

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

FILIPTE TEIXEIRA

**APLICAÇÃO DA NORMA NBR 5419 PARA A PROTEÇÃO DE ESTRUTURA DE
UMA DESTILARIA DE ÁLCOOL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020

FILIPTE TEIXEIRA

**APLICAÇÃO DA NORMA NBR 5419 PARA A PROTEÇÃO DE ESTRUTURA DE
UMA DESTILARIA DE ÁLCOOL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 1, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento de
Engenharia Elétrica Curso
de Engenharia Elétrica**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Filipe Teixeira

Aplicação da norma NBR 5419 para proteção de estrutura de uma destilaria de álcool

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 15:00hs do dia 25/11/2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - Presidente
(Orientador)

Prof(a). Esp. José Roberto Shimazaki - (Coorientador)

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto -
(Membro)

Prof(a). Esp. Eduardo Heinemann - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

AGRADECIMENTOS

O meu maior obrigado a minha família. Também agradeço a todos que influenciaram de forma construtiva o privilégio de eu cursar uma universidade com ensino de qualidade, meus maiores agradecimentos aos professores Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges, e aos membros de toda a minha graduação por sua terem uma enorme paciência e dedicação profissional. Obrigado a todos os outros que estiveram envolvidos direta ou indiretamente para a minha vida acadêmica.

TEIXEIRA, Filipe. **Aplicação da norma NBR 5419 para proteção da estrutura de uma destilaria de álcool**. 2019. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2019.

RESUMO

O trabalho apresenta uma avaliação de conformidades das instalações de sistemas de proteções contra descargas atmosféricas e aterramento em relação às normas brasileiras. A metodologia usada através de avaliações, por meio de vistorias, de modo que seja possível identificar falhas e conformidades nas instalações em uma destilaria de álcool aos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas da indústria. Para a efetiva inspeção, é necessário, antecipadamente, um estudo aprofundado da norma NBR 5419. Como sua importância não só da segurança das pessoas que ali estão diariamente, sendo trabalhadores locais ou visitantes que estão nas proximidades e no interior da destilaria, bem como de seus equipamentos, é indispensável à inspeção periódica em tais instalações, observando seu estado de conservação e adequações perante a norma brasileira, com intuito de apresentar as irregularidades, suas consequências, e por fim, promover recomendações e propostas de adequação, visando um custo/benefício, com a finalidade de evitar a ocorrência de acidentes nessas instalações.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas. Sistemas de proteção. Normas de segurança. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

The work presents an evaluation of the conformity of the installations of protection systems against lightning and grounding in relation to Brazilian standards. Using a methodology that through evaluations through surveys, so that it is possible to identify flaws and conformities and in the installations in an alcohol distillery, to the systems of protection against atmospheric discharges of the industry. For effective inspection, it is necessary, in advance, a thorough study of the NBR 5419 standard. As its importance is not only the safety of the people who are there daily, being local workers or visitors who are in and around the distillery, as well as equipment, it is indispensable to periodically inspect such facilities, observing their state of conservation and adaptations to the Brazilian standard, in order to present irregularities, their consequences, and finally, promote recommendations and proposals for adaptation, aiming at a cost / benefit ratio , in order to avoid the occurrence of accidents in these facilities.

Keywords: Atmospheric discharges. Protection systems. Safety rules. Economic viability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico das fatalidades em acidentes com descargas atmosféricas.....	17
Figura 2: Arvore de danos.....	18
Figura 3: Fluxograma para avaliação da necessidade de proteção.....	21
Figura 4: Pontos de incidência de descargas atmosféricas nuvem/solo.....	24
Figura 5: Caracterização elétrica da tensão de toque.....	25
Figura 6: Caraterização elétrica da tensão de passo.....	25
Figura 7: Conexão entre as partes da NBR 5419/2015.....	27
Figura 8: SPDA tipo gaiola de Faraday.....	29
Figura 9: Foto de satélite da destilaria Momesso.....	32
Figura 10: Transformador de entrada da destilaria.....	33
Figura 11: Foto das dornas de armazenagem.....	34
Figura 12: Foto da destilaria Momesso.....	35
Figura 13: Moenda, destilação e geração de energia da destilaria.....	37
Figura 14: Representação das dornas de armazenagem.....	39
Figura 15: Chapas de ferro na estrutura das dornas de armazenamento.....	42
Figura 16: Terrômetro Instrum analógico.....	45
Figura 17: Haste de cobre do terômetro fixas no solo.....	46
Figura 18: SPDA em uma torre de destilação de gás.....	48

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Componentes de risco considerados para cada tipo de risco.....	20
Tabela 2: Valores típicos para riscos toleráveis.....	21
Tabela 3: Valores dos parâmetros dos métodos de proteção.....	27
Tabela 4: Ângulo de proteção α ($^{\circ}$) para diferentes classes de SPDA e alturas.....	28
Tabela 5: Parâmetros da estrutura de moenda, destilação e geração.....	36
Tabela 6: Características da estrutura de moenda, destilação e geração.....	37
Tabela 7: Parâmetros da dorna A.....	39
Tabela 8: Parâmetros da dorna B.....	39
Tabela 9: Parâmetros da dorna C.....	40
Tabela 10: Parâmetros da dorna D.....	40
Tabela 11: Parâmetros da dorna E e F.....	40
Tabela 12: Características das dornas de armazenamento.....	40
Tabela 13: Parâmetros característicos do escritório de administração.....	43
Tabela 14: Características da estrutura do escritório de administração.....	43

LISTA DE SIGLAS

NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ABNT	Agencia Nacional de Normas Técnicas
RINDAT	Rede integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
DDP	Diferença de Potencial
DPS	Dispositivos de Proteção Contra Surtos

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Problematização.....	11
2.	JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	11
2.1	Delimitação do tema.....	12
3.	OBJETIVOS.....	13
3.1	Objetivos gerais.....	13
3.2	Objetivos específicos.....	13
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	14
4.1	Descargas atmosféricas.....	14
4.1.1	Tensões induzidas.....	16
4.1.2	Tipos de acoplamentos: indutivo, capacitivo e resistivo.....	16
4.2	Danos e acidentes relacionados às descargas atmosféricas nuvem-solo.....	17
4.2.1	Efeito de raios em edificações.....	17
4.3	Gerenciamento e avaliações de risco.....	19
4.4	Tipos de descarga atmosféricas.....	23
4.4.1	Descargas diretas.....	23
4.4.2	Descargas indiretas.....	23
4.5	Tensão de toque e tensão de passo.....	24
4.6	NBR 5419.....	25
5.	MÉTODOS DO PROJETO DOS SPDA.....	27
5.1	Método de Franklin.....	28
5.2	Método da gaiola de Faraday.....	28
5.3	Método da esfera rolante.....	29
6.	ESTUDO DE CASO.....	30
6.1	Características da indústria.....	30
6.2	Densidade de descargas atmosféricas.....	32
6.2.1	Instalações da destilaria.....	34
6.3	Medidas de proteção necessárias na destilaria.....	35
6.4	Métodos do projeto do SPDA e de aterramento.....	43
6.4.1	Aterramentos necessários nas edificações.....	44
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
8.	REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno natural das descargas elétricas, popularmente conhecido como raios, são os acúmulos de cargas elétricas entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens. O vasto território brasileiro é atingido por mais de 77 milhões de descargas atmosféricas por ano, sendo um dos países com maior incidência no mundo, de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2018). Essas descargas atmosféricas causam acidentes, danos imprevisíveis, perdas de serviços públicos e privados e também podem danificar o patrimônio cultural, gerando, assim, uma perda significativa de valor econômico. Além das questões financeiras, as referidas ainda podem ser o motivo de perdas humanas, pois cerca de 500 pessoas morrem por ano devido às descargas elétricas.

Para tentar amenizar os problemas que as descargas atmosféricas podem causar, foram criados e implantados alguns sistemas de proteção: os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e os dispositivos de proteção contra surtos e para-raios de linha de alta, média e baixa tensão (DPS). Esses são alguns métodos adotados para conter alguns dos efeitos causados e, de acordo com os padrões estabelecidos pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade, esses equipamentos têm como finalidade a avaliação e implementação de um sistema de proteção adequada.

Como exemplo, cita-se um edifício protegido com SPDA, pois quando as descargas atingem o imóvel elas percorrem o sistema de proteção, atingem o cabeamento e seguem até atingir o solo, sem prejuízos. Sem o sistema de proteção ou sem uma instalação adequada, a descarga atmosférica poderia danificar toda a instalação elétrica e, em casos mais graves, poderia danificar as estruturas do prédio.

Para que danos e prejuízos sejam evitados em situações com descargas atmosféricas, é necessária a monitoração dos sistemas de proteção contra o referido fenômeno, bem como a instalação de outros métodos de proteção. Todos esses sistemas de prevenção devem seguir rigorosamente as instruções da NBR-5419, atualizada em 22/5/2015, a qual refere-se às instalações de SPDA em estruturas.

1.1 Problematização

Os problemas com descargas atmosféricas são uma realidade, principalmente nas zonas rurais, e causam danos em ativos no geral. Essas situações fazem com que a instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas em estruturas sejam cruciais para evita danos e prejuízos. A ABNT toma como parâmetro a norma NBR 5419, seguindo todos padrões previstos pela mesma.

Realizada uma breve análise dos vários sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e também medidas de proteção contra surtos (MPS), é notável uma discrepância com a atual realidade da norma NBR 5419, a qual sofreu uma atualização no ano de 2015 e uma errata em 2018, visto que não atendem as adequações que a norma exige. No entanto, a instalação adequada e as mudanças necessárias não são sempre uma realidade dentro de muitos sistemas de proteções, sendo necessária uma atualização, quando necessário.

Essa falta de melhorias pode provocar de alguma forma danos a equipamentos ou zonas de proteção, sendo esperado que depois de feita as adequações previstas e necessárias, os danos ou efeitos causados pelas descargas atmosféricas sejam minimizados ou, até mesmo, anulados.

