

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**PROTEGENDO EDIFICAÇÕES DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
ATRAVÉS DE PARA RAIOS**

Área de Engenharia Elétrica

por

Gabriel Porto Cioffi de Lima

Marcos Rosa dos Santos, Mestre
Orientador

Itatiba (SP), Novembro de 2011

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**PROTEGENDO EDIFICAÇÕES DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
ATRAVÉS DE PARA RAIOS**

Área de Engenharia Elétrica

por

Gabriel Porto Cioffi de Lima

Relatório apresentado à Banca Examinadora do
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia
Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: Marcos Santos Rosa, Mestre

Itatiba (SP), Novembro de 2011

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE EQUAÇÕES.....	vi
RESUMO.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo Geral.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos.....	2
1.2. METODOLOGIA.....	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
2. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	4
2.1. COMO OCORRE UM RAIOS.....	4
2.1.1. Nuvens adquirem cargas.....	4
2.1.2. Nuvens descarregam cargas.....	6
2.2. INCIDÊNCIAS DE RAIOS.....	8
2.2.1. Locais onde há maior incidências.....	8
2.2.2. Índice Ceraúnico.....	8
2.3. DIMENSOES DO RAIOS.....	10
2.3.1. Duração do raio.....	10
2.3.2. Grandezas do raio.....	11
3. PROTEGENDO ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	13
3.1. NÍVEIS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	13
3.2. DENSIDADE E ÁREA DE CAPTAÇÃO DO RAIOS EM ESTRUTURAS	15
3.3. ÍNDICE DE RISCO.....	17
4. OS DIFERENTES TIPOS DE PARA RAIOS.....	18
4.1. MÉTODO DE FRANKLIN.....	18
4.1.1. Área espacial de proteção	19
4.1.2. Condutor fictício de proteção	20
4.1.3. Plano fictício de proteção	22
4.1.4. Esquema do sistema de para raio tipo Franklin	23
4.2. GAIOLA DE FARADAY.....	33
4.2.1. Proteção pelo Método de Faraday.....	34

4.2.2. Malhas da Gaiola de Faraday.....	35
4.2.3. Cabos de descida.....	35
4.2.4. Posicionamento da malha superior da gaiola de Faraday.....	35
4.2.5. Coberturas metálicas.....	36
5. ESTUDO DE CASO	37
5.1. ÁREA DE CAPTAÇÃO	37
5.2. RAIOS INCIDENTES	37
5.3. ÍNDICE DE RISCO	37
5.4. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE PARA RAIOS	38
5.5. RESULTADO DA ANÁLISE.....	39
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
GLOSSÁRIO.....	42
APÊNDICE A- PARA RAIOS ANALISADOS NO ESTUDO DE CASO..	44
ANEXO I – PARÂMETROS DE ÍNDICES DE RISCO	46

