, fábricas de fogos, fábricas de munição	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios bioquímicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com conseqüências perigosas para o local e para o meio ambiente	I
<p>¹⁾ ETI (equipamentos de tecnologia da informação) podem ser instalados em todos os tipos de estruturas, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro destas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a ABNT NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis.</p> <p>²⁾ Estruturas de madeira: nível III; estruturas nível IV. Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustíveis (pós de grãos) sujeitos a explosão são considerados com risco para arredores.</p>			

Fonte: Anexo B da NBR 5419 (2005)

Com a NBR 5419-2:2015, o gerenciamento de risco, tornou-se extremamente criterioso, com relação aos parâmetros necessários para determinação do nível de proteção a ser adotado pela estrutura, o procedimento básico de um gerenciamento de risco desta norma, propõe as seguintes etapas:

- a) Identificação da estrutura a ser protegida e suas características;
- b) Identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes R (R_1 a R_4);
- c) Avaliação do risco R para cada tipo de perda R_1 a R_4 ;
- d) Avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos R_1 , R_2 e R_3 com os riscos toleráveis R_T ;
- e) Avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem medidas de proteção. Neste caso, a avaliação dos componentes de risco R_4 deve ser feita no sentido de avaliar tais custos.

Portanto, é possível notar que ficou de certa forma, bem mais complexo, estima-se que se necessitam da entrada de 110 parâmetros para determinar qual o nível de proteção que determinada estrutura necessita, pois, a NBR 5419-2:2015, ficou bem mais exigente, e com tantos riscos a serem calculados, tornou-se uma tarefa cansativa manualmente, com isso, o uso de softwares no auxílio de novos projetos de PDA estão cada vez mais difundidos no mercado.

5.6.3 MÉTODOS DE PROTEÇÃO

5.6.3.1 Subsistema de captação

Os 3 métodos de captação mantiveram-se aceitáveis: Método dos Ângulos (Franklin), Modelo Eletrogeométrico (Esfera Rolante) e Método das malhas (Gaiola de Faraday). Apenas algumas mudanças ocorreram na tabela que indica o alcance dos captosres que podem ser observadas através das tabelas 9 e 2, e também através da figura 8.

Tabela 9 – Posicionamento de Captosres conforme o nível de proteção

Nível de proteção	R m	Ângulo de proteção (α) - método Franklin, em função da altura do captor (h) (ver Nota 1) e do nível de proteção					Largura do módulo da malha (ver Nota 2) m
		0 - 20 m	21 m - 30 m	31 m - 45 m	46 m - 60 m	> 60 m	
I	20	25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30	35°	25°	1)	1)	2)	10
III	45	45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	2)	20

R = raio da esfera rolante.

1) Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico, malha ou da gaiola de Faraday.

2) Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

NOTAS

1 Para escolha do nível de proteção, a altura é em relação ao solo e, para verificação da área protegida, é em relação ao plano horizontal a ser protegido.

2 O módulo da malha deverá constituir um anel fechado, com o comprimento não superior ao dobro da sua largura.

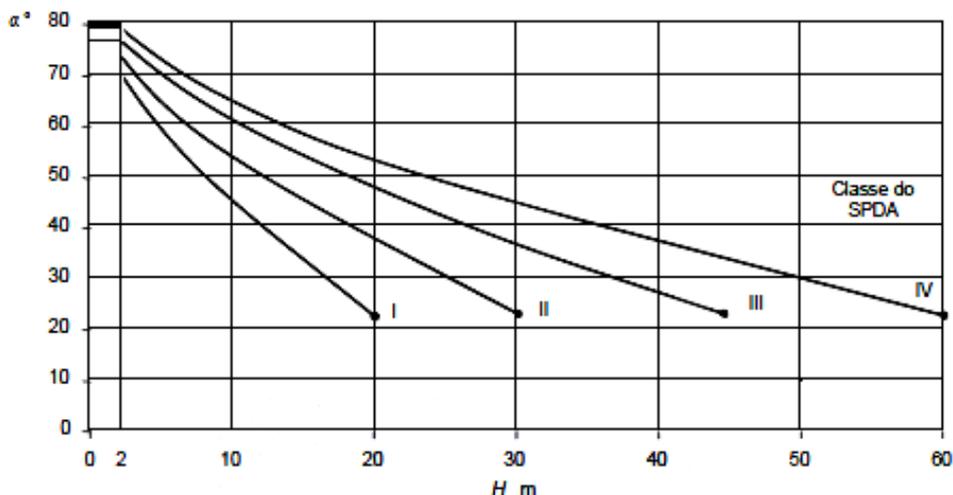
Fonte: NBR 5419 (2005)

Tabela 2 – Valores do raio da esfera e afastamento da malha

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

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Figura 8 – Ângulo de Proteção do Captor tipo Franklin



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Analisando os valores da norma anterior e a norma, pode-se perceber que:

- Método dos ângulos (Franklin): Houve aumento do ângulo de proteção de captores pequenos de até 2 m de altura;
- Modelo Eletrogeométrico (Esfera Rolante): Não sofreu alteração, os valores dos raios da esfera rolante em função do nível de proteção permaneceram inalterados;
- Método das malhas (Gaiola de Faraday): Para SPDA classe III e IV, houve um aumento no máximo espaçamento da malha.

Portanto, com relação ao subsistema de captação, foram feitos pequenos ajustes, em dois métodos: Método dos ângulos e Método das malhas, com essas alterações o nível de segurança foi mantido, porém, houve um ganho econômico, pois podem ser utilizados captores de até 2m de altura com ângulos de proteção bem favoráveis. E com o aumento do espaçamento das malhas para classes III e IV houve também um ganho econômico, diminuindo a utilização de cabos condutores.

5.6.3.2 Subsistema de Descida

Nas descidas, assim como no subsistema de captação, houve pequenas mudanças no espaçamento dos condutores de descida, que podem ser vistas nas tabelas 10 e 4.

Tabela 10 – Espaçamento médio dos condutores de descida

Nível de proteção	Espaçamento médio m
I	10
II	15
III	20
IV	25

Fonte: NBR 5419 (2005)

Tabela 4 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida

Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20
NOTA É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20 % além dos valores acima.	

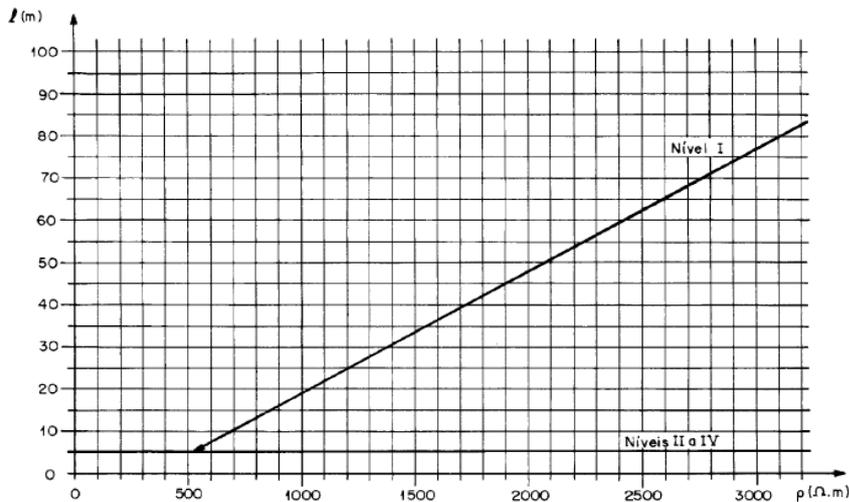
Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Analisando as tabelas, é possível perceber que com a atualização, os espaçamentos entre os condutores de descida foram reduzidos, com isso, o número de condutores de descida irá aumentar em um projeto de PDA se comparado a norma anterior, porém a norma atual também permite que será tolerado um valor de 20% acima do proposto, e adicionando os 20% temos uma mudança bem pequena a norma anterior. Portanto, com maior número de condutores de descida, menor será a corrente que circulará pelos subsistemas da edificação, garantindo assim maior segurança.

5.6.3.3 Subsistema de Aterramento

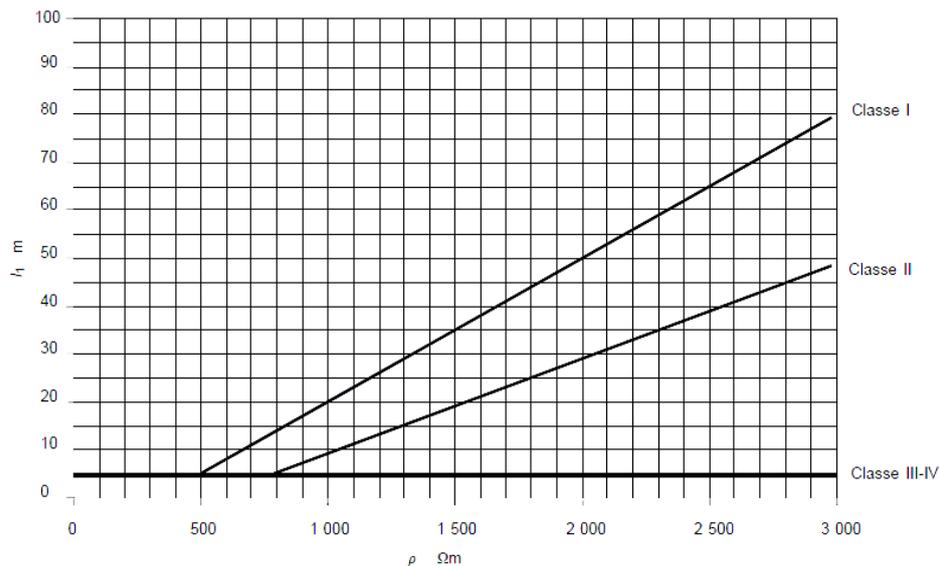
O valor do comprimento do anel que é obtido através de uma relação direta entre a resistividade do solo e o nível de proteção do SPDA, só possuía relação direta com a classe I, agora com a atualização da norma foi incrementada também a classe II, facilitando na hora da escolha deste parâmetro, as diferenças podem ser vistas através das figuras 21 e 14.

Figura 21 – Comprimento do anel x Resistividade do Solo



Fonte: NBR 5419 (2005)

Figura 14 – Comprimento do anel l_1 de acordo com a classe do SPDA



Fonte: NBR 5419-3 (2015)

5.6.3.4 Tabela de captadores, condutores de descidas e aterramento

As tabelas com os materiais para todos os subsistemas do SPDA, contendo o tipo de material e seções mínimas, foram melhoradas, revisando tanto as seções mínimas quanto os materiais utilizados para cada subsistema, as tabelas 11, 5 e 6, mostram as diferenças ocorridas.

Tabela 11 – Seções mínimas dos materiais do SPDA

Material	Captor e anéis intermediários mm ²	Descidas (para estruturas de altura até 20 m) mm ²	Descidas (para estruturas de altura superior a 20 m) mm ²	Eletrodo de aterramento mm ²
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto	50	50	50	80

Fonte: NBR 5419 (2005)

Tabela 5 – Materiais dos subsistemas de captação e descida

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

^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 8323 [1].

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

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

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

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

NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.

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

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

Tabela 6 – Material, configuração e dimensões mínimas do eletrodo de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado ^c	–	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	–	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	–	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço ^{a, b}	16 mm	Diâmetro 10 mm	–
	Tubo ^{a, b}	25 mm	–	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça ^a	–	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordoado	–	70 mm ²	–
Aço cobreado	Arredondado Maciço ^d Encordoado ^g	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável ^e	Arredondado maciço	15 mm	Diâmetro 10 mm	Espessura mínima 2 mm
	Fita maciça		100 mm ²	

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

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

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

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

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

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

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

Fonte: NBR 5419-3 (2015)

A atualização da norma, trouxe uma quantidade maior de materiais que podem ser utilizados, nos subsistemas do SPDA, garantindo assim uma melhor logística para os projetistas que possam passar por algum tipo de problema por não ter um material específico em sua localidade.

