



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

REUELSON AUGUSTO DE CARVALHO FERREIRA

**AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DO BLOCO “KLM” DO CENTRO DE
TECNOLOGIA – CT/UFPB**

João Pessoa, junho de 2018

REUELSON AUGUSTO DE CARVALHO FERREIRA

**AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DO BLOCO “KLM” DO CENTRO DE
TECNOLOGIA – CT/UFPB**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal da Paraíba como
parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.*

Ênfase da Formação: Generalista

Orientadores:

Professor Dr. Nady Rocha
Professor Dr. Alexandre César Castro

João Pessoa, junho de 2018

REUELSON AUGUSTO DE CARVALHO FERREIRA

**AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DO BLOCO “KLM” DO CENTRO DE
TECNOLOGIA – CT/UFPB**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal da Paraíba como
parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.*

DATA DA APROVAÇÃO: ____/____/____

NOTA: _____

APROVADO POR:

Prof. Dr. Nady Rocha (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Alexandre Cezar de Castro (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Waslon Terllizzie Araújo Lopes (Avaliador)

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Clivaldo Silva de Araújo (Avaliador)

Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa, junho de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e sabedoria para que dia após dia persevere. A Ele toda honra e toda glória. Se há algum mérito neste trabalho a ele dedico.

Agradeço também a minha esposa e toda minha família, pelo apoio incondicional e constante.

Ao meu orientador, professor Dr. Nady Rocha e Dr. Alexandre Castro, por terem me dado base suficiente para executar satisfatoriamente todas as atividades durante o desenvolvimento do TCC.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a conclusão de mais esta etapa.

FERREIRA, Reuelson A. Carvalho **AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DO BLOCO “KLM” DO CENTRO DE TECNOLOGIA – CT/UFPB** Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Engenharia Elétrica, João Pessoa, 2017.

RESUMO

Este Trabalho tem por objetivo inspecionar o Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas dos blocos K, L e M do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Para realização da inspeção foi criado *checklist* para orientação e definição de pontos a serem inspecionados. Com base nas inspeções realizadas, foram apresentadas medidas a serem adotadas para adequar as instalações elétricas às normas vigentes, identificando os itens em não conformidade com a norma, visando solucionar problemas técnicos e de má conservação das instalações elétricas com o intuito de manter o patrimônio da Universidade Federal da Paraíba e preservar a saúde, segurança e o bem-estar de toda a comunidade universitária e visitante. A partir da conclusão deste trabalho é possível elaborar um plano de ação para manutenção corretiva que poderá ser adotado pelos gestores para normatizar as instalações elétricas.

Palavras-chave: Inspeção; Instalações Elétricas; Normas Técnicas; Segurança.

FERREIRA, Reuelson A. Carvalho **AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DO BLOCO “KLM” DO CENTRO DE TECNOLOGIA – CT/UFPB** Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Engenharia Elétrica, João Pessoa, 2017.

ABSTRACT

This work of Course aims to inspect protection system against atmospheric discharges of blocks K, L and M of the Tecnology Center of the Federal University of Paraiba. To perform the inspection was created *checklist* for guidance and set points to be inspected. Based on inspections, measures were presented to be taken to adapt the electrical installations to current standards pointing items in non-compliance with the standard, aiming at solving technical problems and poor maintenance of electrical installations in order to preserve the assets of the Federal University Paraiba and preserve the health, safety and the students and staff welfare. From the conclusion of this work it is possible to draw up an action plan for corrective maintenance that may be adopted by managers to normalize electrical installations.

Key words: Inspection; Electrical Installations; Technical Standards; Safety.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Nuvens carregadas para formação dos raios | 12 |
| Figura 2.1: Organograma para decisão de SPDA | 24 |
| Figura 3.1: Esquemático de áreas de exposição..... | 31 |
| Figura 4.1: Dados da estrutura..... | 42 |
| Figura 4.2: Modelagem da área de exposição | 43 |
| Figura 4.3: Medidas de proteção ou mitigação de risco | 44 |
| Figura 4.4: Mapa de densidades de descargas atmosféricas..... | 44 |
| Figura 4.5: Influências ambientais e risco de explosões..... | 45 |
| Figura 4.6: Linha de Energia conectada..... | 46 |
| Figura 4.7: Linha de telecomunicação conectada | 47 |
| Figura 4.8: Tensão de passo..... | 48 |
| Figura 4.9: Tensão de toque | 49 |
| Figura 4.10: Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem | 50 |
| Figura 4.11: Fatores de variação das perdas | 51 |
| Figura 4.12: Risco a vidas humanas | 52 |
| Figura 4.13: Perdas do tipo L2 | 52 |
| Figura 4.14: Perdas dos Tipo L3 e L4 | 53 |
| Figura 5.1: Captor em local de difícil acesso | 66 |
| Figura 5.2: Captor em local de difícil acesso | 66 |
| Figura 5.3: Distribuição de captores | 68 |
| Figura 5.4: Distribuição de captores com distância entre eles..... | 68 |
| Figura 5.5: Descidas Retas e verticais e parede de cerâmica | 69 |
| Figura 5.6: Não existe caixa de ensaio | 70 |
| Figura 5.7: Distribuição do número mínimo de descidas | 71 |
| Figura 5.8: Cabo exposto e conector sem massa de calafetar | 72 |
| Figura 5.9: Cabo exposto não aterrado..... | 73 |
| Figura 5.10: Caixa de aterramento a menos de 1 m da parede..... | 74 |
| Figura 5.11: Caixa de Aterramento em condições precárias | 74 |
| Figura 5.12: Quadro sem DPS e sem equipotencialização | 75 |
| Figura 5.13: Quadro sem DPS e sem barramento de equipotencialização..... | 76 |
| Figura 5.14: Curva de Resistência de Aterramento | 77 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.15: Posicionamento de Hastes em medição de Aterramento | 78 |
| Figura 5.16: Localização das malhas de aterramento | 79 |
| Figura 5.17: Aterramento proposto com malha única | 80 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1: Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto | 17 |
| Tabela 2.2: Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura | 20 |
| Tabela 2.3: Para o preenchimento da Tabela das componentes de riscos..... | 21 |
| Tabela 2.4: Valores típicos de risco tolerável R_T | 22 |
| Tabela 3.1: Fator de localização da estrutura C_D | 28 |
| Tabela 3.2: Fator tipo de linha C_T | 28 |
| Tabela 3.3: Fator de instalação de linha C_I | 30 |
| Tabela 3.4: Fator ambiental de linha C_E | 30 |
| Tabela 3.5: Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passos perigosas | 32 |
| Tabela 3.6: Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos | 33 |
| Tabela 3.7: Valores de probabilidade de P_{SPD} em função de NP para o qual os DPS foram projetados | 34 |
| Tabela 3.8: Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento..... | 35 |
| Tabela 3.9: Valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna..... | 37 |
| Tabela 3.10: Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas | 38 |
| Tabela 3.11: Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados | 39 |
| Tabela 3.12: Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável do impulso U_W do equipamento..... | 39 |
| Tabela 3.13: Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo de linha e da tensão suportável de impulso U_W dos equipamentos..... | 41 |
| Tabela 4.1: Resultados do software TUPAN 2016 2.0 | 54 |
| Tabela 5.1: Dados Iniciais da Inspeção..... | 84 |

| | |
|--|----|
| Tabela 5.2: Checklist do subsistema de Captação | 85 |
| Tabela 5.3: Checklist do subsistema de descida..... | 87 |
| Tabela 5.4: Checklist do subsistema de aterramento | 89 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------|---|
| S_1 | Descargas atmosféricas na estrutura; |
| S_2 | Descargas atmosféricas próximas à estrutura; |
| S_3 | Descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura; |
| S_4 | Descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura. |
| L_1 | Perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes |
| L_2 | Perda de serviço ao público |
| L_3 | Perda de patrimônio cultural |
| L_4 | Perda de valor econômico |
| R_1 | Risco de perda de vida humana |
| R_2 | Risco de perda de serviço ao público |
| R_3 | Risco de perda de patrimônio cultural |
| R_4 | Risco de perda de valores econômicos |
| N_G | Densidade de descargas atmosféricas para a terra $1/(\text{km}^2 \times \text{ano})$; |
| A_D | Área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2) |
| C_D | Fator de localização da estrutura |
| N_X | Número de eventos perigosos por ano |
| P_X | Probabilidade de dano à estrutura |
| L_X | Perda consequente |
| R_T | Risco Tolerável |
| A_{DJ} | Área de exposição equivalente da estrutura adjacente |
| C_{DJ} | Fator de localização da estrutura adjacente |
| C_T | Fator tipo de linha. |
| N_L | Número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha |
| A_L | Área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha |
| C_I | Fator de instalação da linha |
| C_T | Fator tipo de linha |

| | |
|--------------|--|
| C_E | Fator ambiental |
| P_{TA} | Constante depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo |
| P_U | Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico |
| R_{ch} | Resistência interna considerada do corpo humano (Ω) |
| R_c | Resistência de contato com o solo (Ω) |
| I_{choque} | Intensidade da corrente percorrida no corpo (A) |
| R_1 | Resistências dos trechos de terra considerados (Ω) |
| R_2 | Resistências dos trechos de terra considerados (Ω) |
| N_d | Número de descidas |
| P | Perímetro da estrutura |
| M | Espaçamento Mínimo entre as descidas |
| R_p | Raio de Proteção; |
| H_c | Altura do captor; |
| α | Ângulo de proteção. |

LISTA DE ABREVIações

| | |
|---------|---|
| SPDA | Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas |
| DPS | Dispositivo de Proteção contra Surto |
| MPS | Medida de Proteção contra Surto |
| NP | Nível de Proteção |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| NBR | Norma Brasileira |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| LEP | Ligação Equipotencial |
| TAP | Barra condutora onde se interligam ao Aterramento as instalações metálicas as massas e os sistemas elétricos de potência e de sinal |
| BEP | Barramento de equipotencialização principal |
| NR | Norma Regulamentadoras |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 10 |
| 1.1. Objetivo geral | 10 |
| 1.2. Objetivos específicos | 10 |
| 1.3. Revisão bibliográfica | 11 |
| 1.3.1. Formação dos raios | 11 |
| 1.3.2. Efeitos das descargas atmosféricas | 13 |
| 1.4. Descrição do trabalho | 15 |
| 2. Estudo da norma ABTN-NBR 5419/2015 | 16 |
| 2.1. Fontes e tipos de danos a uma estrutura | 16 |
| 2.2. Tipos de perdas para a sociedade | 17 |
| 2.3. Risco e componentes de risco | 18 |
| 2.3.1. Risco | 18 |
| 2.3.2. Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura | 18 |
| 2.3.3. Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura | 19 |
| 2.3.4. Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura..... | 19 |
| 2.3.5. Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura | 20 |
| 2.4. Risco tolerável | 22 |
| 2.5. Conclusões | 24 |
| 3. Análises das componentes de riscos | 26 |
| 3.1. Numero de eventos perigosos por ano N_x | 26 |
| 3.1.1. Número de eventos perigosos N_D na estrutura | 27 |
| 3.1.2. Número de eventos perigosos N_{DJ} para estrutura adjacente..... | 28 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1.3. | Número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura | 29 |
| 3.1.4. | Número médio anual de eventos perigosos N_L devido à descargas atmosféricas na linha..... | 29 |
| 3.2. | Probabilidade P_X de danos..... | 31 |
| 3.2.1. | Descarga atmosférica em uma estrutura ou próximo a ela | 31 |
| 3.2.2. | Descarga atmosférica em uma linha ou próximo a mesma | 38 |
| 3.3. | Conclusões | 41 |
| 4. | Análise de riscos utilizando o software Tupan 5 versão 2.0..... | 42 |
| 4.1. | Dados da estrutura..... | 42 |
| 4.2. | Medidas de proteção ou mitigação de risco | 43 |
| 4.3. | Influências ambientais..... | 44 |
| 4.4. | Atributos de linha de energia conectada | 46 |
| 4.5. | Atributos da linha de telecomunicação conectada..... | 47 |
| 4.6. | Medidas de proteção contra tensão de passo, toque e blindagem | 47 |
| 4.7. | Fatores de variação das perdas | 50 |
| 4.8. | Risco a vidas humanas | 51 |
| 4.9. | Perdas do tipo L2 | 52 |
| 4.10. | Resultados do software | 53 |
| 4.11. | Conclusões..... | 56 |
| 5. | Estudo de caso..... | 57 |
| 5.1. | Manutenção, inspeção e documentação de um SPDA..... | 58 |
| 5.1.1. | Ordem das inspeções..... | 59 |
| 5.1.2. | Itens a checar | 60 |
| 5.1.3. | Manutenção de SPDA | 60 |
| 5.1.4. | Documentação | 61 |
| 5.1.5. | Inspeção importante contra acidentes com seres vivos devido à tensões de passo e de toque | 61 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 5.2. Inspeção das MPS | 62 |
| 5.2.1. Princípios gerais | 62 |
| 5.2.2. Inspeção visual | 63 |
| 5.2.3. Medições | 64 |
| 5.2.4. Documentação de inspeção | 64 |
| 5.2.5. Manutenção..... | 64 |
| 5.2.6. Inspeção do bloco KLM | 65 |
| 5.3. Conclusões | 80 |
| 6. Conclusão | 82 |
| Referências bibliograficas | 83 |
| Anexos..... | 84 |

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado com intuito de realizar uma abordagem de uma edificação simples de acordo com a norma da ABNT NBR 5419/2015, que é a norma que regulamenta a questão da proteção contra descargas atmosféricas nas estruturas de uma maneira geral. E em nosso estudo de caso, fizemos uso da mesma para analisar a o SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosférica) do bloco KLM, localizado no CT (Centro de Tecnologia) da UFPB (Universidade Federal da Paraíba).

A abordagem deste trabalho procura tratar dos pontos mais importantes da norma que são levados em consideração para a análise de risco da estrutura em questão e assim realizar o desenvolvimento matemático propriamente dito para o Bloco KLM.

1.1. OBJETIVO GERAL

Realizar a análise de riscos de acordo com a norma 5419/2015 partes 1 e 2, bem como realizar a inspeção e os ensaios no sistema de descargas atmosféricos do bloco KLM.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Elaborar um checklist com base na norma, para ser usado durante a inspeção dos ambientes. Este checklist foi aperfeiçoado durante os trabalhos com o intuito de aprimorar tanto quanto possível a avaliação do SPDA e é apresentado a versão final no anexo do texto.

Realizar a análise de risco do bloco KLM utilizando o software TUPAN, fazer testes de continuidade, condições de uso, exposição, instalações dos SPDA que avaliem qualitativamente a efetividade dos mesmos. E mediante os testes propor melhorias aplicáveis.

