



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU



JEFERSON DA COSTA SILVA

DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, FORMAS DE DIMINUIR O RISCO DE
ACIDENTES

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2017

JEFERSON DA COSTA SILVA

DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, FORMAS DE DIMINUIR O RISCO DE ACIDENTES

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro

Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Ríspoli Alves

Ouro Preto

Escola de Minas – UFOP

Fevereiro/2017

S586d Silva, Jeferson.

Descargas atmosféricas, formas de diminuir o risco de acidentes [manuscrito] / Jeferson Silva. - 2017.

46f.: il.: color; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Monteiro.
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Alves.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Eletricidade atmosférica - Para-raios. 2. Prevenção de incêndios Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). 3. Dispositivos protetores - Dispositivos de proteção contra surtos (DPS). I. Monteiro, Paulo. II. Alves, Luiz. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

Monografia defendida e aprovada, em 21 de fevereiro de 2017, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



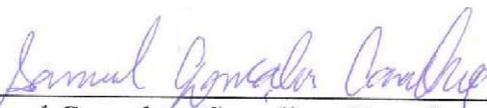
Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Orientador



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Co-orientador



Prof. Dr. Sávio Augusto Lopes da Silva – Professor Convidado



Samuel Gonçalves Carvalho – Eng. Convidado

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê. ”

Arthur Schopenhauer.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter iluminado meus caminhos e me dado forças para enfrentar os momentos difíceis.

Aos meus pais, Adelino e Nazaré, pela paciência, amor e apoio incondicional não só durante esses anos de faculdade, mas por toda a vida, à toda minha família em especial ao meu irmão, Claudemir, que me incentivou e me apoiou a obter essa conquista. Esta vitória também é de vocês!

À República K-Zona e aos meus amigos de Ouro Preto.

À Ouro Preto e à “vida universitária”, pelo crescimento pessoal e profissional.

À UFOP e à Fundação Gorceix, pelo ensino de qualidade e apoio.

Aos companheiros da Automação.

A todos que de alguma forma contribuíram positivamente para esta conquista.

RESUMO

Embora o número de acidentes com descargas elétricas atmosféricas não seja tão alto, ainda assim é significativo. Consequentemente, a busca por formas de se diminuir o risco de acidentes causados por raios é importante. O Brasil, segundo o INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas), é o país mais atingido por raios no mundo. Neste trabalho são apresentados meios de diminuir o número de acidentes causados por descargas elétricas atmosféricas.

Palavras-Chave: Raios, SPDA, Descargas Atmosféricas, Para-raios, DPS.

ABSTRACT

Although the number of accidents with atmospheric electrical discharges is not so high, it is still significant. Consequently, the search for ways to reduce the risk of accidents caused by lightning is important. Brazil, according to INEP (National Institute of Studies and Research), is the country hardest hit by lightning in the world. This paper presents ways to reduce the number of accidents caused by atmospheric electrical discharges.

Keywords: Rays, SPDA, Atmospheric discharges, lightning arrester, DPS.

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

BrasilDAT- Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas Atmosféricas

DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos

Elat (Grupo de Eletricidade Atmosférica) EPT: Elevação de Potencial de Terra

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LEMP: Pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas

MPS: Medidas de Proteção contra Surtos

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

NR: Norma Reguladora

Req: Resistência equivalente de aterramento

SPDA- Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

ZPR: Zona de Proteção contra Raios

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1- valores do raio da esfera rolante e o tamanho da malha para cada classe de proteção, tabela baseada na tabela 2 da NBR 5419-3	31
Tabela 4-2- Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA, tabela baseada na tabela 4 da NBR 5419-3.....	36
Tabela 4-3- Valores de k_i , tabela baseada na tabela 10 da NBR 5419-3	37
Tabela 4-4– Valores de k_c , tabela baseada na tabela 12 da NBR 5419-3	38
Tabela 4-5– Valores de k_m , tabela baseada na tabela 11 da NBR 5419-3.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1-Mapa de previsão de tempestades	16
Figura 2-2- Legenda de intensidade de atividades elétricas	17
Figura 2-3– Representação esquemática de uma descarga nuvem-solo com polaridade negativa	18
Figura 2-4– Representação esquemática do Líder Escalonado e do Líder Ascendente	19
Figura 2-5– Representação esquemática de Descarga de Retorno.....	19
Figura 2-6– Foto onde se podem ver raios múltiplos	20
Figura 3-1 - Esquema de aterramento TT.....	24
Figura 3-2- Esquema de aterramento TN-C	25
Figura 3-3- Esquema de aterramento TN-S.....	26
Figura 3-4 - Esquema de aterramento TN-C-S.....	27
Figura 3-5 - Esquema de aterramento IT.....	28
Figura 4-1- Ângulo de proteção correspondente à classe.....	31
Figura 4-2– Volume de proteção provido por mastro	32
Figura 4-3– Volume de proteção provido por mastro para altura diferentes.....	32
Figura 4-4– Volume de proteção provido por condutor suspenso.....	33
Figura 4-5– Método da esfera para estruturas com alturas menores que 60metros	34
Figura 4-6– Método da esfera para estruturas com alturas maiores que 60metros	35
Figura 5-1– DPS	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo geral.....	14
1.2	Objetivos específicos	14
1.3	Justificativa do trabalho	14
1.4	Metodologia proposta.....	14
1.5	Estrutura do trabalho	15
2	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	16
2.1	Definição.....	16
2.2	Descargas Nuvem-Solo.....	17
2.3	Raios de Polaridade Negativa	18
2.4	Líder Escalonado.....	18
2.5	Descarga de Retorno	19
2.6	Líder contínuo	20
2.7	Raios Múltiplos	20
2.8	Raios de Polaridade Positiva.....	21
3	Aterramento em instalações elétricas.....	22
3.1	Definição.....	22
3.2	Alguns conceitos importantes sobre aterramento elétrico	22
3.2.1	Terra.....	22
3.2.2	Eletrodo de aterramento.....	22
3.2.3	Condutor de ligação	22
3.2.4	Elevação de Potencial de Terra (EPT).....	22

3.2.5	Tensão de passo	23
3.2.6	Terra remoto	23
3.2.7	Resistência equivalente de aterramento (Req).....	23
3.3	Aterramento temporário	23
3.4	Aterramento de proteção	23
3.5	Aterramento funcional	23
3.6	Esquemas de aterramento de instalações em baixa tensão.....	23
3.6.1	Esquema TT.....	24
3.6.2	Esquema TN	25
3.6.3	Esquema TN-C	25
3.6.4	Esquema TN-S.....	25
3.6.5	Esquema TN-C-S.....	26
3.6.6	Esquema IT	27
3.7	Esquemas de aterramento de instalações em alta tensão	29
4	Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).....	30
4.1	Definição.....	30
4.2	SPDA externo	30
4.2.1	Subsistema captor	30
4.2.2	Método do ângulo de proteção	31
4.2.3	Método da esfera rolante	33
4.2.4	Método das malhas	35
4.2.5	Subsistema de descida	35
4.2.6	Subsistema de aterramento	36

4.3	SPDA interno	36
4.3.1	Equipotencialização do SPDA.....	36
4.3.2	Isolação elétrica do SPDA externo	37
5	Medidas de proteção contra surtos (MPS)	39
5.1	Aterramento e equipotencialização	39
5.2	Blindagem Magnética e roteamento das linhas.....	40
5.2.1	Blindagem espacial	40
5.2.2	Blindagem de linhas internas	40
5.2.3	Roteamento de linhas internas	40
5.2.4	Blindagem de linhas externas	40
5.3	Dispositivo de proteção contra surtos elétricos (DPS).....	40
5.3.1	Definição.....	40
5.3.2	Coordenação de DPS	41
5.4	Interfaces isolantes	41
6	Outras medidas de proteção contra descargas atmosféricas	42
6.1	Linhas de transmissão	42
6.2	Linhas de distribuição	42
6.3	Subestações	42
7	Considerações finais.....	43
7.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas representam cerca de um terço dos desligamentos não programados no sistema de distribuição e cerca de 40% das queimas de transformadores, além de produzirem sobretensões prejudiciais ao consumidor. Souza et al. (2014, p. 17)

Segundo a Elat (Grupo de Eletricidade Atmosférica) o Brasil tem um prejuízo anual em média US\$ 1 bilhão devido às descargas atmosféricas.