LISTA DE ABREVIATURAS

”	polegadas
A	ampère
a.C	Antes de Cristo
D_r	Densidade de raios
IC	Índice Ceraúnico
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
k	quilo
kA	quiloampères
km	quilômetro
km/s	quilômetros por segundo
km ²	quilômetro ao quadrado
kV	quilovolts
m	metro
mm	milímetros
s	segundo
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
USF	Universidade São Francisco
V	volt
μ s	microsegundos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação da gota d'água carregada.....	5
Figura 2. Fragmentação da gota d'água.	5
Figura 3. Cargas positivas no solo induzidas pela nuvem.	7
Figura 4. Rompimento da rigidez de elétrica do ar.	7
Figura 5. Mapa Isoceraúnico do Brasil.	9
Figura 6. Forma de onda do raio.	10
Figura 7. Raio de grande magnitude.....	12
Figura 8. Raio de grande magnitude em uma elevação.	12
Figura 9. Área de captação de uma edificação simétrica.	15
Figura 10. Área de captação de uma edificação assimétrica.....	16
Figura 11. Indução de cargas pela haste.	18
Figura 12. Altura da haste.	20
Figura 13. Condutor fictício horizontal	20
Figura 14. Plano fictício.	22
Figura 15. Sistema de para raio tipo Franklin.	24
Figura 16. Captor de pontas.	25
Figura 17. Ligação equipotencial.	28
Figura 18. Valor do Coeficiente $K_c = 1$	30
Figura 19. Valor do Coeficiente $K_c = 0,66$	30
Figura 20. Valor do Coeficiente $K_c = 0,44$	31
Figura 21. Espaçador.	32
Figura 22. Disposição de haste de aterramento.....	33
Figura 23. Corrente do raio descendo pela gaiola	34
Figura 24. Haste de Franklin protegendo a antena	46
Figura 25. Conexão por pressão mal executada	46
Figura 26. Conexão da escada de acesso	47
Figura 27. Cruzamento dos condutores da malha da Gaiola de Faraday	47
Figura 28. Cabo de descida com tubo protetor	48
Figura 29. Conexão do cabo de descida	48
Figura 30. Haste de aterramento	49
Figura 31. Conexão do cabo de descida na estrutura metálica das janelas	49
Figura 32. Refletor não conectado ao sistema de para raios	50
Figura 33. Visão geral do topo do prédio	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Densidade de raios	9
Tabela 2. Valores do raio	11
Tabela 3. Proteção contra descargas atmosféricas	13
Tabela 4. Efeito do raio em uma estrutura	14
Tabela 5. Índices de risco	17
Tabela 6. Ângulos de proteção	19
Tabela 7. Valores do parâmetro R	21
Tabela 8. Bitola do cabo de descida para prédios de até 20m	26
Tabela 9. Espaçamento entre cabos de descida	26
Tabela 10. Bitola dos cabos de equalização.....	28
Tabela 11. Coeficiente K_i	29
Tabela 12. Coeficiente $K_{material}$	29
Tabela 13. Malhas da Gaiola de Faraday	35
Tabela 14. Espessura mínima de coberturas metálicas	36

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Área de captação do raio	15
Equação 2. Densidade de raios	16
Equação 3. Incidência de raios	16
Equação 4. Índice de risco	17
Equação 5. Altura do cabo fictício	21
Equação 6. Diferencial entre a haste e o condutor fictício	21
Equação 7. Inequação I do cabo fictício	22
Equação 8. Inequação II do cabo fictício	22
Equação 9. Altura do plano fictício	23
Equação 10. Diferencial entre a haste e o plano fictício	23
Equação 11. Inequação do plano fictício	23
Equação 12. Número de descidas.....	27
Equação 13. Inequação de distância de material condutor.....	29

RESUMO

PORTO CIOFFI DE LIMA, Gabriel. **PROTEGENDO edificações DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ATRAVÉS DE PARA RAIOS**. Itatiba, 2011. no f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2011.

Antes de estudar o funcionamento, aplicação e tipos de para raio é necessário entender primeiramente o histórico de seu surgimento, em que ocasião surgiu a necessidade de instalação do primeiro para raio, como foi inventado e quais seus princípios básicos de funcionamento.

Para isso, é necessário entender o que são e como ocorrem os raios, que são descargas atmosféricas.

Após anos de estudos, é possível criar um histórico de incidência de raios, podendo ranquear e classificar cidades de acordo com o maior ou número de incidências deste fenômeno. Estes estudos são feitos através do que se chama Índice Ceraúnico.

Os raios também têm dimensões que podem ser classificadas de acordo com sua grandeza e seu tempo de duração.

Para proteger estruturas contra descargas atmosféricas, é necessário entender: quais são os níveis de proteção necessários de acordo com o tipo e tamanho da estrutura que se deseja proteger, quais são os índices mínimos que geram necessidade de instalação de um para raio, além da densidade e área de captação dos raios nestas estruturas.

Existem diferentes tipos de para raio, sendo o mais comum, o tipo Franklin que tem este nome em homenagem a seu inventor Benjamin Franklin. Este método é descrito e analisado, observando qual a área de proteção que ele oferece, além de um esquema completo com todos os seus componentes como: captor, conector, haste de sustentação, espaçador, braçadeira, cabo de descida, isolador, aterramento, tubo protetor e conexão.

Todas as fórmulas necessárias para entendimento do conteúdo ou necessidade de cálculo estão dispostas ao decorrer dos tópicos.

O projeto do TCC é um estudo de caso com análise dos dados captados a respeito do SPDA do prédio de Engenharia da Universidade São Francisco, em Itatiba.

Palavras-chave: Para raio. Descarga atmosférica. Franklin.

ABSTRACT.

Before studying which are the types, for what use and how a lightning-rod works, is necessary first to understand the history of its birth: in which occasion appeared the necessity of its installation, how it was invented e which are its basics principles of its working

To get to this, is completely necessary to understand what are and how do they occur, once they are a kind of atmospheric discharges.