1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

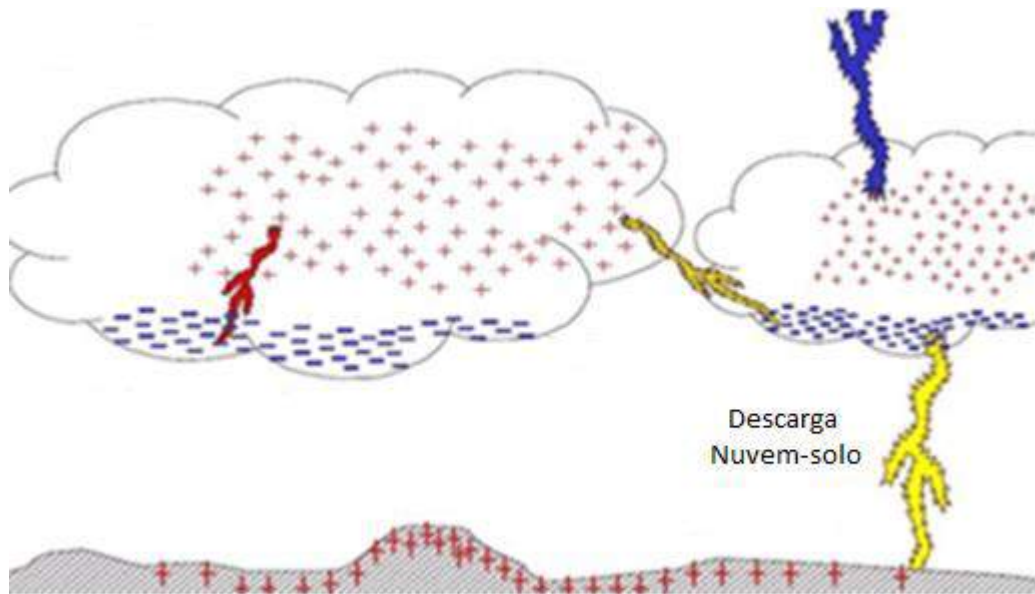
1.3.1. Formação dos Raios

É comprovado em dados estatísticos que ocorre aproximadamente 44 mil tempestades no planeta por dia, gerando em torno de 100 relâmpagos por segundo, sendo esses na sua maioria da nuvem para o solo, equivalendo à cerca de 5 a 10 milhões de raios por dia [1]. Os raios são responsáveis por 200 mortes por ano no Brasil e prejuízos materiais em torno de 500 milhões de dólares [2].

As descargas atmosféricas que atingem estruturas podem causar danos à própria estrutura e a seus ocupantes e conteúdo, como: surtos de tensão que chegam a centenas de kV nas redes aérea de transmissão e distribuição das concessionárias de energia elétrica, falhas dos sistemas internos de prédios, perdas de eletrodomésticos e máquinas industriais de alto valor, choques elétricos que podem provocar queimaduras e até a morte de ocupantes da estrutura. Os danos e falhas podem se estender também às estruturas vizinhas e podem ainda envolver o ambiente local. A extensão dos danos e falhas na vizinhança depende das características das estruturas e das características da descarga atmosférica. Esses e outros danos podem ser evitados com a instalação nas construções de adequados sistemas de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA [1].

Ao longo da história várias teorias foram desenvolvidas para explicar a origem do fenômeno dos raios. Atualmente, tem-se como certa que a fricção entre as partículas de água, que formam as nuvens, provocadas pelos ventos ascendentes de forte intensidade, origina uma enorme quantidade de cargas elétricas. Verifica-se empiricamente que a maioria das cargas elétricas positivas se encontram na parte superior das nuvens, enquanto a maioria das cargas elétricas negativas encontram-se na parte inferior das nuvens, concedendo uma característica bipolar as nuvens. Tal fato, faz com que haja uma migração de cargas elétricas positivas da superfície da terra para a nuvem conforme ilustrado na Figura 1.1.

Figura 1.1: Nuvens carregadas para formação dos raios



A concentração de cargas elétricas positivas e negativas em uma determinada região faz com que surja uma diferença de potencial entre a terra e a nuvem. Entretanto o ar apresenta uma rigidez dielétrica, que geralmente é elevada, da ordem de 10 kV/cm, mas pode variar dependendo das condições climáticas. O gradiente de tensão entre a nuvem e a terra pode aumentar de maneira tão significativa, que chega a superar a rigidez dielétrica do ar interposto entre a nuvem e a terra, fazendo com que as cargas atmosféricas migrem em direção a terra, num trajeto normalmente repleto de ramificações, cujo fenômeno é conhecido como descarga piloto [3].

A ionização do caminho seguido pela descarga piloto propicia condições favoráveis de condução do ar entre a nuvem e a terra. Mantendo-se elevado o gradiente de tensão na região entre a nuvem e a terra, surge, em função da proximidade com o solo de um dos ramos da descarga piloto, uma descarga ascendente, constituída de cargas elétricas positivas, denominada descarga ascendente de retorno da terra para a nuvem, originando-se em seguida a descarga principal no sentido da nuvem para terra, de grande intensidade, responsável pelo fenômeno no trovão, que é o deslocamento da massa de ar circundante ao caminhamento do raio, em função da elevação de temperatura e, conseqüentemente, do aumento de volume [4].

Depois do canal aberto diversos raios são capazes de fluir pelo mesmo caminho criado pelo raio que o abriu, até que a nuvem se descarregue por completo. Esse processo se dá em cerca de meio milissegundo, sendo de difícil percepção a

olho nu. Dessa forma, tem-se uma desmistificação o ditado popular que diz: “Um raio nunca cai no mesmo lugar”.

Os raios duram em média em torno de 0,25s e percorrem na atmosfera uma trajetória típica de 5km a 10km. Neste intervalo de tempo, a corrente elétrica sofre grandes variações. Em menos de 0,01% dos casos a corrente excede 200 kA [5]. A corrente flui em um canal com poucos centímetros, onde a temperatura atinge valores em torno de 30000°C e a pressão chega a valores de dezenas de atm. Com esta pressão e temperatura, o ar ao seu redor expande-se em alta velocidade. Estas compressões se propagam em todas as direções dando origem a uma onda sonora, chamada de trovão que tem frequência de 50Hz a 100Hz. A maior parte da energia do raio (mais de 90%) é gasta na expansão do ar nos primeiros metros ao redor do canal, sendo o restante convertido em energia térmica, energia acústica, energia eletromagnética (parte desta na forma luminosa) e energia elétrica no solo [6].

1.3.2. Efeitos das descargas atmosféricas

Os principais efeitos das descargas atmosféricas sobre edificações de acordo com a norma podem ser citados de maneira sistemática, relacionando o efeito correspondente ao tipo de edificação sobre o qual incidirá a descarga atmosférica [3].

- Casa de Moradia: Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica. Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados (exemplos: aparelhos micro-ondas, computadores, modems, telefones etc.).

- Edificação em Zona Rural: Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.

- Teatro ou cinema, hotel, escola, Shopping centers e Áreas de esportes: Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo, iluminação

elétrica) falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.

- Banco, Empresa de Seguros, Estabelecimento comercial, etc: Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.
- Hospital, Casa de Tratamento médico, Casa para Idosos, Creche, Prisão: Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a Casa para idosos, pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
- Indústria: Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
- Museu, sítio arqueológico e Igreja: Perda de patrimônio cultural insubstituível.
- Estação de telecomunicações, Estação de geração e transmissão de energia elétrica: Interrupções inaceitáveis de serviços ao público.
- Fábrica de fogos de artifícios, trabalhos com munição: Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores.
- Indústria química, refinaria, usina nuclear, indústria e laboratório de bioquímica: Incêndio consequências Usina nuclear e mau funcionamento da planta com prejudiciais ao meio ambiente local e global.

Algumas definições seguidas pela Norma 5419/2015 são importantes para o estabelecimento de divisões quanto a fontes e tipos de danos na estrutura, tipos de perdas relacionadas aos danos na estrutura [5].

1.4. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos que seguem uma sequência lógica para o melhor entendimento do que foi realizado durante cada processo. O primeiro capítulo trata de uma introdução teórica sobre o significado dos raios e sua formação, bem como os objetivos gerais e específicos do trabalho. No segundo capítulo é realizado um estudo da norma 5419/2015 dos tópicos que são relevantes para a edificação apresentada. No terceiro capítulo têm-se um detalhamento de cada componente de risco quantificada através de equacionamentos matemáticos, nos quais podemos notar as suas influências propriamente dita. No capítulo quatro mostramos o uso do software TUPAN 2016 v.2 para a realização da análise de risco do BLOCO KLM da Universidade Federal da Paraíba (UPFB). E no capítulo cinco realizou-se a inspeção visual e alguns ensaios e medições do bloco levando em consideração a norma 5419/2015.

2. ESTUDO DA NORMA ABTN-NBR 5419/2015

Neste capítulo é realizada uma descrição geral dos tópicos relevantes para uma correta análise de risco de uma edificação, mostrando quais os possíveis danos que podem ser causados por uma descarga, bem como as perdas e riscos a eles associados segundo a norma 5419/2015.

2.1. FONTES E TIPOS DE DANOS A UMA ESTRUTURA

A corrente da descarga atmosférica é a fonte de danos. As seguintes situações devem ser levadas em consideração em função da posição do ponto de impacto relativo à estrutura considerada:

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

Em consequência, as descargas atmosféricas podem causar três tipos básicos de danos:

- a) D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;
- b) D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- c) D3: falhas de sistemas internos devido a LEMP (Pulso Eletromagnético devido a descargas atmosféricas).

Cada tipo de dano relevante para a estrutura a ser protegida, sozinho ou em combinações com outros, pode, em consequência, produzir diferentes perdas. O tipo de perda que pode ocorrer depende das características do próprio objeto.

2.2. TIPOS DE PERDAS PARA A SOCIEDADE

Para efeitos da ABNT NBR 5419, são considerados os seguintes tipos de perdas, os quais podem aparecer como consequência de danos relevantes à estrutura:

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

A correspondência entre fonte de danos, tipo de danos e perdas é mostrada na Tabela 2.1, que trata dos Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica da norma 5419/2015 [5].

Tabela 2.1: Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

2.3. RISCO E COMPONENTES DE RISCO

Nesta seção é apresentada as componentes de risco em caso de incidência de raio, bem como os principais fatores que afetam cada componente de risco.

2.3.1. Risco

O risco, R , é um valor relativo a uma provável perda anual média. Para cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, o risco resultante deve ser avaliado. Os riscos a serem avaliados em uma estrutura devem ser como a seguir:

- a) R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) R2: risco de perda de serviço ao público;
- c) R3: risco de perda de patrimônio cultural;
- d) R4: risco de perda de valores econômicos.

Os riscos, R , possuem componentes relevantes de risco (riscos parciais dependem da fonte e do tipo de dano) que por sua vez devem ser definidos e calculados.

Cada risco, R , é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos [5].

2.3.2. Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura

a) R_A : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também aumentar;

b) R_S : componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também

colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;

c) R_C : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP (Pulso Eletromagnético devido a descargas atmosféricas). Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana [5].

2.3.3. Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura

R_M : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

2.3.4. Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura

a) R_U : componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;

b) R_V : componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem ocorrer;

c) R_W : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

2.3.5. Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura

R_z : componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

Em resumos, as componentes de riscos que devem ser levadas em conta para cada tipo de risco de perda na estrutura são consideradas na Tabela 2.2 e os fatores que influenciam um determinado tipo constam na Tabela 2.3:

Tabela 2.2: Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda em uma estrutura

| Fonte de Danos | Descarga atmosf. na estrutura S1 | | | Descarga atmsf. perto da estrutura S2 | Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3 | | | Descarga atmosférica perto em uma linha conectada à estrutura S4 |
|---|----------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|--|-------|-------|--|
| | R_A | R_B | R_C | | R_U | R_V | R_W | |
| Componente de risco | R_A | R_B | R_C | R_M | R_U | R_V | R_W | R_Z |
| Risco para cada tipo de perda | | | | | | | | |
| R_1 | * | * | *a | *a | * | * | *a | *a |
| R_2 | | * | * | * | | * | * | * |
| R_3 | | * | | | | * | | |
| R_4 | *b | * | * | * | *b | * | * | * |
| <p>a Somente para estruturas com risco de explosões e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.</p> <p>b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.</p> | | | | | | | | |

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

Tabela 2.3: Para o preenchimento da Tabela das componentes de riscos

| Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção) | R _A | R _B | R _C | R _M | R _U | R _V | R _W | R _Z |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Área de exposição equivalente | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Resistividade da superfície do solo | X | | | | | | | |
| Resistividade do piso | X | | | | X | | | |
| Restrições físicas, Isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo | X | | | | X | | | |
| SPDA | X | X | X | X _a | X _b | X _b | | |
| Ligações ao DPS | X | X | | | X | X | | |
| Interfaces isolantes | | | X ^C | X ^C | X | X | X | X |
| Sistema coordenado de DPS | | | X | X | | | X | X |
| Blindagem espacial | | | X | X | | | | |
| Blindagem de linhas externas | | | | | X | X | X | X |
| Blindagem de linhas internas | | | X | X | | | | |
| Precauções de roteamento | | | X | X | | | | |
| Sistema de equipotencialização | | | X | | | | | |
| Precauções contra incêndios | | X | | | | X | | |
| Sensores de fogo | | X | | | | X | | |
| Perigos especiais | | X | | | | X | | |
| Tensão suportável de impulso | | | X | X | X | X | X | X |

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

Portanto, tendo sido feita a análise primária do tipo da estrutura, bem como as suas zonas de importância para a instalação do SPDA e os riscos a elas correspondentes, é necessário estabelecer alguns parâmetros de comparações

cientificamente aceitáveis que estão presentes na norma 5419/2015 e são citados adiante [3].

2.4. RISCO TOLERÁVEL

É de responsabilidade da autoridade competente identificar o valor do risco tolerável (R_T), onde a descarga atmosférica envolva o risco da vida humana ou perda de valores sociais ou culturais, na Tabela 2.4 são fornecidos tais parâmetro a serem verificados.

Tabela 2.4: Valores típicos de risco tolerável R_T

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

A autoridade competente não cabe analisar as perdas econômicas, sendo necessário o proprietário fazer uma análise do custo benefício conforme será visto adiante para resolver se vai ou não aplicar as medidas previstas na norma, conforme anexo D da parte 2 da norma 5419/2015. Se os dados para esta análise não estão disponíveis, o valor representativo de risco tolerável $R_T = 10^{-3}$ pode ser utilizado.

Se $R \leq R_T$. A proteção contra a descarga atmosférica não é necessária.

Se $R > R_T$. Medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir para $R \leq R_T$ todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

No caso em que o risco não possa ser reduzido a um nível tolerável, o proprietário deve ser informado e o mais alto nível de proteção deve ser providenciado para a instalação.

A análise dos componentes de risco $R4$ permite ao usuário avaliar o custo da perda econômica com ou sem as medidas de proteção adotadas.