Tomando como objeto de estudo de caso uma destilaria, a qual se encontra em uma região de clima tropical e sujeita a chuvas intensas e descargas atmosféricas, pode-se observar uma análise dos sistemas de proteções em suas instalações. Para tal, o estudo foi dividido em setores da empresa, moenda, destilaria, geração de energia e armazenagem de produto final. O sistema de proteção, bem como os materiais utilizados, deve estar de acordo com os padrões de normas exigidas pela ABNT, isto é, a norma NBR 5419.

2. JUSTIFICATIVA DO TEMA

Observando que as incidências das descargas atmosféricas no

território brasileiro é frequente, é de grande importância ter um cuidado específico com as estruturas em zonas rurais, como o modo de instalação e se o sistema de proteção se encontra dentro dos parâmetros exigidos pela ABNT, dentro da norma NBR 5419, e seguindo padrões determinados pela mesma.

Quando feita uma análise dos SPDA e também as medidas de proteção contra surtos, os MPS, é comum encontrar sistemas fora da respectiva norma, devido a sua atualização feita no ano de 2015, e com isso sistemas de proteções que foram instalados antes desse ano, se encontram fora da norma brasileira. Outro fator comum na zona rural é a falta de sistemas de proteções, deixando estrutura e equipamentos totalmente desprotegidos, além de oferecem risco as pessoas que trabalham ou moram perto dessas estruturas.

Para dar veracidade a essa afirmação, foi realizado um estudo de caso, em uma destilaria de álcool, localizada na zona rural da cidade de Mineiros do Tiete, interior de São Paulo, o qual terá como intuito analisar as estruturas e os sistemas de proteções que estão presentes e se faltam adequações para que a NBR 5419 seja cumprida, ou ainda se existe qualquer implementação de sistemas de proteções contra descargas atmosféricas para que os danos ou efeitos possam causar sejam minimizados.

2.1 Delimitação do tema

Com a falta de instalação ou até mesmo a falta de atualização dos sistemas de proteção contra as descargas atmosféricas já instalados nas estruturas, em relação à NBR 5419, existe um grande risco de acidentes ou danos provocados pelas descargas atmosféricas.

A destilaria se encontra em um local propício para a ocorrência do fenômeno, e, sendo assim fica sujeita a ter danos irreparáveis, tanto quanto relacionados às estruturas e equipamentos, e também vidas humanas, que correm risco quando ali presentes. Assim, é de grande importância o estudo mais criterioso das medidas de prevenção contra as descargas atmosféricas.

Feita uma análise comparativa dos equipamentos presentes e sistemas que podem ser danificados por uma descarga atmosférica, e realizado um levantamento referente a segurança das pessoas e integridade dos bens

para um estudo de caso, entende-se que os sistemas de proteções existentes são falhos ou tem necessidade de atualização.

Como a destilaria tem três áreas, uma destinada para armazenagem de álcool em grandes dornas, a área de moenda e destilação, e por fim, mas não menos importante, a área de geração de energia elétrica, é necessário que tenha um sistema de proteção bastante eficiente, para evitar acidente e grandes prejuízos, sejam humanos ou econômicos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

O trabalho relacionado ao estudo de caso em uma destilaria de álcool tem como objetivo apresentar e realizar uma análise nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas existentes e/ou ausentes no projeto, com enfoque em gerenciamento de riscos e impacto econômico no desenvolvimento de um sistema de proteção adequado.

Ressalta-se, como destaque, certos pontos que necessitam de um estudo mais aprofundado e específico, como ter uma referência bibliográfica sobre as normas brasileiras, mais especificamente da norma NBR 5419, assim como artigos referentes a descargas atmosféricas e acidentes dentro de áreas rurais e em destilarias de álcool.

3.2 Objetivos específicos

É necessária a inspeção dos sistemas presentes ou não no projeto e a possibilidade da execução dos mesmos, sendo realizada uma análise para observar se os mesmos se encontram dentro da norma NBR 5419, visando as atualizações e de acordo com as conformidades necessárias.

Deverá ser feita uma medição da resistência de aterramento do sistema de proteção com um terrômetro, para saber a resistência do solo para receber descargas elétricas. Com isso, realizar um projeto revisado dos sistemas de proteção de acordo com as normas vigentes, relatando a importância e o quão perigoso é sua falta, sem falar da viabilidade econômica para a destilaria de álcool em caso de algum acidente ou dano provocado pela descarga atmosférica.

Como destaques se têm os seguintes pontos desse trabalho como objetivos específicos:

- Realizar um estudo de textos referentes às normas brasileiras, e artigos relacionados a descargas atmosféricas, e seus principais sistemas e métodos de proteções aplicadas às estruturas destinadas a destilarias de álcool.
- Realizar uma inspeção dos sistemas de proteções já existentes no projeto da destilaria e relatar as necessidades do sistema atual a fim de que estejam de acordo com as conformidades das normas brasileiras regulamentadoras.
- Fazer medições de resistência de aterramento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas existentes na destilaria.
- Elaborar um projeto revisado dos sistemas de acordo com as normas vigentes.
- Relatar a importância do gerenciamento de risco na elaboração do projeto dos sistemas e aplicar onde estão ausentes.
- Analisar e demonstrar um possível impacto econômico e social que a falta de conformidade dos sistemas com as normas vigentes pode causar e também os benefícios que a instalação das medidas protetivas para a destilaria.

4.FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA

4.1 Descargas atmosféricas

Fenômeno natural de alto poder destrutivo e totalmente imprevisível, as descargas atmosféricas causam um grande medo, mas também uma grande

curiosidade nos homens.

Essa curiosidade desencadeou vários tipos de pesquisas, entre elas, sobre algumas proteções e equipamentos. De acordo com RINDAT (2016) “as descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão (atingindo quilômetros de extensão), que se expressam pelo fluxo de uma corrente impulsiva de alta intensidade e curta duração”.

As descargas atmosféricas ou raios como são conhecidos popularmente, são formadas a partir de um acúmulo de cargas elétricas geradas pela fricção entre as partículas de água, que então formam as nuvens, as quais são denominadas formalmente de Cumulonimbis (uma nuvem com grande desenvolvimento vertical). Quando estudado e analisado foi verificado que na maioria dos fenômenos atmosféricos as cargas elétricas positivas ocupam a parte superior da nuvem e as cargas elétricas negativas se posicionam na parte inferior da mesma, gerando, assim, uma intensa migração de cargas elétricas positivas na superfície da terra para a área correspondente a localização da nuvem.

A grande concentração de cargas elétricas positivas e negativas em uma determinada região cria uma diferença de potencial (DDP). Essas diferenças ocorrem entre nuvens ou entre as nuvens e o solo e, como consequência desse fenômeno, cria-se um campo elétrico que passa por todo o espaço envolvido.

Segundo Mamede Filho (2011, p.608) “esse campo elétrico que as cargas produzem quebra uma capacidade isolante do ar, também conhecida como rigidez dielétrica, cerca de 1kV/mm, em um dado local na atmosfera se quebra essa rigidez”.

Já de acordo com (RINDAT, 2016) “com o rápido movimento das cargas das regiões de cargas negativas para as de cargas positivas, iniciando uma formação de um canal ionizado de plasma, que é determinado canal precursor de descarga”.

Quando um canal positivo atinge uma distância limite ocorre à descarga, que interliga por meio de um salto final, e assim fechando a conexão gerando uma imensa onda de corrente elétrica, chamada de corrente de retorno, que se propaga pelo canal positivo até o canal negativo. O canal ionizado acontece em etapas, sempre buscando o percurso com menor rigidez dielétrica.

Devido à atitude, e menor densidade do ar, as descargas mais

frequentes ocorrem entre nuvens. Segundo o SIMEPAR:

As descargas entre nuvens representam cerca de 70% do número total de descargas, representando aproximadamente 30% do número total de eventos e servindo com base no estudo elaborado no trabalho, as descargas nuvem-solo são as que mais detêm conhecimento, pois são as responsáveis por causarem danos e perdas em diferentes motivos (2016).

4.1.1 Tensões induzidas

As descargas atmosféricas, ao atingirem o solo, produzem campos eletromagnéticos de grande intensidade, que se irradiam pelo espaço produzindo picos de tensões e corrente. O aparecimento desse fenômeno é gerado pela corrente que flui no canal ionizado constituído entre as nuvens e o solo.

Correntes induzidas e excesso de tensão nas estruturas em três tipos de acoplamentos como induzido, capacitivo e resistivo, ocorrem quando a descarga atmosférica incide em regiões próximas às instalações.

4.1.2 Tipos de acoplamentos: indutivo, capacitivo e resistivo

“Acoplamento indutivo é o resultado de uma elevação do potencial nos arredores da instalação, afetando o sistema de aterramento, conduzindo correntes transitórias através do sistema elétrico, quando ocorre uma descarga elétrica próxima à instalação” (YAMANISHI. B, RAVENADA. M, 2016).

Já o acoplamento capacitivo é produzido pela interação de campos elétricos e condutores. Quando um condutor passa próximo a uma fonte que está gerando um distúrbio, capta este distúrbio e o transporta pela outra parte do circuito. Isso é o efeito da capacitância entre dois corpos com cargas elétricas, separadas por um dielétrico, o que se chama de efeito de capacitância mútua.

Acoplamento resistivo ocorre quando a descarga atmosférica incidiu em zonas próximas às instalações, devido a corrente gerada pela descarga uma elevação do potencial elétrico surge nos arredores da instalação, afetando o sistema de aterramento, conduzindo correntes transitórias através do sistema elétrico, (NUNES. P, Fernando, 2016, p 15).