5.6.4 RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E CONTINUIDADE ELÉTRICA

Algumas outras mudanças também foram incluídas a esta norma, como a resistência mínima de aterramento que antes era 10 ohms e agora este valor foi retirado da norma, recomendando a mesma apenas que o menor valor possível deverá ser obtido, não estipulando um mínimo. Com relação aos testes de continuidade elétrica no concreto, foram melhorados, agora em duas etapas na norma atual.

6 ESTUDO DE CASO

Neste tópico, será apresentado um projeto de PDA do FNDE elaborado no ano de 2015, de uma creche, situada em São Mateus do Maranhão – Maranhão, o projeto está em conformidade com a norma 5419:2015, todos os componentes do projeto serão analisados de acordo com os seus respectivos subsistemas, e posteriormente, será apresentado o quantitativo/orçamento do projeto. Todas as imagens de detalhes referentes ao projeto, serão apresentadas a seguir, neste estudo de caso.

6.1 DADOS DA EDIFICAÇÃO

Área Edificada: 1550 m²;

Perímetro: 260 m;

Altura da Edificação: 3 m (1 pavimento);

Largura da Edificação: 38 m;

Comprimento da Edificação: 51 m;

Localização: São Mateus do Maranhão – MA, localizado a 188 km de São Luís;

SPDA classe II, 95% de eficiência;

Tipo de Edificação: Creche;

Data de Emissão do Projeto: Julho/2015;

Data de Execução do Projeto: setembro de 2016 a agosto de 2017.

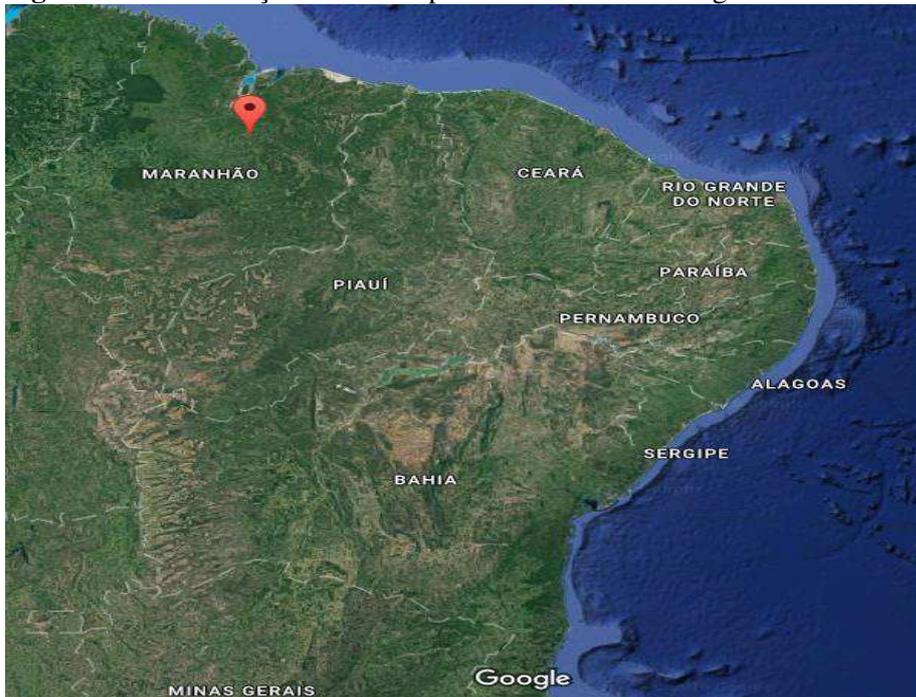
A figura 22, mostra uma imagem da fachada da creche, para melhor entendimento deste estudo de caso.

Figura 22 – Fachada da Creche



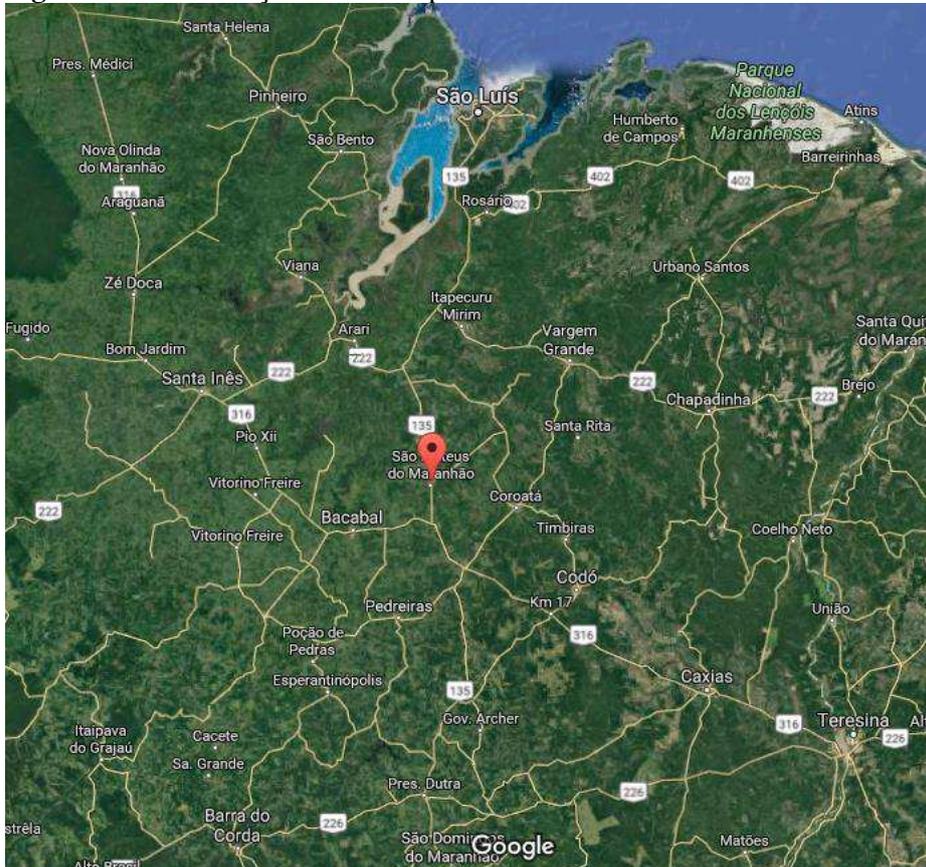
Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Figura 23 – Localização do Município de São Mateus na região nordeste



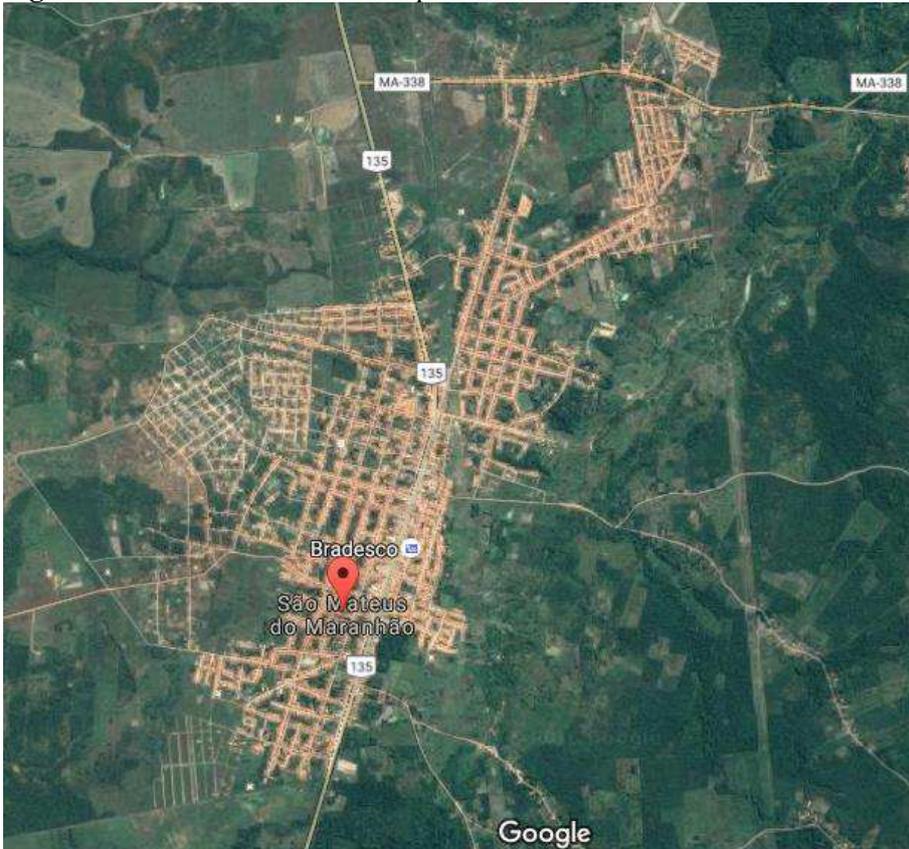
Fonte: Google Maps

Figura 24 – Localização do Município de São Mateus no estado do Maranhão



Fonte: Google Maps

Figura 25 – Vista aérea do Município de São Mateus do Maranhão



Fonte: Google Maps

As 3 figuras anteriores, mostram a localização do município de São Mateus do Maranhão, local onde está sendo executado o projeto da Creche do FNDE. Como foi possível notar através das localizações do google maps, o município, situa-se na mesorregião do centro maranhense, na microrregião do Médio Mearim, e situa-se a 188 km da capital do estado, São Luís.

6.2 PROJETO ELABORADO SEGUNDO A NBR 5419:2015

6.2.1 Análise de Risco

Foi utilizada a PLANILHA TUPAN 2016, desenvolvida na USP para fazer a análise de risco conforme a Parte 2 da ABNT NBR 5419: 2015.

A seguir serão apresentadas as telas do caso base que significa a análise com a estrutura sem as medidas de proteção e logo após as telas da solução para a análise de risco.

Em seguida a apresentação dos relatórios gerados pela planilha. Na solução, em vermelho as principais medidas de proteção. Lembrando que: todas as imagens deste gerenciamento de risco, tem como fonte a PLANILHA TUPAN 2016.

Figura 26 – Entrada de dados técnicos do projeto base

The screenshot displays the 'Tupan 5 v2.0' software interface, which is used for technical data entry. The interface is organized into several functional areas:

- Dados da Estrutura:** This section includes input fields for 'Área de exposição equivalente da estrutura principal' (3794,469000 [m²]) and 'Área de exposição equivalente de estrutura adjacente' (706,858335 [m²]). It also features fields for 'Largura' (38 [m]), 'Comprimento' (51 [m]), and 'Altura' (3 [m]). There are buttons for 'Carregar dados da estrutura principal', 'Carregar linha energia', 'Carregar linha telecomunicação', and 'gravar linha energia'. A checkbox labeled 'Estrutura complexa' is present.
- Influências ambientais:** This section contains dropdown menus for 'Localização (cidade)' (São Mateus do Maranhão) and 'Localização da estrutura' (Estrutura isolada). It includes a 'Gravar' button and a field for 'Frequência de raios(Ng)' (7,6798 [1/km²/ano]).
- Medidas de proteção ou mitigação do risco:** This section has a dropdown for 'Proteção por SPDA' (sem SPDA) and a dropdown for 'Meios para reduzir as consequências de incêndio' (Extintores manuais, alarmes manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fogo).
- Atributos da avaliação:** This section includes input fields for 'Nome do projeto' (projeto TCC) and 'Avaliador' (avaliador BARROS NETO), with a 'Gravar' button.
- Atributos da linha de energia conectada:** This section contains input fields for 'Comprimento da linha conectada' (500 [m]) and 'Área de exposição adjacente' (0 [m²]). It includes dropdowns for 'Fator ambiental (Ce)' (Suburbano) and 'Fator de instalação dos condutores (Ci)' (Aéreo). There are also dropdowns for 'Condição da blind., aterr. e isolamento' (Lin. aérea não blindada. Conex. entr. indefinida) and 'Tipo de linha (Ct)' (Linha BT). Other fields include 'Tensão sup. impulso do sistema' (2,5kV), 'DPS de acordo com nível de proteção' (Sem proteção coordenada com DPS), and 'Fiação interna (Ks3)' (Não blindado - sem precaução para evitar laços).
- Atributos da linha de telecomunicação conectada:** This section is similar to the energy line section but with 'Tensão sup. impulso do sistema' set to 1,5kV.