After years of studying, it's possible to have a history of incidence of rays, which is possible to classify and rank cities according to the higher or lower number of incidences of this phenomena. These studies are made trough what is called Índice Ceraúnico

Rays also have dimensions that can be classified according to its magnitude and time of duration

To protect structures, against atmospheric discharge, must be understood: what are the levels of protection required according to the type and size of the building to be protected, which are the minimum indices that require the installation of a lightning-rod, and also, the density and catchment area of the rays in these structures

There are different kinds of lightning-rods. The most common is the Franklin one that was named after its inventor Benjamin Franklin. This method is described and analyzed, observing: which is the protection area that this type offers, besides a complete drawing with all its components such as: sensor, connector, support shaft, spacer, clamp, descendent cable, insulation, grounding, pipe protector and connection.

All formulas that is needed to understand this content or necessity of calculations are described along this assignment.

The Project of this TCC (Task Completion of Course) is a study of a case with the analyses of the information captured from the lightning protection system of the São Francisco University's engineering block.

Keywords: *lightning-rod. Atmospheric discharge. Franklin.*

1. INTRODUÇÃO

A formação de cargas nas nuvens e o inevitável descarregamento dessas cargas no solo é um fenômeno normal, que ocorre naturalmente.

Há muito tempo os raios são estudados pelo homem, no entanto ainda existem muitas dúvidas com relação ao sistema de carregamento de cargas positivas e negativas que ocorrem nas nuvens.

O fenômeno que chamamos de raio acontece em uma fração de segundo, gerando uma grande dificuldade de observação. Além disso, o raio ocorre aleatoriamente na superfície terrestre, sendo praticamente impossível prever onde o solo será atingido.

Não há nada que se possa fazer para evitar que um raio caia sobre um determinado prédio. Contudo, podemos forçá-lo em um caminho pré-determinado através do para raios e seus componentes.

Há milhares de anos, no processo de resfriamento do planeta, existiam muitas tempestades violentas. Com o passar do tempo, houve a estabilização dessas tempestades, mantendo-se em um equilíbrio natural.

Existem registros históricos dos raios desde 2000a.C., na Mesopotâmia. Pelo fato de ocorrer sempre acompanhado do relâmpago e do trovão, o raio era associado a deuses e divindades, sendo muito apresentado na literatura grega de 700a.C.

Antigamente, a destruição causada pelos raios era associada a pedras incandescentes que violentamente caíam do céu na ponta do raio. Apenas no século XVIII, cientistas começaram a relacionar esses fenômenos a descargas elétricas das cargas das nuvens. A partir daí explicou-se o efeito do relâmpago associado ao arco elétrico, sendo o trovão causado pelo súbito aquecimento e expansão do ar.

Nos dias de hoje, para estudar o raio, laboratórios utilizam foguetes para produzir um caminho de ar ionizado, que aumenta a probabilidade da descarga acontecer por esse caminho. Desta forma, pode-se analisar melhor o raio, através de máquinas fotográficas especiais de alta velocidade.

No ano de 1752, o cientista, Benjamin Franklin (1706-1790) usou um fio de metal para empinar uma pipa de papel. Este fio estava preso a uma chave, também de metal, manipulada por um fio de seda. Franklin soltou a invenção junto com o filho e observou que a carga elétrica dos raios descia pelo dispositivo.

A perigosa experiência, realizada em 15 de junho deste mesmo ano, comprovou à comunidade científica da época que o raio é apenas uma corrente elétrica de grandes proporções. Como cientista voltado à praticidade e à utilidade de suas descobertas, Franklin demonstrou ainda que hastes de ferro ligadas à terra e posicionadas ao lado ou sobre edificações serviriam de condutores de descargas elétricas atmosféricas. Esta invenção era o início do que chamamos de para-raios.

Em uma carta enviada a um amigo em Londres, Franklin sugeriu a ampla instalação dessas estacas de proteção contra a ação dos raios. A ideia espalhou-se rapidamente e, apenas um ano depois, um padre construía o primeiro para-raios na Europa, na Alemanha.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O seguinte trabalho tem como objetivo estudar a importância e os princípios de funcionamento de alguns tipos de para raios, e os efeitos de uma descarga atmosférica em edificações.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do estudo estão dispostos de forma a explicar os seguintes assuntos:

- Explicar a formação de raios;
- Explicar o funcionamento de alguns tipos de para raios;
- Normas para instalação de para raios em edificações.