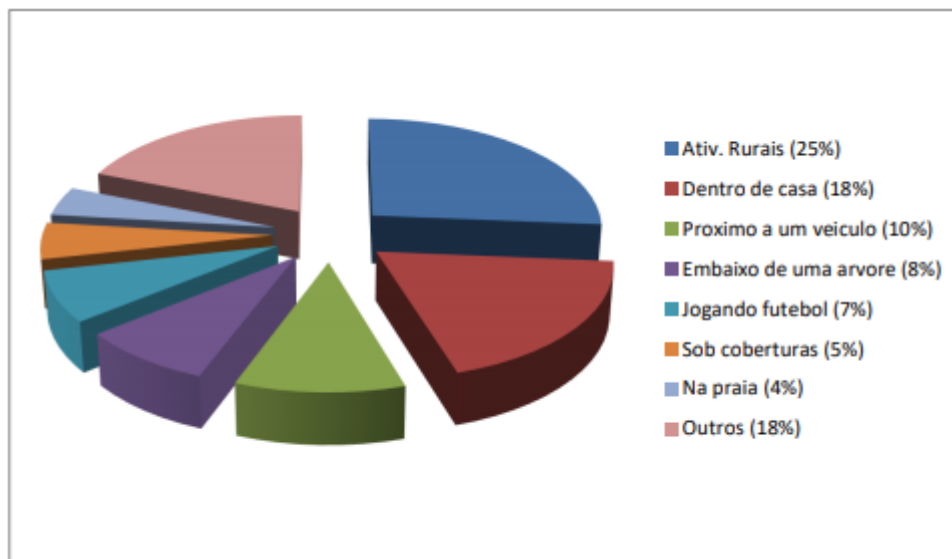
4.2 Danos e acidentes relacionados às descargas atmosféricas nuvem-solo

Devido ao grande território e ao clima favorável, o Brasil é o líder mundial em incidência de descargas atmosféricas, cerca de 77,8 milhões de raios caem todos os anos no Brasil, na maior incidência no verão e primavera, o que por consequência tem resultado um elevado número de acidentes associados.

Entre os anos de 2000 até 2017 foram registradas 2.044 mortes relacionadas a raios. Uma parcela considerável, sendo que a cada 50 mortes no mundo por raio, uma ocorre no Brasil. As principais circunstâncias onde ocorrem esses acidentes são em áreas rurais seguidos de dentro da residência e próximas a um veículo como apresenta a Figura 1.

Existem dois tipos de descargas atmosféricas nuvem-solo: descargas diretas e descargas indiretas, que acarretam danos e perdas.

Figura 1 - Gráfico das circunstâncias das fatalidades em acidentes com descargas atmosféricas



Fonte: Dados do Grupo de Eletricidade Atmosférica (Elat) - INPE

4.2.1 Efeito de raios em edificações

É necessário lidar com as consequências dos raios, já que são um

fenômeno imprevisível.

De acordo com Coutinho & Altoé:

Edificações alvejadas por raios podem sofrer danos que comprometem, por muitas vezes a integridade e segurança da estrutura e das pessoas que estão sempre por perto, sendo que a intensidade da corrente, modo de incidência e condições locais específicas afetam diretamente as chances de suas ocorrências, e com isso os danos podem se estender para além da própria estrutura, envolvendo a própria vizinhança e o ambiente local (2003).

O dano causado pelas descargas atmosféricas deve-se, em parte, ao seu ponto de impacto, para ser mais exato, quatro posições distintas do ponto de impacto devem ser consideradas no projeto, sendo elas as descargas atmosféricas na estrutura, próximas a estrutura, sobre as linhas elétricas ou nas tubulações metálicas, e por fim, próxima às linhas elétricas ou tubulações.

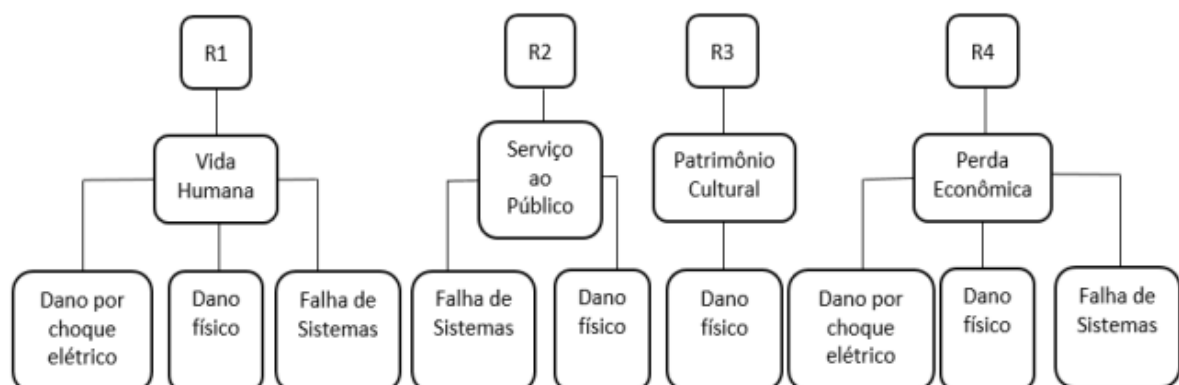
De acordo com Araujo:

Descargas atmosféricas com incidência direta na estrutura apresentam, além de um risco maior de choque por tensão de passo e toquem, um alto risco de danos mecânicos imediatos provocados pelas forças eletromagnéticas”, além de que pode provocar incêndios e explosões, devido à alta temperatura do canal de plasma.

Já Mamede (2017) entende que “por esses motivos, a proteção externa contra incidência direta de raios deve ser priorizada caso seja identificado riscos não toleráveis que ameaçam a integridade e a segurança do local”.

A análise de risco que determinará a necessidade de proteção nas partes em que se fez uma identificação e estratificação dos tipos de danos, que expõe possíveis perdas consequentes. Cada perda é associada a um risco, os quais somados compõem o risco total. Se o risco total superar o risco tolerável, tem a necessidade então de se implementar medidas de proteção. A análise de risco é proposta pela NBR 5419 (ABNT, 2015) e para isso foi utilizada a árvore de danos para composição de riscos com base nos danos.

Figura 2 - Árvore de danos



Fonte: Adaptado de (ABNT, 2015)

4.3 Gerenciamento e avaliação de risco

Seguindo a norma NBR 5419 atualizada, para ter um projeto adequado, é necessário ter uma metodologia que utiliza resultados de uma análise de risco, determinando se existe a necessidade de proteção, qual o nível de proteção necessária e as possíveis soluções para a redução dos riscos. A versão atualizada, ao contrário da anterior, tem um estudo mais abrangente das estruturas e dos possíveis danos, dividindo em quatro tipos, sendo eles:

- *Ri1*: risco de perda de vida humana;
- *Ri2*: risco de perda de serviço ao público;
- *Ri3*: risco de perda de patrimônio cultural;
- *Ri4*: risco de perda de valor econômico.

A versão antiga da norma adotava como parâmetro de níveis de proteção os parâmetros de entrada, que eram escolhidos baseados nas características funcionais da estrutura, sendo um exemplo: fazendas, escolas, prédios e hospitais. Uma característica notável da norma atualizada é a grande evolução na análise de risco se faz referência ao conceito e determinação do nível de proteção em uma estrutura.

Para determinar o risco, se ele não for fornecido pelas autoridades locais, deve-se determinar o nível de proteção com bases em medidas necessárias para reduzir os riscos existentes à valores toleráveis, tomando como fundamento o embasamento teórico. Os riscos são subdivididos em componentes de acordo com o ponto de impacto da descarga atmosférica, como indica a tabela 1, e os componentes de risco descritos na tabela são utilizados na seguinte equação geral (1):

$$RiX = NX \cdot PX \cdot LX. \quad (1)$$

Onde:

NX é o número de eventos perigosos por ano;

PX é a probabilidade de dano à estrutura;

LX é a perda consequente.

Tabela 1- Componentes de risco considerados para cada tipo de perda

Fonte de danos	Descarga na estrutura (S1)			Descarga perto da estrutura (S2)	Descarga em uma linha conectada à estrutura (S3)			Descarga perto de uma linha conectada à estrutura (S4)
	Ri_A	Ri_B	Ri_C		Ri_M	Ri_U	Ri_V	
Componente de risco								
Risco para cada tipo de perda								
Ri_1	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
Ri_2		*	*	*		*	*	*
Ri_3		*				*		
Ri_4	*b	*	*	*	*b	*	*	*
*a - Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas onde a falha de sistemas pode provocar a perda de vida humana								
*b - Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos								

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2015)

A base dos cálculos do número de eventos perigosos é feita na densidade de descargas atmosféricas e pelas características físicas da estrutura, linhas conectadas, solo e sua vizinhança. Sua determinação está no anexo A da NBR 5419-2 (ABNT, 2015). Já a probabilidade de risco de danos à estrutura é principalmente afetada pelas características estruturais, linhas de transmissão conectadas e medidas de proteção existentes. Sua metodologia está descrita no anexo B da NBR 5419-2 (ABNT, 2015). O último fator da equação geral do risco, a perda consequente, é determinado com base na funcionalidade da estrutura em análise, frequência de passo, tipo de serviço ofertado, valor de bens e quantidade de perdas. Para consultar o seu valor, use o anexo C da NBR 5419-2 (ABNT, 2015).

Como a norma apresenta um enfoque especial na análise e gerenciamento de risco, os resultados dessa etapa servem de base para a seleção e dimensionamento das medidas de proteção. Para o gerenciamento de risco deve seguir o seguinte procedimento (ABNT, 2015):

- a) identificação da estrutura a ser protegida;
- b) identificação dos tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos

relevantes;

c) avaliação do risco Ri para cada tipo de perda $Ri1$ a $Ri4$;

d) avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos $Ri1$ a $Ri4$ com os riscos toleráveis RiT ;

e) avaliação da eficiência do custo de proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção. Neste caso a avaliação dos componentes de risco $Ri4$ deve ser feita no sentido de avaliar tais custos.