Além de causarem problemas nas redes elétricas, descargas elétricas podem ser muito perigosas. Segundo um estudo divulgado pelo INPE no dia 23/10/2015, em média morrem no Brasil 111 pessoas devido a descargas elétricas. Nosso país é dos países com maior incidência de raios, isso é devido à grande extensão territorial e à algumas características físicas e geográficas que o Brasil possui.

A perda de equipamentos e o perigo devido a descargas elétrica, faz com que as buscas por meios de proteção sejam grandes em todo o mundo.

Segundo alguns historiadores, no dia 15 de junho de 1752, o físico Benjamin Franklin realizou uma experiência em que usou um fio de metal para empinar uma pipa de papel e este fio estava preso a uma chave, também de metal, manuseada por um fio de seda durante uma tempestade e assim Franklin possivelmente observou que a carga elétrica dos raios descia pelo dispositivo.

Essa perigosa experiência, realizada por Benjamin, segundo historiadores, comprovou à comunidade científica da época que o raio é apenas uma corrente elétrica de grandes proporções. E em seguida o cientista demonstrou ainda que hastes de ferro ligadas à terra e posicionadas sobre ou ao lado de edificações serviriam de condutores de descargas elétricas atmosféricas e assim Franklin teria inventado o para-raios.

Desde então, outros sistemas para proteção contra descargas atmosféricas veem sendo aperfeiçoados ou até mesmo criados.

De acordo coma NBR5419-1 existem basicamente três tipos de medidas de proteção contra descargas atmosféricas, são elas, medidas de proteção para reduzir danos a pessoas devido a

choque elétrico, medidas de proteção para redução de risco de danos físicos e medidas de proteção para redução de falhas dos sistemas elétricos e eletrônicos, a associação destes três tipos de medidas ajudam a diminuir significativamente os riscos causados por descargas atmosféricas em determinada edificação.

De acordo com Osmar Pinto Junior, Coordenador do ELAT/INPE, mais de 80% dos acidentes com raios poderiam ser evitados. Para isso, é preciso ter um sistema eficiente de previsão de raios e orientar a população para medidas de proteção.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver um estudo sobre as medidas de proteção contra descargas atmosféricas.

1.2 Objetivos específicos

Mostrar formas de se diminuir o perigo e risco causados por descargas atmosféricas através da utilização de sistemas e aparelhos.

1.3 Justificativa do trabalho

Descargas atmosféricas causam inúmeras perdas de aparelhos elétricos e por consequência perdas de dinheiro. Além desse prejuízo financeiro, os “raios” também causam perigo à vida, embora o registro de mortes em um local fechado não seja tão alto, esse número é significativo, segundo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), entre 2000 e 2014 das mortes causadas por descargas atmosféricas no Brasil, 19% dos casos foram de pessoas dentro de domicílios.

Existem no mercado inúmeros aparelhos e sistemas que são utilizados para se diminuir esse risco e perigo causados pelas descargas atmosféricas. Embora o investimento inicial possa ser alto, este é muito bem compensado caso a escolha do aparelho ou sistema de proteção seja o adequado, já que assim se pode evitar perdas seja ela de aparelhos elétricos, ou até mesmo de vidas.

1.4 Metodologia proposta

Estudo, e descrição de formas de se diminuir o risco e perigo causados por descargas atmosféricas.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos. O primeiro índice apresenta um contexto introdutório sobre o trabalho desenvolvido. Do segundo ao quarto capítulo, é feito um estudo inicial sobre os temas abordados. No capítulo seis, são apresentadas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. Nas referências apresenta-se, em ordem alfabética, todo o material bibliográfico consultado e citado ao longo do texto.

2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Nas seções subsequentes, será apresentada uma breve descrição sobre descargas atmosféricas.

2.1 Definição

Descarga atmosférica é definida pela NBR 5419 (Proteção de contra descargas atmosféricas) como uma descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens, consistindo em um ou mais impulsos de vários quilos ampères.

Descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão e de grande intensidade, que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões localizadas da atmosfera, em geral dentro de tempestades. A descarga inicia quando o campo elétrico produzido por estas cargas excede a capacidade isolante, também conhecida como rigidez dielétrica, do ar em um dado local na atmosfera, que pode ser dentro da nuvem ou próximo ao solo. Quebrada a rigidez, tem início um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas. Existem diversos tipos de descargas, classificadas em função do local onde se originam e do local onde terminam (VISACRO, 2005).

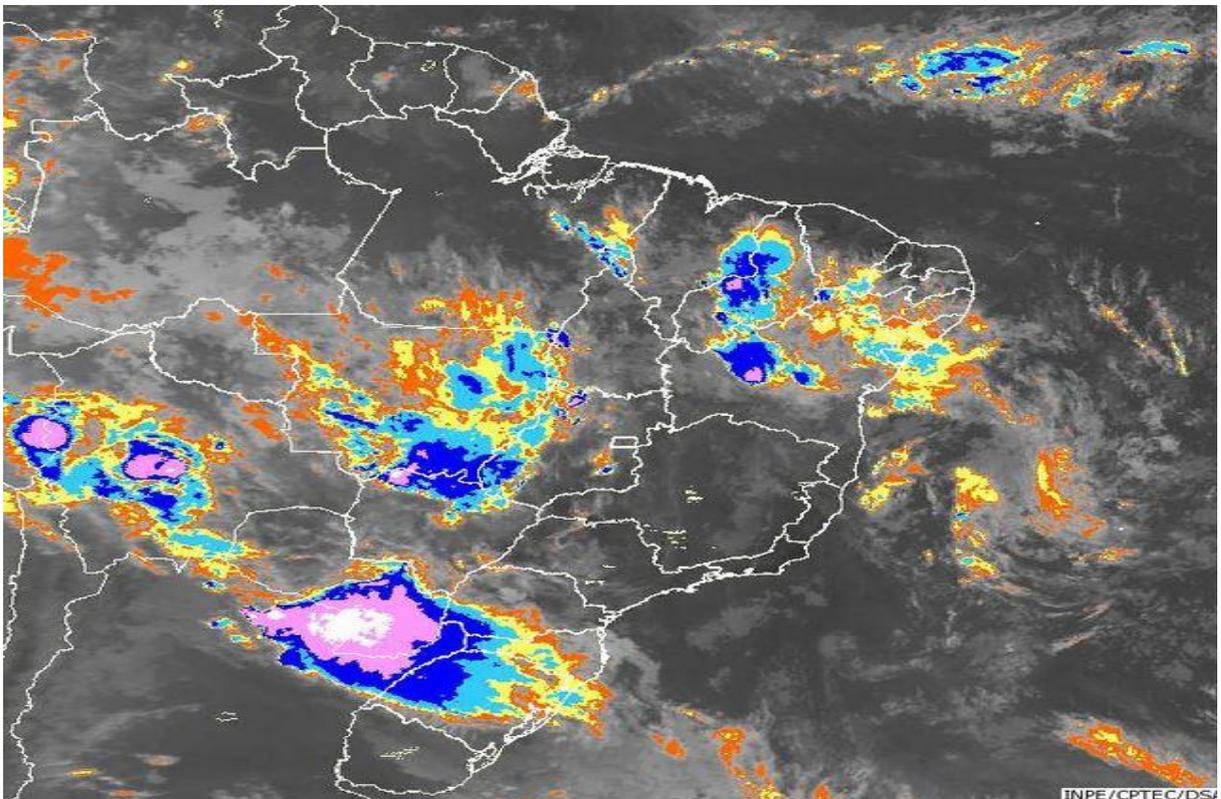


Figura 2-1-Mapa de previsão de tempestades

Fonte: NÚCLEO DE MONITORAMENTO E PREVISÃO DE TEMPESTADES, 2016

A Figura 2.1 é uma imagem via satélite feita pelo Núcleo de Monitoramento e Previsão de Tempestades, nela é adotada o conceito de atividade elétrica, que é calculada a partir dos dados do Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas Atmosféricas, o BrasilDAT. O termo atividade elétrica é usado para definir as regiões onde estão ocorrendo descargas atmosféricas, independentemente do tipo de descarga. A Figura 2.2 mostra através de diferentes cores, a diferença das intensidades da atividade elétrica.