1.2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para desenvolvimento deste trabalho é a de pesquisa científica, com base na obra DESCARGAS ATMOSFÉRICAS [1].

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho está disposta em 6 principais blocos:

- **INTRODUÇÃO:** Abertura do trabalho, com o histórico de surgimento do para raio; objetivos geral e específicos e também qual a metodologia utilizada ao longo do desenvolvimento.
- **DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:** Aqui há definições de como ocorre um raio, explicando como as nuvens adquirem e descarregam cargas; incidências de raios, locais onde há maior incidência e explicação de Índice Ceraúnico; Além das diferentes dimensões do raio, sua duração e grandezas.
- **PROTEGENDO ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:** Quais são os níveis de proteção necessários contra descargas atmosféricas; densidade e captação do raio nos diferentes tipos de estruturas; e por último, os diferentes tipos de risco encontrados.
- **OS DIFERENTES TIPOS DE PARA RAIOS:** Neste tópico, são estudados 2 tipos – Tipo Franklin e Gaiola de Faraday. Para o tipo Franklin, há o esquema do seu sistema de funcionamento com a explicação de todos os seus componentes
- **PROJETO:** Trata-se de um estudo de caso do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas do prédio de Engenharia da Universidade São Francisco, em Itatiba.
- **CONSIDERAÇÕES FINAIS:** Com a visão do autor a respeito dos assuntos abordados

Ao final, encontram-se, além de referência bibliográfica e glossário, o apêndice e anexos para melhor entendimento do trabalho.

2. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Quando ocorrem tempestades, podem ocorrer descargas atmosféricas, conforme desenvolvimento a seguir.

2.1. COMO OCORRE UM RAIO

Existem inúmeros fatores que proporcionam o acúmulo de carga nas nuvens. Estes fatores serão explicados a seguir para melhor entendimento deste fenômeno que chamamos de raio.

2.1.1. Nuvens Adquirem Carga

Uma corrente de ar ascendente possui alta concentração de umidade. Quando uma dessas correntes atinge determinada altitude, onde as temperaturas são mais baixas, a umidade começa a formar gotículas de água. Essas gotículas começam a unir-se umas às outras, precipitando pela ação da gravidade. Quando atingem um tamanho considerável, são induzidas cargas positivas na parte inferior, e cargas negativas na parte superior. Isso ocorre por que a Terra tem excesso de cargas negativas.

A gota carregada aumenta seu tamanho gradativamente, ficando instável após atingir um tamanho aproximado de 5mm. Por isso, ela acaba se fragmentando em partes menores, que nesse momento formam íons positivos na parte inferior e negativos na parte superior.