O primeiro passo a ser tomado é conhecer bem a estrutura em que se pretende colocar o SPDA. Diante disto, deve-se identificar quais os tipos de perdas que são relevantes para a estrutura, por exemplo uma estrutura pode ter risco de perdas de

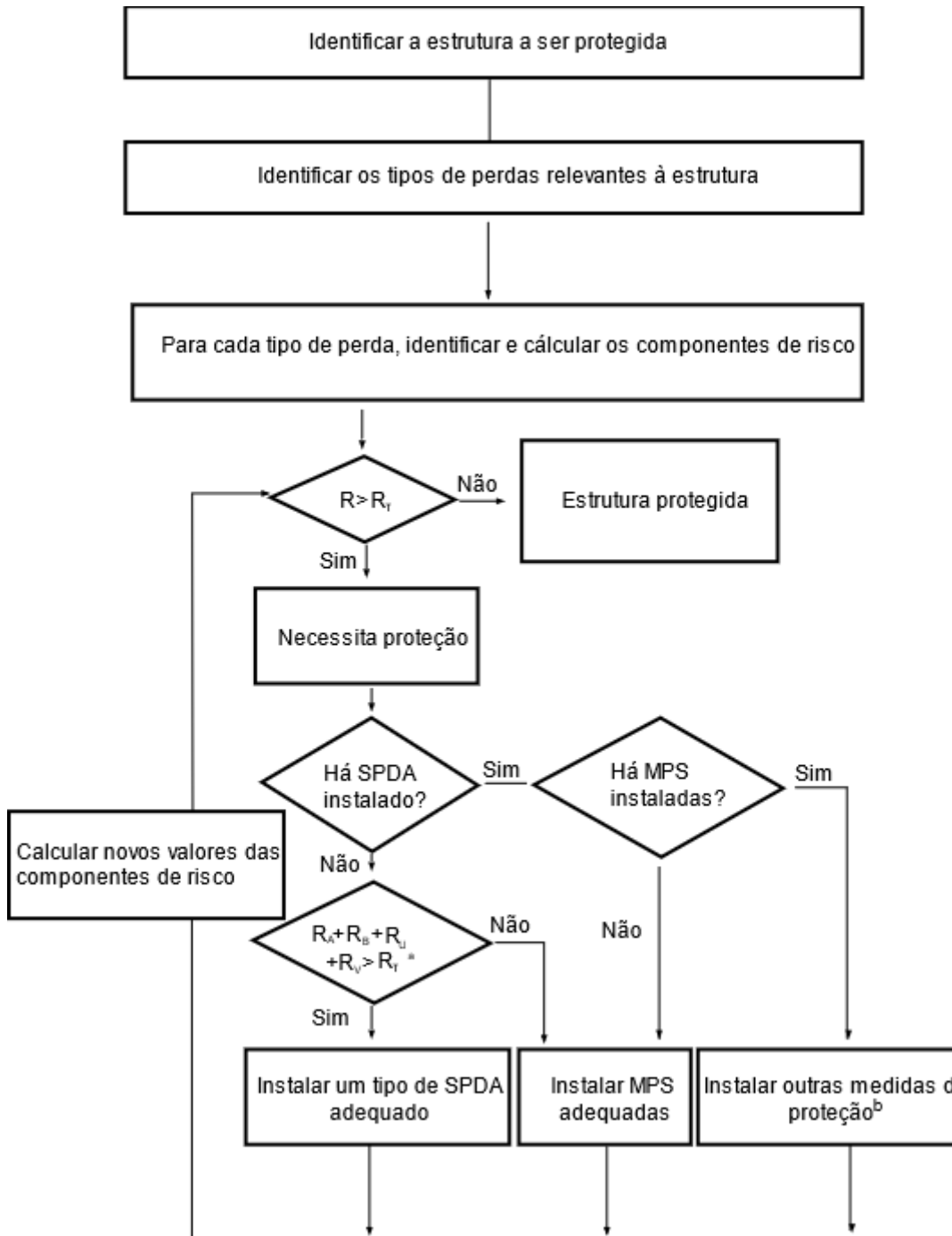
vidas humanas, no entanto não tem risco de perda de patrimônio ou serviço de utilidade pública.

Tendo estabelecida as perdas envolvidas, deve-se calcular as componentes de risco estabelecidas na Norma NBR 5419/2015 para as respectivas perdas em questão. Após esse procedimento o teste para o estabelecimento do SPDA entrará num “*loop*” que definirá no final qual serão as Medidas de Proteção e o SPDA a ser instalado.

Se o risco da estrutura estiver abaixo do risco tolerável a estrutura não necessita de SPDA e, portanto, já pode ser considerada protegida. Se não se deve calcular as componentes de risco e instalar ou não o SPDA adequado. Se o SPDA for suficiente para proteger a edificação está encerrada análise. Se não deve-se adotar MPS conforme o risco que esteja com valor mais alto (estas MPS são recomendadas pela norma dada a gravidade de determinado risco específico). Depois de refeita toda a análise, se a MPS supriu a necessidade pode-se encerrar a análise. Se não se instala outras medidas até atingir o resultado tolerável.

Um fluxograma que muito facilita na análise de risco de um SPDA é apresentado na Figura 2.1.

Figura 2.1: Organograma para decisão de SPDA



a Se $R_A + R_B < R_T$, um SPDA completo não é necessário; neste caso DPS de acordo com a ABNT NBR 5419-4 são suficientes.

b Ver Tabela 3.

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

2.5. CONCLUSÕES

Os procedimentos supracitados são a chave para um bom sistema de proteção contra descargas atmosféricas, a definição correta ou incorreta de todos os

parâmetros envolvidos implicará no sucesso ou fracasso, respectivamente do SPDA da estrutura.

3. ANÁLISES DAS COMPONENTES DE RISCOS

Neste capítulo será explorado melhor cada componente de risco, para tanto deve-se subdividir cada risco em fatores específicos, fazendo a análise estatística individualmente de cada fator e após este procedimento contabilizar-se tudo de maneira geral.

Para o cálculo efetivo das componentes de riscos exploradas na seção 2 deve-se seguir a equação (1) para estabelecer numericamente os respectivos riscos envolvidos.

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X \quad (1)$$

Onde:

N_X é o número de eventos perigosos por ano;

P_X é a probabilidade de dano à estrutura;

L_X é a perda consequente.

Cada um dos termos da equação (1) será explorado adiante.

3.1. NUMERO DE EVENTOS PERIGOSOS POR ANO N_X

Para a determinação deste parâmetro algumas condições devem ser definidas separadamente, são elas:

- descargas atmosféricas na estrutura;
- descargas atmosféricas perto da estrutura;
- descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura;
- descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura;
- descargas atmosféricas em outra estrutura na qual a linha da primeira está conectada.

3.1.1. Número de eventos perigosos N_D na estrutura

O número de eventos perigosos relacionados diretamente a estrutura, pode ser obtido através da equação (2).

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

Onde:

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² /ano);

A_D é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m²);

C_D é o fator de localização da estrutura.

O parâmetro N_G , no Brasil, está disponível na página do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), por meio do Grupo de Eletricidade Atmosférica.

Para o cálculo da área de exposição equivalente da estrutura A_D , considerando uma estrutura retangular isolada com comprimento L, largura W, e altura H (todas expressa em metros) em um solo plano, utilizamos a equação (3).

$$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + H) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2 \quad (3)$$

Se for considerada uma estrutura com forma complexa, como saliências elevadas na cobertura, um método gráfico deve ser utilizado para avaliação, e a área de exposição da estrutura A_D será dada por:

$$A_D = \pi \cdot (3 \cdot H_p)^2 \quad (4)$$

Onde H_p é a altura da saliência. O fator de localização da estrutura C_D será dado pela Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Fator de localização da estrutura C_D

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

3.1.2. Número de eventos perigosos N_{DJ} para estrutura adjacente

O número médio anual de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura conectada na extremidade de uma linha, pode ser avaliada como o produto exposto na equação (5).

$$N_{DJ} = N_G \cdot A_{DJ} \cdot C_{DJ} \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

onde

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² / ano);

A_{DJ} é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em metro quadrado;

C_{DJ} é o fator de localização da estrutura adjacente;

C_T é o fator tipo de linha.

N_G , A_{DJ} e C_{DJ} são calculados da mesma forma que os eventos perigosos na estrutura e C_T é dado pela Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Fator tipo de linha C_T

| Instalação | C_T |
|--|-------|
| Linha de energia ou sinal | 1 |
| Linha de energia em AT (com transferência AT/BT) | 0,2 |

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

3.1.3. Número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura

O número médio de eventos perigoso N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura pode ser calculado como mostrado na equação (6):

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

Onde:

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² x ano);

A_M é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem perto da estrutura, expressa em metro quadrado.

A área de exposição equivalente A_M que se estende a uma linha localizada a uma distância de 500 m do perímetro da estrutura, também pode ser calculada mais precisamente através da equação (7).

$$A_M = 2 \cdot 500(L + W) + \pi \cdot 500^2 \quad (7)$$

3.1.4. Número médio anual de eventos perigosos N_L devido à descargas atmosféricas na linha

Uma linha pode consistir em diversas seções. Para cada seção da linha, o valor de N_L pode ser avaliado pela equação (8).

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (8)$$

Onde:

N_L é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1 kV (1/ano) na seção da linha;

N_G é a densidade de descargas atmosféricas para a terra (1/km² x ano);

A_L é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, expressa em metro quadrado (m²). (ver Figura 2);

C_I é o fator de instalação da linha (ver Tabela 3.3);

C_T é o fator tipo de linha (ver Tabela 3.2);

C_E é o fator ambiental (ver Tabela 3.4);

Tabela 3.3: Fator de instalação de linha C_I

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

Tabela 3.4: Fator ambiental de linha C_E

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

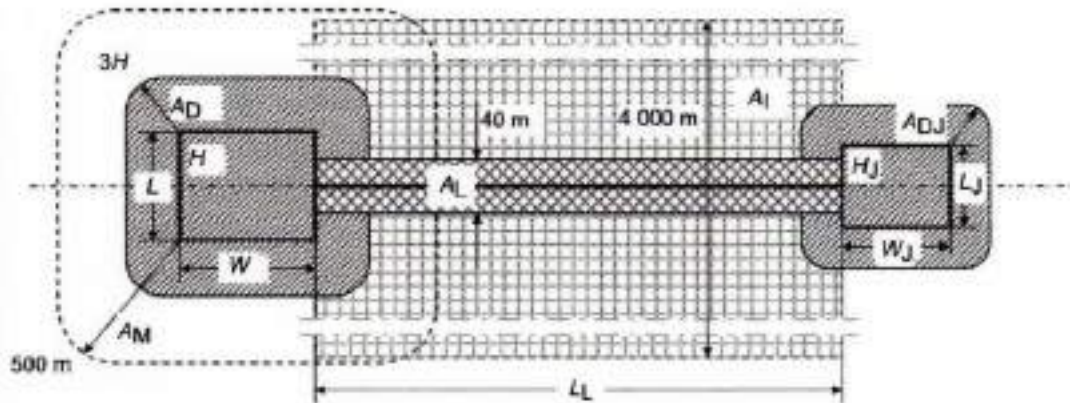
Com a área de exposição equivalente para a linha dada pela equação (9):

$$A_L = 40 \cdot L_L \quad (9)$$

L_L é o comprimento da seção da linha, expresso em metros (m). Se o mesmo for desconhecido assume-se 1000 m.

Um esquemático que resume de maneira bastante eficiente as determinações das áreas de exposição está apresentado na figura 2 [3].

Figura 3.1: Esquemático de áreas de exposição



Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

3.2. PROBABILIDADE P_x DE DANOS

Vários tipos de danos foram discutidos anteriormente no capítulo dois quando abordado o estudo geral da norma 5419/2015 e são exatamente as probabilidades de que eles aconteçam, dado o local onde a descarga atmosférica acontece é que serão analisados a partir de então.

3.2.1. Descarga atmosférica em uma estrutura ou próximo a ela

Podem haver várias consequências quando uma descarga atmosférica cai em uma estrutura ou próximo a mesma. E são as probabilidades dessas consequências ocorrerem que serão tratadas abaixo.

3.2.1.1. Probabilidade de causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico

A probabilidade de choque em seres vivos devido à tensão de toque e passo originados pela descarga atmosférica em uma estrutura dependerá do SPDA e medidas de proteção adotadas. Dado pela equação (10).

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B \quad (10)$$

Onde:

P_{TA} depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passos perigosas

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

P_B depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado. Valores de P_B são obtidos na Tabela 3.6.

3.2.1.2. Probabilidade P_B de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos

O valor de P_B é dado através do nível de proteção da estrutura (previsto anteriormente no item 2.4) e conforme dado pela Tabela 3.6, conforme as medidas de proteção existentes na estrutura [3].

Tabela 3.6: Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

3.2.1.3. Probabilidade P_c de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos

Um sistema coordenado de um dispositivo de proteção contra surto é adequado e pertinente para que tal probabilidade seja reduzida e é dada pela equação 11.

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD} \quad (11)$$

Onde:

P_{SPD} depende do sistema coordenado de DPS (Dispositivo de Proteção contra Surto) conforme a ABNT NBR 5419-4 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual os DPS foram projetados.

Valores de P_{SPD} são fornecidos na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Valores de probabilidade de P_{SPD} em função de NP para o qual os DPS foram projetados

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

C_{LD} é um fator que depende das condições da blindagem, aterramento e isolamento da linha a qual o sistema interno está conectado. Os valores de C_{LD} são fornecidos na Tabela 3.8.

Tabela 3.8: Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

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

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

3.2.1.4. Probabilidade P_M de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos

Um SPDA em malha, blindagens com malha, precauções de roteamento, tensão suportável aumentada, interfaces isolantes e sistemas coordenados de DPS são adequados como medidas de proteção para reduzir P_M .

A probabilidade P_M de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos depende das medidas de proteção contra surtos (MPS) adotadas.

Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da ABNT NBR 5419-4 não for instalado, o valor de P_M deve ser igual ao valor de P_{MS} , P_{MS} é um fator que dependa do DPS coordenado está instalado ou não. Quando um sistema coordenado de DPS conforme os requisitos da ABNT NBR 5419-4 estiver instalado, o valor de P_M deve ser dado pela equação (12):

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS} \quad (12)$$

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

Os valores de P_{MS} são obtidos do produto, conforme equação (13):

$$P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2 \quad (13)$$

Onde:

K_{S1} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA;

K_{S2} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna;

K_{S3} leva em consideração as características da fiação interna (ver Tabela 3.9);

K_{S4} leva em consideração a tensão suportável de impulso do sistema a ser protegido.

Quando equipamento provido com interfaces isolantes consistindo em transformadores de isolação com grade aterrada entre enrolamentos, ou cabos de fibra óptica ou acoplamento óptico for utilizado, $P_{MS} = 0$ deve ser assumido.

Tabela 3.9: Valor do fator K_{S3} dependendo da fiação interna

| Tipo de fiação interna | K_{S3} |
|---|----------|
| Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços | 1 |
| Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar laços | 0,2 |
| Cabo não blindado - preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^c | 0,01 |
| Cabo blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ^d | 0,0001 |
| <p>a Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m²).</p> <p>b Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m²).</p> <p>c Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5m²).</p> <p>d Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.</p> | |

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

O valor de K_{S4} pode ser calculado usando a equação (14):

$$K_{S4} = \frac{1}{U_W} \quad (14)$$

Onde U_W é a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).

3.2.2. Descarga atmosférica em uma linha ou próximo a mesma

3.2.2.1. Probabilidade P_U de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico

O fator de uma tensão de toque por uma descarga atmosférica em uma linha que adentra à estrutura depende das características da blindagem adotadas da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha, das medidas de proteção como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta e interfaces isolantes ou DPS utilizados para ligação equipotencial na entrada da linha. Essa probabilidade é dada pela equação (15) [5]:

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (15)$$

Onde P_{TU} depende das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Valores de P_{TU} são dados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10: Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

| Medida de proteção | P_{TU} |
|----------------------------|-----------|
| Nenhuma medida de proteção | 1 |
| Avisos visíveis de alerta | 10^{-1} |
| Isolação elétrica | 10^{-2} |
| Restrições físicas | 0 |

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

Onde P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas conforme a ABNT NBR 5419-3 e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o DPS foi projetado. Valores de P_{EB} são dados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11: Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados

| NP | P_{EB} |
|---------|-------------|
| Sem DPS | 1 |
| III--IV | 0,05 |
| II | 0,02 |
| I | 0,01 |
| NOTA 4 | 0,005-0,001 |

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

P_{LD} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada dependendo das características da linha. Valores de U_w são dados na Tabela 3.12;

Tabela 3.12: Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável do impulso U_w do equipamento

| Tipo de linha | Condições de roteamento, blindagem e interligação | Tensão suportável U_w em KV | | | | | |
|---------------------------|--|---|-----|-----|------|------|------|
| | | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | |
| Linha de energia do sinal | Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | Blindada aérea ou enterrada cuja blindagem está interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento | $5 \frac{\Omega}{Km} < R_S \leq 20 \frac{\Omega}{Km}$ | 1 | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,8 |
| | | $1 \frac{\Omega}{Km} < R_S \leq 5 \frac{\Omega}{Km}$ | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,1 |
| | | $R_S \leq 1 \frac{\Omega}{Km}$ | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 0,04 | 0,02 |

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

Onde C_{LD} é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha.