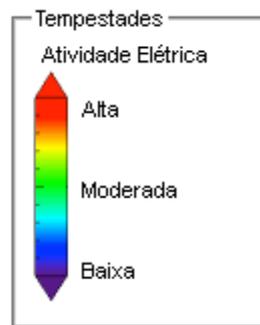


Figura 2-2- Legenda de intensidade de atividades elétricas

Fonte: NÚCLEO DE MONITORAMENTO E PREVISÃO DE TEMPESTADES, 2016

2.2 Descargas Nuvem-Solo

As Descargas Nuvem-Solo são mais conhecidas como raios e essas são as mais estudadas dentre as descargas elétricas devido ao seu poder destrutivo. Os raios podem ser divididos devido a sua polaridade, sendo que os apresentam polaridade negativa são os mais abundantes, cerca de 90% dos raios.

Embora os raios durem um intervalo de tempo muito rápido, em média um quarto de segundo, sua corrente elétrica sofre variações, além disso, um raio é composto por várias descargas elétricas, chamadas de descargas de retorno, e elas ocorrem em um intervalo muito curto de tempo.



Figura 2-3– Representação esquemática de uma descarga nuvem-solo com polaridade negativa

Fonte: WIKIPÉDIA, 2007

2.3 Raios de Polaridade Negativa

Um raio de polaridade negativa é formado por várias etapas, se inicia com pequenas cargas na parte negativa da nuvem que se deslocam para fora da nuvem, o processo que as descargas se deslocam ao longo da nuvem em direção às partes positivas da nuvem é denominado quebra de rigidez e no fim desse processo ocorre uma fraca descarga luminosa, denominado líder escalonado.

2.4 Líder Escalonado

O líder escalonado se propaga através de um caminho denominado canal de relâmpago em direção ao solo, esse caminho é tortuoso e em etapas. Ele geralmente ramifica-se em vários caminhos e na maioria das vezes um só ramo atinge o solo.

Quando o líder escalonado está perto de atingir o solo é formado um grande campo elétrico entre ele e o solo, esse campo elétrico é o responsável por quebrar a rigidez do ar fazendo com que surjam líderes ascendentes positivos, conhecidos como líderes conectantes, estes saem do solo e se propagam praticamente da mesma forma que o líder escalonado.



Figura 2-4– Representação esquemática do Líder Escalonado e do Líder Ascendente

Fonte: SCIELO, 2005

2.5 Descarga de Retorno

A descarga de retorno ocorre quando o líder conectante e o líder escalonado se encontram, devido ao movimento de cargas no canal de líder escalonado em direção ao solo.

O raio é denominado raio simples se assim que uma única descarga de retorno terminar, o raio também terminar. Na grande maioria, cerca de 80% dos casos, isto não ocorre, após alguns milissegundos é formada outra descarga de retorno, conhecida como descarga de retorno subsequente, e para que essa nova descarga ocorra o deslocamento de cargas da nuvem para o local o deu início o líder escalonado. Neste processo ocorrem descargas dentro da nuvem denominadas descargas K.



Figura 2-5-- Representação esquemática de Descarga de Retorno

Fonte: Google, 2016

2.6 Líder contínuo

O líder contínuo é formado quando as novas cargas formadas na nuvem chegam na região de canal formado pela descarga de retorno anterior. O líder contínuo é que abre caminho para a descarga de retorno subsequente. O líder contínuo, ao contrário do líder escalonado, geralmente não sofre ramificações.

A descarga de retorno subsequente é formada assim que o líder contínuo estar próximo do solo. Algumas vezes o líder contínuo pode ser desfeito de chegar ao solo e em outras ele pode ser mudado de trajetória por influência de algum agente externo, neste caso o líder contínuo se assemelha ao líder escalonado e é chamado de Líder Contínuo-Escalonado.

2.7 Raios Múltiplos

Raios múltiplos são raios que possuem várias descargas de retorno subsequentes. A grande maioria dos raios negativos possuem entre três e quatro descargas de retorno.



Figura 2-6– Foto onde se podem ver raios múltiplos

Fonte: Adesg, 20

2.8 Raios de Polaridade Positiva

Raios que apresentam polaridade positiva partem de um líder e se deslocam de início dentro da região positiva da nuvem. Eles apresentam quase que as mesmas características dos raios com polaridade negativa. Na grande maioria das vezes os raios com polaridade positiva apresentam somente uma descarga de retorno, conseqüentemente é raro raios múltiplos com polaridade positiva e sua intensidade geralmente é maior do que a dos raios que possuem polaridade negativa.

3 Aterramento em instalações elétricas

3.1 Definição

O aterramento de uma instalação elétrica é um sistema utilizado para evitar o desequilíbrio de tensão, fazer com que não ocorram fugas de corrente o que poderia ocasionar o desbalanceamento das fases, e ainda prevenir o choque elétrico.

Muitas normas dentre elas a NR-10, tornam obrigatório a utilização de aterramento em todas as instalações elétricas.

O uso correto de aterramento é fundamental no caso de a instalação ser atingida por descargas atmosféricas, já que nesse caso a corrente vai para a terra.

3.2 Alguns conceitos importantes sobre aterramento elétrico

Para um melhor entendimento, apresenta-se a seguir alguns conceitos sobre aterramento elétrico.

3.2.1 Terra

Parte condutora do solo onde se fica envolvido o eletrodo de aterramento.

3.2.2 Eletrodo de aterramento

Eletrodo de aterramento é basicamente um ou vários condutores elétricos que possuem contato direto com a terra.

3.2.3 Condutor de ligação

O condutor de ligação tem a função de fazer a conexão do eletrodo de aterramento ao local onde se deseja fazer o aterramento ou até mesmo fazer a conexão de eletrodos de aterramento.

3.2.4 Elevação de Potencial de Terra (EPT)

Após a corrente ser descarregada ao solo, certa região entorno do eletrodo de aterramento irá possuir uma distribuição de potencial denominada elevação de potencial de terra (EPT).

3.2.5 Tensão de passo

Se uma pessoa estiver sobre essa região onde ocorre o EPT, a diferença de potencial entre seus dois pés é denominada tensão de passo, e essa pessoa poderá receber uma descarga elétrica, isso deve ser evitado.

3.2.6 Terra remoto

É a parte do solo onde a possível distribuição de potencial é zero.

3.2.7 Resistência equivalente de aterramento (R_{eq})

R_{eq} nada mais é do que a relação entre o EPT e a corrente injetada do solo através do eletrodo de aterramento que gerou o EPT.

3.3 Aterramento temporário

O aterramento temporário é uma ligação elétrica à terra e possui baixa impedância, ele tem a função de manter a equipotencialidade e é usado quando se tem uma intervenção na instalação elétrica em questão.

3.4 Aterramento de proteção

O aterramento de proteção é o aterramento das partes estranhas à instalação, o objetivo de proteção contra choque elétrico.

3.5 Aterramento funcional

No aterramento funcional se utiliza um condutor do sistema, em geral o neutro, ligado à terra, visando o funcionamento correto da instalação elétrica.

3.6 Esquemas de aterramento de instalações em baixa tensão

Conforme a NBR 5410, o projetista pode escolher o esquema de aterramento a ser utilizado. Existe uma legenda para definir os esquemas de aterramentos padronizados:

Primeira letra (situação do alimentador em relação à terra):

T: diretamente aterrado;

I: aterrado utilizando impedância ou não aterrado.

Segunda letra (massas da instalação elétrica em relação à terra):

T: diretamente aterrado;

N: massas ligadas ao ponto de alimentação aterrado.

Demais letras (situações do neutro e do condutor de proteção)

S: condutor neutro é diferente do condutor de proteção;

C: um único condutor denominado PEN constitui o neutro e condutor de proteção.

3.6.1 Esquema TT

Nesse esquema um ponto é diretamente aterrado e, além disso, as partes metálicas estranhas ou expostas são ligadas a um eletrodo de terra. Os condutores PE e N são separados e dimensionados para a máxima corrente de falta. Este tipo de esquema é recomendado de ser utilizado onde a fonte de alimentação e a carga sejam distantes.