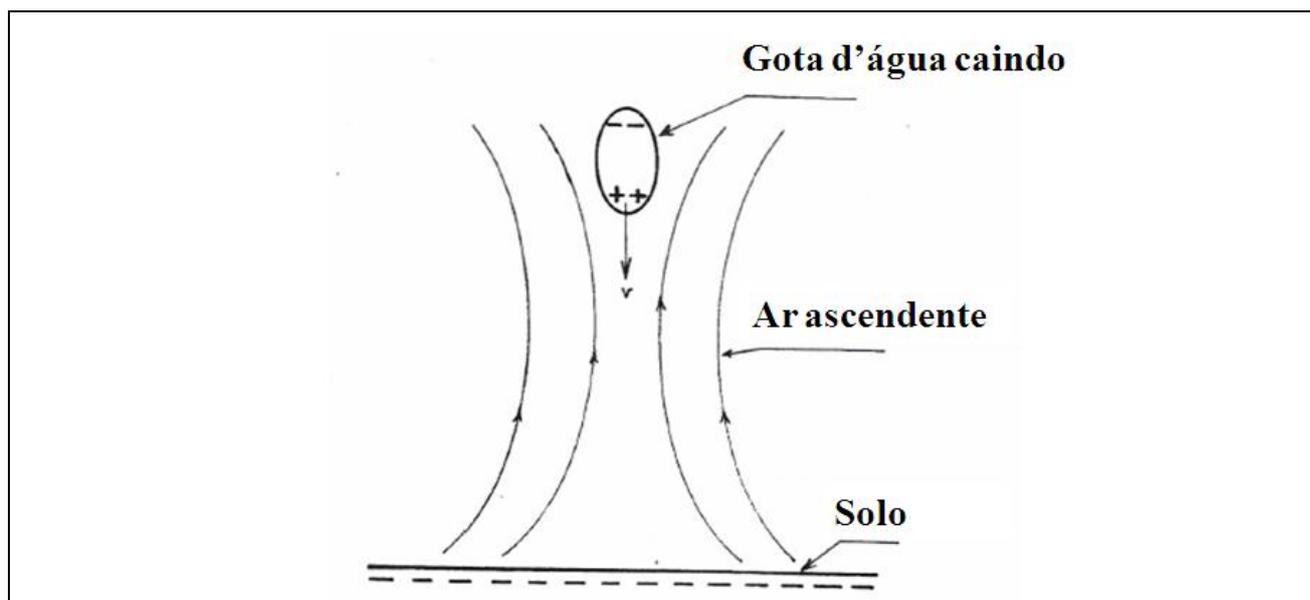


Figura 1. Precipitação da gota d'água carregada
Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

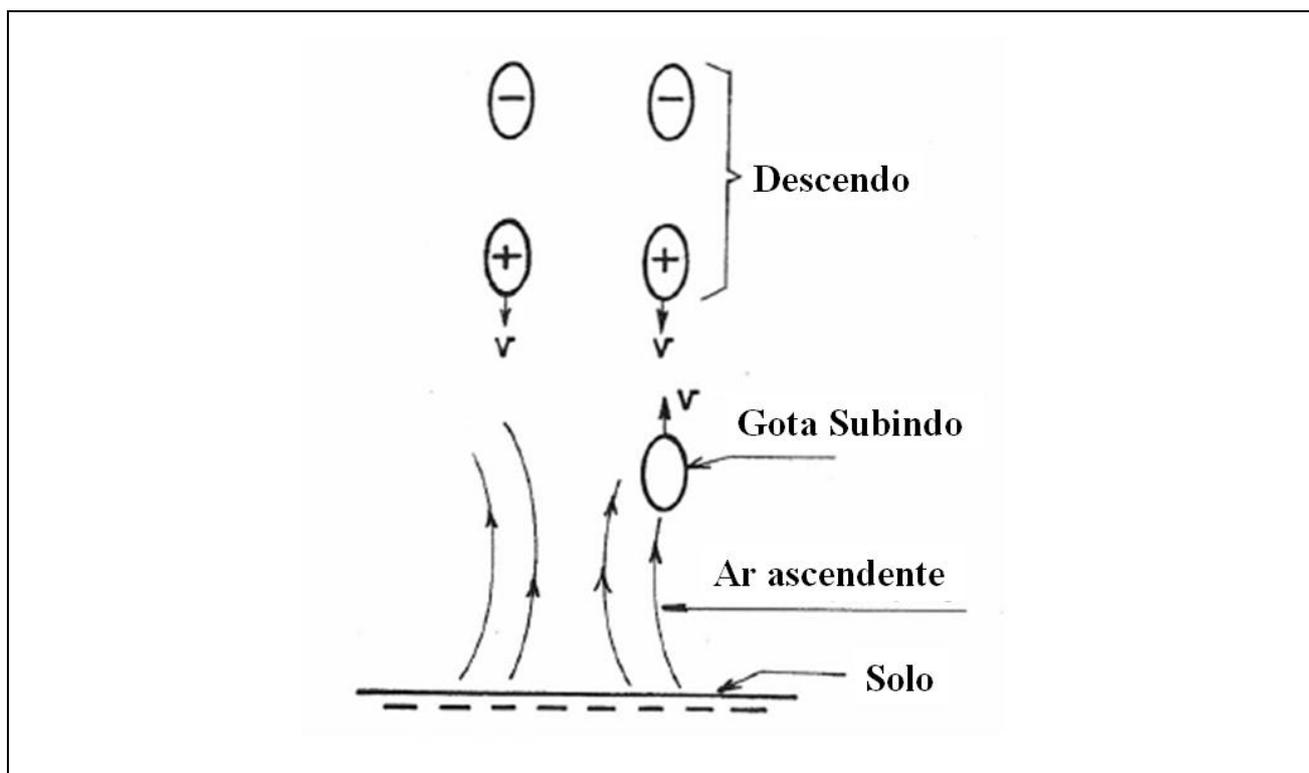


Figura 2. Fragmentação da gota d'água
 Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Os íons positivos encontram grande quantidade de gotículas de água arrastadas pelo ar ascendente, que ainda não possui carga. Durante o choque, as gotículas ascendentes entregam elétrons aos íons positivos descendentes. A partir de então, a gota que subia se torna positiva e o íon fica neutralizado.