Os riscos toleráveis RiT , segundo a NBR 5419 (ABNT, 2015), podem ser representados pelos valores da Tabela 2

Tabela 2 – Valores típicos para riscos toleráveis.

Tipo de Perda		$RiT(y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}
L4	Perda de valor econômico	10^{-3}

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2015)

O risco tolerável referente à perda de valor econômico pode ser calculado através da metodologia proposta pela norma, ou ser especificado pelo projetista de acordo com a estrutura.

Os valores dados pela Tabela 2 são utilizados caso a perda exista, porém não quando se possui dados necessários para uma avaliação de custo/benefício.

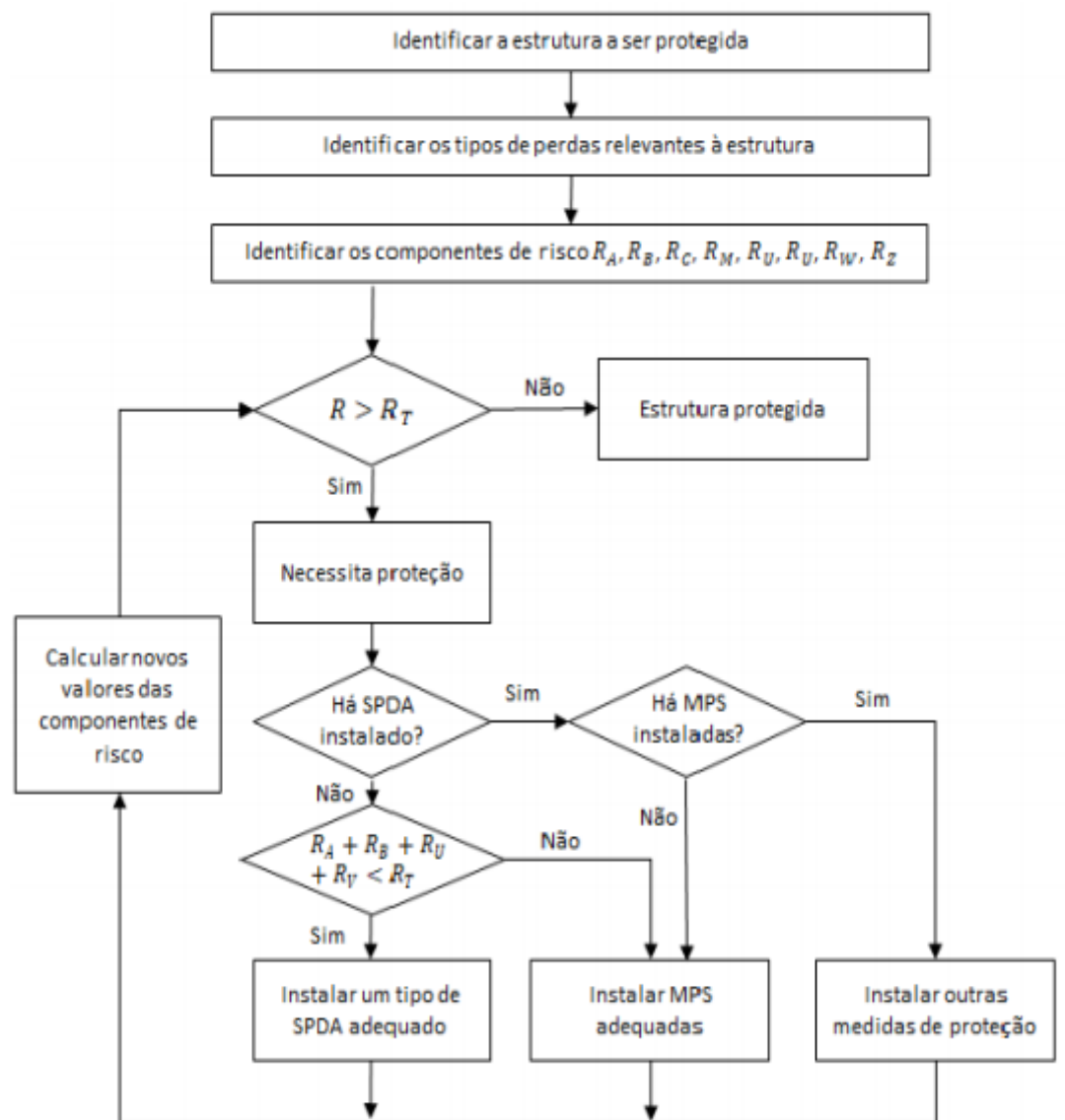
Para uma avaliação de necessidade de proteção, deve se considerar os riscos totais 1, 2 e 3. Cada risco deve ser comparado individualmente com o valor do risco tolerável, sendo que o os riscos totais 1, 2 e 3 devem ser todos menores que o risco toleráveis. Caso os rcos totais superem o risco tolerável, deve-se projetar medidas de proteção cabíveis e reavaliar o resultado da comparação feita anteriormente. Os seguintes passos devem ser seguidos para cada tipo de risco (Figura 3):

a) identificação dos componentes RiX que compõe o risco;

- b) cálculo dos componentes de risco identificados R_iX ;
- c) cálculo do risco total R_i ;
- d) identificação dos riscos toleráveis RiT ;
- e) comparação do risco R_i com RiT .

O fluxograma ilustra o procedimento para determinar a necessidade de proteção e as medidas de proteção que devem ser adotadas.

Figura 3– Fluxograma para avaliação da necessidade de proteção



Fonte: Adaptado de (ABNT, 2015)

4.4 Tipos de Descargas atmosféricas

4.4.1 Descargas diretas

Descargas atmosféricas denominadas diretas ocorrem quando o canal principal (descendentes ou ascendentes do canal) incide diretamente sobre uma estrutura.

Os pontos de incidência direta de uma descarga atmosférica nuvem-solo em uma determinada estrutura ou sobre a própria estrutura em análise ou sobre tubulações metálicas, linhas elétricas de alimentação que estão representadas na Figura 2.

Quando um raio incide diretamente nas estruturas ou nas linhas elétricas de alimentação e tubulações metálicas, as descargas atmosféricas podem causar inúmeros danos, tais como: fogo ou explosão devida à alta temperatura do plasma do canal da descarga atmosférica, danos em pessoas por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque e danos em sistemas elétricos ou eletrônicos internos, devido aos pulsos eletromagnéticos gerados pela descarga. Os danos causados pela incidência direta das descargas geram perdas em sentido de vidas humanas, serviços e patrimonial, e financeiros. (ABNT NBR 54191-1, 2015).

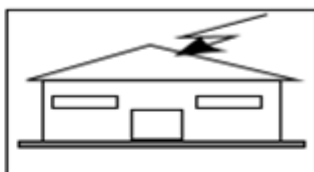
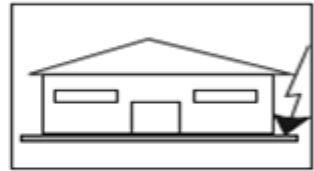
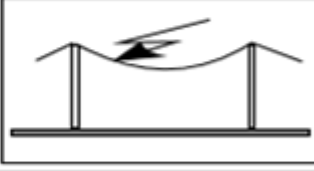
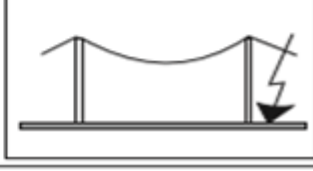
4.4.2 Descargas indiretas

As descargas atmosféricas indiretas são eventos que ocorrem quando o canal principal não atinge de forma direta sobre a estrutura referenciada. Os efeitos desse vento sobre as estruturas e os seres humanos são causados de formas distantes do ponto de queda da descarga atmosférica.

Pontos de incidência indireta da descarga atmosférica nuvem-solo, em uma determinada estrutura, são próxima a própria estrutura em análise, e não de forma direta, ou próximo a linhas elétricas de alimentação e tubulações metálicas como está representada na Figura 5.

Os danos causados pela incidência indireta nas estruturas ou em linhas elétricas de alimentação e tubulações metálicas são o mau funcionamento dos sistemas internos (cargas mais sensíveis). Devido ao campo magnético e causar choques elétricos devido a tensão de toque e passo causadas pela descarga atmosférica, (ABNT NBR 54191-1, 2015).

Figura 4- Pontos de incidência de descargas atmosféricas nuvem-solo

Ponto de impacto	
Estrutura	
Nas proximidades de uma estrutura	
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica	

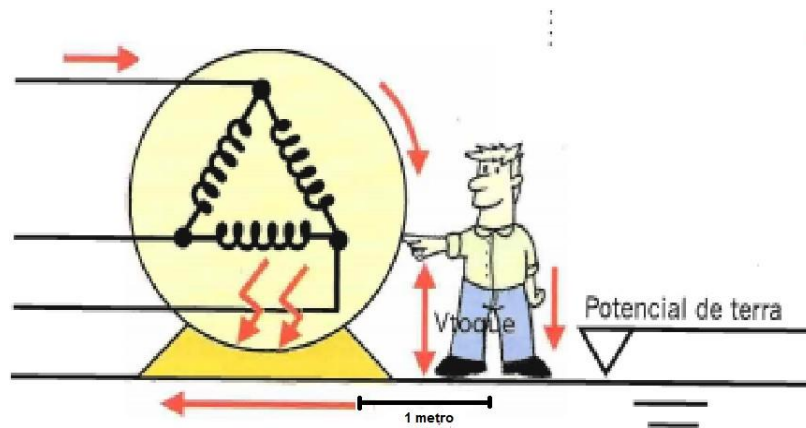
Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419

4.5 Tensão de toque e tensão de passo

De acordo com Severino e Cavalin “pode ter como consequência das tensões de toque, a passagem de uma corrente elétrica pelo braço, tronco e pernas, cuja duração e intensidade poderão provocar fibrilação cardíaca, queimaduras ou outras lesões graves ao organismo podendo levar a pessoa a óbito”. (2008)

Tensão de toque, como o próprio nome já se explica é uma diferença de potencial entre um condutor que esteja ao alcance da mão de uma pessoa e o solo estar localizado a no máximo um metro de distância desse condutor. A Figura 3 ilustra como se comporta a tensão de toque.