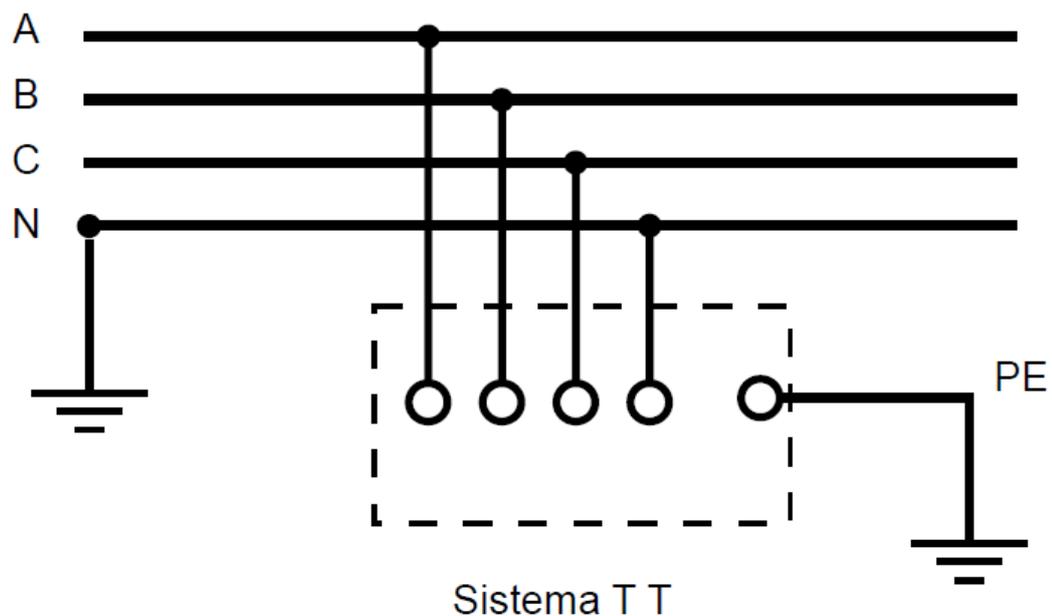


Figura 3-1 - Esquema de aterramento TT

Fonte: Ensinando Elétrica, 2014

3.6.2 Esquema TN

A fonte é aterrada da mesma forma que o esquema TT, as partes metálicas estranhas ou expostas são ligadas ao condutor neutro, o esquema TN é dividido em três tipos, TN-C, TN-S, TN-C-S.

3.6.3 Esquema TN-C

O esquema TN-C exige uma distribuição equipotencial dentro do ambiente, o condutor neutro nesse caso é também condutor de proteção. Este esquema só pode ser utilizado quando o condutor apresentar seção igual ou superior a 10mm², além disso, não pode ser usado para equipamentos portáteis. E também não é admitido o uso de DR (Diferencial Residual).

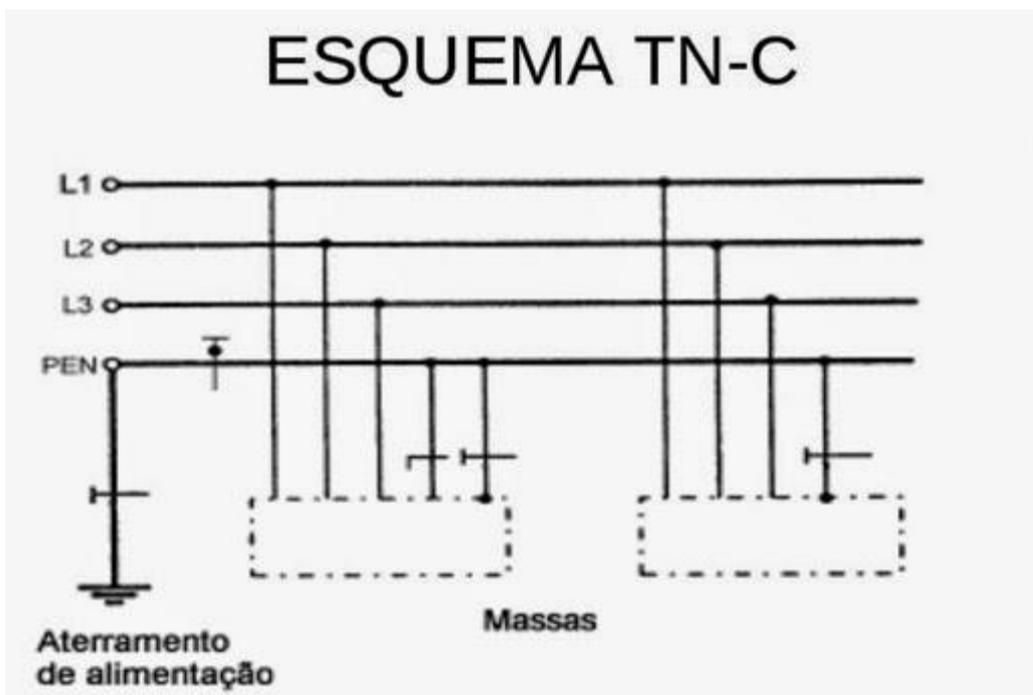


Figura 3-2- Esquema de aterramento TN-C

Fonte: Ensinando Elétrica, 2014

3.6.4 Esquema TN-S

Ao contrário do esquema TN-C, no esquema TN-S os condutores de proteção e neutro são separados. É permitido o uso de DR e estes garantem a proteção detectando a corrente que

escoa pela terra. Esse tipo de esquema pode ser utilizado para instalações onde a distância entre a carga e a fonte de alimentação não seja muito grande.

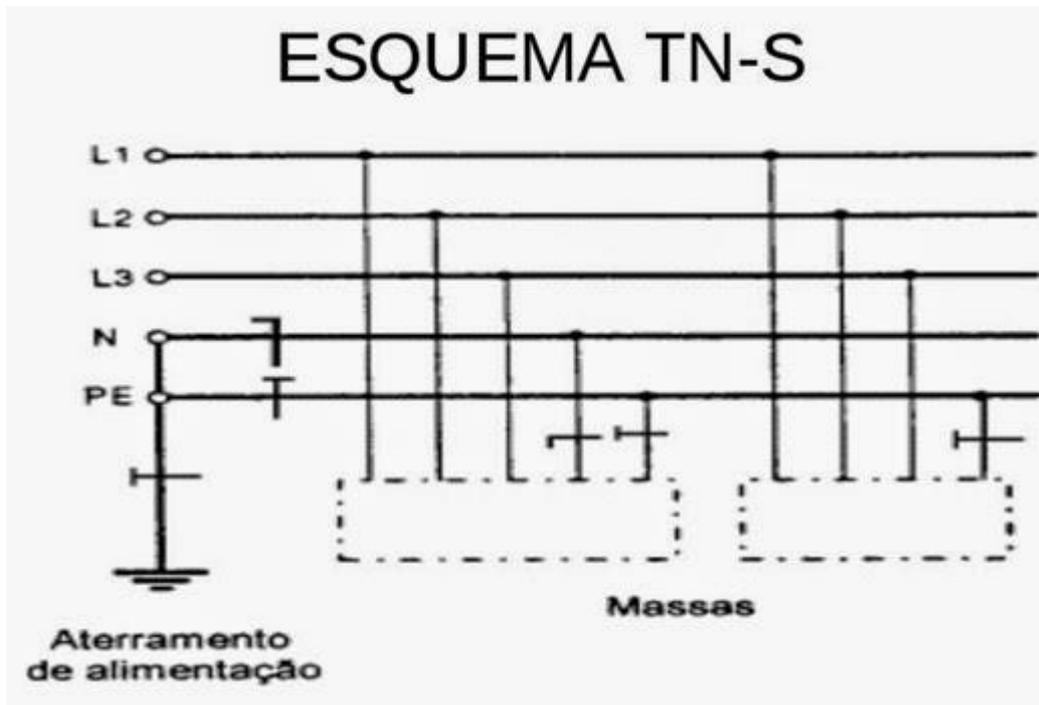


Figura 3-3- Esquema de aterramento TN-S

Fonte: Ensinando Elétrica, 2014

3.6.5 Esquema TN-C-S

O esquema TN-C-S é quando os dois esquemas, TN-C e TN-S, são utilizados na mesma instalação, neste esquema deve tomar o cuidado de que o esquema TN-C não pode ser usado a jusante do esquema TN-S.