Agora, as gotas ascendentes adquirem grande quantidade de energia cinética, devido ao fato de assumirem cargas positivas, e se aglomeram na parte superior da nuvem. Os íons negativos que surgiram com a fragmentação da gota maior, e tem menor energia cinética, continuam descendo e se aglomeram na parte inferior da nuvem. Ficando assim carregada como uma pilha, com cargas positivas e negativas separadas.

Entretanto, este fenômeno não é muito bem compreendido, pelo fato de cientistas terem verificado que algumas nuvens podem ficar carregadas ao contrário, com carga positiva em baixo e negativa em cima.

Há um fenômeno que intriga os pesquisadores: o fato de que a nuvem não se descarrega internamente, neutralizando suas cargas positivas e negativas.

2.1.2. Nuvens Descarregam Carga

No solo, cargas positivas são induzidas pela nuvem carregada, em uma área correspondente ao seu tamanho. Essas cargas seguem a nuvem como uma espécie de sombra, conforme o seu deslocamento, escalando tudo que encontra em seu caminho, como árvores, morros, pessoas, para raios, etc. (Figura 3).

Quando a nuvem encontra-se entre 300 e 5000 metros de altitude, forma-se uma diferença de potencial em relação ao solo, que varia de 10 a 1000 kV. Para que o descarregamento da nuvem seja realizado, não é necessário que o campo elétrico seja superior à rigidez dielétrica do ar. A massa de ar encontrada entre a nuvem e o solo não é homogênea, contendo impurezas, umidade e ar ionizado, deixando-o menos resistente. Assim, o campo elétrico de menor valor, já é suficiente para descarregar a nuvem perfurando o ar (Figura 4).