3.2.2.2 Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos P_V

Os valores da probabilidade de danos físicos devido a uma descarga atmosférica (P_V) em uma linha que adentra a estrutura dependem das características

da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou dos DPS instalados para as ligações equipotenciais na entrada da linha de acordo com a ABNT NBR 5419-3. Essa probabilidade é dada pela equação (16):

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (16)$$

3.2.2.3. Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos P_W

Os valores da probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha que adentra a estrutura causar uma falha dos sistemas internos (P_W) dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado. Essa probabilidade é dada pela equação (17) [5].

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (17)$$

3.2.2.4. Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha dos sistemas internos P_Z

Os valores de probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falha de sistemas internos P_Z dependem das características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso do sistema conectado à linha e das interfaces isolantes ou do sistema coordenado de DPS instalado. Essa probabilidade é dada pela equação (18).

$$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI} \quad (18)$$

P_{LI} é a probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos. Valores de P_{LI} são dados na Tabela 3.13.

Tabela 3.13: Valores da probabilidade P_{LI} dependendo do tipo de linha e da tensão suportável de impulso U_w dos equipamentos

| Tipo da linha | Tensão suportável U_w em kV | | | | |
|-------------------|-------------------------------|-----|-----|------|------|
| | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 |
| Linhas de energia | 1 | 0,6 | 0,3 | 0,16 | 0,1 |
| Linha de sinais | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,08 | 0,04 |

Fonte: Adaptado da NBR 5419/2015

3.3. CONCLUSÕES

Neste capítulo percebe-se quais os principais fatores que influenciaram na análise de riscos da estrutura, restando portanto fazer o balanceamento das equações para verificar se o risco está acima ou abaixo do tolerável. Esse procedimento será realizado pelo software TUPAN 5 versão 2.0 [9].

4. ANÁLISE DE RISCOS UTILIZANDO O SOFTWARE TUPAN 5 VERSÃO 2.0

O software TUPAN 5 Versão 2.0 [9], trabalha com a parte 1 e 2 da norma 5419/2015, fazendo, portanto, a análise de risco da edificação e tem como resultado uma planilha que estabelecerá o nível de proteção que a edificação deve ter para uma correta proteção contra descargas atmosféricas. Para uma melhor análise das etapas envolvidas para a geração do resultado destacar-se-á e explicar-se-á cada campo separadamente para uma melhor compreensão.

4.1. DADOS DA ESTRUTURA

No software aparecerá o campo indicado na Figura 4.1, que corresponde aos dados da estrutura que está sendo analisada. Nesta etapa deve ser realizado o cálculo da área de exposição. Para o Bloco KLM temos o seguinte estudo.

Figura 4.1: Dados da estrutura

Tupan 5 v2.0

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

Dados da Estrutura

Área de exposição equivalente da estrutura principal [m²]

Gravar

Com ajuda para Cálculo de estruturas simples

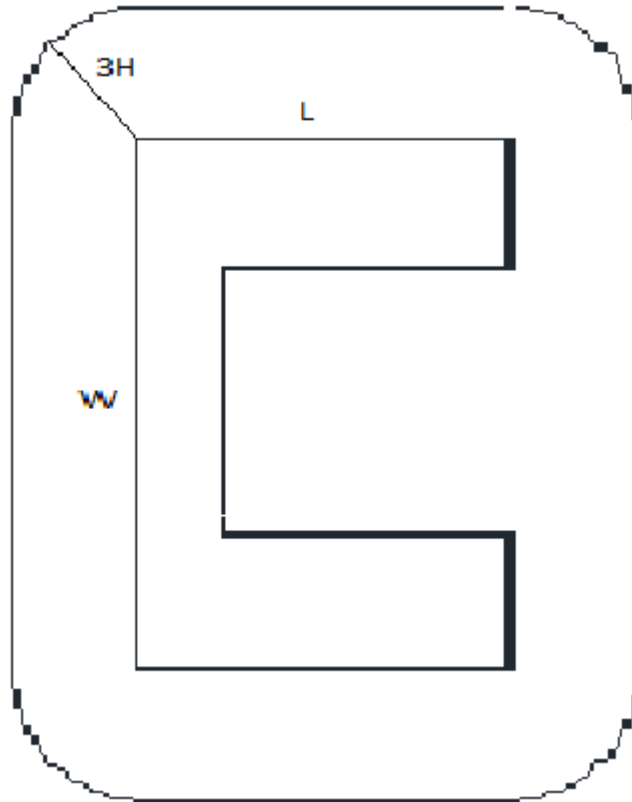
Sem ajuda para Cálculo de estruturas simples

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

Para o cálculo da área de exposição A_D foi considerado o edifício como o uma área retangular de comprimento (L) 35m, largura (W) 50m e altura (H) 15m e utilizou-se a equação 3. É importante observar que, conforme a norma é prudente esta colocação, pois verificando graficamente pode-se observar conforme Figura 4.2 que

as áreas de exposição se forem consideradas isoladamente se sobrepõe, portanto, podem ser consideradas desta forma.

Figura 4.2: Modelagem da área de exposição



4.2. MEDIDAS DE PROTEÇÃO OU MITIGAÇÃO DE RISCO

Este campo aparecerá no software conforme indicado na Figura 4.3. Como para o bloco KLM iniciaremos o projeto como se a edificação não estivesse SPDA e sabendo que nela existe extintores de incêndio e rede de hidrante, que são medidas mitigadoras e conforme exposto na norma constarão como fatores de atenuação no cálculo do SPDA. Portanto, os dados são devidamente preenchidos conforme segue na Figura 4.3.

Figura 4.3: Medidas de proteção ou mitigação de risco

Medidas de proteção ou mitigação do risco

Proteção por SPDA (se alterar faça avaliação para todas zonas dentro da estrutura principal)

sem SPDA

Meios para reduzir as consequências de incêndio

Extintores manuais, alarmes manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fog

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

4.3. INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS

Neste campo será tratado dos arredores da edificação analisada, bem como dos fatores climáticos que são estabelecidos na norma conforme segue.

Pode-se identificar que nos arredores da edificação que está situada na cidade de João Pessoa que a estruturas se encontra cercada de objetos de mesma altura ou menores.

Para cálculo do N_g (Densidade de descargas atmosféricas para a terra) utilizou-se o mapa de incidência disponível do Grupo de Eletricidade atmosférica do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Este valor é 0,1 descargas/km²/ano conforme ilustrado na Figura 4.4 [6].

Figura 4.4: Mapa de densidades de descargas atmosféricas



Fonte: Adaptado do site do INPE – acesso em 20/01/2018

Cada edificação deve ser tratada conforme a sua classe de incêndio que obedecerá aos seguintes critérios.

- Estruturas com alto risco de incêndio podem ser assumidas como sendo estruturas feitas de materiais combustíveis ou estruturas com coberturas feitas com materiais combustíveis ou estruturas com uma carga específica de incêndio maior que 800 MJ/m²;
- Estruturas com um risco normal de incêndio podem ser assumidas como estruturas com uma carga específica de incêndio entre 800 MJ/m² e 400 MJ/m²;
- Estruturas com um risco baixo de incêndio podem ser assumidas como estruturas com uma carga específica de incêndio menor que 400 MJ/m², ou estruturas contendo somente uma pequena quantidade de material combustível.

Pode-se verificar que em nosso ambiente, encontra-se motores e computadores de diversos equipamentos eletroeletrônicos, bem como uma razoável quantidade de mesas e cadeiras, não possuindo nenhum tipo de armazenamento de combustível líquido ou gasoso, devendo para tanto ser considerada um risco normal de incêndio conforme NBR 5419/2015 – parte 2 – anexo C [5].

Portanto os campos supracitados devem ser preenchidos conforme Figura 4.5.

Figura 4.5: Influências ambientais e risco de explosões

Influências ambientais

Instruções

Localização (cidade):

João Pessoa

Localização da estrutura:

Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixa

Gravar

Frequência de raios(Ng): 0,1 [1/km²/ano]

Risco de incêndio ou explosão

Incêndio Normal

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

4.4. ATRIBUTOS DE LINHA DE ENERGIA CONECTADA

Neste campo será tratado dos fatores que envolvem a linha de energia conectada a estrutura estuda. Ver Figura 4.6. Quando não se sabe qual o comprimento da linha conectada a estrutura a norma estabelece um valor de 1000 m para ser adotado.

No campo de área de exposição adjacente só deve ser preenchido quando existe alguma sala ou quarto anexo a cobertura da edificação que em nosso caso não existe. O fator ambiental, conforme explicitado na norma, para o nosso caso do bloco KLM, deve ser considerado um perímetro urbano.

A linha aérea é blindada sem equipotencialização. E a tensão suportáveis de surto para cada equipamento foi considerada de 1 kV, pois deve ser tomado o menor valor dentre todos os equipamentos como medida de segurança. Deve-se ressaltar que não existe Dispositivo de Proteção contra Surto (DPS) e a fiação interna é não blindada com preocupação de evitar grandes laços. Deve-se levar em consideração que existe uma linha de Alta tensão próximo a edificação do bloco KLM.

Figura 4.6: Linha de Energia conectada

| | | | | | |
|---|--|-----|---|--|-------------------|
| Comprimento da linha conectada: | <input type="text" value="1000"/> | [m] | Área de exposição adjacente: | <input type="text" value="0"/> | [m ²] |
| Fator ambiental (Ce) | <input type="text" value="ban.com edificios mais altos que 20m"/> | | Fator de instalação dos condutores (Ci) | <input type="text" value="Aéreo"/> | |
| Condição da blind., aterr. e isolamento | <input type="text" value="Lin.aérea não blindada. Conex.ent. indefinida"/> | | Tipo de linha (Ct) | <input type="text" value="Linha AT (trafo AT/BT)"/> | |
| Tensão sup. impulso do sistema | <input type="text" value="1kv"/> | | | | |
| DPS de acordo com nível de proteção | <input type="text" value="Sem proteção coordenada com DPS"/> | | Fiação interna (Ks3) | <input type="text" value="Não blindado- precaução para evitar grandes laç"/> | |
| Última zona carregada na memória: | Z1 | | <input type="button" value="Gravar"/> | <input type="button" value="Ajuda para seleção dos campos"/> | |

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

4.5. ATRIBUTOS DA LINHA DE TELECOMUNICAÇÃO CONECTADA

De maneira análoga a linha de energia, a linha de telecomunicação deve ser preenchida, no nosso caso com os mesmo valores de parâmetros conforme explicitado na Figura 4.7.

Figura 4.7: Linha de telecomunicação conectada

The screenshot shows a software interface titled "Atributos da linha de telecomunicação conectada". It contains the following fields and options:

- Comprimento da linha conectada:** Input field with value "1000" and unit "[m]".
- Área de exposição adjacente:** Input field with value "0" and unit "[m²]".
- Fator ambiental (Ce):** Dropdown menu with selected option "ban.com edificios mais altos que 20m".
- Fator de instalação dos condutores (Ci):** Dropdown menu with selected option "Aéreo".
- Condição da blind., aterr. e isolamento:** Dropdown menu with selected option "Lin.aérea não blindada. Conex.entrr. indefinida".
- Tensão sup. impulso do sistema:** Dropdown menu with selected option "1kV".
- DPS de acordo com nível de proteção:** Dropdown menu with selected option "Sem proteção coordenada com DPS".
- Fiação interna (Ks3):** Dropdown menu with selected option "Não blindado- precaução para evitar grandes laç".

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "Gravar" (Save) and "Ajuda para seleção dos campos" (Help for field selection).

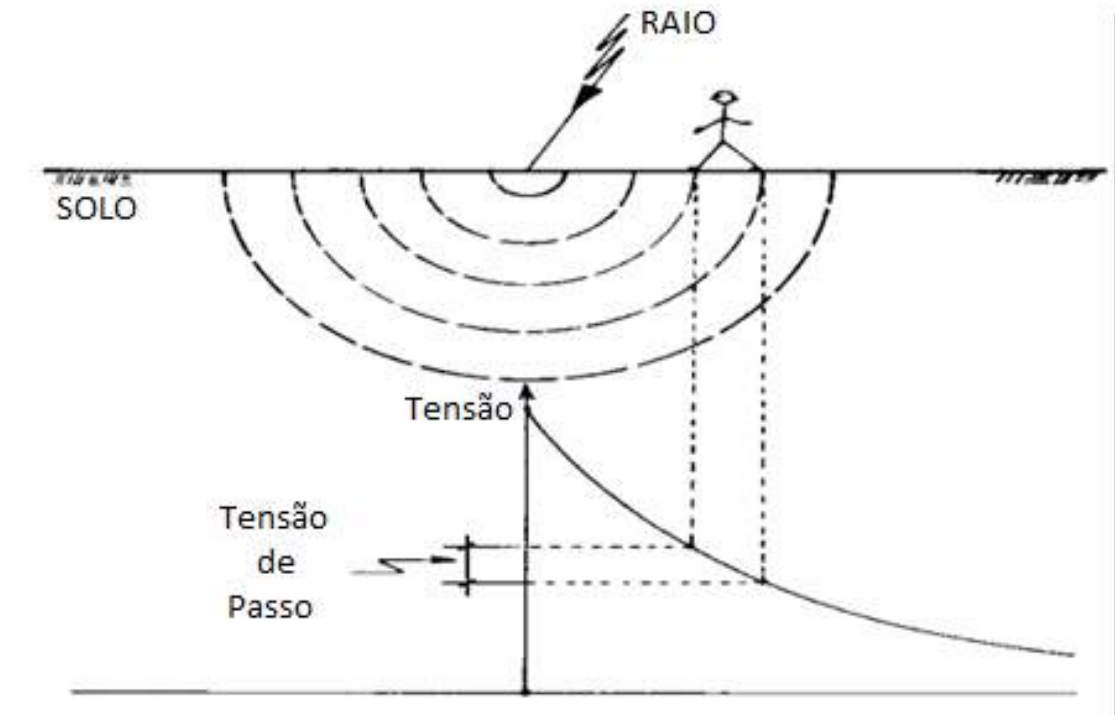
Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

4.6. MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA TENSÃO DE PASSO, TOQUE E BLINDAGEM

Neste quesito deve ser observado se na estrutura já existe alguma medida de proteção existente contra tensão de passo e toque ou alguma blindagem para evitar tais acidentes.

Neste momento é importante definir, o que é tensão de passo. Tensão de passo é a diferença existente entre os dois pés de uma pessoa quando em contato com a superfície [7]. No momento de uma descarga, a corrente provoca uma distribuição equipotencial na superfície do solo que pode ser representada pelas linhas ilustradas na Figura 4.8. Quando uma pessoa está em contato com os pés em duas linhas diferentes pode ser acometida de um choque.