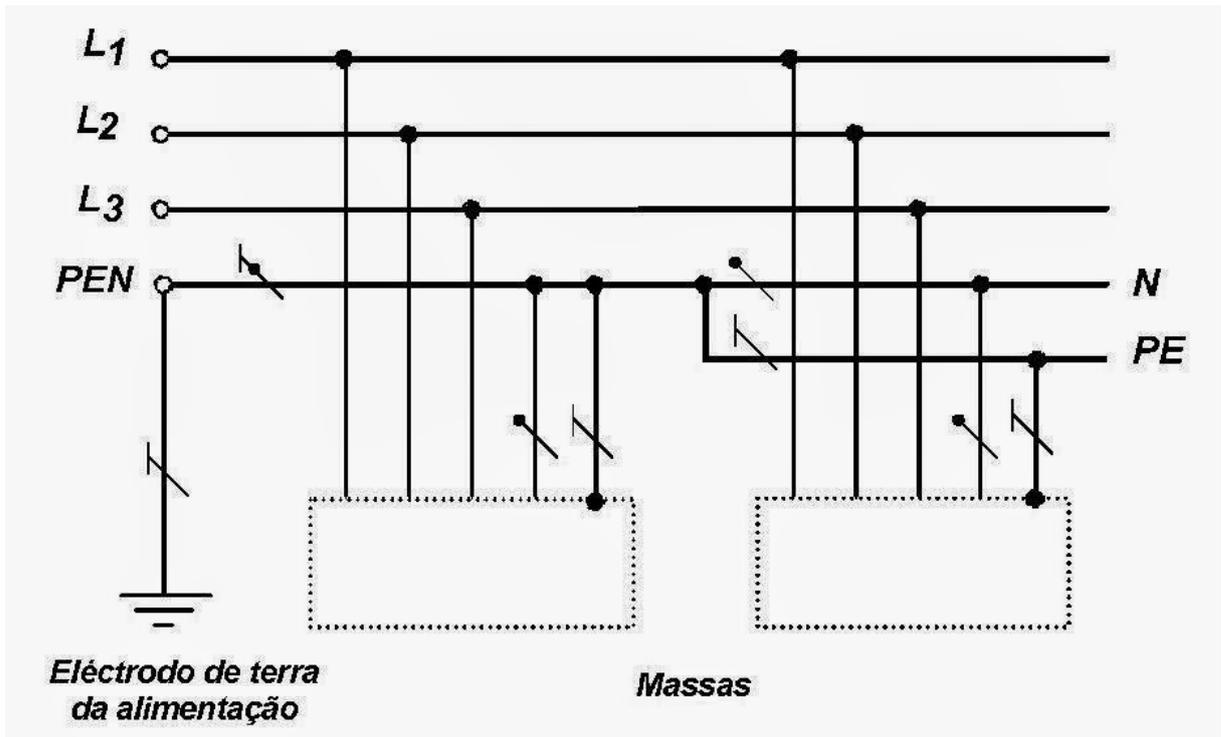


Figura 3-4 - Esquema de aterramento TN-C-S

Fonte: Ensinando Elétrica, 2014

3.6.6 Esquema IT

Neste esquema o neutro é isolado da terra ou é aterrado utilizando impedância e limitador de tensões. As partes estranhas ou expostas devem ser ligadas ao eletrodo de terra da instalação. Os condutores PE e N são separados e deve haver um dimensionamento para a máxima corrente de falta.

Devido à corrente de falta e a queda de tensão serem baixas na ocorrência da primeira falta, este tipo de esquema de aterramento é utilizado em locais onde é indispensável a continuidade do serviço, porém a ocorrência de uma segunda falta deve ser altamente improvável e para isso utiliza-se dispositivos que detectam a primeira falta que, conseqüentemente, deve ser imediatamente eliminada.

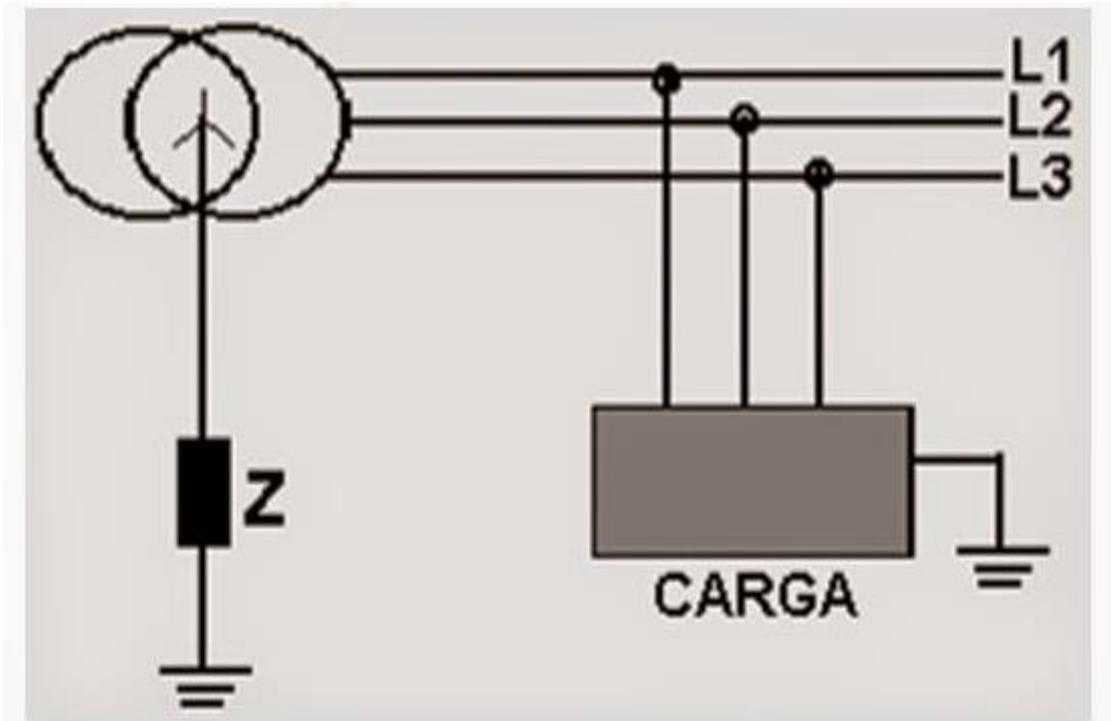


Figura 3-5 - Esquema de aterramento IT

Fonte: Ensinando Elétrica, 2014

3.7 Esquemas de aterramento de instalações em alta tensão

A padronização dos esquemas de aterramento em instalações em alta tensão é definida pela NBR 14036 e assim como os em instalações em baixa tensão também possuem legenda:

Primeira letra (alimentação em relação à terra):

T: ponto de alimentação diretamente aterrado;

I: partes vivas isoladas ou aterradas utilizando uma impedância.

Segunda letra (massas em relação à terra):

T: massas diretamente aterradas;

N: as massas são diretamente ligadas no ponto de alimentação.

Demais letras (possíveis ligações com massas da subestação):

R: massas da subestação ligadas ao neutro e às massas da instalação;

N: massas da subestação ligadas ao neutro ou à massas da instalação;

S: massas da subestação ligadas a um aterramento elétrico separado das massas da instalação e do neutro.

Os esquemas de aterramentos elétricos em instalações em alta tensão são os seguintes, TNR (toda corrente de falta direta é uma corrente de curto-circuito), TTN e TTS (correntes de falta direta devem ser menores a corrente de curto-circuito, apesar disso podem surgir tensões de contato perigosas), ITN, ITS e ITR (não devem aparecer tensões de contato perigosas). A legenda apresentada define a forma do esquema de aterramento.

4 Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

4.1 Definição

Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas tem por objetivo diminuir o risco de danos físicos causados por descargas atmosféricas na estrutura em questão.

O SPDA pode ser dividido em quatro classes, onde cada classe é definida pelo nível de proteção definidos pela NBR 5419-1. Resumidamente, o nível de proteção é crescente do nível IV ao nível I, e conseqüentemente, um SPDA de classe I é o que apresenta o maior nível de proteção e o um SPDA de classe IV apresenta o menor nível de proteção

O SPDA se subdivide em sistemas interno e externo. O primeiro é composto por dispositivos de proteção dos circuitos e aparelhos internos, o segundo é composto por captores, condutores de descida e aterramento.

4.2 SPDA externo

As funções de um SPDA externo são, interceptar a descarga elétrica que atingir diretamente a estrutura, fazer com que a corrente elétrica desta descarga chegue até a terra e, além disso, espalhar essa corrente na terra de forma a não causar danos ou centelhamentos.

O SPDA externo na maioria casos pode ser acoplado à estrutura e em casos mais críticos onde o impacto da descarga ou até mesmo sua capitação possa causar danos à estrutura, o SPDA deve ser isolado.

4.2.1 Subsistema captor

O subsistema de captação como o próprio nome indica, tem a função de captar a descarga atmosférica evitando com que outro ponto da estrutura seja atingido e danificado. O subsistema pode ser composto por hastes/mastros, condutores suspensos, condutores em malhas, elementos naturais ou por uma associação de mais de um destes.

A posição dos componentes do subsistema de captação deve ser no nível superior de qualquer fachada e sua escolha é determinada através de um, ou mais de um dos seguintes métodos, método do ângulo de proteção, método da esfera rolante, método das malhas.