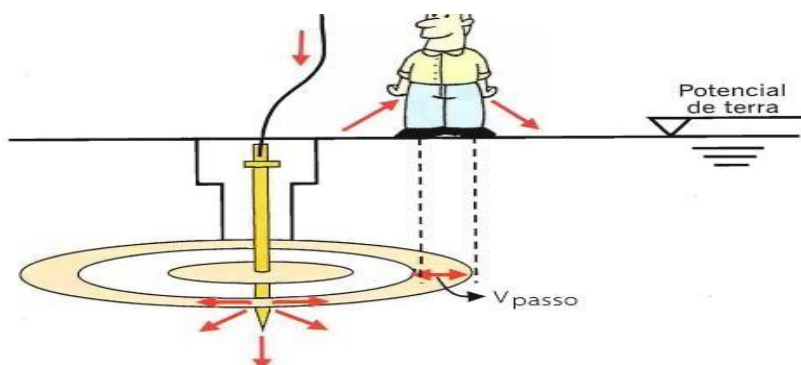
Figura 5- Caracterização elétrica da tensão de toque



Fonte: Adaptado de Instalações elétricas prediais (CERVELIN. S, CAVALIN. G,

Já tensão de passo é quando uma descarga atmosférica atinge diretamente o solo, e com isso criando uma elevação do potencial em torno do ponto de impacto, e assim formando anéis chamados distribuição de queda de tensão, (YAMANISHI. B, RAVENADA. M, 2016). Pode ter como definição de tensão de passo uma diferença de potencial existente entre os pés da pessoa, separados em um metro, quando se encontram sobre influência dos anéis de distribuição, onde a corrente passa pelo corpo da pessoa no sentido de um pé até o outro, de acordo com a Figura 6.

Figura 6 - Caracterização elétrica da tensão de passo



Fonte: Adaptado de Instalações elétricas prediais (CERVELIN. S, CAVALIN. G, 2008,

4.6 NBR 5419

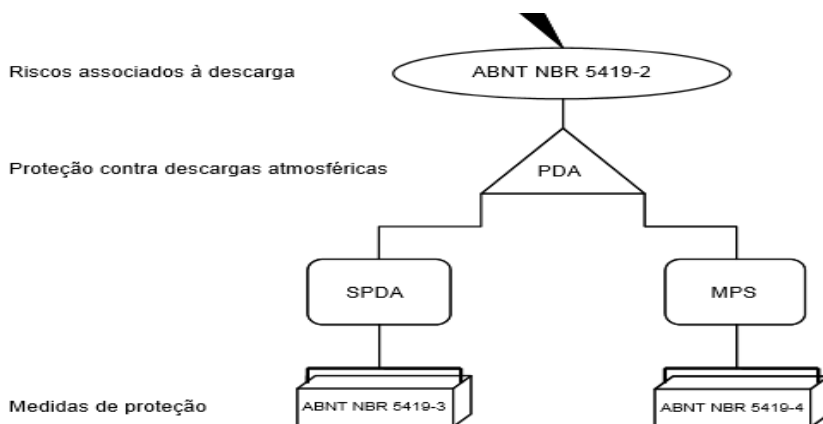
Como fundamento da ANBT a norma NBR 5419 atualizada em 2015 tem como responsabilidade normalizar os requisitos utilizados para a determinação da necessidade de proteção contra descargas atmosféricas e as medidas adotadas para mitigar os efeitos que as descargas podem gerar.

O método de gerenciamento de risco consiste na análise do ponto de impacto da descarga atmosférica e os danos gerados por ela, assim, possibilitando a constatação das possíveis perdas provocadas por esse dano. O um valor relativo a uma provável perda anual média é determinado e definido como o risco e representado como R. Para cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, existe um risco resultante. A avaliação da necessidade da proteção se dá através da comparação da componente de risco R com risco toleráveis estipulados.

A versão da NBR 5419 vigente a partir de 2015 é dividida em 4 partes:

- Parte 1 - Apresenta os princípios gerais da proteção contra descargas atmosféricas, a descarga atmosférica e os efeitos gerados por ela.
- Parte 2 - Apresenta o método de gerenciamento de risco.
- Parte 3 - Refere-se a estrutura a ser protegida, no sentido a reduzir os danos físicos e o perigo a vida através da implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.
- Parte 4 – Apresenta as medidas de proteção utilizadas para reduzir as falhas de sistemas elétricos e eletrônicos presentes na estrutura através de medidas de proteção contra surto e equipotencialização.

Figura 7 - Conexão entre as partes da NBR 5419/2015



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 54191-1 (2015)

5. MÉTODOS QUE PODEM SER PROJETADOS OS SPDA

Os três principais métodos de projeto de SPDA externo são respectivamente o de Franklin, da gaiola de Faraday e de esfera rolante.

Os parâmetros de posicionamento dos elementos variam de acordo com a classe de SPDA necessário no projeto como mostra a tabela 3.

Os métodos de Franklin e de Faraday são os mais convenientes em diversas aplicações, no entanto existem outros arranjos que um projetista pode fazer, como por exemplo, combinar dois métodos em um único projeto, mas claro dependendo da sua característica estrutural, nível de proteção necessário e levando em conta a relação custo/benefício.

Tabela 3 - Valores de parâmetros dos métodos de proteção

Classe do SPDA	Métodos de proteção		
	Raio da esfera rolante (m)	Máximo afastamento dos condutores da malha (m)	Ângulo de proteção α° - ($H = 20\text{ m}$)
I	20	5x5	21
II	30	10x10	39
III	45	15x15	49
IV	60	20x20	53

* H corresponde à altura do captor em relação ao plano de referência

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2015)

5.1 Método de Franklin

O método apresentado faz referência à proposta de Benjamin Franklin, composta por um captor pontiagudo no topo de um mastro, conectado à terra através de um cabo condutor, dessa forma as cargas elétricas são escoadas preferencialmente pelo captor, e escoando até o solo pelo cabo condutor. O volume de proteção é determinado por um cone, e com nível de proteção desejado através do ângulo α da geratriz da altura do captor em relação ao plano de referência, como mostra a tabela 4.

Tabela 4 – Ângulo de proteção α (°) para diferentes classes de SPDA e alturas

Altura H (m)	Classe do SPDA			
	I	II	III	IV
10	46	53	61	65
15	35	46	55	60
20	21	38	49	53
25	*	30	41	49
30	*	22	38	44
35	*	*	31	41
40	*	*	28	38
45	*	*	22	34
50	*	*	*	30
60	*	*	*	21

* Somente os métodos Faraday e esfera rolante são aceitáveis

Fonte: Autoria própria

De acordo com a norma NBR 5419, o método é adequado para edificações de formato simples e tem como limite de altura e ângulo de proteção. Fora dos limites de altura e de ângulo de proteção requerem outro tipo de método.

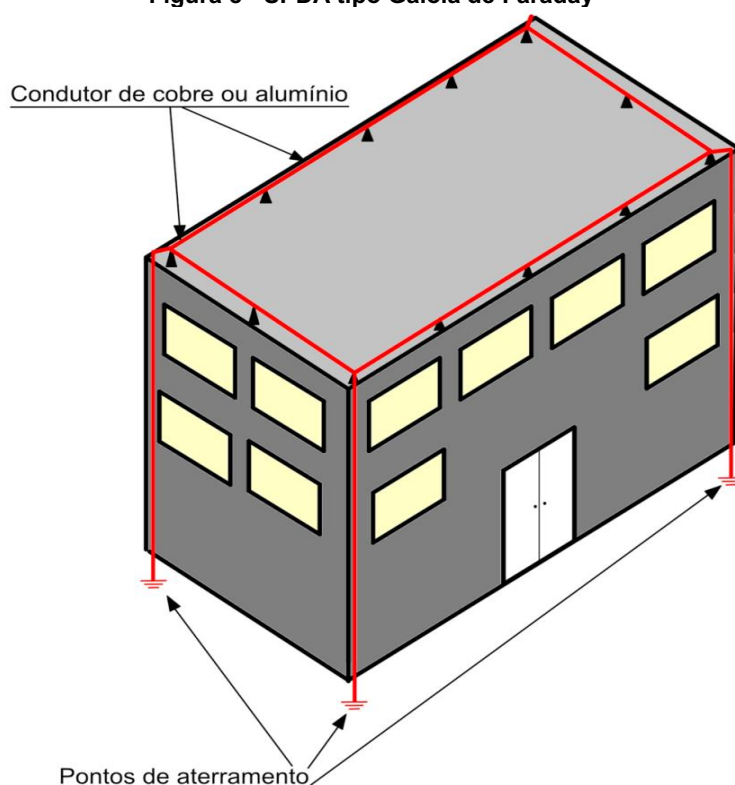
5.2 Método da gaiola de Faraday

Esse método baseia-se na existência de um campo elétrico idealmente nulo no interior de uma gaiola condutora, que ocorre quando existe um cancelamento provocado por uma nova distribuição das cargas superficiais

submetidas a uma diferença de potencial externa.

Esse modelo de SPDA em formato de gaiola, consiste em um sistema de captadores horizontais interligados em forma de malha, e as distâncias entre os captadores são determinados dependendo do nível de proteção desejado descrito na Tabela 3. Assim como o método de Franklin, o dimensionamento dos condutores está descrito na norma NBR 5419.

Figura 8 - SPDA tipo Gaiola de Faraday



Fonte: mundodaeletrica.com

5.3 Método da esfera rolante

De acordo com a NBR 5419, o método da esfera rolante não há contraindicações para uso. Tem como recomendação o uso desse método em estruturas complexas, que exigem duas ou mais soluções de proteções.