Figura 4.8: Tensão de passo

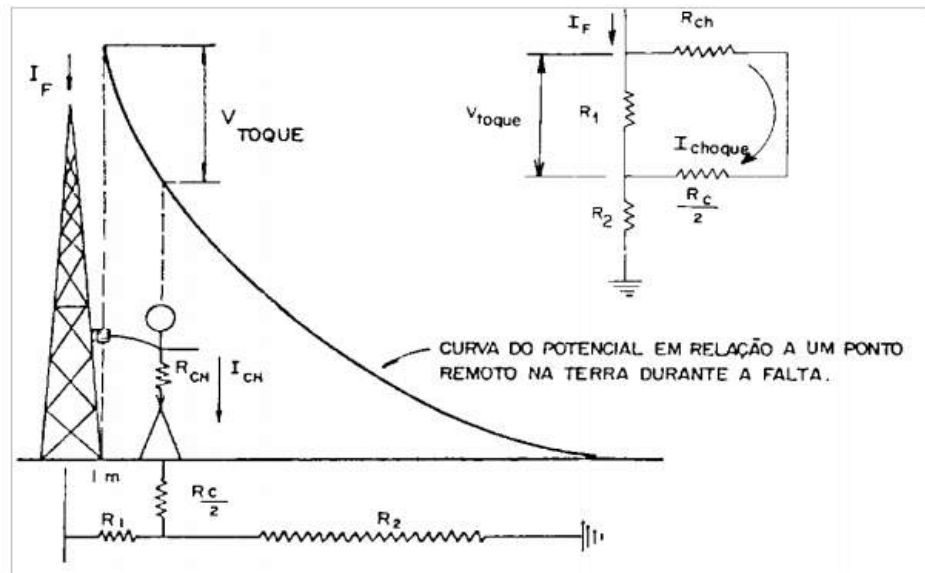


Fonte: Adaptado de Felipe Garcia, Trabalho de Conclusão de Curso Análise dos potenciais elétricos e avaliação dos riscos relacionados às tensões de toque e de passo devidos à incidência de uma descarga atmosférica em uma edificação, UFCE, Fortaleza, 2016

Tensão de Toque é a diferença de potencial entre um ponto da estrutura da edificação, situado ao alcance da mão de uma pessoa, e um ponto no piso situado a 1 metro da base da estrutura [7]. Por estar em contato direto com uma superfície que constitui um eventual caminho para a corrente impulsiva, uma parte da corrente pode ser drenada para o solo através do corpo da vítima, a intensidade do acidente está ligada a intensidade da corrente e o tempo do surto. A Figura 4.9 ilustra o potencial de toque ao qual é submetida uma pessoa e as resistências envolvidas, onde:

- R_{ch} - Resistência interna considerada do corpo humano (Ω);
- R_c – Resistência de contato com o solo (Ω);
- I_{choque} – Intensidade da corrente percorrida no corpo (A);
- R_1 e R_2 – Resistências dos trechos de terra considerados (Ω);

Figura 4.9: Tensão de toque



Fonte: Adaptado de Felipe Garcia, Trabalho de Conclusão de Curso Análise dos potenciais elétricos e avaliação dos riscos relacionados às tensões de toque e de passo devidos à incidência de uma descarga atmosférica em uma edificação, UFCE, Fortaleza, 2016

A NBR 5419/2015 prevê como medida de proteção contra tensão de toque e passo, os seguintes itens:

- A probabilidade da aproximação de pessoas, ou a duração da presença delas fora da estrutura e próximas aos condutores de descida, for muito baixa;
- O subsistema de descida consistir em pelo menos dez caminhos naturais de descida interconectados conforme o item 5.3.5 da NBR 5419-3;
- A resistividade da camada superficial do solo, até 3 m de distância dos condutores de descida, for maior ou igual a $100 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$;

No software TUPAN estas informações devem ser acrescentadas no espaço mostrado na Figura 4.10.

Figura 4.10: Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem

The screenshot shows a software window titled "Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem". It contains the following elements:

- Two dropdown menus, both set to "Nenhuma medida de proteção".
- Two checkboxes: "Blindagem metálica contínua" (unchecked) and "Sem blindagem metálica" (checked).
- Two input fields for "Largura da blindagem ou distância das descidas": "Wm1" and "Wm2", both containing the value "8,3333" and followed by "[m]".
- A button labeled "Ajuda para definir largura da blindagem ou distância das descidas".
- A "Gravar" (Save) button at the bottom right.

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

4.7. FATORES DE VARIAÇÃO DAS PERDAS

É importante estabelecer alguns fatores preditos na norma 5419/2015 que influenciarão atenuando ou acrescentando risco a edificação.

Os fatores que atenuarão o risco é o tipo de piso escolhido para a edificação e por exemplo, na edificação o piso é de mármore e deve ser preenchido conforme Figura 4.11. Um fator de acréscimo é risco de pânico, locais de grande fluxo de pessoas ou dedicados a eventos. Neste estudo de caso pode-se estabelecer um nível médio de pânico, conforme Figura 4.11.

Uma observação pode ser feita neste ponto. O risco admissível pode ser mudado para valores diferentes do estabelecido na norma devido a algum fator especial, mas em nosso caso adotamos os valores previstos na norma.

Figura 4.11: Fatores de variação das perdas

Fatores de variação das perdas

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

Fator de acréscimo devido a um perigo especial
Médio nível de pânico (ex.: prédio destinado a eventos e quantidade de pessoas limitadas de 100 a 10)

Risco admissível

| | | |
|--|-----|--------------------|
| R1 (risco de perda de vida humana) | 1 | x 10 ⁻⁵ |
| R2 (risco de perda de serviço ao público) | 100 | |
| R3 (risco de perda de patrimônio cultural) | 10 | |
| R4 (risco de perda de valor econômico) | 0 | |

Valores de norma

Gravar

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

4.8. RISCO A VIDAS HUMANAS

Nesta seção são analisados o quantitativo de pessoas presentes frequentemente na edificação e a quantidade de horas por ano que esta edificação ficará ocupada.

Neste estudo de caso leva-se em consideração o número máximo de pessoas que a edificação suporta, considerando as 10 salas de aulas mais os laboratórios. Com cinquenta pessoas para cada sala e mais 100 distribuídas nos restantes dos laboratórios. E como foi considerada uma única zona, sem fazer estudos específicos para zonas especiais, repetiu-se os dados para o número de pessoas na zona e o número de pessoas totais.

Para o tempo de exposição consideramos que a edificação está ocupada 15 horas por dia, durante vinte e dois dias no mês. Totalizando 3960 horas de exposição no ano.

Portanto o quadro foi preenchido conforme Figura 4.12.

Figura 4.12: Risco a vidas humanas

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

4.9. PERDAS DO TIPO L2

As perdas do tipo L2 são referentes ao tipo de serviço prestado ao público, que deve ser escolhido o mais próximo que a edificação se encaixar, pois o software não permite que deixe o espaço sem preenchimento, portanto as perdas que mais se aproximam é a de TV e linhas de comunicação que são serviço não essenciais, portanto o quadro deve ser preenchido conforme Figura 4.13.

Figura 4.13: Perdas do tipo L2

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

As informações referentes as perdas de valores econômicos (perdas L4) e memorial cultural (perda L3) fogem ao escopo da edificação, portanto devem ser deixadas sem preenchimento, conforme Figura 4.14.

Figura 4.14: Perdas dos Tipo L3 e L4

Valor econômico (perda L4)

| | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Valor dos animais na zona | <input type="text" value="0"/> | Valor do conteúdo na zona | <input type="text" value="0"/> |
| Valor da edificação na zona | <input type="text" value="0"/> | Valor dos sistemas internos na zona | <input type="text" value="0"/> |

Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona

Risco de falha de sistemas internos:

Tipo da estrutura:

Memória cultural (perda L3)

| | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Valor do patrimônio cultural na zona | <input type="text" value="0"/> | Valor total da edificação | <input type="text" value="0"/> |
|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|

Fonte: Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

4.10. RESULTADOS DO SOFTWARE

Os resultados do software são apresentados na aba resultados, fornecendo os valores que estão acima do tolerável que são estabelecidos na norma ABNT-NBR 5419/2015.

Esses valores podem ser resumidos na Tabela 4.1:

Tabela 4.1: Resultados do software TUPAN 2016 2.0

| PROJETO DO BLOCO KLM DO CT | |
|---|--|
| Dimensões da estrutura | |
| Zona: | Interna |
| Área de exposição equivalente A_D [m ²] | 20003 |
| Influências ambientais | |
| Localização (c_D): | Cercado por estrutura menor ou de mesmo tamanho |
| Freqüência de descarga para terra N_G [1/km ² /ano]: | 0,1 |
| Tipo de solo: | Mármore, Cerâmico |
| Tipo de estrutura: | Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas de vidas humanas |
| Risco de incêndio (r_i): | Incêndio Normal |
| Perigo especial (h_z): | Médio nível de pânico (ex.: prédio destinado a eventos e quantidade de pessoas limitadas de 100 a 1000) |
| Número de pessoas na zona: | 600 |
| 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 | |
| Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA): | sem SPDA |
| Meios para restringir as conseqüências 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: | Urban.com edifícios mais altos que 20m |
| Fiação interna: | Não blindado-precaução para evitar grandes 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_i): | Aéreo |
| Linha de telecomunicação | |
| Fator ambiental da linha: | Urban.com edifícios mais altos que 20m |
| Fiação interna: | Não blindado-precaução para evitar grandes 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_i): | Aéreo |
| Resultado | |
| Perda de vida humana R_1 | 9,6659E-06 |
| Avaliação de risco: | tolerável |
| Perda de serviço público R_2 | 7,3728E-05 |
| 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: | REUELSON |
| Data da avaliação: | 14/09/2017 |
| Total: | |
| Perda de vida humana R_1 | 6,2187E-07 |
| Perda de serviço público R_2 | 1,4277E-06 |
| 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) | 0,00 |
| Economia anual (unidades monetárias) | 0,00 |

Adaptado do software TUPAN 2016 v.2

Conforme verifica-se o risco da edificação encontra-se abaixo do risco tolerável, o que implica na não necessidade de SPDA na estrutura.

Diante da não necessidade da colocação do SPDA na estrutura da edificação torna-se mais perigoso fazê-lo pois a edificação que corria um risco insignificante sem o SPDA, a partir de então passará a ter um sistema que atrairá as descargas para si, prestando um verdadeiro desserviço se houver qualquer falha na estrutura ou desempenho do SPDA. Portanto, será de extrema importância que este SPDA esteja

bem condicionado, dado o fator agravante de ter sido colocado sem uma real necessidade.

Para tanto será realizada a inspeção do SPDA conforme a norma 5419/2015, no que tange aos quesitos básico requeridos pela mesma.

4.11. CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentou-se a utilização do software TUPAN na análise de risco, usando usando como estudo de caso o bloco KLM localizado no Centro de Tecnologia da UFPB. Este software trabalha com a parte 1 e 2 da norma 5419/2015, fazendo, portanto, a análise de risco da edificação tem-se como resultado uma planilha que estabelecerá o nível de proteção que a edificação deve ter para uma correta proteção contra descargas atmosféricas. Com base na análise realizada, observou-se que o risco da edificação se encontra abaixo do risco tolerável, o que implica na não necessidade de SPDA na estrutura.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo têm-se uma descrição dos itens de inspeção de um SPDA que será utilizado para BLOCO KLM do Centro de Tecnologia da UFPB. Este é um bloco formado por 10 (dez) salas de aula com capacidade para 50 (cinquenta) alunos, 15 (dez) laboratórios contendo computadores máquinas e equipamentos eletroeletrônicos, 6 (seis) banheiros, 1 (um) jardim e 1 (um) elevador.

Ao analisar o sistema instalado para emissão de **Laudo de SPDA**, tem-se a sequência introdutória de etapas que devem ser seguidas para a realização da inspeção de uma maneira geral. A correta aplicação dessas medidas será o sucesso ou o fracasso para o correto direcionamento das descargas atmosféricas para a terra, a seguir estão elencadas:

Inspeção (documentação técnica – NBR 5419 e NR 10)

- ART de projeto executivo;
- ART de execução projeto executivo;
- Projeto Executivo do SPDA e Malha de Aterramento;
- Memorial descritivo do projeto executivo;
- Memorial de cálculo do projeto executivo;
- Memorial quantitativo dos materiais;
- Projeto de Segurança para Inspeção dos Elementos de Captação;
- Relatório apresentará um Checklist destes elementos, por localidade;
- Cálculo do risco conforme NBR 5419 -2015 parte 2;

Gerenciamento do Risco (NBR 5419 parte 2);

- Cálculos dos riscos estipulados na parte 2 da nova NBR 5419 2015
- Cálculo dos Risco R1 (risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos);
 - Componentes do Risco (Ra, Rb, Ru, Rv, etc);
 - Comparação do risco encontrado com o nível de referência estimado em norma;
 - Caso SPDA existente não atenda ao nível de risco encontrado, serão indicadas medidas para redução do risco.

Inspeção (elementos da instalação – NBR 5419 partes 3 e 4)

- Elementos de Captação (terminais Aéreos, para-raios Franklin, mastro, poste telescópicos e base);
- Elementos de condução (cabo de cobre nu, barra de alumínio);
- Elementos de suporte e fixação (Suporte-Guia, Grampos);
- Elementos de conexão e fixação (Conectores de medição e Emenda, conectores Cabo-Haste);
- Caixa de inspeção de Aterramento;
- Condutor de aterramento nu;
- LEP ou TAP (Ligação Equipotencial – Barra condutora onde se interligam ao Aterramento as instalações metálicas as massas e os sistemas elétricos de potência e de sinal);
- BEP (Barramento de equipotencialização principal);
- DPS (Dispositivos de Proteção de Surtos que é destinado a limitar sobretensões transitórias);
- Haste Cobreada para Aterramento;
- Solda Exotérmica e Conexões;
- Relatório das medições e inspeção com ação corretiva para as deficiências encontradas e lista de material para corretiva;

Ensaio de Medição (resistência terra e equipotencialização – NBR 5419 parte 3);

- Ensaio de medição resistência de aterramento (Alicate – Método de Loop);
- Ensaio de medição resistência de conexão/equipotencialização (Alicate Método de Loop / Micro ohmímetro – Medição de Resistência ôhmica a 4 fios);
- Ensaio de medição resistência de aterramento (Terrômetro – Método de Queda de Potencial).

Tratar-se-á destas medidas mais detalhadamente no item 5.1, no qual especificar-se-á os equipamentos, as condições do clima e outras observações pertinentes para uma correta inspeção.

5.1. MANUTENÇÃO, INSPEÇÃO E DOCUMENTAÇÃO DE UM SPDA

A eficácia de qualquer SPDA depende da sua instalação, manutenção e métodos de ensaio utilizados. Inspeções, ensaios e manutenção não podem ser

realizados durante a ameaça de tempestades. O objetivo das inspeções é assegurar que:

- a) o SPDA esteja de acordo com projeto baseado nesta Norma;
- b) todos os componentes do SPDA estão em boas condições e são capazes de cumprir suas funções que não apresentem corrosão, e atendam às suas respectivas normas;
- c) qualquer nova construção ou reforma que altere as condições iniciais previstas em projeto além de novas tubulações metálicas, linhas de energia e sinal que adentrem a estrutura e que estejam incorporados ao SPDA externo e interno se enquadrem nesta Norma.

5.1.1. Ordem das inspeções

Inspeções devem ser feitas nos seguintes momentos:

- a) durante a construção da estrutura;
- b) após a instalação do SPDA, no momento da emissão do documento;
- c) após alterações ou reparos, ou quando houver suspeita de que a estrutura foi atingida por uma descarga atmosférica;
- d) inspeção visual semestral apontando eventuais pontos deteriorados no sistema;
- e) periodicamente, realizada por profissional habilitado e capacitado a exercer esta atividade, com emissão de documentação pertinente, em intervalos determinados, assim relacionados:
 - um ano, para estruturas contendo munição ou explosivos, ou em locais expostos à corrosão
 - atmosférica severa (regiões litorâneas, ambientes industriais com atmosfera agressiva etc.), ou ainda estruturas pertencentes a fornecedores de serviços considerados essenciais (energia, água, sinais etc.);
 - três anos, para as demais estruturas.