At the bottom of the interface, there are 'Gravar' buttons and 'Ajuda para seleção dos campos' links for each section. The 'Última zona carregada na memória:' field shows 'Z1' in red text.

Figura 27 – Dados adicionais do projeto base

Tupan 5 v2.0

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo

Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

Contra tensão de passo e toque na estrutura: Nenhuma medida de proteção

Contra tensão de passo e toque na linha conectada: Nenhuma medida de proteção

Blindagem metálica contínua: Sem blindagem metálica:

Largura da blindagem ou distância das descidas: Wm1 8,3333 [m] Wm2 8,3333 [m]

Ajuda para definir largura da blindagem ou distância das descidas

Gravar

Fatores de variação das perdas

Fator de redução pelo tipo de solo ou piso: Mármore, Cerâmico

Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Dificuldade de evacuação (ex.: presença de pessoas imobilizadas-hospitais)

Risco admissível

R1 (risco de perda de vida humana) 1

R2 (risco de perda de serviço ao público) 100

R3 (risco de perda de patrimônio cultural) 10

R4 (risco de perda de valor econômico) 100

Valores de norma

Gravar

Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)

Vidas humanas (perda L1)

Número de pessoas na zona: 300

Tempo de exposição na zona (em horas por ano): 2000

Número total de pessoas: 300

Gravar

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos: Outras partes de hospitais

Tipo da estrutura: Hospital, hotel, escola, edifício cívico

Valor econômico (perda L4)

Valor dos animais na zona: 0

Valor do conteúdo na zona: 0

Valor da edificação na zona: 0

Valor dos sistemas internos na zona: 0

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos: Nenhum risco

Tipo da estrutura: Outros

Gravar

Instalações de serviço ao público (perda L2)

Tipo do serviço: Gás, água, fornecimento de energia

Última zona carregada na memória: **Z1**

Memória cultural (perda L3)

Valor do patrimônio cultural na zona: 0

Valor total da edificação: 0

Gravar

Figura 28 – Resultados do projeto base

Tupan 5 v2.0

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo

Resultado

Atributos da avaliação

Projeto: projeto TCC

Avaliador: avaliador BARROS NETO

Atualizar resultados

Marcar valores acima do tolerável

Riscos

Os valores abaixo devem ser multiplicados por 10⁻⁵

	Valores toleráveis	ZONA Z1	TOTAL
R1-Perda de vida humana	1	82,3888	82,3888
R2-Perda de serviço ao público	100	3565,68	3565,68
R3-Perda de herança cultural	10	<0,1	<0,1
R4-Perda de valor econômico	100	<0,1	<0,1

Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$ 0

Última zona carregada na memória: **Z1**

RESULTADOS NA MEMÓRIA DE TRABALHO (VOLÁTIL)

	R _A	R _U	R _B	R _V	R _C	R _W	R ₁
	<0,1	<0,1	0,166329	0,87669	0,66531	3,50678	82,3888

D1 - Ferimento Descarga na estrutura

D2 - Danos físicos Descarga na linha

D3 - Falhas de sistemas Descarga na estrutura, Descarga na linha

Figura 29 – Zonas de proteção do projeto base

Tupam 5 v2.0

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo

Zonas de estudo

Z1-Zona única

externa

Guardar Z1

Carregar Z1

Z1 Pertence à estrutura principal

Apagar memória temporária

Última zona carregada na memória:

Z1

Modo Debug

SENHA MODO DEBUG

Memória permanente

Guardar caso base

Carregar caso base

Guardar caso 1

Carregar caso 1

Guardar caso 2

Carregar caso 2

Figura 30 – SOLUÇÃO 1: Entrada de dados técnicos

Tupam 5 v2.0

Dados Técnicos | Outros Dados | Resultado | Zonas | Avaliação de custo

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal: 3794,469000 [m²]

Área de exposição equivalente de estrutura adjacente: 706,858335 [m²]

Calculo da área de exposição equivalente

Largura: 38 [m]

Comprimento: 51 [m]

Altura: 3 [m]

Estrutura complexa. (Se essa caixa estiver marcada o programa considera uma protuberância)

Influências ambientais

Instruções

Localização (cidade): São Mateus do Maranhão

Localização da estrutura: Estrutura isolada

Gravar

Frequência de raios(Ng): 7,6798 [1/km²/ano]

Risco de incêndio ou explosão

Incêndio Baixo ou explosão (zonas 2,22)

Atributos da avaliação

Nome do projeto: projeto TCC

Avaliador: avaliador BARROS NETO

Gravar

Atributos da linha de energia conectada

Comprimento da linha conectada: 500 [m]

Área de exposição adjacente: 0 [m²]

Fator ambiental (Ce): Suburbano

Fator de instalação dos condutores (Ci): Aéreo

Condição da blind., aterr. e isolamento: Lin. aérea não blindada. Conex.entr. indefinida

Tipo de linha (Ct): Linha BT

Tensão sup. impulso do sistema: 2,5kV

DPS de acordo com nível de proteção: I

Fiação interna (Ks3): Não blindado- sem precaução para evitar laços

Última zona carregada na memória: **Z1**

Gravar

Ajuda para seleção dos campos

Atributos da linha de telecomunicação conectada

Comprimento da linha conectada: 500 [m]

Área de exposição adjacente: 0 [m²]

Fator ambiental (Ce): Suburbano

Fator de instalação dos condutores (Ci): Aéreo

Condição da blind., aterr. e isolamento: Lin. aérea não blindada. Conex.entr. indefinida

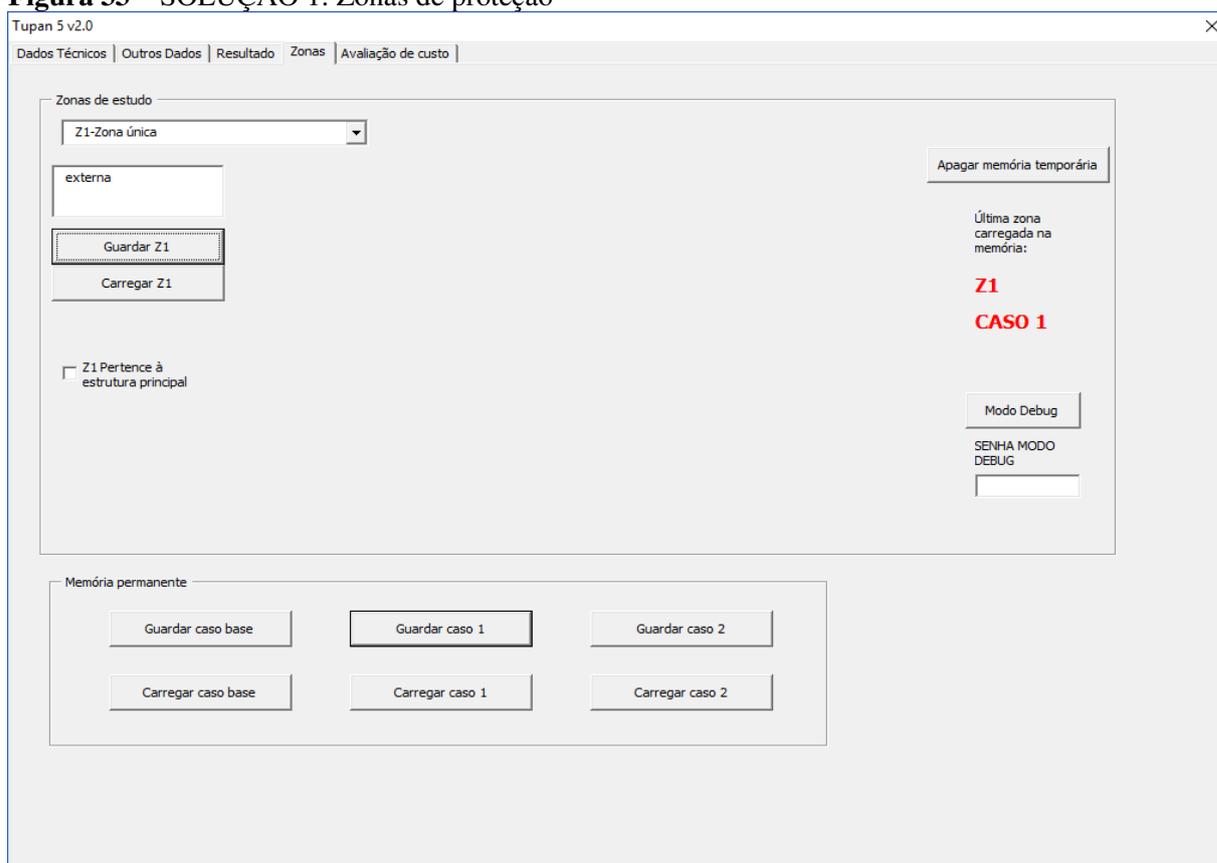
Tensão sup. impulso do sistema: 1,5kV

DPS de acordo com nível de proteção: I

Fiação interna (Ks3): Não blindado- sem precaução para evitar laços

Gravar

Ajuda para seleção dos campos

Figura 33 – SOLUÇÃO 1: Zonas de proteção

Primeiramente, como citado no início deste tópico, a estrutura foi submetida às descargas atmosféricas previstas para São Mateus – MA, e sem proteção contra descargas atmosféricas, através dos resultados, percebeu-se que os riscos eram intoleráveis, ou seja, a estrutura necessita de proteção. A solução 1 adotada, foi aplicar um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, tornando os riscos toleráveis, os relatórios de cálculo serão apresentados em seguida.