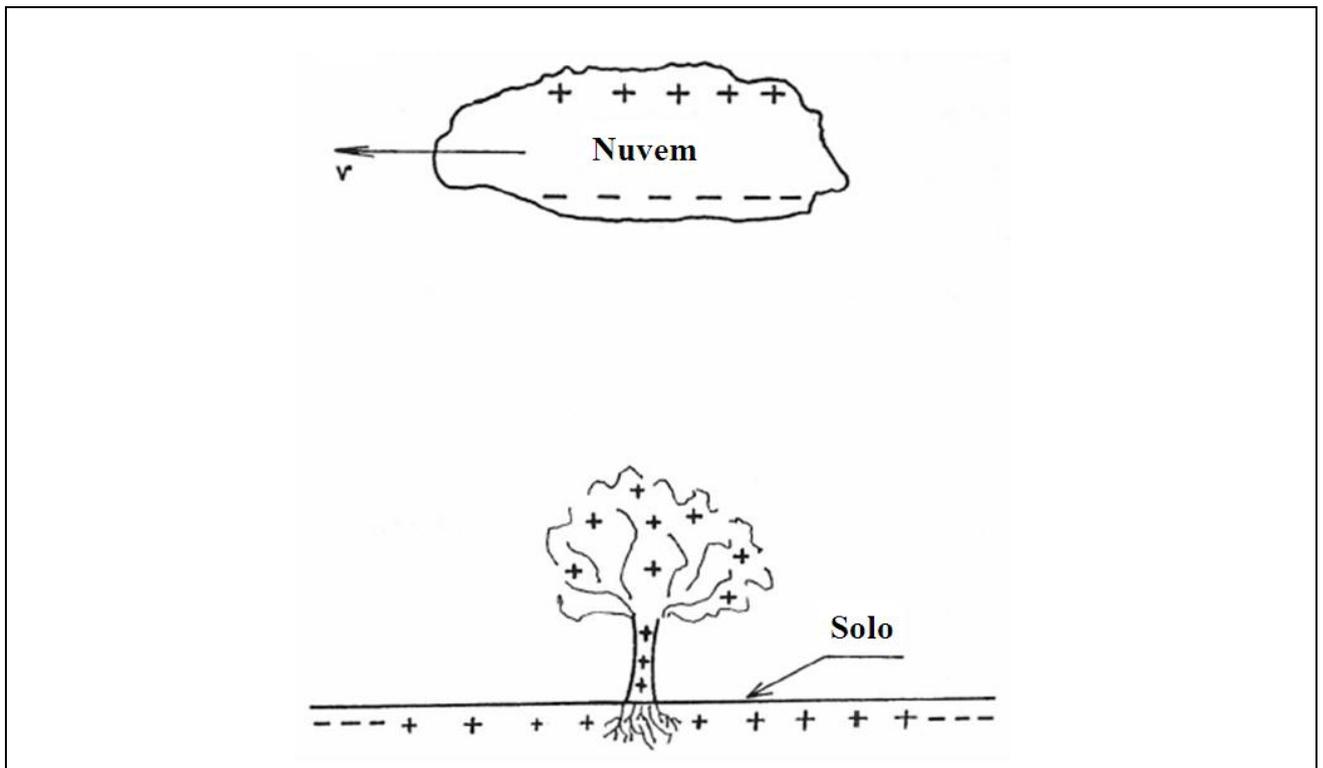


Figura 3. Cargas positivas no solo induzidas pela nuvem
Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

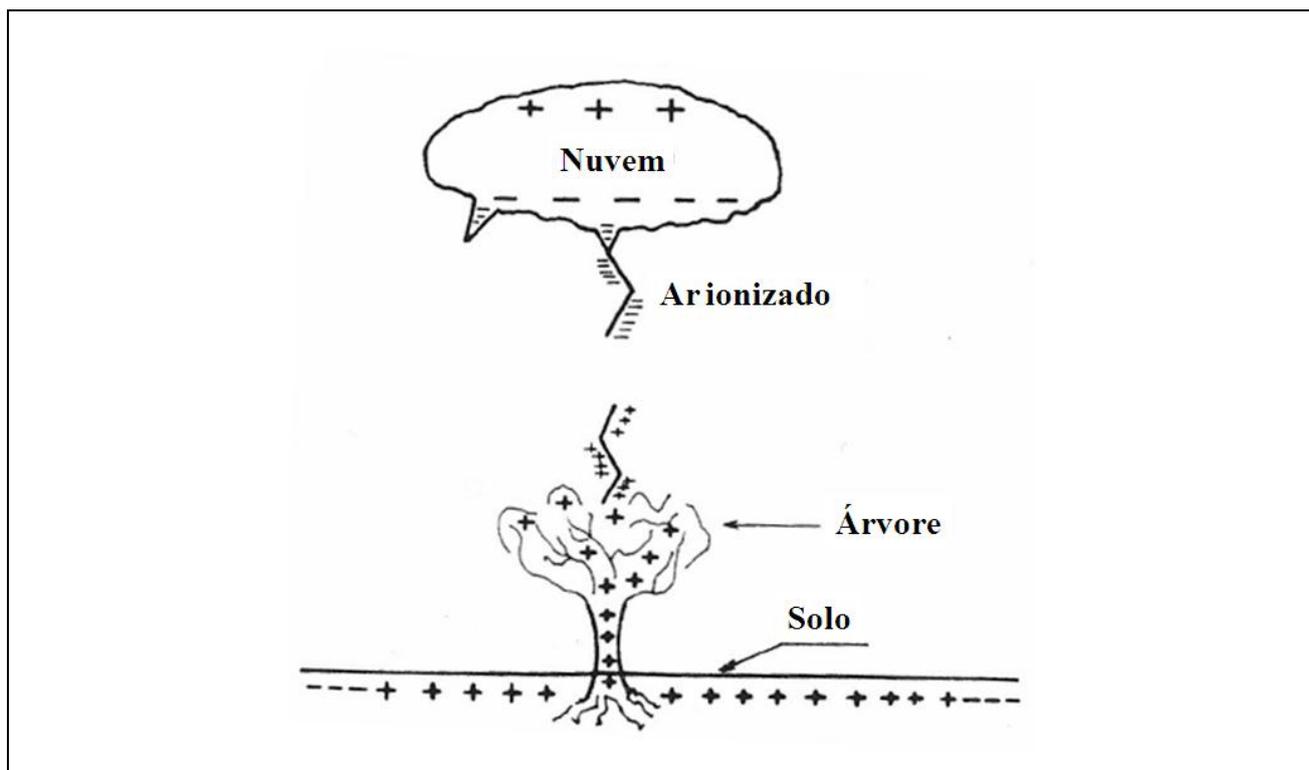


Figura 4. Rompimento da rigidez de elétrica do ar
 Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Durante uma tempestade, com o ar entra aquecido, as cargas procuram caminhos de menor resistência, como túneis de ar ionizado, tentando se aproximar das cargas positivas do solo.