Esse método é baseado em estudos de registros fotográficos, parâmetros de descargas atmosféricas, ensaios laboratoriais de alta-tensão e modelagens matemáticas. O processo de formação de um raio tem como

fundamento a premissa de existir uma esfera como raio, cujo centro se localiza na extremidade do líder antes do último salto. Os pontos pertencentes ao contorno da esfera correspondem aos prováveis locais impactados por descargas atmosféricas. Por outro lado, as regiões não tocadas pela esfera, ao rolar a mesma sobre o solo e sistema de proteção, constituem m zonas protegidas (MAMEDE, 2017).

6. ESTUDO DE CASO

O trabalho é fundamentado em estudo das normas brasileiras e análise de livros e artigos técnicos relacionados ao tema descargas atmosféricas.

No estudo de caso aplicado a uma destilaria de álcool, será efetuada uma inspeção nos sistemas de proteções contra descargas atmosféricas existentes, com realização de uma apresentação fotográfica e escrita, relatando as conformidades com as normas brasileiras.

Assim será realizado um projeto, de acordo com as normas e aplicações atualizadas, englobando todo o material apresentado e mostrando toda uma planta da destilaria e onde seriam aplicados seus sistemas de proteção. Com a realização do projeto revisado, pode assim evidenciar a importância do gerenciamento de riscos na determinação das reais necessidades de proteção e as medidas a serem adotadas.

Apresentando o projeto já concluído e revisado, a fim de demonstrar o impacto econômico que pode gerar na destilaria caso não aplicado o projeto. Com base nos custos referentes às medidas de proteções possíveis e as perdas que podem gerar a sua ausência, será analisado o benefício econômico e social com a aplicação e instalação desses sistemas de acordo com as medidas protetivas existentes nas normas brasileiras.

6.1 Características da indústria

Este trabalho tem como base de estudo as instalações de uma destilaria de álcool localizada no município de Mineiros do Tiete – SP, e não possui nenhum sistema de proteção contra descargas atmosféricas em suas instalações. De acordo com os proprietários, o projeto inicial tinha como sistema de proteção contra descargas atmosféricas somente na área reservada para armazenagem de álcool, isto é, nas dornas de armazenagem, porém nunca foi executado tal projeto do sistema de proteção, por motivos econômicos.

A empresa já enfrentou problemas relacionados com descargas atmosféricas, porém os problemas foram nas suas redes de transmissão de energia. De acordo com o proprietário uma descarga atmosférica caiu sobre a linha de transmissão que chega até a destilaria e teve como consequência a explosão do transformador de entrada, causando um dano significativo para a indústria. Felizmente não teve nenhum acidente com funcionários e a indústria por sua vez, teve prejuízo, ficando uma semana sem abastecimento de energia.

Propõe-se, então, através do desenvolvimento deste projeto:

- a) avaliar o estado atual das instalações;
- b) levantar as características do solo local;
- c) conduzir uma análise de risco e avaliar se há ou não necessidade de proteção;
- d) determinar quais medidas de proteção satisfazem as necessidades da unidade fabril;
- e) dimensionar um SPDA adequado para a indústria.

Vale lembrar que a norma técnica referente a SPDA vigente na época do projeto de construção era bastante diferente da norma atual.

Durante o ensaio de medição da resistividade do solo, percebeu-se que o solo tem uma coloração avermelhada, seguido de uma camada rochosa, difícil de penetrar as hastes de cobre com a marreta. Essa característica de solo está presente em toda a região do centro-oeste paulista, onde fica situada a indústria, e tem como classificação de solo do tipo latossolo roxo e avermelhado, rochoso-basáltico. Em termos de aterramento, a tal composição do solo não é ideal, pois dificulta a execução do projeto, bem como a obtenção de baixas resistividades de malha (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1998).

Figura 9- Foto de satélite da destilaria Momesso



Fonte: Google Maps

6.2. Densidade de descargas atmosféricas e condições climáticas da destilaria

Clima predominante na região é o clima tropical, apresentando características de verões quentes e chuvosos e inverno seco com pouca umidade. Tem como outros pontos relevantes de condições climatológicas a elevada densidade de descargas atmosféricas.

A densidade de descargas atmosféricas, que também pode levar o nome de índice ceráunico, é um parâmetro que indica a quantidade de descargas atmosféricas registradas por quilômetro quadrado ao longo de um ano em determinada região. Os dados fornecidos pelo INPE, fonte oficial do indicador das descargas atmosféricas, mostram que a região onde está localizada a indústria tem como um índice superior a 5,2 descargas/km²/ano.

Em comparação a outras regiões do Brasil, é considerável mediano esse valor, no entanto não se deve descartar a possibilidade de acidentes, visto que a própria destilaria já sofreu com danos em sua linha de transmissão e gerador, provocados por descargas atmosféricas.

Figura 10 - Transformador de entrada da destilaria



Fonte: Autoria própria

6.2.1 Instalações da destilaria

A indústria está presente em uma área de aproximadamente 9 hectares, isto é, 90 mil metros quadrados, sendo que as principais áreas edificadas podem ser divididas em dornas de armazenagem, parte de moenda e destilação, e pôr fim a parte de geração de energia, e um amplo espaço para circulação de veículos e maquinários agrícolas.

Outra edificação que tem no local, e não apresenta sistema de proteção contra descarga atmosférica é a parte administrativa da destilaria. Não pode deixar de citar, pois esta consiste em abrigar equipamentos eletrônicos e pessoas que necessitam desse tipo de proteção. Como a parte administrativa é uma construção em concreto, e composta por um piso de concreto, também isolada ao meio da destilaria, sendo que ao seu redor não tem nenhuma estrutura sendo um local muito amplo e sem interferências ao redor como mostra a Figura 12, possui dimensões de oito metros de largura, por doze metros de comprimento, sendo uma área total de cem metros quadrados.

Figura 11 - Foto das dornas de armazenagem



Fonte: Autoria própria

Figura 12 - Foto da Destilaria Momesso



Fonte: Autoria própria

Analisando as edificações com o foco nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, observa que não existe nenhum sistema implantado a fim de diminuir os problemas e danos que podem causar as descargas atmosféricas.

6.3 Medidas de proteção necessárias na destilaria

Para um levantamento dos riscos gerais a qual a estrutura encontra-se exposta, é necessário uma análise e gerenciamento de risco proposto pela NBR 5419, de forma a detalhar os principais passos de metodologia e expor os resultados obtidos para desenvolver um projeto.

Primeiro deve identificar os tipos de perdas associadas às estruturas em questão, no nosso caso as dornas de armazenagem, a moenda e destilação, e a parte de geração de energia, e considerando somente tipos de perdas de vida humana e tipos de perdas de valor econômico

Com isso, deve-se ter uma avaliação da necessidade de proteção descrita na norma, e sendo assim os riscos referentes às perdas são os riscos de perdas de vida humana e riscos de perda de valor econômico.

Assim definimos os tipos de perdas como:

- *L1*: perda de vida humana;
- *L4*: perda de valor econômico.

Respectivamente, os tipos e risco são:

- *Ri1*: risco de perda de vida humana;
- *Ri4*: risco de perda de valor econômico.

Com isso é necessário fragmentar os riscos e as componentes de cada um deles tendo como perspectiva os dois tipos de perdas *L1* e *L4*. Com isso, as componentes já mostradas na Figura 3, para cada risco são:

- as *RiA*, *RiB*, *RiU* e *RiV* para o risco *Ri1*;
- as *RiB*, *RiC*, *RiM*, *RiV*, *RiW* e *RiZ* para o risco *Ri4*.

Assim que definidos, deve-se comparar com os riscos da Tabela 2, e as medidas de proteção devem ser adotadas para reduzir os riscos de maior impacto.

Para um levantamento de risco adequado é necessário conhecer os parâmetros básicos e suas características da destilaria. Assim foi feito um levantamento de alguns dados importantes para esse processo.

- características da estrutura da moenda, destilação e geração (Tabela 5);
- características da zona de proteção (Tabela 6).

Tabela 5 – Parâmetros característicos da estrutura da moenda, destilação e geração

Parâmetros de Entrada	Comentário	Valor
Densidade de descargas atmosféricas (1/km ² /ano)	Elevado	5,2
Comprimento da estrutura	Valor em metros	25
largura da estrutura	Valor em metros	20
altura da estrutura	Valor em metros do ponto mais alto da estrutura	20

tor de localização	Estrutura parcialmente isolada	1
PDA	N/A	1
gação equipotencial	Sem DPS	1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Características da zona de proteção da parte da moenda, destilação e geração

Parâmetros de Entrada	Comentário
Superfície do piso	Concreto
Proteção contra choque	Na estrutura: nenhuma
Proteção contra choque	Na linha: nenhuma
Risco de incêndio	Normal
DPS coordenados	Entrada de energia: nenhum
DPS coordenados	Entrada de Sinal: nenhum
L1: perda de vida humana	Perigo especial
	D1: tensão de toque e passo
	D2: devido à danos físicos
L4: perda de valor econômico	D3: falha de sistemas
	D2: devido à danos físicos
	D3: devido à falha de sistemas

Fonte: Autoria própria

Figura 13- Moenda, destilação e geração de energia da destilaria



Fonte: Autoria própria

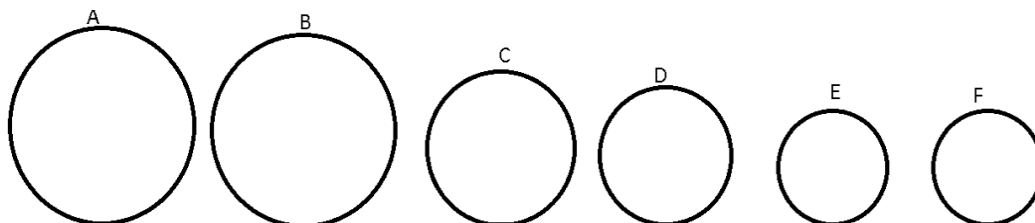
Para atender as especificações da norma NBR 5419, um sistema de proteção contra descargas atmosféricas com uma estrutural com o modelo de Franklin deve ser atribuído a estrutura, sendo que deve satisfazer o sistema de moenda, destilação e geração de energia.