Tabela 12 – Relatório do caso base

Projeto:	Projeto TCC – Caso Base
Dimensões da estrutura	
Zona:	Externa
Área de exposição equivalente A_D [m ²]	3794
Influências ambientais	
Localização (c_D):	Estrutura isolada
Frequência de descarga para terra N_G [1/km ² /ano]:	7,679860915
Tipo de solo:	Mármore, Cerâmico
Tipo de estrutura:	Outras partes de hospitais
Risco de incêndio (r_f):	Incêndio Baixo ou explosão (zonas 2,22)
Perigo especial (h_z):	Dificuldade de evacuação (ex.: presença de pessoas imobilizadas-hospitais)
Número de pessoas na zona:	300
Serviços conectados:	
Largura da blindagem ou distância entre as descidas w_1 [m]	8,3333
Largura da blindagem ou distância entre as descidas w_2 [m]	8,3333
Medidas de proteção	
Proteção Contra Descargas Atmosféricas (PDA):	sem PDA
Meios para restringir as consequências de incêndio (r_p):	Extintores manuais, alarmes manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fogo
Contra tensão de toque ou passo na estrutura (P_{TA}):	Nenhuma medida de proteção
Contra tensão de toque ou passo na linha (P_{TA}):	Nenhuma medida de proteção
Atributos da linha conectada:	
Linha de energia	
Fator ambiental da linha:	Suburbano
Fiação interna:	Não blindado sem precaução para evitar laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	2,5kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS (P_{SPD}):	Sem proteção coordenada com DPS
Modo de instalação da linha (C_l):	Aéreo

Linha de telecomunicação	
Fator ambiental da linha:	Suburbano
Fiação interna:	Não blindado sem precaução para evitar laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	1,5kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS (P_{SPD}):	Sem proteção coordenada com DPS
Modo de instalação da linha (C_1):	Aéreo
Resultado	
Perda de vida humana R_1	8,2389E-04
Avaliação de risco:	intolerável
Perda de serviço público R_2	3,5657E-02
Avaliação de risco:	intolerável
Perda de herança cultural R_3	0,0000E+00
Avaliação de risco:	tolerável
Perda econômica R_4	0,0000E+00
Avaliação de risco:	tolerável
Projeto avaliado por:	avaliador BARROS NETTO
Data da avaliação:	01/11/2016
Total:	
Perda de vida humana R_1	8,2389E-04
Perda de serviço público R_2	3,5657E-02
Perda de herança cultural R_3	0,0000E+00
Perda econômica R_4	0,0000E+00

Fonte: Planilha TUPAN 2016

Através deste relatório do projeto base, é perceptível que o projeto necessita de proteção contra descargas atmosféricas, pois os riscos por perda de vida humana e perda de serviço público mostraram-se intoleráveis, quando a estrutura foi submetida aos raios previstos para esta região.

Tabela 13 – Relatório da solução 1

Projeto:	Projeto TCC – Caso 1
Dimensões da estrutura	
Zona:	externa
Área de exposição equivalente A_D [m ²]	0
Influências ambientais	
Localização (c_D):	Estrutura isolada
Frequência de descarga para terra N_G [1/km ² /ano]:	7,679860915
Tipo de solo:	Mármore, Cerâmico
Tipo de estrutura:	Outras partes de hospitais
Risco de incêndio (r_f):	Incêndio Baixo ou explosão (zonas 2,22)
Perigo especial (h_z):	Dificuldade de evacuação (ex.: presença de pessoas imobilizadas-hospitais)
Número de pessoas na zona:	300
Serviços conectados:	
Largura da blindagem ou distância entre as descidas w_1 [m]	8,3333
Largura da blindagem ou distância entre as descidas w_2 [m]	8,3333
Medidas de proteção	
Proteção Contra Descargas Atmosféricas (PDA):	Cobertura metálica e descida natural
Meios para restringir as consequências de incêndio (r_p):	Extintores manuais, alarmes manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fogo
Contra tensão de toque ou passo na estrutura (P_{TA}):	Nenhuma medida de proteção
Contra tensão de toque ou passo na linha (P_{TA}):	Nenhuma medida de proteção
Atributos da linha conectada:	
Linha de energia	
Fator ambiental da linha:	Suburbano
Fiação interna:	Não blindado- sem precaução para evitar laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	2,5kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS (P_{SPD}):	I
Modo de instalação da linha (C_1):	Aéreo
Linha de telecomunicação	
Fator ambiental da linha:	Suburbano

Fiação interna:	Não blindado- sem precaução para evitar laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	1,5kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS (P_{SPD}):	I
Modo de instalação da linha (C_1):	Aéreo
Resultado	
Perda de vida humana R_1	8,2233E-06
Avaliação de risco:	tolerável
Perda de serviço público R_2	3,5650E-04
Avaliação de risco:	tolerável
Perda de herança cultural R_3	0,0000E+00
Avaliação de risco:	tolerável
Perda econômica R_4	0,0000E+00
Avaliação de risco:	tolerável
Projeto avaliado por:	avaliador BARROS NETTO
Data da avaliação:	01/11/2016
Total:	
Perda de vida humana R_1	8,2233E-06
Perda de serviço público R_2	3,5650E-04
Perda de herança cultural R_3	0,0000E+00
Perda econômica R_4	0,0000E+00
Perdas para estrutura não protegida (unidades monetárias)	0,00
Perda residual para estrutura protegida (unidades monetárias)	0,00
Custo anual da proteção (unidades monetárias)	19500,00
Economia anual (unidades monetárias)	-19500,00

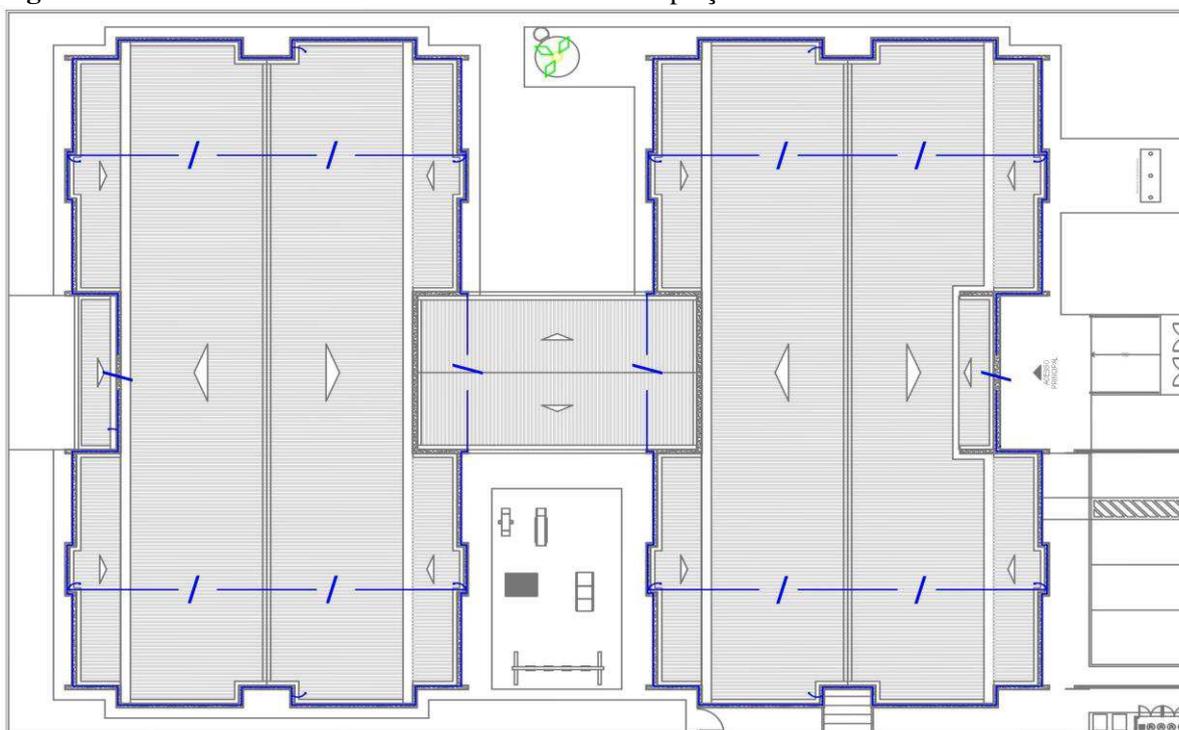
Fonte: Planilha TUPAN 2016

Através do gerenciamento de risco, percebeu-se que a estrutura necessita de um projeto de proteção contra descargas atmosféricas, tanto externo para estruturas e pessoas, como interno, como a utilização de DPS, prevenindo surtos vindos das linhas: elétricas e também telefônicas. E como a estrutura é provida de cobertura metálica, optou-se pela utilização do SPDA estrutural, tanto no subsistema de captação utilizando a cobertura metálica, quanto nos subsistemas de descida e aterramento, usando a armação do pilar para realizar o escoamento da descarga atmosférica.

6.2.2 Subsistema de Captação

Para o subsistema de captação foi adotada a captação natural, ou seja, através de telhas metálicas provenientes da própria estrutura, protegendo uma área edificada de 1550 m² cercada por todo seu perímetro de 260 m por uma malha condutora de cobre de 35 mm² para auxiliar no escoamento da descarga atmosférica, e para uma pequena área desprotegida de 145 m², foi utilizado um captor tipo Franklin de 3m de altura fixado sobre o castelo d'água de 10 m de altura, os detalhes do projeto são apresentados a seguir:

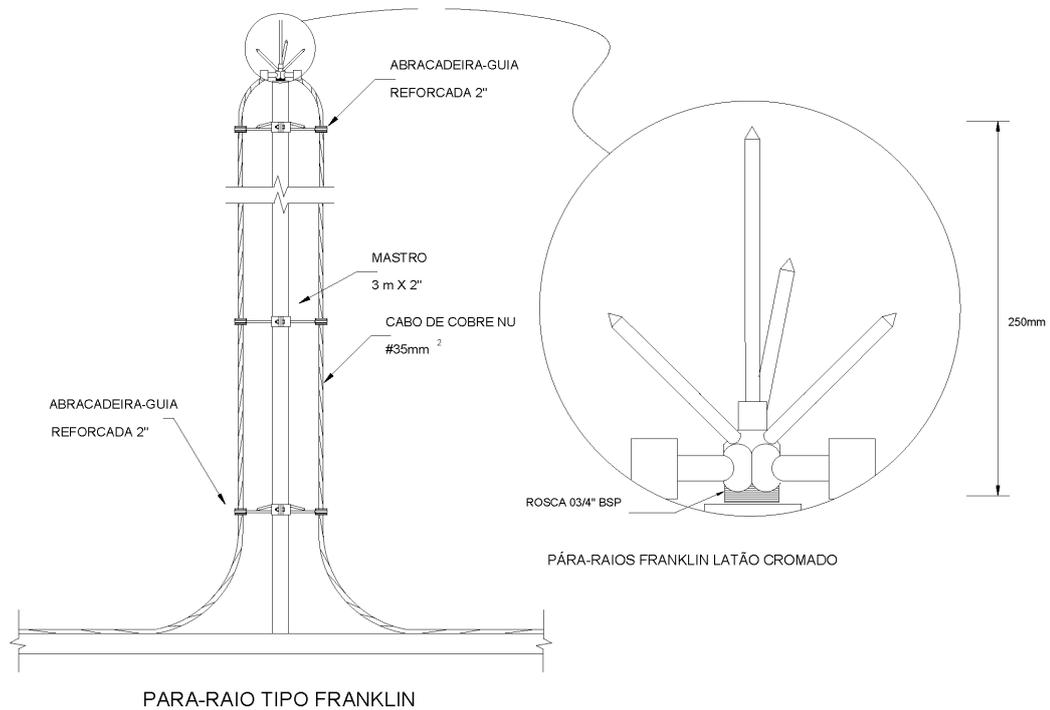
Figura 34 – Planta de cobertura com o Subsistema de captação



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

A figura 34 ilustra de forma clara a cobertura da creche, pode-se notar que a área edificada de 1550 m² foi muito bem protegida através das telhas metálicas, pois para uma área tão extensa seria necessário um número bem grande de captores, e para a área descoberta de 145 m² um captor Franklin (detalhe na cor verde) de 3m de altura, desta forma o subsistema de captação foi feito aproveitando componentes naturais da estrutura, e utilizou cordoalhas de cobre de 35 mm² (detalhes em azul escuro) em todo o perímetro da cobertura para auxiliar no escoamento da descarga atmosférica até o subsistema de descida.