5.1.2. Itens a checar

Alguns itens importantes devem ser levados em consideração, conforme a norma:

- a) deterioração e corrosão dos captos, condutores de descida e conexões;
- b) condição das equipotencializações;
- c) corrosão dos eletrodos de aterramento;
- d) verificação da integridade física dos condutores do eletrodo de aterramento para os subsistemas de aterramento não naturais.

Por analogia, parte do procedimento do ensaio para medição de continuidade elétrica das armaduras pode ser aplicada aos condutores do subsistema de aterramento do SPDA a fim de comprovar a continuidade elétrica dos trechos sob ensaio, o que fornece parâmetros para determinação da integridade física do eletrodo de aterramento e suas conexões. Neste caso, os valores de validação devem ser compatíveis com parâmetros relacionados ao tipo de material usado (resistividade do condutor relacionada ao comprimento do trecho ensaiado).

Na medição de continuidade elétrica, é desejável a utilização de equipamentos que tenham sua construção baseada em esquemas a quatro fios (dois para injeção de corrente e dois para medir a diferença de potencial), tipo ponte, por exemplo, micro ohmímetros. Não podem ser utilizados multímetros na função de ohmímetro.

5.1.3. Manutenção de SPDA

A regularidade das inspeções é condição fundamental para a confiabilidade de um SPDA. O responsável pela estrutura deve ser informado de todas as irregularidades observadas por meio de relatório técnico emitido após cada inspeção periódica. Cabe ao profissional emitente da documentação recomendar, baseado nos danos encontrados, o prazo de manutenção no sistema, que pode variar desde "imediato" a "item de manutenção preventiva".

5.1.4 Documentação

A seguinte documentação técnica deve ser mantida no local, ou em poder dos responsáveis pela manutenção do SPDA:

a) verificação da necessidade do SPDA (externo e interno), além da seleção do respectivo nível de proteção para a estrutura, por meio de um relatório de uma análise de risco;

b) desenhos em escala mostrando as dimensões, os materiais e as posições de todos os componentes do SPDA externo e interno;

c) quando aplicável, os dados sobre a natureza e a resistividade do solo; constando detalhes relativos à estratificação do solo, ou seja, o número de camadas, a espessura e o valor da resistividade de cada uma;

d) registro de ensaios realizados no eletrodo de aterramento e outras medidas tomadas em relação a prevenção contra as tensões de toque e passo. Verificação da integridade física do eletrodo (continuidade elétrica dos condutores) e se o emprego de medidas adicionais no local foi necessário para mitigar tais fenômenos (acréscimo de materiais isolantes, afastamento do local etc.), descrevendo-o.

5.1.5. Inspeção importante contra acidentes com seres vivos devido à tensões de passo e de toque

5.1.5.1. Medidas de proteção contra tensões de toque

Em certas condições, a proximidade dos condutores de descida de um SPDA, externo à estrutura, pode trazer risco de vida mesmo que o SPDA tenha sido projetado e construído de acordo com as recomendações apresentadas por esta Norma. Os riscos são reduzidos a níveis toleráveis se uma das seguintes condições for preenchida:

a) a probabilidade da aproximação de pessoas, ou a duração da presença delas fora da estrutura e próximas aos condutores de descida, for muito baixa;

- b) o subsistema de descida consistir em pelo menos dez caminhos naturais de descida (elementos de aço das armaduras, pilares de aço etc.) interconectados;
- c) a resistividade da camada superficial do solo, até 3m de distância dos condutores de descida, for maior ou igual a 100 Ohm*m.

OBS.: Uma cobertura de material isolante, por exemplo, asfalto de 5 cm de espessura, ou uma cobertura de 20 cm de espessura de brita, geralmente reduz os riscos a um nível tolerável.

Se nenhuma destas condições for preenchida, medidas de proteção devem ser adotadas contra danos a seres vivos devido às tensões de toque como a seguir:

- a) a isolação dos condutores de descida expostos deve ser provida utilizando-se materiais que suportem uma tensão de ensaio de 100 kV, por exemplo, no mínimo uma camada de 3 mm de polietileno reticulado;
- b) restrições físicas (barreiras) ou sinalização de alerta para minimizar a probabilidade de os condutores de descida serem tocados.

5.1.5.2. Medidas de proteção contra tensões de passo

Os riscos são reduzidos a um nível tolerável se uma das condições apresentadas em a), b) ou c) do item 5.1.5.1 forem preenchidas. Se nenhuma dessas condições for preenchida, medidas de proteção devem ser adotadas contra danos a seres vivos devido às tensões de passo como a seguir:

- a) impor restrições físicas (barreiras) ou sinalização de alerta para minimizar a probabilidade de acesso à área perigosa, até 3 m dos condutores de descida;
- b) construção de eletrodo de aterramento reticulado complementar no entorno do condutor de descida.

5.2. INSPEÇÃO DAS MPS

5.2.1. Princípios gerais

A inspeção compreende a conferência da documentação técnica, inspeção visual e medições. O objetivo da inspeção é verificar se:

- a) as MPS estão de acordo com o projeto;

- b) as MPS são capazes de atender às funções determinadas no projeto;
- c) qualquer nova medida de proteção está adicionada corretamente às MPS.

Inspeções devem ser feitas:

- a) durante a instalação das MPS;
- b) após a instalação das MPS;
- c) periodicamente;
- d) após qualquer alteração dos componentes das MPS;
- e) possivelmente após uma descarga atmosférica direta na estrutura (por exemplo, quando indicado por um contador de descargas atmosféricas, quando testemunhada visualmente ou quando observada a evidência de um dano na estrutura causado por uma descarga atmosférica).

A frequência das inspeções periódicas deve ser determinada considerando:

- a) o ambiente local, como a existência de atmosfera ou solo corrosivo,
- b) o tipo das medidas de proteção empregadas.

Após a instalação de novas MPS, a documentação técnica deve ser verificada para o atendimento total às normas técnicas pertinentes. Conseqüentemente, a documentação técnica deve ser atualizada constantemente, por exemplo, após qualquer alteração ou extensão das MPS.

5.2.2. Inspeção visual

Devem ser feitas inspeções visuais para verificar se:

- a) não existem maus contatos em condutores e conexões;
- b) nenhuma parte do sistema foi comprometida devido à corrosão, principalmente ao nível do solo;
- c) condutores de equipotencialização e blindagens dos cabos estão intactos e interligados;
- d) não existem acréscimos ou alterações que necessitam medidas de proteção adicionais;
- e) não existe indicação de danos nos MPS e seus fusíveis ou interruptores;
- f) os roteamentos apropriados estão mantidos;

g) as distâncias de segurança para blindagens especiais estão mantidas.

5.2.3. Medições

Uma medição da continuidade elétrica deve ser feita naquelas partes dos sistemas de aterramento e equipotencialização que não são visíveis na inspeção.

Caso um DPS não tenha uma sinalização visível de estado, recomenda-se que sejam feitas, quando necessário, medidas de acordo com as instruções do fabricante para confirmar seu estado.

5.2.4. Documentação de inspeção

Um guia da inspeção deve ser preparado para facilitar o processo. O guia deve conter habilidade suficiente para ajudar o inspetor na sua tarefa, para que todos os aspectos da instalação e seus componentes, métodos e dados dos ensaios que forem registrados possam ser documentados.

O inspetor deve preparar um relatório que deve ser anexado aos demais documentos técnicos, incluindo relatórios anteriores. O relatório da inspeção deve conter informações sobre:

- a) a situação geral das MPS;
- b) qualquer alteração referente ao que consta na documentação técnica;
- c) o resultado dos ensaios efetuados.

5.2.5. Manutenção

Após a inspeção, todos os problemas observados devem ser corrigidos imediatamente. Se necessário, a documentação técnica deve ser atualizada.

Para a melhor observação das instruções supracitadas confeccionou-se as Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, constante no anexo 1 deste trabalho, que tem por finalidade facilitar o andamento da inspeção de maneira a certificar-se de que todos os itens foram observados.

5.2.6. Inspeção do BLOCO KLM

Conforme pode ser observado na inspeção do SPDA seguindo a Tabela 5.1 do anexo 1 deste trabalho, na inspeção realizada no dia 02 de abril de 2018, pelo aluno Reuelson Augusto de Carvalho Ferreira no bloco KLM da Universidade Federal da Paraíba, o sistema encontrava-se com algumas falhas, em desacordo com a norma 5419/2015.

O estabelecimento não possui projeto SPDA, tendo sido o mesmo instalado desnecessariamente, não foi encontrada fonte memorial de cálculo, nem qualquer laudo de medição de aterramento.

5.2.6.1. Sistema de captação

Observando o sistema de captação podemos observar que o mesmo não possui material radioativo, fato que não colocará em risco a população da redondeza por emissão radioativa se a estrutura for acometida de uma descarga atmosférica, conforme consta no item 5.2.1 da norma 5419/2015.

Existem captadores em cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas da fachada, em locais de difícil acesso, o que dificulta a vistoria e manutenção dos mesmos, conforme mostra a Figuras 5.1 e 5.2 existem dois dos três captadores em locais de difícil acesso que não facilita a proteção da estrutura de acordo com a sua geometria. Pode-se observar que as luzes de sinalização não estão funcionando.

Figura 5.1: Captor em local de difícil acesso



Figura 5.2: Captor em local de difícil acesso



A cobertura é feita de material não combustível (telha de fibrocimento). Deve-se ter cuidado para não deixar material combustível na cobertura, como resto de gasolina, óleo, etc. Os condutores do subsistema de captação não estão posicionados na superfície da coberta, não há malha de captação. Neste quesito a edificação obedece ao estabelecido no item 5.2.4 da norma NBR 5419/2015. Como recomendação deve-se evitar usar cobertura como depósito de materiais diversos.

O topo do edifício não está coberto por cabos formando uma malha com distância normalizada de acordo com a classe do SPDA. E ainda que houvesse não obedece a quantidade mínima de descida por captor que é de duas descidas. Portanto o quesito anexo 3 do item b da norma 5419/2105 não é obedecido. Se uma descida for comprometida a corrente não segue o percurso alternativo.

Os itens 5.2.2 da norma não se aplicam a esta edificação, pois não há malha, portanto não existe fixação espaçada de até 1m para condutores (cabos ou cordoalhas) na horizontal. Nem existe fixação espaçada de até 1,5m para condutores (cabos ou cordoalha) na vertical ou inclinado.

Se por algum motivo específico desejar-se colocar o SPDA na estrutura, por exemplo um SPDA de classe IV, que é o menor nível de proteção existente na norma, as descidas poderiam ser realizado utilizando a parte 3 da NBR 5419/2015.

Considerando um captor Franklin de altura 2 m (da base ao topo) para 12 descidas (o cálculo do número de descidas é explicitado no próximo subtópico) e um ângulo de proteção de 77° , temos o seguinte raio de proteção:

$$R_p = H_c * tg(\alpha) \quad (19)$$

Onde:

R_p – Raio de Proteção;

H_c – Altura do captor;

α – Ângulo de proteção.

Logo o raio de proteção é de 8,6 m. Os captores podem ser distribuídos conforme ilustrado nas Figuras 5.3 e 5.4, totalizando 10 captores. Vale salientar que a quantidade de captor pode ser reduzida com o aumento da altura da haste.

Figura 5.3: Distribuição de captores

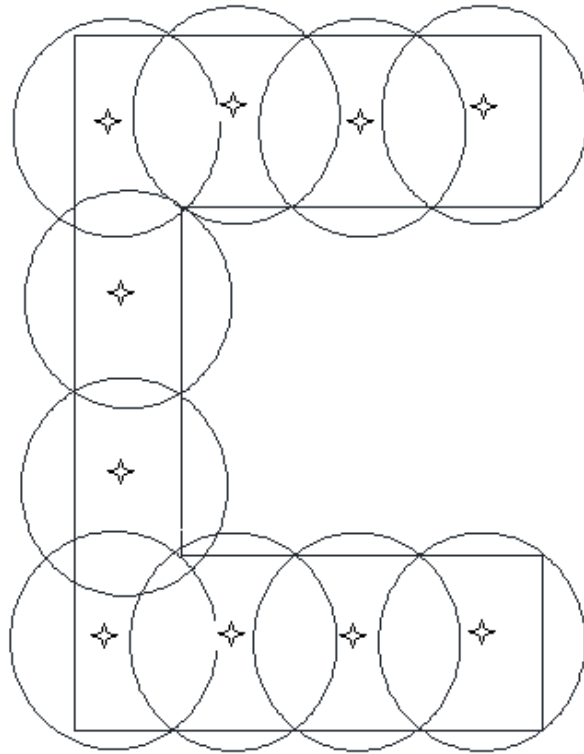
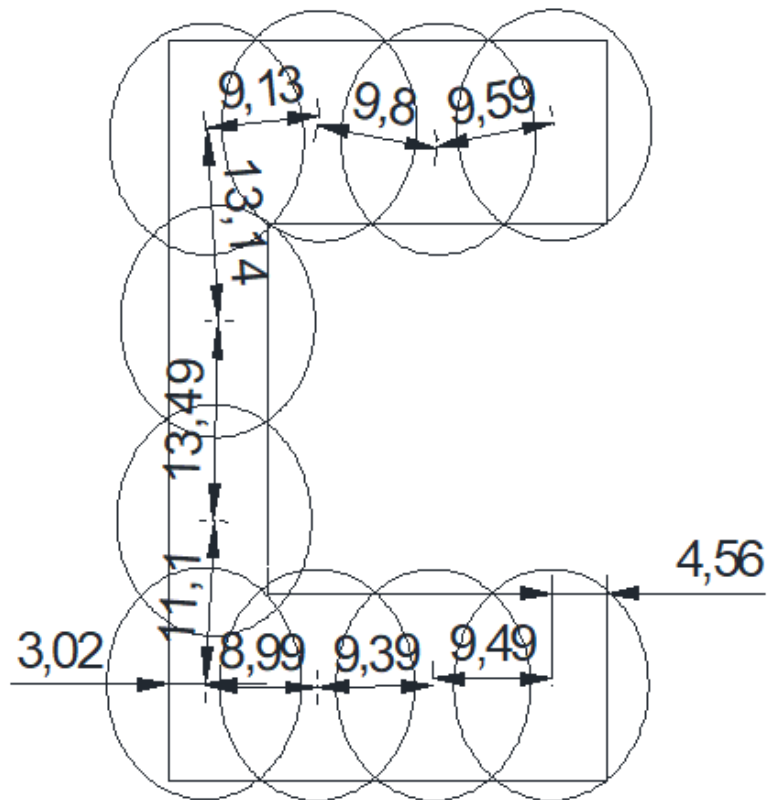


Figura 5.4: Distribuição de captores com distância entre eles



5.2.6.2. *Subsistema de descida*

Não existem caminhos paralelos para a corrente elétrica, há uma única descida por captor. Existe menor comprimento possível para a corrente elétrica, a corrente percorre o caminho mais curto e não necessita de interligações horizontais em intervalos entre 10 a 20 m de altura de acordo com a classe do SPDA (Tabela IV) do item 5.3.1 da norma 5419/2015. Portanto este item é parcialmente obedecido.