Os métodos da esfera rolante e o método das malhas podem ser aplicados em qualquer caso já o método do ângulo de proteção é aplicado em edificações de formatos simples e seu uso é

limitado ao valor da altura do captador que é especificada na tabela 4.1 que também é utilizada junto com a figura 4.1, para a obtenção do ângulo de proteção, do raio da esfera rolante e do tamanho da malha de determinada classe de SPDA.

Tabela 4-1- valores do raio da esfera rolante e o tamanho da malha para cada classe de proteção, tabela baseada na tabela 2 da NBR 5419-3

Classe do SPDA	Raio da Esfera Rolante – R (m)	Máx. afastamento dos condutores da malha (m)
I	20	5x5
II	30	10x10
III	45	15x15
IV	60	20x20

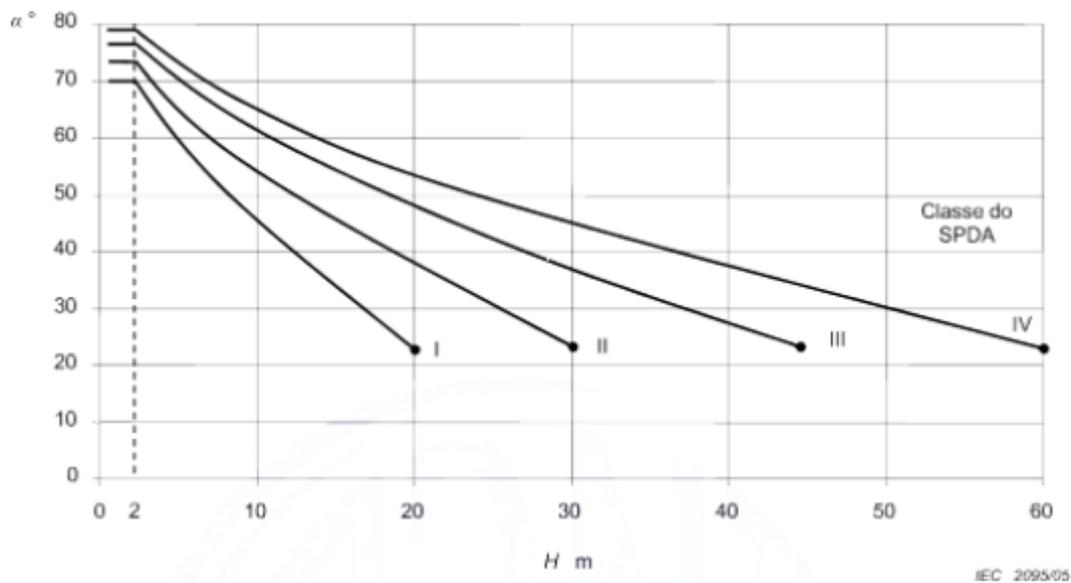


Figura 4-1- Ângulo de proteção correspondente à classe

Fonte: NBR 5419-3, 2015

4.2.2 Método do ângulo de proteção

O método do ângulo de proteção também conhecido como método de Franklin, utiliza um ou mais captadores, de modo que a edificação fique protegida dentro de um determinado volume

de proteção onde este volume pode ser provido por mastro, figura 4.2, ou provido por condutor suspenso, figura 4.4.

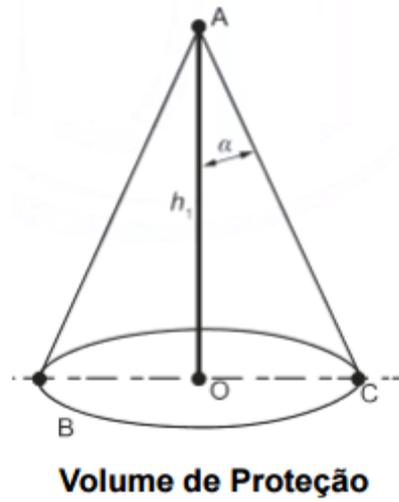


Figura 4-2– Volume de proteção provido por mastro

Fonte: NBR 5419-3, 2015

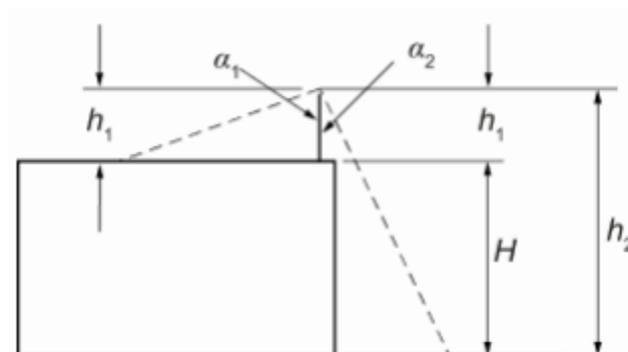


Figura 4-3– Volume de proteção provido por mastro para altura diferentes

Fonte: NBR 5419-3, 2015

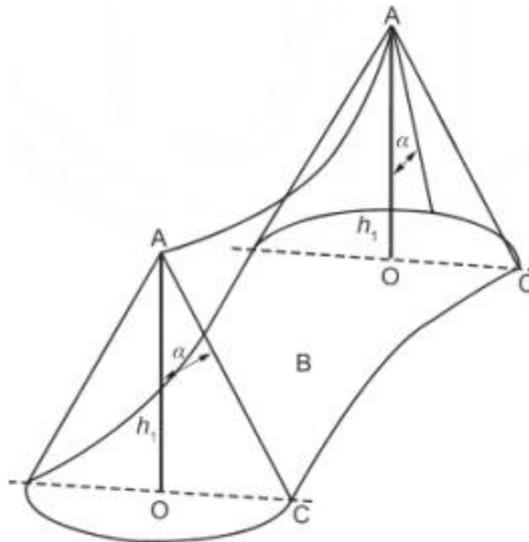


Figura 4-4– Volume de proteção provido por condutor suspenso

Fonte: NBR 5419-3, 2015

Onde A é o topo do captor, B o plano de referência, OC o raio da base do cone de proteção, h_1 a altura de um mastro acima do plano de referência e α o ângulo de proteção conforme a Tabela 4.1.

4.2.3 Método da esfera rolante

Neste método, que também é conhecido como método eletromagnético, supõe uma esfera imaginária rolando e as partes da estrutura onde a esfera rolar e não tocar estará protegida.

O raio, r , da esfera é determinado de acordo com a classe do SPDA à partir da tabela 4.1. A figura 4.5, apresenta um esquema utilizando o método da esfera rolante para estruturas com alturas menores que 60 metros e na figura 4.6 é representado um esquema utilizando o método da esfera rolante para estruturas maiores que 60 metros.