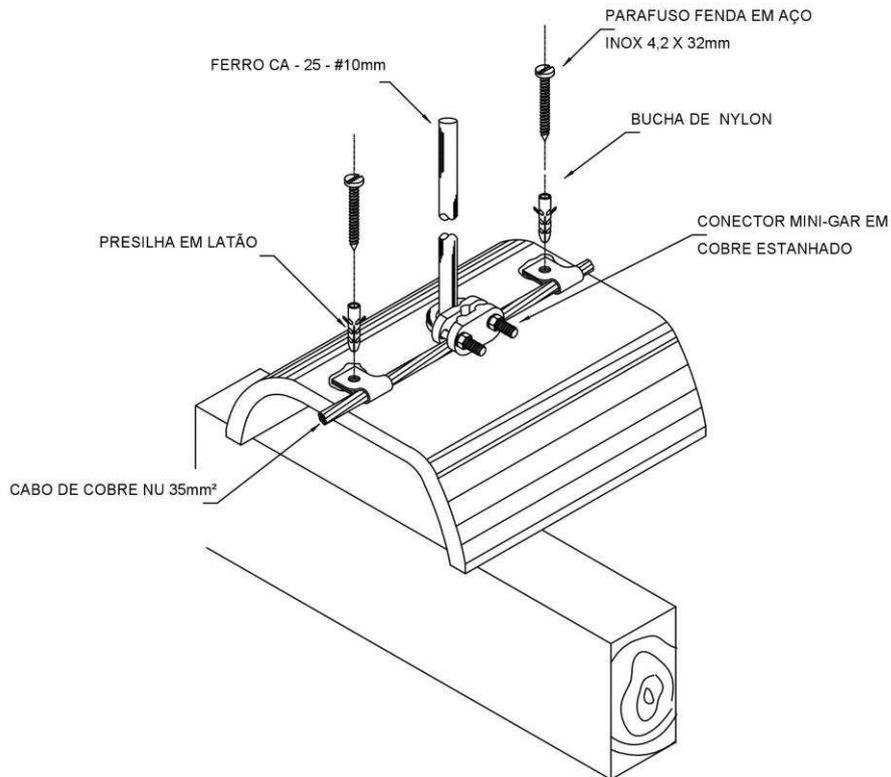
Figura 35 – Detalhe do Para-raios tipo Franklin



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

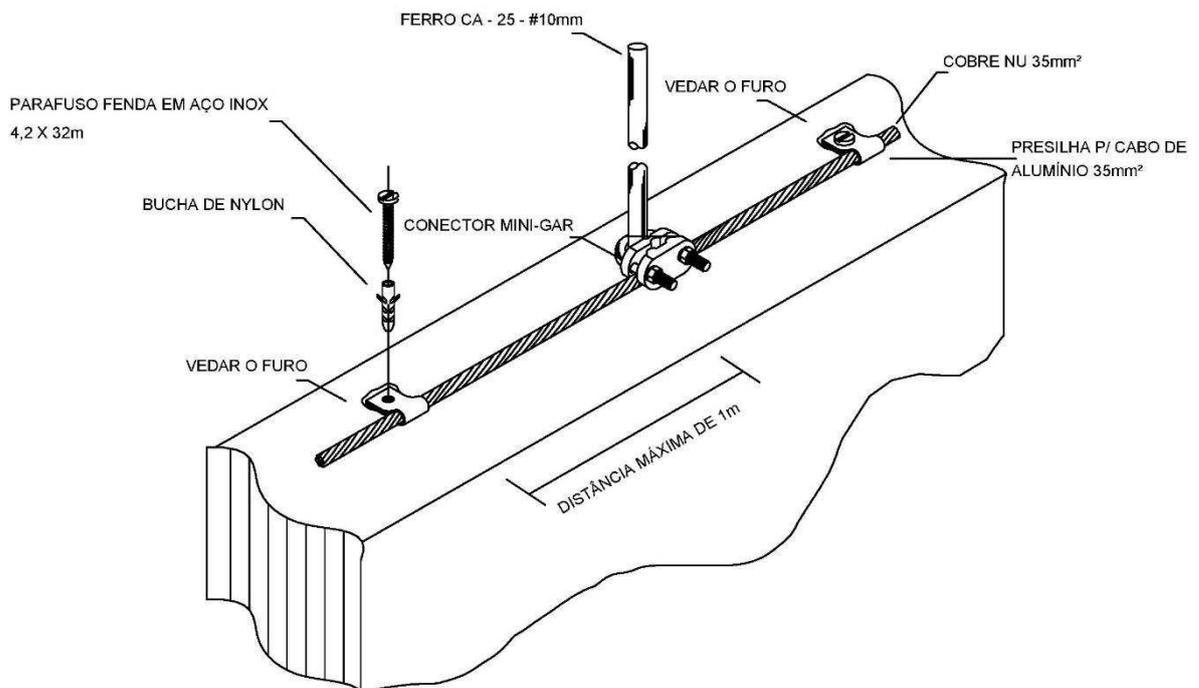
Ao analisar este captor, é possível perceber que ele possui uma altura pequena se comparado a outros captores em edificações de altura superior, porém, como neste projeto a utilização de telha metálica foi feita, o captor Franklin veio apenas para complementá-lo com relação a área descoberta da creche, portanto, um captor de 3 m de altura fixado próximo a caixa d'água a 3 m do solo, foi necessário para suprir a necessidade do projeto.

Figura 36 – Detalhe da fixação do cabo na telha metálica



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Figura 37 – Fixação entre a malha e o ferro CA-25 na platibanda

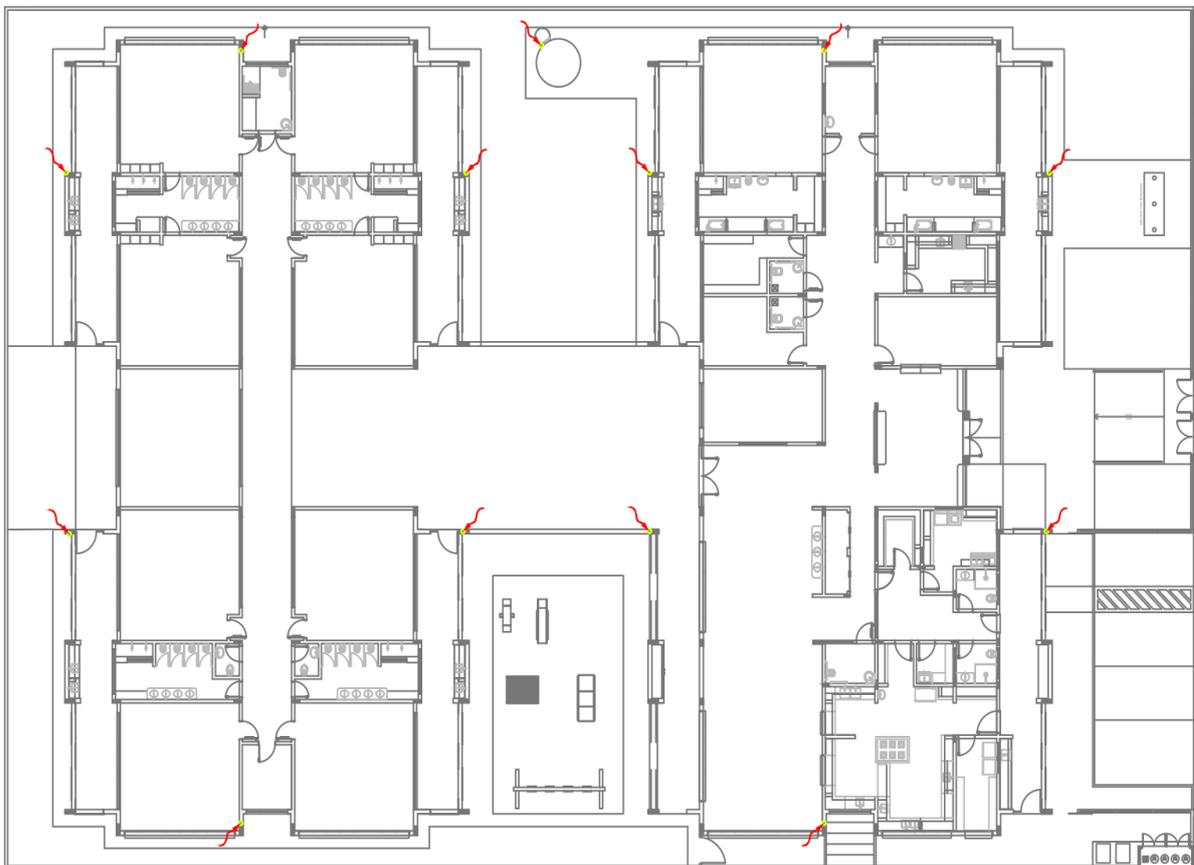


Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

6.2.3 Subsistema de Descidas

O projeto conta com 13 descidas espalhadas por seu perímetro, ao invés das descidas de cobre de 35 mm² mais usuais, este projeto apresentou uma solução mais eficiente e barata, foram utilizadas barras de aço CA-25 com diâmetro de 10mm, nas descidas, as mesmas foram conectadas à malha dos condutores de cobre da cobertura, para que seja garantida a continuidade elétrica do sistema. O comprimento de trespasse é de 20 cm e será fixado com arame recozido, todos os detalhes referentes ao subsistema de descidas, serão apresentados a seguir:

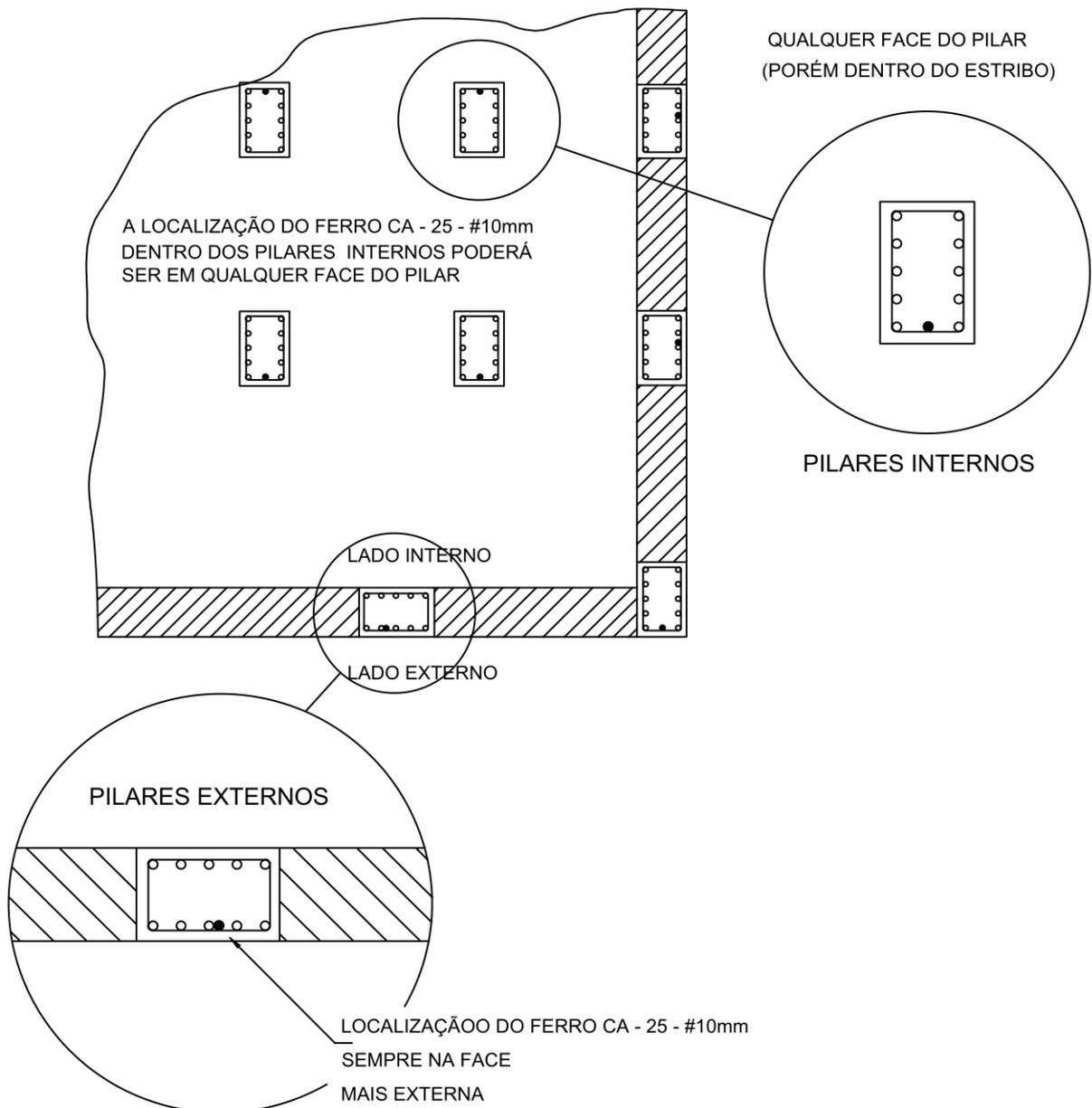
Figura 38 – Detalhe do Subsistema de Descida



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

As descidas são indicadas pelas setas vermelhas em planta, todas as descidas foram feitas com barras CA-25 de 10 mm.