Não existe condutor suspenso em catenária, o número de condutores de descida por captor está em desacordo com o item 5.3.3 da NBR 5419/2015. Não deve ser inferior a dois, mesmo se a Tabela IV da norma não prever. Não existe condutor ou descida em cada canto saliente da estrutura (arestas).

Os condutores de descida estão instalados em linha reta e vertical oferecendo o caminho mais curto e retilíneo para a terra. A parede da superfície a ser protegida possui material combustível. Parede com revestimento cerâmico (ver Figura 5.5) e não existe parte na estrutura que possa ser usada como condutor natural, obedecendo assim os itens 5.3.4 e 5.3.5 da norma 5419/2015.

Figura 5.5: Descidas Retas e verticais e parede de cerâmica



Não existe conexão de ensaio em cada condutor de descida, isolado do solo e fechado em condições normais. Não possui caixa de ensaio e ela deveria está posicionada à altura sugerida de 1,5 m. Ver Figura 5.6.

Figura 5.6: Não existe caixa de ensaio



A inspeção foi realizada com ferramenta apropriada. Foram utilizados equipamentos aprovados pelo IMETRO (Instituto de Metrologia). Foram obedecidas as normas de segurança vigentes para a manutenção do mesmo.

Diante do exposto pode-se verificar a não compatibilidade com a NBR 5419/2015 das descidas do SPDA. Para a solução do problema pode-se adotar um número mínimo de descidas calculado a partir do perímetro que é da estrutura que é de 225 m e o espaçamento mínimo entre as descidas, que para o SPDA de classe IV é 20 m através da seguinte equação:

$$N_d = P/M \quad (20)$$

Onde:

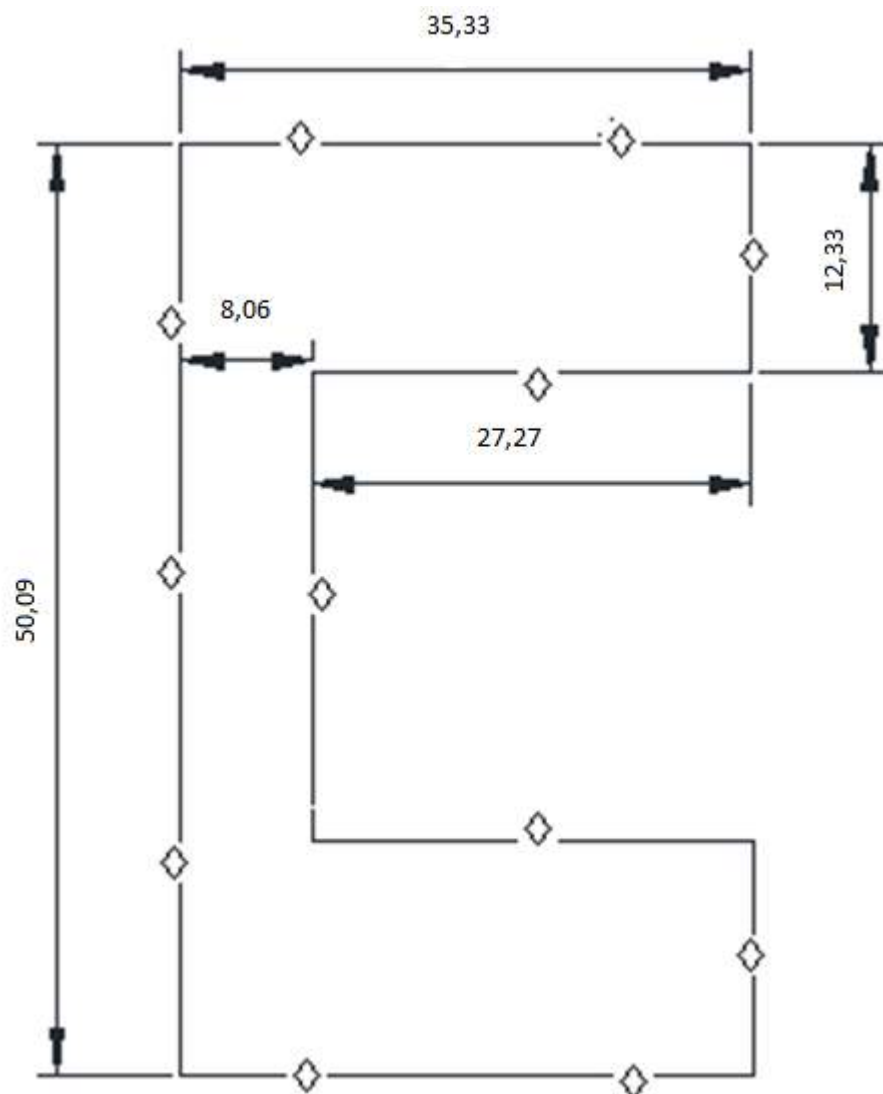
N_d – Número de descidas;

P – Perímetro da estrutura;

M – Espaçamento Mínimo entre as descidas;

De onde obtemos o número de descidas de 11,25. Como não pode existir esse número de descidas arredondamos para mais, o que nos dará um número mínimo de 12 descidas, que podem ser distribuídas conforme indicado nos losangos da Figura 5.7.

Figura 5.7: Distribuição do número mínimo de descidas



Deve ser observado a melhor maneira de dividi-los entre os 10 captosres do SPDA.

5.2.6.3. *Subsistema de Aterramento*

Por questões de equipotencialização é ideal que o sistema de aterramento seja único conforme o item 5.4.1 da NBR 5419/2015, fator que não é observado pois existem três sistemas de aterramentos independentes entre si. Não foi adotado medidas para evitar corrosão das conexões entre cabo e eletrodo de aterramento (massa de calafetar). Quanto melhor a manutenção, maior a vida útil do sistema. Ver Figuras 5.8 e 5.9.

Figura 5.8: Cabo exposto e conector sem massa de calafetar



Figura 5.9: Cabo exposto não aterrado



O subsistema de aterramento não utilizou as armaduras das fundações, pois este é um tipo de procedimentos que é mais utilizado em estruturas de torres de telecomunicação. Não existe um condutor em anel, externo a estrutura a ser protegida, em contato com o solo no mínimo 80% do seu comprimento total de malha. Estas questões estão propostas no item 5.4.2 e não são observadas nesta edificação.

Os eletrodos em anéis não estão a aproximadamente 1 m das paredes externas (Ver Figura 5.10). E existem caixas de inspeção para os eletrodos de aterramento, porém em condições precárias (Ver Figura 5.11), sem a devida limpeza periódica, desobedecendo assim o item 5.4.3 da NBR 5419/2105.

Figura 5.10: Caixa de aterramento a menos de 1 m da parede



Figura 5.11: Caixa de Aterramento em condições precárias



Os condutores de descidas são de no mínimo 35 mm² (cobre nu), no caso foi utilizado um condutor de cobre 50 mm², obedecendo o item 5.6.2 da norma NBR 5419/2015, porém não há malha em anel de aterramento bem definida.

Não existe Dispositivo de Proteção contra Surto (DPS) no QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão). É muito importante a utilização de DPS para proteção contra surto de tensão. Principalmente porque existe uma linha de 13,8 KV próximo a estrutura. Como pode ser observado nas Figuras 5.12 e 5.13 não existe DPS e nem barramento de equipotencialização para a edificação.

Figura 5.12: Quadro sem DPS e sem equipotencialização



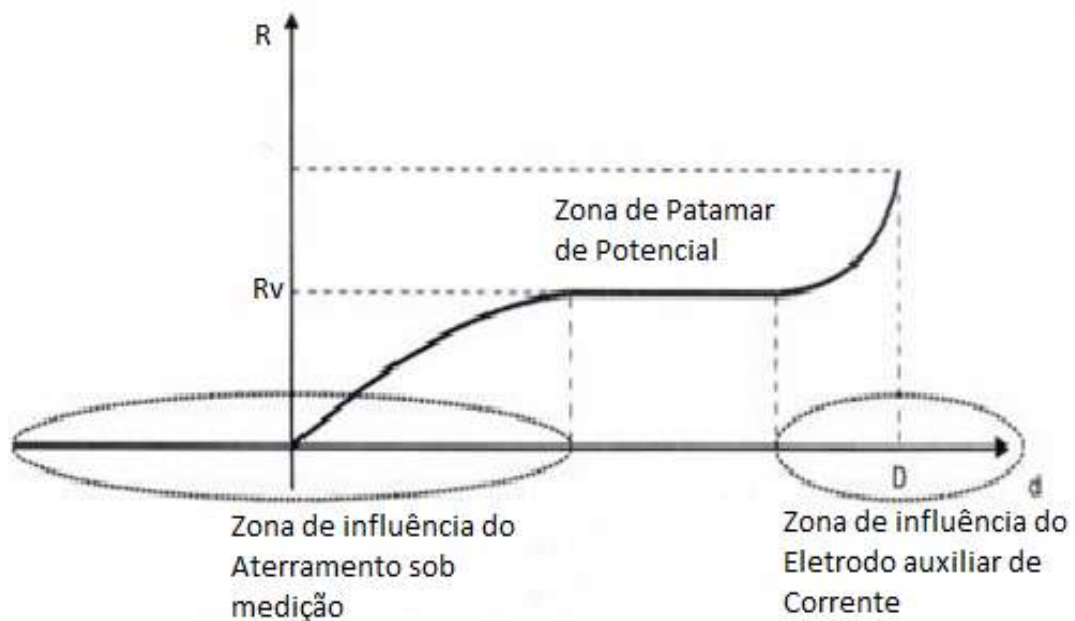
Figura 5.13: Quadro sem DPS e sem barramento de equipotencialização



5.2.6.4. Medição do Aterramento

Para a medição do aterramento utilizou-se um terrômetro de três condutores e o método encontrado na norma NBR 15749/2009 de queda de potencial, para a aplicação do mesmo deve-se estabelecer a distância entre as hastes para que se atinja a região de patamar da curva de aterramento do solo, conforme mostra a Figura 5.14.

Figura 5.14: Curva de Resistência de Aterramento

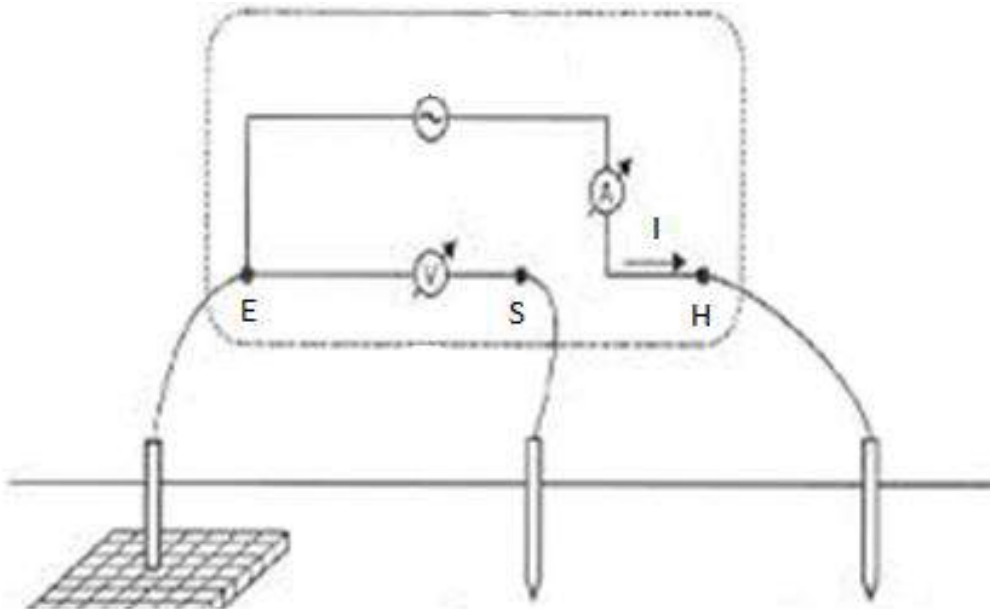


R – Resistência variando conforme a distância do eletrodo de corrente

R_v – Resistência Verdadeira

Para realizar as medidas deve-se adotar os seguintes procedimentos, fixar a haste de corrente do terrômetro a uma distância D e a haste de potencial a 62% de D e verificar a resistência medida no terrômetro, conforme ilustrado na Figura 5.15 e logo após variar a distância da haste de potencial 5% de D para a direita e verificar a resistência e 5% de D para a esquerda e novamente verificar a resistência de aterramento medida no terrômetro. Se obedecido o critério estabelecido na norma, que estabelece a região de patamar, basta fazer a média aritmética e temos o aterramento para aquela malha [8].

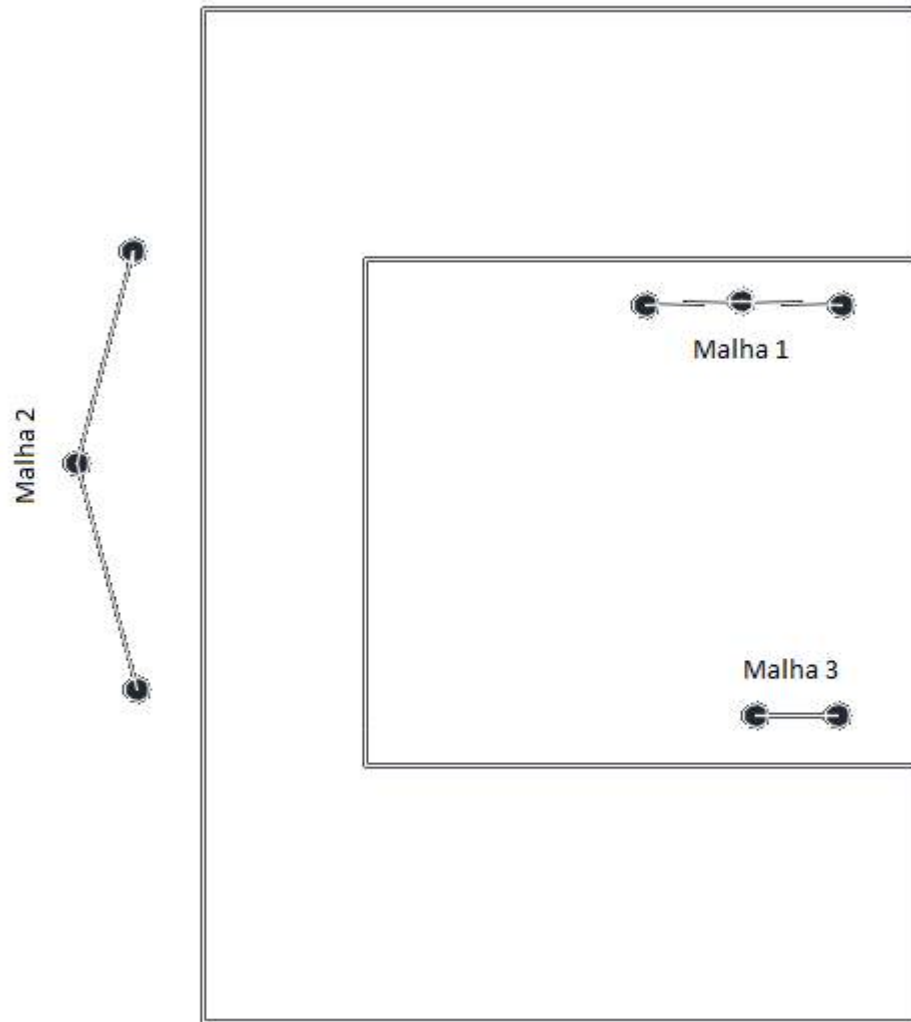
Figura 5.15: Posicionamento de Hastes em medição de Aterramento



Para certificar-se de que a medição está na região de patamar, primeiramente a haste de corrente deve estar a uma distância D de pelo menos três vezes a maior dimensão deste sistema. No entanto, devem ser feitas verificações, depois de mudado a posição do eletrodo de potencial, se as medidas não ultrapassam variações acima de 10% [8].