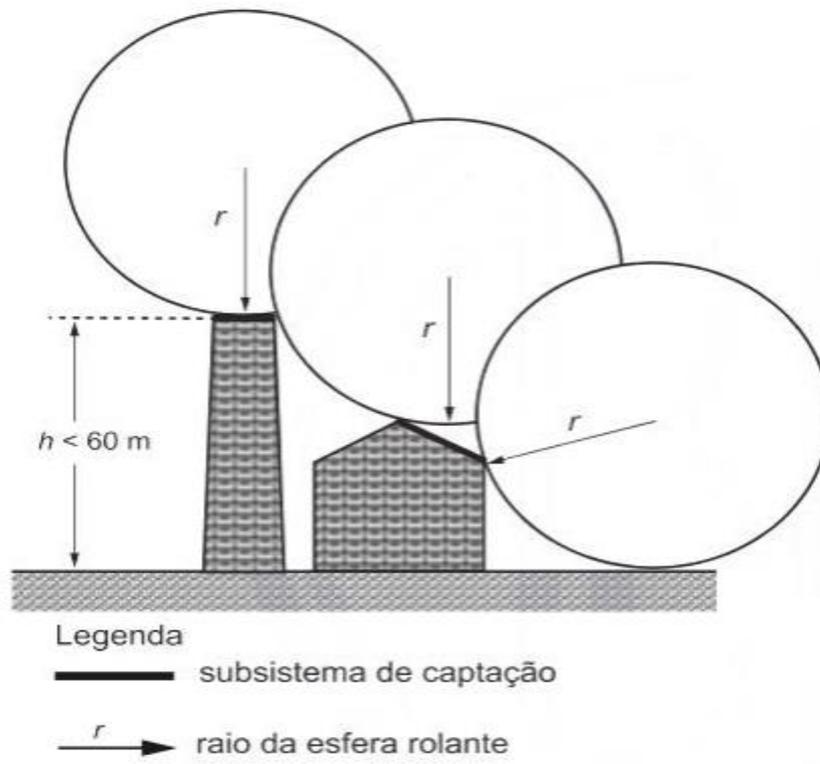


Figura 4-5– Método da esfera para estruturas com alturas menores que 60metros

Fonte: NBR 5419-3, 2015

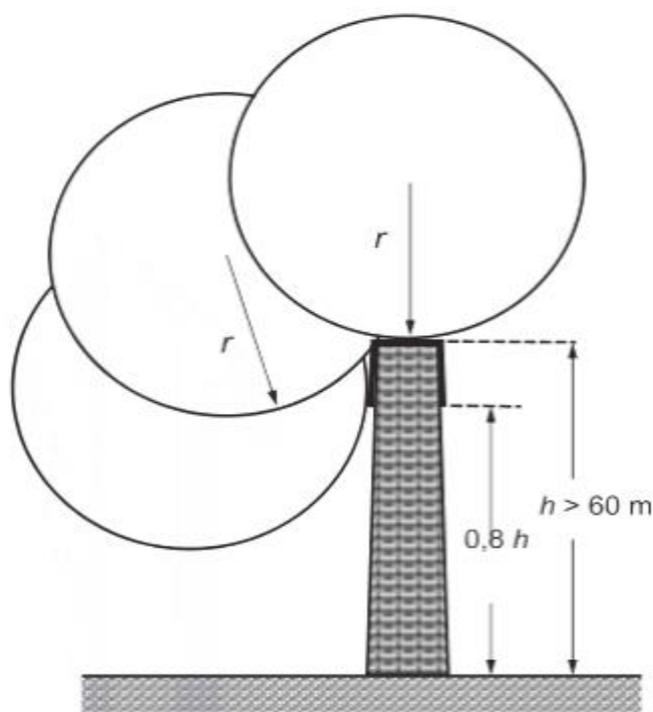


Figura 4-6– Método da esfera para estruturas com alturas maiores que 60mmetros

Fonte: NBR 5419-3, 2015

4.2.4 Método das malhas

O método das malhas que também é chamado de método de Faraday é utilizado para proteger superfícies planas, sua utilização deve obedecer a alguns critérios, são eles, condutores captadores devem ser instalados em locais críticos, a dimensão da malha não pode ser menor que os valores apresentados na tabela 4.1, a condução da corrente ao terra deve apresentar pelo menos dois caminhos distintos, nenhuma parte metálica da estrutura que não seja um captador pode ficar fora do volume onde há proteção e o condutores da malha devem fazer com que o caminho percorrido pela corrente seja o mais curto e retilíneo possível.

4.2.5 Subsistema de descida

O subsistema de descida tem a função de conduzir a corrente do captador à terra evitando o risco de danos na estrutura, de forma que a corrente tenha diversos caminhos paralelos e possa seguir o menor caminho possível e ainda que seja mantida a equipotencialização exigida na NBR 5419-3.

Tabela 4-2- Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA, tabela baseada na tabela 4 da NBR 5419-3

Classe do SPDA	Distâncias
	m
I	10
II	10
III	15
IV	20

A tabela 4.2 é baseada na tabela 4 da NBR 5419-3 e os valores das distâncias podem variar em 20% em relação aos valores apresentados na tabela.

4.2.6 Subsistema de aterramento

O subsistema de aterramento no caso de uso do SPDA, tem a função de dispersar a corrente que chega através do subsistema de descida, evitando assim sobretensões potencialmente perigosas. Os métodos de aterramento em instalações elétricas foram tratados de forma mais ampla no anexo 3.

4.3 SPDA interno

A função do SPDA interno é tentar evitar que ocorra centelhamento que gerem perigos dentro da área de proteção do SPDA externo. Para isso usa-se ligações equipotenciais ou isolamento elétrico dos componentes do SPDA externo.

4.3.1 Equipotencialização do SPDA

Equipotencializar é o mesmo que deixar tudo no mesmo potencial, a equipotencialização no caso de uso do SPDA pode ser feita através da interligação do SPDA com instalações metálicas, com sistemas internos ou com partes condutivas externas e linhas elétricas conectadas à estrutura.

Os meios para se fazer essas interligações podem ser direto ou indiretos, no caso do direto usa-se condutores de ligação, e o no caso da indireta pode-se utilizar DPS ou centelhadores.

4.3.2 Isolação elétrica do SPDA externo

A isolação elétrica do SPDA externo pode ser feita pelo SPDA interno e adota-se uma distância “d” entre os componentes eletricamente condutores do SPDA externo e elementos internos da estrutura também eletricamente condutores, e essa distância “d” deve ser maior que a distância de segurança “s”, então tem que:

$$s = \frac{ki}{km} \cdot kc \cdot l \quad (4.1)$$

Onde, os coeficientes k_i , k_c e k_m dependem do nível de proteção do SPDA, da corrente da descarga atmosférica pelos condutores de descida e do material isolante, respectivamente, e l é a distância ao longo do subsistema de captação ou de descida, desde o ponto onde a distância de segurança deve ser considerada até a equipotencialização mais próxima. Pelas tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 podem ser obtidos os coeficientes k_i , k_c e k_m respectivamente.

Tabela 4-3- Valores de k_i , tabela baseada na tabela 10 da NBR 5419-3

Nível de proteção do SPDA	k_i
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Tabela 4-4– Valores de k_c , tabela baseada na tabela 12 da NBR 5419-3

Número de descidas n	k_c
1 para SPDA isolados	1
2	0,66
3 ou mais	0,44

Tabela 4-5– Valores de k_m , tabela baseada na tabela 11 da NBR 5419-3

Material	k_m
Ar	1
Concreto, tijolos	0,5

5 Medidas de proteção contra surtos (MPS)

As descargas atmosféricas podem causar impulsos eletromagnéticos (LEMP) e esses impulsos podem causar danos permanentes a sistemas elétricos e eletrônicos internos à estrutura, para evitar o risco de danos neste caso utilizam-se medidas de proteção contra surtos (MPS).

A proteção contra LEMP é feita utilizando o conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR). As ZPR podem ser divididas em ZPR 0_A onde a proteção é contra a queda direta e ao campo eletromagnético total criado pelo raio, ZPR 0_B onde apesar de ser uma zona de proteção contra descarga direta, o único perigo é o campo eletromagnético total criado pela descarga atmosférica, ZPR1 onde a corrente de surto pode ser atenuada fazendo a divisão da corrente da descarga atmosférica e se utiliza interfaces isolantes e/ou DPS na fronteira, ZPR 2 é o mesmo caso da ZPR 1, mas neste caso a corrente pode ser atenuada ainda mais.

De acordo com a NBR 5419-4, esses danos permanentes podem ser causados através de duas formas, por surtos que podem ser transmitidos aos equipamentos através de condutores elétricos, ou por efeitos eletromagnéticos irradiados diretamente para os aparelhos. No primeiro caso para se evitar tais danos se utiliza dispositivos de proteção contra surtos (DPS) e no segundo caso se utiliza a blindagens espaciais e/ou condutores blindados, além disso, o invólucro dos aparelhos também deve ser blindado.

Seguindo a NBR 5419-4 uma MPS básica é composta de aterramento e equipotencialização, blindagem magnética e roteamento das linhas, coordenação de DPS e interfaces isolantes.

5.1 Aterramento e equipotencialização

Os esquemas de aterramento são compostos por um sistema combinado, o subsistema de aterramento que foi mais bem detalhado no índice 3, e que tem por objetivo a dispersão da corrente elétrica no terra, e malha de equipotencialização que tem a importância de reduzir a diferença de potencial e isso pode reduzir o campo magnético criado pela descarga atmosférica sobre a estrutura.

5.2 Blindagem Magnética e roteamento das linhas

Tanto a blindagem magnética quanto o roteamento das linhas têm por objetivo reduzir os surtos induzidos internamente e conseqüentemente, reduzir falhas permanentes em sistemas internos, para reduzir estas falhas, a blindagem magnética também reduz o campo magnético.

5.2.1 Blindagem espacial

Blindagens espaciais são feitas através ZPR e são indicadas para locais onde a proteção é feita sobre uma determinada região da estrutura em vez de se proteger várias partes de equipamentos internos à estrutura.

5.2.2 Blindagem de linhas internas

A blindagem de linhas internas pode ser feita sobre o cabeamento da estrutura ou diretamente sobre os equipamentos a serem protegidos da estrutura interna.