A outra parte da destilaria, que fica responsável pela armazenagem, é composta por seis dornas, todas assentadas sobre uma superfície de concreto. Cada dorna é interligada por dutos, onde são abastecidas. Não possui componentes elétrico e nem eletrônicos nas dornas, sendo necessário uma pessoa para manusear as entradas e saídas do abastecimento como mostrado na Figura 11.

A parte da armazenagem é dividida em seis dornas, sendo que o total de capacidade de litros de álcool armazenados são aproximadamente oito milhões novecentos e cinquenta mil litros. O tanque de maior capacidade, tanque

A, armazena três milhões e seiscentos mil litros de combustível, o tanque B tem uma capacidade em três milhões de litros, no tanque C a capacidade de armazenagem é de um milhão de litros de combustível, o tanque D tem capacidade de armazenar setecentos e cinquenta mil litros, e as dornas E e F tem como capacidade de armazenagem de trezentos mil litros.

Figura 14 - Representação das dornas de armazenagem



Fonte: Autoria própria

- características de dornas de armazenagem;

Tabela 7 – Parâmetros característicos da dorna A

Parâmetros de Entrada	Comentário	Valor
Densidade de descargas Atmosféricas (1/km ² /ano)	Razoável	5,2
Volume da estrutura	Valor em mil litros	3600
Diâmetro da estrutura	Valor em metros	21,4
Material da estrutura	Ferro com revestimento interno	1
Altura da estrutura	Valor em metros	10
Fator de localização	Estrutura parcialmente isolada	1
SPDA	N/A	1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 – Parâmetros característicos da dorna B

Parâmetros de Entrada	Comentário	Valor
Densidade de descargas atmosféricas (1/km ² /ano)	Razoável	5,2
Volume da estrutura	Valor em mil litros	3000
Diâmetro da estrutura	Valores em metros	19,5
Material da estrutura	Ferro com revestimento interno	1
Altura da estrutura	Valor em metros	10
Fator de localização	Estrutura parcialmente isolada	1
SPDA	N/A	1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 9 – Parâmetros característicos da dorna C

Parâmetros de Entrada	Comentário	Valor
Densidade de descargas atmosféricas (1/km ² /ano)	Razoável	5,2
Volume da estrutura	Valor em mil litros	1000
Diâmetro da estrutura	Valores em metros	12,6
Material da estrutura	Ferro com revestimento interno	1
Altura da estrutura	Valor em metros	8
Fator de localização	Estrutura parcialmente Isolada	1
SPDA	N/A	1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 – Parâmetros característicos da dorna D

Parâmetros de Entrada	Comentário	Valor
Densidade de descargas atmosféricas (1/km ² /ano)	Razoável	5,2
Volume da estrutura	Valor em mil litros	750
Diâmetro da estrutura	Valores em metros	11,6
Material da estrutura	Ferro com revestimento interno	1
Altura da estrutura	Valor em metros	7
Fator de localização	Estrutura parcialmente Isolada	1
SPDA	N/A	1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11 – Parâmetros característicos das dornas E e F

Parâmetros de Entrada	Comentário	Valor
Densidade de descargas atmosféricas (1/km ² /ano)	Razoável	5,2
Volume da estrutura	Valor em mil litros	300
Diâmetro da estrutura	Valores em metros	7,4
Material da estrutura	Ferro com revestimento interno	1
Altura da estrutura	Valor em metros	7
Fator de localização	Estrutura parcialmente Isolada	1
SPDA	N/A	1

Fonte: Autoria própria.

- características da zona de proteção de todas as dornas (Tabela 12).

Tabela 12 – Características da zona de proteção das dornas de armazenagem

Parâmetros de Entrada	Comentário
Superfície do piso	Concreto
Proteção contra choque	Na estrutura: nenhuma
Risco de incêndio	Elevado
L1: perda de vida humana	Perigo especial
	D1: tensão de toque e passo
	D2: devido à danos físicos
	D3: falha de sistemas

L4: perda de valor econômico	D2: devido à danos físicos
	D3: devido à falha de sistemas

Fonte: Aatoria própria

Dado que o valor do projeto de SPDA é bastante inferior ao valor dos bens que estão em análise no trabalho, a questão de custo/benefício fica bem evidente. Mesmos assim, é importante que o dimensionamento do sistema de proteção deve se remeter a solução econômica mais atrativa, não deixando de prover o nível de proteção adequado.

Para redução dos riscos a um valor aceitável, é necessário selecionar medidas de proteção que ressalte as componentes citadas mais críticas.

Para suprir essas necessidades, propõe-se que faça uma instalação de SPDA completo de classe 3, sendo o método de Franklin o modelo, para neutralizar a falta de um sistema de proteção na estrutura da moenda e destilação, e da parte de geração, a fim de reduzir a possibilidade de descargas na estrutura causem dano a pessoas que ali trabalham. Assim como a instalação de DPS de nível dois na entrada de energia dimensionado de 13,8kV, com finalidade de proteção das linhas de energia que chegam nesse transformador de entrada.

No sistema de armazenagem deve-se fazer uma implementação de aterramento em cada dorna assim como um sistema de proteção de descargas atmosféricas do tipo gaiola de Faraday, de modo que não atrapalhe a parte em que as dornas recebem os dutos para armazenagem, bem ao meio da parte superior de cada dorna. O método de Faraday é o mais apropriado para essas estruturas, pois cada dorna tem uma geometria cilíndrica, o que não compromete a estrutura do local.

A parte de aterramento deve ser feitas através de hastes de cobre ligadas em partes da estrutura e ao solo, formando um anel de aterramento ou malha de aterramento interligando o tanque ao solo. No projeto inicial da destilaria, a parte de aterramento das dornas foi uma preocupação, e fizeram a instalação de chapas de ferro na base de cada estrutura, no enteando não deu sequência ao projeto, porém após o acidente com o transformador de entrada, a questão de proteção contra as descargas atmosféricas no ambiente do engenho se tornou uma preocupação.

Figura 15 – Chapas de ferros nas estruturas das dornas de armazenagem



Fonte: Autoria própria

A norma 5419, onde se refere a tanque de armazenamento, diz que estruturas com líquidos que podem produzir vapor inflamável, para tanques agrupados, como é no caso da destilaria , o aterramento de cada tanque em um ponto é o suficiente, independente da maior dimensão horizontal, porém os tanques devem estar interconectados.

Para tanques metálicos, devem ser ligados eletrodos de aterramento, sendo que tanques com dimensões horizontais de até vinte metros, basta duas interligações no mínimo, dispostas equidistante no perímetro.

Observando a estrutura da parte administrativa, temos os seguintes parâmetros:

- características da estrutura da parte administrativa (Tabela 13);
- características da zona de proteção da parte administrativa (Tabela 14).

Tabela 13 – Parâmetros característicos da estrutura da parte administrativa

Parâmetros de Entrada	Comentário	Valor
Densidade de descargas atmosféricas (1/km ² /ano)	Elevado	5,2
Comprimento da estrutura	Valor em metros	12
Largura da estrutura	Valor em metros	8
Altura da estrutura	Valor em metros	4
Fator de localização	Estrutura parcialmente blindada	1
SPDA	N/A	1
Ligação equipotencial	Sem DPS	1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 – Características da zona de proteção da parte administrativa

Parâmetros de Entrada	Comentário
Superfície do piso	Concreto
Proteção contra choque	Na estrutura: nenhuma
Proteção contra choque	Na linha: nenhuma
Risco de incêndio	Normal
DPS coordenados	Entrada de energia: nenhum
DPS coordenados	Entrada de Sinal: nenhum
L1: perda de vida humana	Perigo especial
	D1: tensão de toque e passo
	D2: devido à danos físicos
	D3: falha de sistemas
L4: perda de valor econômico	D2: devido à danos físicos
	D3: devido à falha de Sistemas

Fonte: Autoria própria

Com a falta de existência de sistemas contra proteções contra surtos na parte da administração, a instalação de um sistema de proteção seria necessária. Visando a norma, e atribuir uma proteção para essa estrutura, seria mais adequada a instalação de um SPDA a partir do método de Franklin, contendo uma descida junto com o sistema de aterramento.

6.4 Métodos do projeto do SPDA e de aterramento

Apresentado os parâmetros das estruturas que estão presentes na

destilaria, e necessitam de proteções contra as descargas atmosféricas, a modo de evitar perdas e danos e trazer melhorias para a destilaria, evitando novos acidentes com descargas elétricas.

Para a parte da moenda, destilação e geração, com uma área de quinhentos metros quadrados, possuindo o ponto mais alto da estrutura uma torre de destilação de vinte metros, ao lado possui outra torre, porém menor, e na parte da geração possui um ponto de altura máxima de doze metros, um sistema captor seria aplicado, do modelo de Franklin, na parte mais alta da torre de destilaria, outro sistema captor igual na parte mais alto da parte de geração, sendo assim o sistema todo conterá duas torres de captação, e assim satisfazendo o ângulo para abranger toda área que estão presente as estruturas.

Na parte das dornas de armazenagem, seria o método da gaiola de Faraday o método sugerido para a proteção. Cada dorna teria sua própria gaiola de Faraday, e um sistema de aterramento. Cada malha captora deve conter os espaçamentos de acordo com a estrutura e o nível de proteção adotada pelo projeto

O método que foi sugerido para a parte administrativa da destilaria, seria o método que segue o modelo de Franklin, com uma haste acima do telhado, sendo que o ângulo da geratriz da torre que possui o captor, supra a área toda da estrutura. Um sistema de descida para o escoamento da descarga elétrica até o sistema de aterramento deve ser instalado conjunto a estrutura. Para a proteção interna do quadro de distribuição da parte administrativa, um dispositivo contra surtos foi a sugestão atribuída ao projeto.