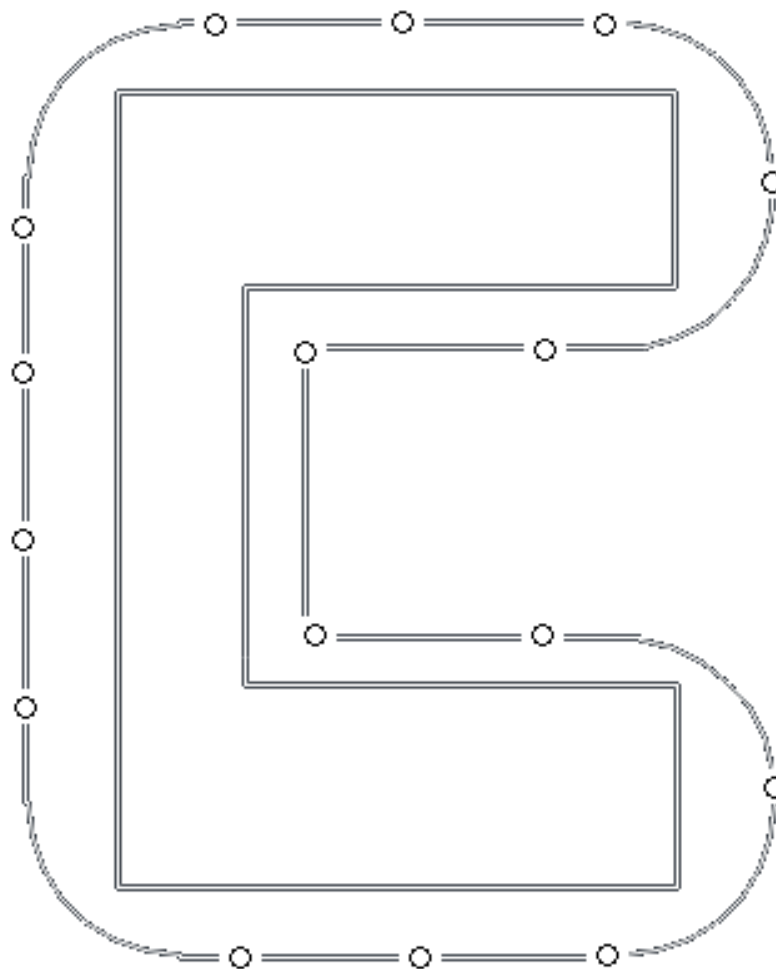
Realizado este procedimento encontramos, conforme Figura 5.16, para a malha de aterramento 1, a medida de 42 Ohms, na malha de aterramento 2 a medida de 23,6 Ohms e para a malha de aterramento 3 a medida de 38,3 Ohms para a primeira medição, 37 Ohms para a segunda medição e 40 Ohms para a terceira medição o que traz uma média de 38,43 Ohms que é um valor acima do requerido pela norma. Foi tomada uma distância (da haste de aterramento para a haste de corrente) que é três vezes maior que a maior distância do subsistema de aterramento.

Figura 5.16: Localização das malhas de aterramento



Diante das medições acima verificamos que o subsistema de aterramento não obedece ao critério convencional de resistência de aterramento abaixo de 10 Ohms. A distribuição das malhas não está tomando a maior distância possível entre as hastes ao redor da edificação. E não há o fechamento da malha de aterramento para que ela se torne uma única malha, o que melhoraria bastante o aterramento. Como proposta de melhoria deste sistema pode-se adotar a seguinte geometria de malha única com 16 hastes de 2m, conforme mostrada na Figura 5.17.

Figura 5.17: Aterramento proposto com malha única



Esta proposta de possuir raio de no mínimo 5 m para obedecer a norma 5419/2015 para o anel de aterramento de um SPDA classe 4. Pode-se colocar as hastes no local mais adequado desde que este critério e os critérios de equipotencialização.

5.3. CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentou-se os resultados obtidos da inspeção do SPDA do bloco KLM do Centro de Tecnologia. Observou-se que o SPDA instalado teve vários critérios que não atenderam as especificações da NBR 5419/2015. Dentre as principais não conformidades pode-se destacar que a quantidade de captosres não protegem a edificação. Utilizando o método de Franklin e captosres em 2 m de altura

seria necessários um total de 10 captos uniformemente distribuídos no telhado da edificação. Por fim, observou-se que o sistema de aterramento não atende as especificações na norma, pois foram feitos de maneira independentes, quando na verdade o ideal seria em anel e com os ensaios realizados observou-se que a resistência de aterramento está bem acima do definido pela norma.

6. CONCLUSÃO

Conforme, a realização da inspeção no sistema de SPDA do prédio pode-se verificar várias falhas, bem como foram sugeridas algumas soluções viáveis para serem aplicadas. Pode-se verificar que a inserção de medidas desnecessárias acarretou um gasto desnecessário para a universidade. A correta utilização da norma 5419/2015 implica em uma melhor proteção da estrutura contra descargas atmosféricas, uma minimização dos custos das obras, proteção de sistemas elétricos internos e o que é mais importante a ser notado é a preservação da vida humana que foi bem evidenciado quando tratado sobre a análise de riscos realizada no capítulo quatro.

Considerando o desgaste do material utilizado é importante ressaltar a extrema importância das vistorias anuais em estruturas com SPDA instalado, pois na medida em que os materiais utilizados vão se deteriorando a capacidade de proteção é diminuída ou até mesmo extinta. Sendo de extrema importância o conhecimento dos assuntos explorados neste trabalho, não somente por parte de Engenheiro Civis e Eletricistas que tem competência legais para a confecção de projetos de SPDA, mas também para os profissionais do Corpo de Bombeiros que são responsáveis pela fiscalização do SPDA das edificações anualmente. Se esses serviços forem bem realizados toda a população será beneficiada, pois em alguma ocorrência com edificações que possuem SPDA será diminuído os riscos que os bombeiros enfrentarão, bem como os riscos as pessoas envolvidas na ocorrência e o Engenheiro responsável não enfrentará problemas judiciais por algum eventual erro de projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. POTIER, GUIDO; GAZZANA, DANIEL; DIAS, GUILHERME; SILVA, LEVI; TELLÓ, MARCOS. **Física dos Raios & Engenharia de Proteção**: 2º edição. EDIPUCRS;
2. OSMAR PINTO JR, IARA R. C.A. Pinto. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. INPE, São José dos Campos, 2000
3. FILHO, JOÃO MAMEDE. **Instalações Elétricas Industriais**: 9º edição. LTC.
4. COTRIM, A. A. M. D. **Instalações Elétricas**: 6º edição. Pearson.
5. ABNT NBR 5419, **Sistema de Proteção de Descargas Atmosféricas**, 2015;
6. JOÃO BATISTA JOSÉ PEREIRA, **Modelagem de Incertezas em Sistemas de Aterramento Elétricos** Tese de doutorado em Engenharia Elétrica, 2008, UnB, Brasília, 2008;
7. FELIPE RIBEIRO PARENTE GARCIA, **Análise dos potenciais elétricos e avaliação dos riscos relacionados às tensões de toque e de passo devidos à incidência de uma descarga atmosférica em uma edificação**, Trabalho de Conclusão de Curso, UFCE, Fortaleza, 2016;
8. ABNT NBR 15749, **Medição de Resistência de Aterramento e de Potências na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento**, 2009.
9. TUPAN 5 Versão 2.0. [S.N.]: Dr. Hélio E. Sueta - USP, 2016. Identificação Programa: 2488, Chave do Programa: 2388.

ANEXOS

- **DADOS INICIAIS DA INSPEÇÃO**

Tabela 5.1: Dados Iniciais da Inspeção

| | | |
|--|-----------------------------|-----------|
| Proprietário | UFPB | |
| Responsável Técnico | Reuelson | |
| Registro CREA | | |
| Endereço da Instalação | | |
| Local | UFPB | |
| Data da Vistoria | 15/11/2017 | |
| O estabelecimento possui projeto de SPDA? | Sim () | Não (X) |
| Nível de Proteção? | I () II () III () IV () | |
| Existe Memorial de Cálculo? | Sim () | Não (X) |
| Desenho em escala/Projeto? | Sim () | Não (X) |
| Laudo de Medição de resistência do subsistema de aterramento? | Sim () | Não (X) |
| Data da emissão do laudo? | Sim () | Não (X) |
| Qual instrumento utilizado na medição? | | |
| O Laudo atende a NBR 5419/2015? | Sim (X) | Não () |
| Comprovação dos dados apresentados (Desenhos/Fotografias)? | Sim () | Não () |
| Coleta de dados técnicos para embasamento e comparação dos dados apresentados na documentação técnica? | Sim () | Não () |

• **SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO (NBR 5419/2015 - Parte III)**

Tabela 5.2: Checklist do subsistema de Captação

| ITEM NBR 5419/2015 | DESCRIÇÃO DO ITEM | SIM | NÃO | OBSERVAÇÃO | RECOMENDAÇÕES |
|--------------------|--|-----|-----|--|--|
| 5.2.1. | Os captorees possuem material radioativo? | | X | | |
| 5.2.2. | Existem captorees em cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas da fachada? | X | | Os captorees encontram-se em local de difícil acesso para inspeção. Figura 7 e 8. | Deve-se colocar os captorees em locais de fácil manutenção. |
| 5.2.4. | A cobertura é feita de material não combustível? | X | | Deve-se ter cuidado para não deixar material combustível na cobertura. | Evitar usar cobertura como depósito de materiais diversos. |
| 5.2.4. | Os condutores do subsistema de captação estão posicionados na superfície da coberta? | | X | Não há malha | |
| Anexo A3 Item b | O topo do edifício está coberto por cabos formando uma malha com distância normalizada de acordo com a classe do SPDA? | | X | Mesmo que houvesse alguma classe de SPDA, as quantidades de descidas não estavam de acordo. | Deve-se ter no mínimo 2 descidas por captorees conforme classe do SPDA. |
| Anexo A3 Item c | O subsistema de captação possui no mínimo duas rotas distintas para o subsistema | | X | O número de descidas deve ser adequado para a correta distribuição da corrente de descarga atmosférica | Se uma descida for comprometida a corrente segue o percurso alternativo. |

| | | | | | |
|------------------|--|--|---|--------------|--|
| | de aterramento? | | | | |
| 5.5.2. Item a | Existe fixação espaçada de até 1m para condutores (cabos ou cordoalhas) na horizontal? | | X | Não há malha | |
| 5.5.2. Item b | Existe fixação espaçada de até 1,5m para condutores (cabos ou cordoalha) na vertical ou inclinado? | | X | Não há malha | |

SUBSISTEMA DE DESCIDA (NBR 5419/2015 - Parte III)

Tabela 5.3: Checklist do subsistema de descida

| ITEM NBR 5419/2015 | DESCRIÇÃO | SIM | NÃO | OBSERVAÇÃO | RECOMENDAÇÕES |
|--------------------|--|-----|-----|---|-------------------------------------|
| 5.3.1. Item a | Existem caminhos paralelos para a corrente elétrica? | | X | Há uma única descida por captor | |
| 5.3... Item b | Existe menor comprimento possível para a corrente elétrica? | X | | A corrente percorre o caminho mais curto. | |
| 5.3.1. | Existem interligações horizontais em intervalos entre 10 á 20m de altura de acordo com a classe do SPDA (Tabela IV)? | | X | Não necessita devido a baixa altura da edificação | |
| 5.3.2. Item a | Para cada mastro separado existe pelo menos um condutor de descida? | X | | | |
| 5.3.2. Item b | Existe condutor suspenso em catenária? | | X | | |
| 5.3.3. | O número de condutores de descida está em acordo com a classe do SPDA (Tabela IV)? | | X | Não deve ser inferior a dois. Mesmo se a Tabela IV da norma não prever. | Nos demais casos observar tabela IV |
| 5.3.3. | Existe condutor ou descida em cada canto saliente da estrutura (arestas)? | | X | | |
| 5.3.4. | Os condutores de descida estão instalados em linha reta e vertical oferecendo o | X | | Ver Figura 20. | |

| | | | | | |
|--------|---|---|---|--|---|
| | caminho mais curto e retilíneo para a terra? | | | | |
| 5.3.4. | A parede da superfície a ser protegida possui material combustível? | | X | Parede com revestimento cerâmico. Ver Figura 20 | |
| 5.3.5. | Existe parte da estrutura que pode ser considerado condutor natural de descida? | | X | | |
| 5.3.6. | Existe conexão de ensaio em cada condutor de descida, isolado do solo e fechado em condições normais? | | X | Não possui caixa de ensaio. Ver Figura 21. | Ela deveria está posicionada à altura sugerida de 1,5 m |
| 5.3 | A inspeção foi realizada com ferramenta apropriado? | X | | Deve-se ser utilizados equipamentos aprovados pelo IMETRO. | Deve-se obedecer às normas de segurança vigentes para a manutenção do mesmo |
| 5.5.3. | Existe conexão de ensaio aproximadamente 1,5 m do solo? | | X | | |

SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO (NBR 5419/2015 - Parte III)

Tabela 5.4: Checklist do subsistema de aterramento

| ITEM NBR 5419/2015 | DESCRIÇÃO | SIM | NÃO | OBSERVAÇÃO | RECOMENDAÇÕES |
|--------------------|---|-----|-----|--|--|
| 5.4.1. | O subsistema de aterramento é único para SPDA, sistema de energia elétrica e sinal (telecomunicações, TV a cabo, dados e etc.)? | | X | Ver Figura 11 | O ideal é que seja um só o sistema de aterramento para todos por questões de equipotencialização |
| 5.4.1. | Foi adotado medidas para evitar corrosão das conexões entre cabo e eletrodo de aterramento (massa de calafetar)? | | X | Não há massa de calafetar em nenhum ponto de aterramento. Ver Figuras 22 e 23. | Quanto melhor a manutenção, maior a vida útil do sistema. |
| 5.4.2. | O subsistema de aterramento utilizou as armaduras das fundações? | | X | Geralmente feito em torres de telecomunicações | |
| 5.4.2. | Existe um condutor em anel, externo a estrutura a ser protegida, em contato com o solo no mínimo 80% do seu comprimento total de malha? | | X | | |
| 5.4.3. | Os eletrodos em anéis estão a aproximadamente 1 m das paredes externas? | | X | Ver figuras 24 e 25. | |
| 5.4.3. | Existem caixas de inspeção para os eletrodos de aterramento? | X | | Existem, mas em condições precárias quanto à integridade e limpeza | |
| 5.6.2. | Os condutores de descidas são de no mínimo 35 mm ² (cobre nu)? | X | | | |

| | | | | | |
|----------|--|--|---|---|--|
| 5.6.2 | Os condutores do subsistema de aterramento em anel são de 50 mm ² ? | | X | Não há malha em anel. | |
| 6.2.1.2. | Existe Dispositivo de Proteção contra Surto (DPS) no QGBT? | | X | É muito importante a utilização de DPS para proteção contra surto de tensão. Ver Figuras 16 e 17. | Principalmente porque existe uma linha de 13,8 KV próximo a estrutura. |
| 6.2.1.3. | O DPS está instalado em locais de fácil acesso à inspeção? | | X | | |