5.2.3 Roteamento de linhas internas

A função do roteamento de linhas internas é diminuir laços de indução o que por consequência diminui os surtos dentro da estrutura.

5.2.4 Blindagem de linhas externas

De acordo com a NBR 5419-4 a blindagem das linhas externas que estejam entrando na estrutura a ser protegida, deve ser feita nos cabos, nos dutos metálicos fechados e nos dutos de concreto armado.

5.3 Dispositivo de proteção contra surtos elétricos (DPS)

5.3.1 Definição

Os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) são equipamentos destinados à proteção das instalações elétricas e respectivas cargas sensíveis e podem ser constituídos por centelhador a gás ou varistor. Souza et al. (2014, p. 64)

DPS também é conhecido como protetores de surtos ou para-raios de baixa tensão.

De acordo com a NBR 5419-4 qualquer equipamento de uma instalação elétrica estará protegido se a tensão suportável de impulso nos seus terminais for superior à sobretensão de surto entre seus condutores normalmente energizados e o aterramento. Caso isso não ocorra, convém a utilização de DPS. A proteção pelo DPS é feita caso sua tensão de proteção efetiva seja menor que a tensão suportável de impulso em seus terminais.

5.3.2 Coordenação de DPS

A coordenação de DPS consiste em estabelecer a distância certa onde deve ser instalado o DPS através da inserção de um valor adequado de indutância.

Em MPS onde se utiliza mais de uma ZPR, os DPS devem ser instalados onde a linha entra em cada ZPR. Quando se tem apenas uma ZPR, ao menos um DPS deve ser instalado no ponto em que a linha entra.



Figura 5-1– DPS

Fonte: Blog NG Engenharia, 2014

5.4 Interfaces isolantes

As interfaces isolantes têm por objetivo diminuir o risco de LEMP. Algumas das interfaces isolantes usadas para isso são usados equipamentos isolados de classe 2, transformadores de isolamento e cabos fibras óptica sem componentes metálic

6 Outras medidas de proteção contra descargas atmosféricas

6.1 Linhas de transmissão

As linhas de transmissão são geralmente definidas como as com tensão nominal superior a 69kV e com a altura maior que 10m.

Quando uma descarga atinge diretamente uma linha de transmissão, pode ocorrer um curto circuito o que pode ocasionar a interrupção da transmissão de energia, para se evitar que isto ocorra, usa-se um condutor aterrado denominado cabo guarda que tem a função de atrair para se a corrente da descarga elétrica

6.2 Linhas de distribuição

As linhas de distribuição são afetadas tanto por descargas diretas quanto por descargas indiretas, e além disso, é praticamente inviável a proteção por completo das linhas de distribuição o que se aplica é a proteção em partes críticas das linhas.

Existem alguns métodos para se fazer a proteção de partes das linhas, um dos mais aplicados diz respeito à utilização de religadores e disjuntores a vácuo com ciclos de religamento automáticos, pode-se também utilizar um maior número de para-raios onde se deixa ter uma proteção.

6.3 Subestações

As subestações elétricas devem possuir malhas de aterramento, para isso são utilizados os condutores de aterramento (rabichos) que são condutores que exercem a função de interligar todas as partes condutoras de eletricidade da subestação, que não foram construídas com esse fim, mas onde possa ocorrer a passagem de correntes impulsivas.

Todas as eventuais cercas metálicas da subestação devem ser aterradas para se evitar que ocorra a tensão de toque, que seria a diferença de potencial da cerca para uma suposta pessoa tocando a cerca.

Todos os equipamentos da subestação devem ser aterrados de forma que seus terminais devem ser interligados diretamente à malha de terra por meio de um condutor de mesma seção que o da malha

7 Considerações finais

Este trabalho apresentou alguns princípios teóricos básicos sobre medidas de proteção contra descargas atmosféricas.

O uso de nenhuma medida de proteção contra descargas atmosféricas diminui o risco em 100%, mas obedecendo as orientações especificadas na NBR 5419:2015, o risco diminui de uma maneira muito considerável, chegando esse risco em alguns casos a ser bem próximo de zero.

Com a constante busca por meios de diminuir os riscos de danos causados por descargas atmosféricas, o uso e o aperfeiçoamento de medidas de proteção contra descargas atmosféricas têm aumentado bastante.

A análise de risco para a adoção ou não de medidas de proteção em uma determinada estrutura é apresentada na NBR 5419-1, mas mesmo quando os cálculos indicarem que não há necessidade de aplicação de nenhuma medida de proteção contra descarga atmosféricas, o bom senso entre o contratante e o contratado é sempre importante.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como a norma reguladora NBR 5419, mudou recentemente, 22 de junho de 2015, ainda não há muitas bibliografias sobre o tema, para trabalhos futuros pode-se fazer uma análise melhor detalhada utilizando um acervo maior de materiais de pesquisas.

Neste trabalho não foram apresentados cálculos detalhados sobre a análise de necessidade da utilização de medidas de proteção contra descargas atmosféricas sobre uma determinada estrutura, através de trabalhos futuros pode-se apresentar de forma mais explícita estes cálculos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1**: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais. Rio de Janeiro, 2015. 67p..

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1**: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015. 104p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1**: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2015. 51p..

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1**: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro, 2015. 87p..

Souza, André Nunes de et al. **SPDA Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2014. 192 p.

VISACRO, S.F. **Descargas Atmosféricas: uma abordagem de Engenharia**. 1 ed. São Paulo: ArtLiber, 2005. 268 p.

KAWANO, C. A chave do sucesso. **REVISTA GALILEU**, fev. 2007. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Galileu/0,6993,ECT785520-2680,00.html>>. Acesso em: 16 set. 2016.

Cibelle, C. S.; Ana, C. P. **BENJAMIN FRANKLIN E A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE EM LIVROS DIDÁTICOS**. No prelo.

FRANKLIN, Benjamin. **The Electrical Writings of Benjamin Franklin and Friends as collected by Robert A. Morse**. H. Dudley Wright Center for Innovation in Science Teaching, Tufts University, Medford, MA, 2004.

G1. **Número de mortes causados por raios tem queda no Brasil, aponta Inpe**, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2015/10/numero-de-mortes-causadas-por-raios-tem-queda-no-brasil-aponta-inpe.html>>. Acesso em: 07 set. 2016.

INPE. **Descarga de Retorno**, 2010. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/rindat/menu/desc.atm/>> Acesso em: 01 dez. 2016.

PORTAL DO ELETRICISTA. Importância do Aterramento Elétrico nas instalações, 2014. Disponível em: < <http://www.portaleletricista.com.br/aterramento-eletrico/>> Acesso em: 19 dez. 2016.

HEINISCH, Carste. 1752: Benjamin Flanklin inventa o para-raios, 2007. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt-br/1752-benjamin-franklin-inventa-o-para-raios/a-314478>>. Acesso em: 21 set. 2016.

ENSINANDO ELÉTRICA. Esquemas de aterramento de acordo com a norma NBR5410:2004, 2014. Disponível em: < <http://ensinandoeletrica.blogspot.com.br/2014/11/esquemas-de-aterramento-de-acordo-com.html>>. Acesso em: 26 dez. 2016.

ADESG. A física das tempestades e dos raios, 2012. Disponível em: < <http://www.adesg.net.br/noticias/a-fisica-das-tempestades-e-dos-raios>>. Acesso em: 23 set. 2016.

SCIELO. **Criterio del Líder Anticipado de Conexión para Terminales Aéreas de Intercepción utilizadas en la Protección contra Rayos**, 2005. Disponível em: < http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000200013>. Acesso em: 01 dez. 2016.

WIKIPÉDIA, Raio (meteorologia), 2007. Disponível em: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Raio_\(meteorologia\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Raio_(meteorologia))>. Acesso em: 21 set. 2016.

LEAL, Flávio. Em casa também há risco de morte por raios, 2016. Disponível em: < <http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2016/03/12/em-casa-tambem-ha-risco-de-morte-por-raios.htm>>. Acesso em: 12 out 2016.

NÚCLEO DE MONITORAMENTO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS. Atividade Elétrica, 2016. Disponível em: < <http://nucleo.tempestades.org.br/NovoPortal/#.htm>>. Acesso em: 31 out 2016.

INPE. Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas Atmosféricas, 2016. Disponível em: < <http://inpe301.webnode.com.br/elat/brasildat/.htm>>. Acesso em: 31 out 2016.