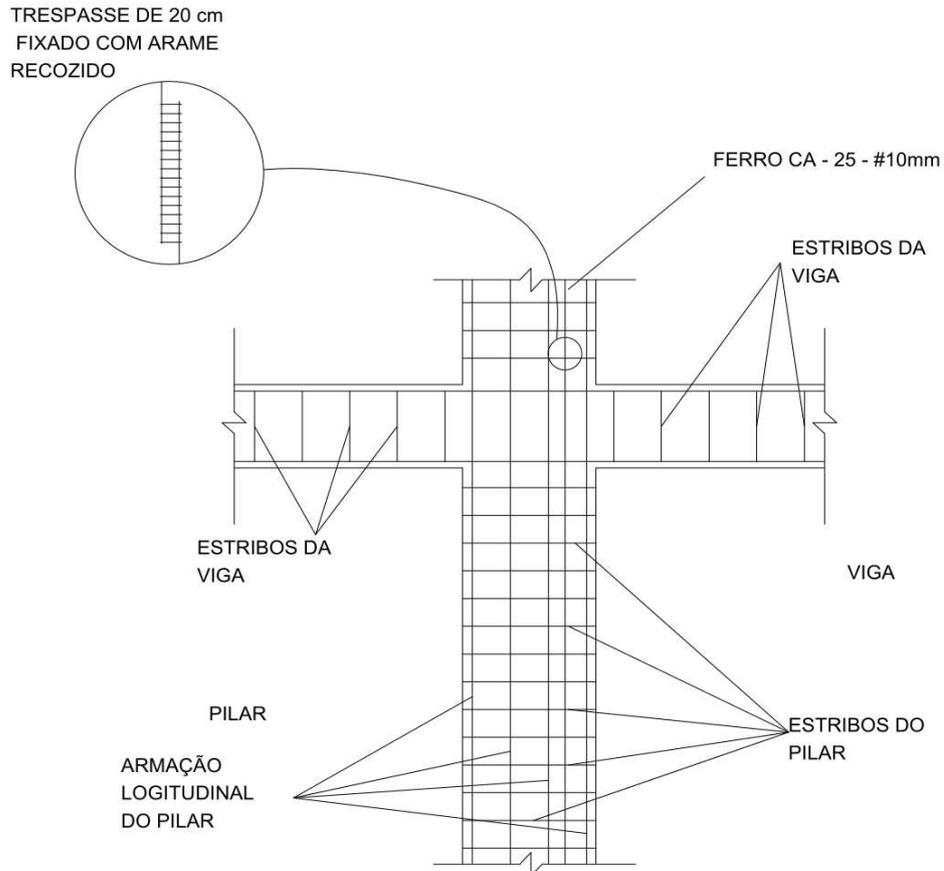
Figura 39 – Detalhe da localização da barra de descida no pilar



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

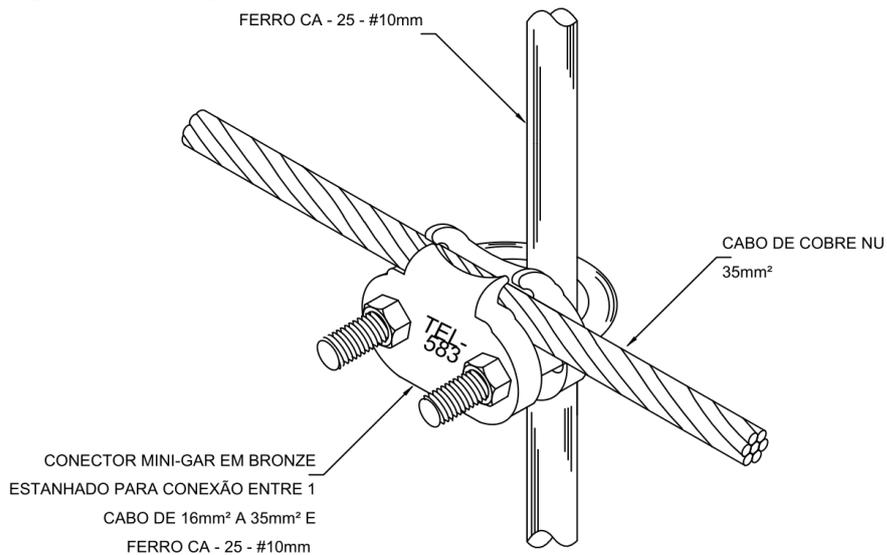
A utilização deste tipo de descida, ainda não atingiu o ideal, muitas construtoras possuem um certo receio, quando uma armação do pilar pode também fazer o escoamento de uma descarga atmosférica, porém, a 5419:2015 recomenda a utilização das descidas naturais, porque além do aspecto estético, existe também um ganho econômico.

Figura 40 – Detalhe da descida no pilar



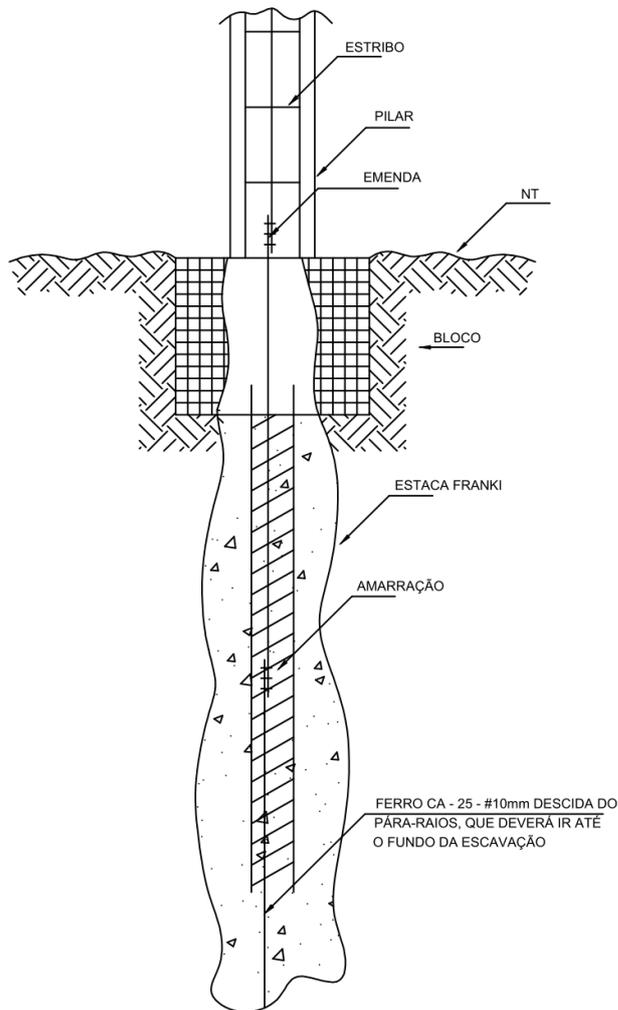
Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Figura 41 – Fixação da barra de descida na malha condutora da cobertura



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Figura 42 – Detalhe da descida até o fundo da fundação



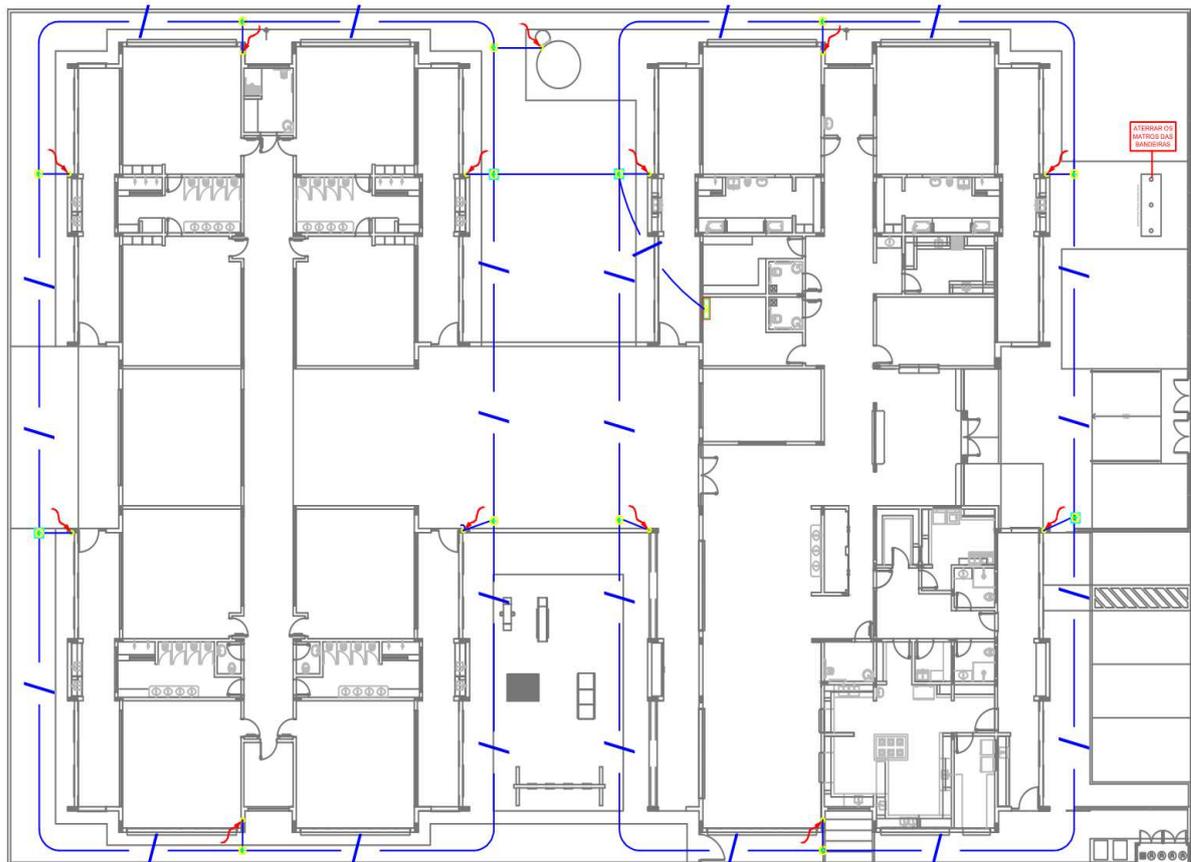
Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Este subsistema, através dos detalhes exibidos, foi muito bem planejado, pois a garantia de continuidade elétrica através da fixação das barras é garantida conforme a norma NBR 5419:2015, outra solução, além do arame recozido entre as barras, seria a utilização da solda nas ligações entre as barras. De todo modo, o ganho econômico é bastante satisfatório se comparado ao subsistema de descidas através de fios de cobre, alumínio, aço cobreado, etc.