6.4.1 Aterramentos nas edificações

Para um aterramento com uma eficiência mais adequada, se utiliza o terrômetro, aparelho que mede a resistividade do solo com boa precisão e também apura a resistência de aterramento de hastes ou malhas que já foram implementadas no ambiente, o que seria de grande importância para o projeto de aterramento. Vale lembrar que existem inúmeros tipos de terrômetros, os mais modernos e precisos são os digitais, que se baseiam no método de Wenner

para a medição. No entanto, o terrômetro que foi utilizado para a medição na destilaria foi um analógico, fornecido pelo responsável da manutenção da parte elétrica da mesma, sendo que não foi possível ter como disponível um terrômetro digital. É importante ressaltar que existem divergências entre os aparelhos disponíveis no mercado, sendo que cada fabricante tem seu modelo de fabricação, o que pode descumprir as normas técnicas, e podendo ser que o equipamento não esteja devidamente calibrado.

Uma variável nas medições, é o terreno em análise. A norma NBR 7117, estabelece uma quantidade mínima e específica as direções necessárias para cada caso, sendo como referência a área de superfície do terreno a ser medido, sendo que no caso da destilaria, onde a medição foi feita nas dornas de armazenagem, tendo uma área de superfície considerável alta, utilizasse de no mínimo três linhas para a aferição.

O terrômetro que foi utilizado para a medição foi um analógico da fabricante Instrum, modelo TM1000, sendo que o valor obtido foi de 33 ohms, como mostra a Figura 16. A resistividade encontrada foi em torno de 220 ρ .

Figura 16 - Terrômetro Instrum analógico



Fonte: Autoria própria

Para obter essa medição, duas hastes de cobre foram fixadas ao solo,

a uma profundidade de 30 cm, ligando dois conectores a elas, e um terceiro conector foi posto junto a base da estrutura das dornas, o esquema pode ser visto na Figura 17. Porém como já citado, o terrômetro analógico em questão não tem uma precisão adequada.

Outro fator que influencia a medição do terrômetro é o clima e a umidade no momento da medição. No que em que foi realizado as medições, dia 18 de julho de 2020, o tempo estava seco, com uma temperatura amena, em torno de 26°C, porém com uma umidade relativa do ar bem baixa, e como não teve chuvas próximas ao dia da medição, o solo estava com uma umidade baixa. De certa forma, para uma precisão mais exata de medição, seria necessário utilizar um terrômetro digital com uma calibração correta.

Figura 17 - Hastes de cobre do terrômetro fixas no solo



Fonte: Autoria própria

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto atual que existe na destilaria de álcool, somente atribuiu um início no que seria a parte de aterramento das dornas, porém não foi concluído e deixado de lado, não existindo fidelidade com a norma NBR 5419. A avaliação do local foi feita, mostrando que não existe nenhum sistema presente nas demais estruturas presentes no local.

Uma avaliação de risco foi feita nas estruturas contidas na área exposta estudada. Com isso foram estabelecidos os parâmetros de cada estrutura e proposta um sistema de proteção contra descargas atmosféricas baseados nesses valores.

Para a parte administrativa, por se tratar de uma edificação bem menos ampla que as menores, e assim o projeto proposto para essa parte, não teria um valor tão alto e atenderia a norma como fidelidade. Um mastro com um captor de alumínio na ponta com uma altura de seis metros de altura, com um ângulo de proteção seria capaz de cobrir toda a edificação. Seria um custo relativamente baixo, já apresentado ao proprietário que por sua vez achou bem viável e já está analisando colocar esse SPDA. Nesse caso de um captor a seis metros de altura, o diâmetro que abrangeria o sistema de proteção são doze metros, cobrindo assim toda a área que está presente a edificação da parte de administrativa.

Na edificação onde fica a parte da moenda, destilação e geração de energia, o melhor método para ser adotado foi o de Franklin. Nesse caso, duas hastes com captores de alumínio, e um sistema de escoamento das descargas elétricas em cada haste seria implantado. O primeiro captor, sendo no ponto mais alto da destilaria, localizado na torre de destilação, com uma altura de aproximadamente de vinte e cinco metros acima do chão. O outro captor seria instalado acima da estrutura da parte de geração, com uma altura de vinte metros acima da área que se deseja a proteção. Cada mastro em que se encontra o captor, deve estar conectado à terra através de um cabo condutor ligado ao solo. Dessa forma os dois captores irão abrangi todo o plano de referência que as edificações estão presentes. O ângulo da proteção deve ser de cinquenta graus para o captor referente a parte de geração e de quarenta para o da parte de destilação. Um modelo adequado para a execução do projeto e com custo não muito elevado são captores de latão niquelado e cabos de cobre

de 25mm, além de uma haste lateral conforme mostra a Figura 18, onde a empresa responsável faz a instalação de dois novos suportes para a instalação do captor tipo Franklin, essa proposta seria muito eficiente para a destilaria, pois não tem um elevado custo e ainda o detector não tem contato direto com as torres de destilação.

Figura 18- SPDA em uma torre de destilação de gás



Fonte: <http://www.michelonengenharia.com.br/obras>

As dornas de armazenagem têm como projeto proposto o método de gaiola de Faraday, para cada dorna individualmente, porém segundo a norma 5419 para tanques agrupados em pátios de armazenamento, o aterramento de cada tanque em um ponto é suficiente, independente da maior dimensão horizontal. Quando dispostos em pátios, os tanques devem estar interconectados. Como o nível de proteção é de nível três, com um risco de impacto moderado, sendo que o nível de eficácia é de aproximadamente de 90% após a instalação do sistema de proteção.

Primeiro deve-se instalar um condutor ao longo da cobertura da estrutura. Um varão de cobre com oito milímetros de espessura deve ser o adequado para essa instalação. Em seguida os captores de cobre ou latão niquelado devem ser fixados na parte da cobertura, uma proposta de matérias de baixo custo.

Para ligar ao solo, deve ser instalado um cabo de descida, que irá escoar a descarga elétrica até o solo, o cabo deve ser do mesmo material da

malha de aterramento da edificação, no caso de um material proposto, cabo de cobre de 25mm.

A malha de aterramento em volta da edificação deve ser feita com cabos de 25mm, sendo em uma profundidade de 0,5 m, esses eletrodos de aterramento formados em condutores de anel devem ter essa profundidade mínima de instalação. No caso mostrado na Figura 15, as hastes de ferro soldadas aos taques, tem como finalidade sustentar e fixar o cabo da parte de aterramento.

Por fim, conclui-se que um projeto de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, sabendo dos custos envolvidos nos equipamentos edificações presentes na destilaria e principalmente de pessoas que ali circulam e trabalham diariamente, seria necessário pois não existe nenhuma proteção referente às descargas atmosféricas. Recomenda-se fortemente que a indústria em questão utilize das soluções apresentadas nesse trabalho futuramente, garantindo que suas operações continuem com um nível de confiabilidade e responsabilidade aceitável, e acima de tudo uma segurança melhor.

8. REFERENCIAS

ABNT. NBR 5419:2015. **Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1:** Princípios Gerais.p.67.

ABNT. NBR 5419:2015. **Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2 :** Gerenciamento de Risco. p.104,2015.

ABNT. NBR 5419:2015. **Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 3:** Danos físicos a estruturas e perigos à vida. p. 51, 2015

ABNT. NBR 5419:2015. **Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 4:** Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. p. 87, 2015.

ABNT. NBR 5410:2010. **Instalações elétricas de baixa tensão.** 2004, p 277.

BEZERRA, Sergio. **Avaliação de Sistemas de Aterramento Considerando a Utilização de Condutores e Hastes Envolvidos em Concreto.** São Paulo, 2011.

CERVELIN. S, CAVALIN. G, **Instalações elétricas prediais**. 16. Ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2007. 421p.

COTRIM. A, **Instalações elétricas prediais**. 5. Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil E, 2008. 544p.

KINDERMANN, Geraldo. **Choque Elétrico**. Porto Alegre, 1995.

KINDERMANN, Geraldo. **Descarga Atmosférica**. Porto Alegre, 1992.

KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento Elétrico**, 4ª edição. Porto Alegre, 1998.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc-Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 2011. 666 p.

NISKIER.J, MACINTYRE. J. **Instalações elétricas**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Base Livros Didáticos LTDA, 2008. 455p.

NUNES. P, Fernando. **Proteção contra descargas atmosféricas - SPDA**. CREA-PR (Caderno Técnico). 2016.

PORTAL DO BRASIL. **Brasil é líder mundial na incidência de raios por ano**. Disponível em :< <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2016/10/brasil-e-lider-mundial-na-incidencia-de-raios-por-ano>>.

PRAZERES, M. **Análise em FDTD de Tensões Induzidas no Interior de um Prédio com SPDA: Aspectos de Blindagem**. 2007. Acesso em: 23 de set. 2019

REBOSIO. N, (Uruguai). **Introducción al curso de instalaciones eléctricas de baja tension**.

RINDAT. **Rede Integrada Nacional de Detecção De Descargas Atmosféricas**.

VISCARO, Silvério. **Descargas Atmosféricas – uma Abordagem de Engenharia**. 1ª ed.São Paulo, 2005

SEVERINO. C, CAVALIN. G, **Instalações elétricas prediais**. 5. Ed. Curitiba: Base Livros Didáticos LTDA, 2008. 544p. Acesso em: 18 de out. 2019

YAMANISHI. B, RAVENADA. M, **Análise dos efeitos de sobretensões causados por descargas atmosféricas em aero geradores**. Curitiba. 2016. Acesso em: 18 de set. 2019