6.2.4 Subsistema de Aterramento

Como foi possível notar até este ponto, em todos os subsistemas foram utilizadas partes naturais da estrutura, e não será diferente no subsistema de aterramento, como já mostrado na figura 42, as barras de CA-25 de 10 mm, percorrem todo o comprimento da estaca FRANKI, ou seja, utiliza em parte de seu aterramento, o chamado aterramento estrutural. Além da armação do pilar ir até o fundo da estaca, existe um problema que sempre deve ser verificado em um projeto de PDA, conhecido como resistividade do solo, as vezes o solo não consegue dissipar de maneira adequada toda a corrente que flui através do subsistema de aterramento, por isso, a norma NBR 5419:2015, permite que seja feita uma malha de aterramento em anel de 50 mm², enterrada a 50 cm do solo, por todo o perímetro da estrutura, e serão cravados eletrodos de cobre de 2,40 m em cada descida de PDA. Os detalhes do projeto com relação ao subsistema de aterramento são apresentados a seguir:

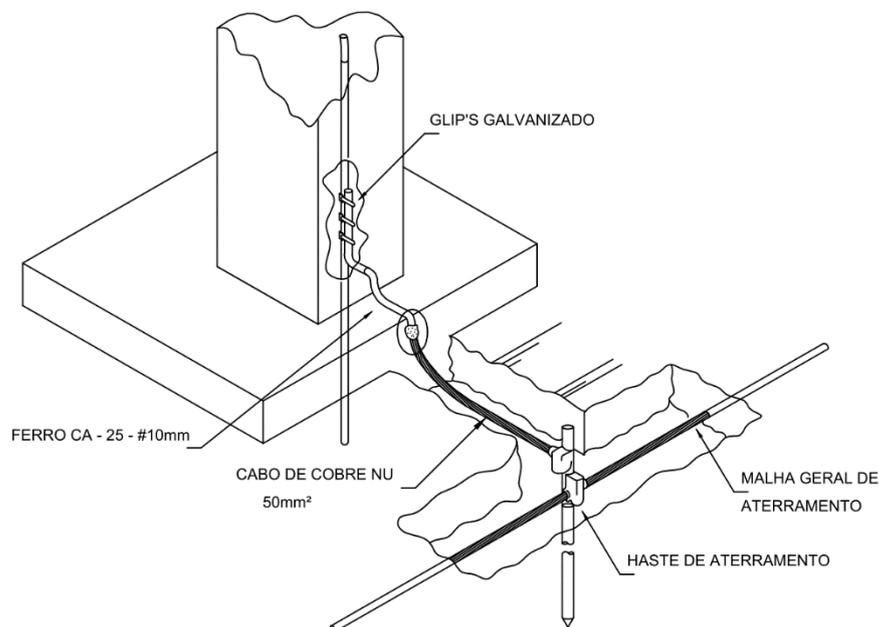
Figura 43 – Detalhe do Subsistema de Aterramento



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

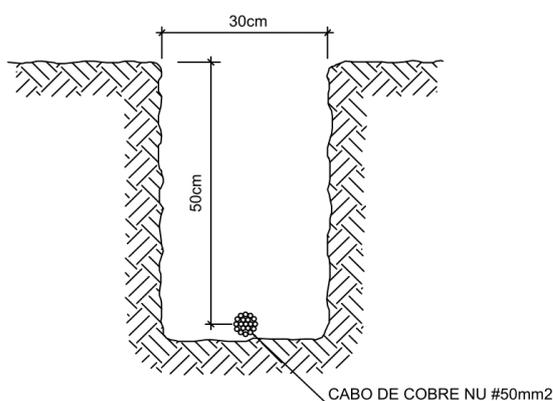
A figura 43, ilustra a planta baixa da edificação e o seu respectivo subsistema de aterramento, os detalhes em azul na planta mostram a malha de aterramento que percorre o perímetro dos dois prédios da edificação, o mesmo é feito com cordoalha de cobre nu de 50 mm², em uma vala de aterramento de 50 cm de profundidade, em cada descida, deverá ser feita a ligação do ferro CA-25 com a malha de aterramento, e na malha, será colocada uma haste de cobre de 2,40 m cravada no solo, deixando 50 cm para fora, para que sejam feitas as medições da resistência de aterramento, resistência esta que segundo a norma atual, deverá ter o menor valor possível, diferenciando da norma antiga onde era fixado o valor de 10 ohms.

Figura 44 – Detalhe da ligação da armadura com a malha de aterramento

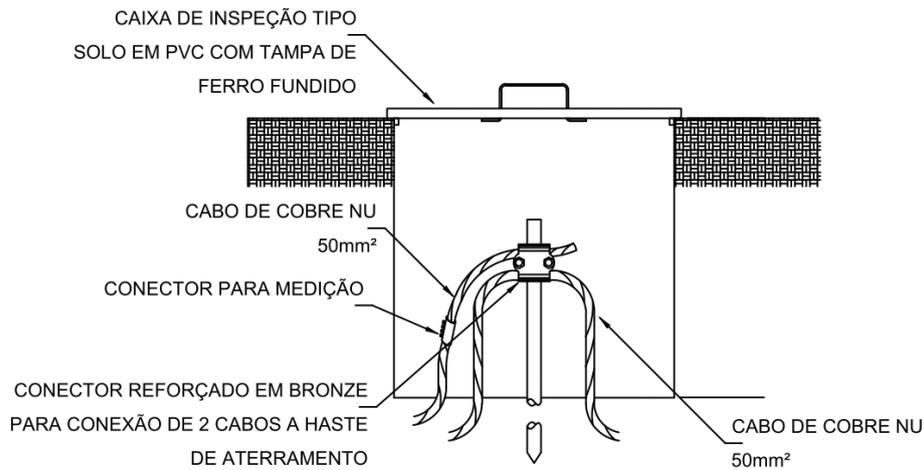


Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

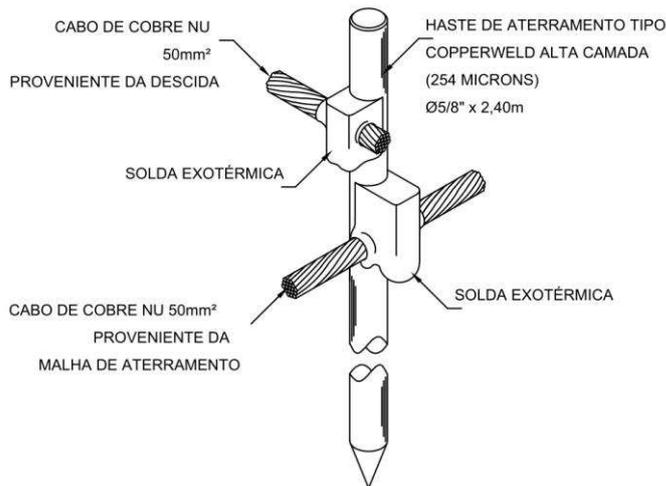
Figura 45 – Detalhe da Vala de Aterramento



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Figura 46 – Detalhe da Caixa de Inspeção

Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Figura 47 – Detalhe da Haste de Aterramento

Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

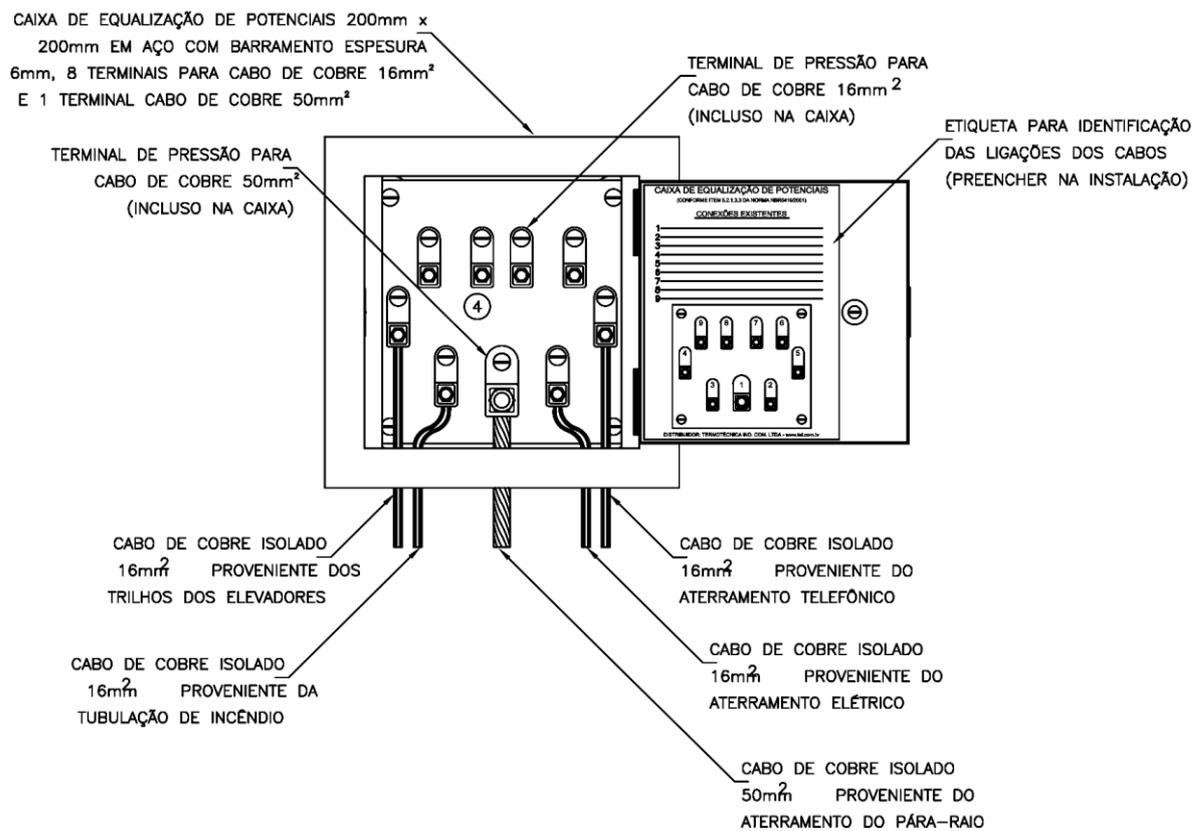
Como citado no início do tópico, a opção de aterramento para este projeto foi tanto com a armação do pilar até a fundação (aterramento estrutural) e também uma malha em forma de anel, ou seja, percorrendo todo o perímetro da edificação.

Após seguidos todos os passos apresentados no projeto, conclui-se o SPDA externo desta edificação, ou seja, estruturas + pessoas, encontram-se protegidas nesta área edificada.

6.2.5 Sistema Interno de Proteção

Com relação a proteção interna contra sobretensões, este projeto indica que a equipotencialização deverá ser feita, ou seja, a malha de aterramento e os sistemas elétricos deverá ser a mesma. Sabe-se que um sistema interno seguro, conta com a equipotencialização de todos os possíveis condutores do projeto juntamente com a utilização do DPS no quadro de distribuição geral, este projeto conta com todos estes requisitos que são exigidos em norma. Os detalhes do sistema interno serão apresentados a seguir:

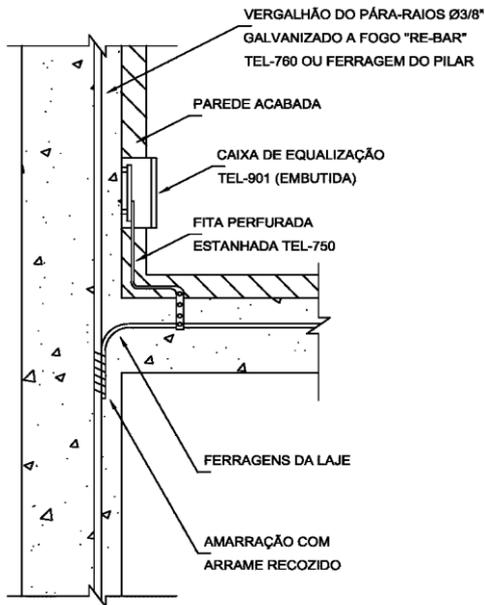
Figura 48 – Detalhe da Caixa de Equalização



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Na caixa de equalização, pode-se perceber que é o local onde todos os outros sistemas da edificação são interligados ao SPDA externo, para posteriormente formarem um único sistema de aterramento, garantindo assim a equipotencialização de todos os componentes envolvidos.

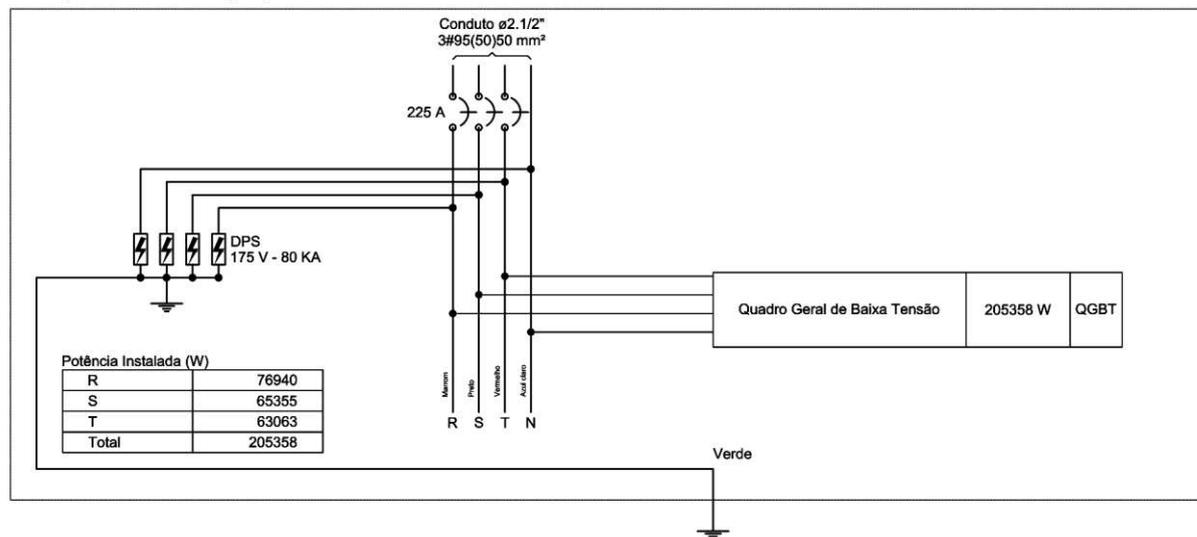
Figura 49 – Detalhe de interligação da Caixa de Equalização



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

Figura 50 – Detalhe do quadro de medição mostrando a utilização do DPS

QM1 (Quadro de medição)



Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

A figura 50, mostra o quadro de medição com a utilização dos dispositivos de proteção contra surtos, como visto em tópicos anteriores, são responsáveis pela proteção dos equipamentos eletrônicos no interior da edificação, a utilização destes na norma NBR 5419:2015, está sendo cada vez mais cobrada, o DPS junto com a equipotencialização garantem um SPDA interno de qualidade, protegendo os equipamentos eletrônicos contra surtos.

6.2.6 Orçamento do Projeto

O Orçamento deste projeto, foi elaborado de acordo com a SINAPI atualizada no mês de março de ano de 2016, o orçamento poderá ser verificado através da tabela 12:

Tabela 14 – Orçamento do Projeto de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

CÓDIGO	FONTE	PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (PDA)	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
68070	SINAPI	Para-raios tipo Franklin em aço inox 3 pontas em haste de 3 m. x 1.1/2" tipo simples	m	3,00	40,49	121,47
C3478	SINAPI	Vergalhão CA - 25 # 10 mm	m	42,00	7,74	325,08
C0860	SINAPI	Conector mini-gar em bronze estanhado Tel-583	un	12,00	9,47	113,64
72271	SINAPI	Parafuso fenda em aço inox 4,2 x 32mm e bucha de nylon	cj	24,00	4,01	96,24
72271	SINAPI	Presilha em latão	un	24,00	4,09	98,16
I0427	SINAPI	Caixa de equalização de potências 200x200mm em aço com barramento, espessura 6 mm	un	1,00	250,94	250,94
73962/13	SINAPI	Escavação de vala para aterramento	m ³	39,00	4,70	183,30
68069	SINAPI	Haste tipo cooperweld 5/8" x 2,40m.	un	13,00	39,88	518,44
72251	SINAPI	Cobre nu 16 mm ²	m	5,00	10,29	53,80
72253	SINAPI	Cobre nu 35 mm ²	m	330,00	20,42	6.738,60
72254	SINAPI	Cobre nu 50 mm ²	m	260,00	28,84	7.498,40
83370	SINAPI	Caixa de inspeção, PVC de 12", com tampa de ferro fundido, conforme detalhe no projeto	un	4,00	69,87	279,48
72263	SINAPI	Conector de bronze para haste de 5/8" e cabo de 50 mm ²	un	12,00	17,17	206,04
TOTAL DO PROJETO						16.481,24

Fonte: Projeto de PDA do FNDE em São Mateus do Maranhão

A título de informação, este projeto consta com a instalação de 28 DPS de 175 V 40Kva cada um custando R\$ 102,20 totalizando R\$ 2.856,56. E também 8 unidades de DPS de 175V 80KVA cada um custando 102,20, totalizando R\$ 816,16. Estes valores não foram incluídos no orçamento dos materiais de PDA, pois eles são levantados juntamente com os materiais das instalações elétricas, e seu uso é de extrema importância para a prevenção contra surtos.

7 CONCLUSÃO

A proteção contra descargas atmosféricas utilizando componentes naturais da estrutura, além de cumprir a sua principal função, que é a de proteger contra raios, ela também se mostra bastante eficiente no quesito econômico. Como foi visto no orçamento, cordoalhas de cobre representam valores bem significantes comparados aos outros componentes do projeto. O fato de conseguir aproveitar a cobertura metálica no subsistema de captação gerou uma economia considerável, pois para uma área de 1550 m² edificada, as soluções possíveis seriam: Gaiola de Faraday, ou vários captadores do tipo Franklin, deixando o projeto bem mais oneroso.

No subsistema de descidas, a opção por utilizar barras de aço CA-25 de 10mm, também gerou uma economia considerável, pois, caso as descidas não fossem naturais, seriam utilizadas descidas com cordoalhas de cobre de 35 mm², encarecendo ainda mais o projeto, sem contar nos fatores execução/estética do projeto.

No último subsistema de proteção externa, o aterramento mostrou-se bastante seguro, pois englobou os dois tipos de aterramentos possíveis citados pela norma NBR 5419:2015, portanto, apesar de apresentar um custo mais elevado, ele mostrou-se muito eficaz em relação a dispersão de corrente no solo, pois apenas o aterramento estrutural não traria garantias necessárias de funcionamento pleno, pois são necessários ensaios de resistividade do solo para que todas as dúvidas sejam sanadas, caso não fosse possível utilizar o aterramento em forma de anel em volta de toda a estrutura, a NBR 5419:2015 permite que o aterramento seja interno, desde que 80% seja enterrado, tomando cuidados com as tensões de toque e de passo.

Em relação ao sistema interno, como foi visto no gerenciamento de risco, este projeto contou com apenas uma zona interna, e foi prevista a utilização do DPS, tanto por parte da linha de distribuição elétrica, quanto por parte das instalações telefônicas. Além de que, todos os componentes metálicos presentes na edificação devem ser interligados a caixa de equalização para que todos juntos formem um único aterramento.

Portanto, para o município de São Mateus do Maranhão – MA, com uma densidade de descargas atmosféricas de quase 8 raios/km²/ano, o SPDA estrutural, foi de extrema utilidade, pois além de cumprir com todos os quesitos requeridos em norma, ele também se mostrou economicamente favorável, e garantiu que a proteção de pessoas, estruturas e equipamentos eletrônicos fosse garantida.

7.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a compreensão do funcionamento da Proteção Contra descargas Atmosféricas, sugere-se um estudo de PDA, utilizando campus São Luís da UEMA, pois o mesmo apresenta uma extensa área, é de se esperar que em seus prédios sejam feitos projetos de PDA, portanto, é possível realizar um estudo de caso, implantando em algum prédio da UEMA (CCT por exemplo) a proteção contra descargas atmosféricas, caso já exista este projeto poderá ser revisado segundo a NBR 5419:2015.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC – 61643 – 1:** Dispositivos de proteção contra surtos em baixa tensão Parte 1: Dispositivos de proteção conectados a sistemas de distribuição de energia de baixa tensão - Requisitos de desempenho e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2014.

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

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

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

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

ALVES CRUZ, Eduardo Cesar; ANICETO, Larry Aparecido. **Instalações Elétricas:** Fundamentos, Prática e Projetos em Instalações Residenciais e Comerciais. 2. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2012.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Prediais.** 14. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2006.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas.** 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

LIMA FILHO, Domingos Leite. **Projeto de Instalações Elétricas Prediais.** 12. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2014.

INPE. Disponível em: < <http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 6 de setembro de 2016.

ELAT/INPE Lança Primeiro Concurso de Fotos e Vídeos de Raios no Brasil. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/release.php?id=6>>. Acesso: 7 de setembro de 2016.

O Brasil é campeão mundial em raios; veja onde cai mais. Disponível em: <<https://noticias.terra.com.br/brasil/cidades/brasil-e-campeao-mundial-em-raios-veja-onde-cai-mais,eb0ee88e9ef4b410VgnVCM3000009af154d0RCRD.html>>. Acesso: 7 de setembro de 2016.

Raio atinge prédio e destrói parte da estrutura em Praia Grande, SP. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2014/01/raio-atinge-predio-e-destro-i-parte-da-estrutura-em-praia-grande-sp-html>>. Acesso: 9 de setembro de 2016.

Captadores Tipo Franklin. Disponível em: <<http://www.raycon.com.br/para-raios-franklin.php>>. Acesso: 11 de setembro de 2016.

Medições de continuidade elétrica em descidas estruturais de para-raios. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/534-medicoes-de-continuidade-eletrica-em-descidas-estruturais-de-para-raios.html>>. Acesso: 22 de setembro de 2016.

Como funciona a instalação de DPS? Disponível em: <<http://www.ngeletrica.com.br/destaque-4/como-funciona-instalacao-dps>>. Acesso: 04 de outubro de 2016.

O que é DPS? Disponível em: <<http://www.antirraio.com/dps>>. Acesso: 05 de outubro de 2016.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – Preços de Insumos. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2014-ma/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_MA_032016_Desonerado.zip>. Acesso: 20 de outubro de 2016.

São Mateus do Maranhão. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso: 10 de novembro de 2016.