Os galhos das arvores formam pontas, onde as cargas se aglomeram, proporcionando a ionização do ar. Este feito é chamado de poder das pontas.

No momento em que a rigidez do ar é vencida, um raio piloto se forma, descarregando numa velocidade de 1.500 km/s, apenas uma pequena parte da carga a nuvem. Depois desta primeira descarga, a nuvem esta literalmente curto-circuitada com o solo. Em seguida, ocorre o raio de retorno, que é a descarga principal. Nesta descarga, a velocidade é de 30.000 km/s, com correntes que vão de 2.000 a 200.000 A. Pode ainda haver uma terceira descarga, de curta duração, com correntes de 100 a 1.000 A. Tudo isso acontece em uma fração de segundo, dando a sensação de que houve apenas um raio.

2.2. INCIDÊNCIAS DE RAIOS

Os raios ocorrem em todo o mundo com frequências distintas de acordo com a região. Estudos ajudam a entender o porquê e quais são estas frequências.

2.2.1. Locais onde há maior Incidência

Geralmente um raio cairá sempre em um ponto mais alto em relação aos demais, como: montanhas, árvores, prédios, etc. Já dentro de um carro, as pessoas estão totalmente seguras, por que há uma isolação em relação ao solo.

Na natureza foi observado que um raio prefere terrenos de menor condutividade, como graníticos ou xistoso. Isto acontece porque a nuvem e o solo acabam formando um grande capacitor. A enorme diferença de potencial entre a nuvem e o solo provoca a ionização do ar, diminuindo a isolação entre eles, havendo maior probabilidade do raio piloto furar esta camada de ar. Porém, no terreno mau condutor, não existe condições de escoamento para o raio, que se espalha, procurando um caminho de menor resistência.

2.2.2. Índice Ceraúnico

Estudos sobre a intensidade de raios que atingem determinada região chegam a um parâmetro definido como Índice Ceraúnico (IC). Ao traçar linhas em um mapa, ligando os pontos de igual intensidade, formam-se Índices Isoceraúnicos.

Conforme se obtêm dados históricos de determinada região, os registros tornam-se mais precisos. As leituras são feitas considerando as incidências de trovoadas para raios de 20km.

Na Figura 5 há a representação gráfica do Índice Isoceraúnico no mapa do Brasil:



Figura 5. Mapa Isoceraúnico do Brasil

Fonte: Adaptado de Comunidade de Instalações Elétricas Industriais (2011)

A seguir, temos a Tabela 1, com os maiores índices de cidades paulistas. Os valores refletem os dados obtidos até 2010:

Tabela 1. Densidade de raios

Município (SP)	Área (km²)	População	Ranking Estadual	Densidade (raios / km² . ano)
São Caetano do Sul	15,27	149.571	1	22,8189
Itaquaquecetuba	83,20	321.854	2	20,5154
Diadema	31,24	386.039	3	19,7454
Ferraz de Vasconcelos	29,85	168.290	4	19,4816
Poá	17,16	106.033	5	18,3813
Mauá	61,79	417.281	6	17,299
Rio Grande da Serra	37,22	44.084	7	16,5728
Suzano	206,73	262.568	8	16,1824
Santo André	176,02	673.914	9	16,1435
Arapeí	156,52	2.492	10	15,4022

Fonte: Adaptado de INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2010)

O valor obtido para a coluna *Densidade*, expressa a quantidade de raios que atingem a superfície destas cidades por quilômetro quadrado a cada ano. A capital São Paulo é a 11º do ranking estadual e a 19º no federal, com um índice de 14,8128 raios por km² em um ano.

2.3. DIMENSÕES DO RAI0

Nem todos os raios possuem a mesma magnitude, necessitando assim de estudos para quantificar as suas dimensões.

2.3.1. Duração do Raio

Depois de muito tempo de pesquisa, especialistas conseguiram estimar a forma da onda do impulso de uma descarga, bem com a sua duração. Como mostra a Figura 6:

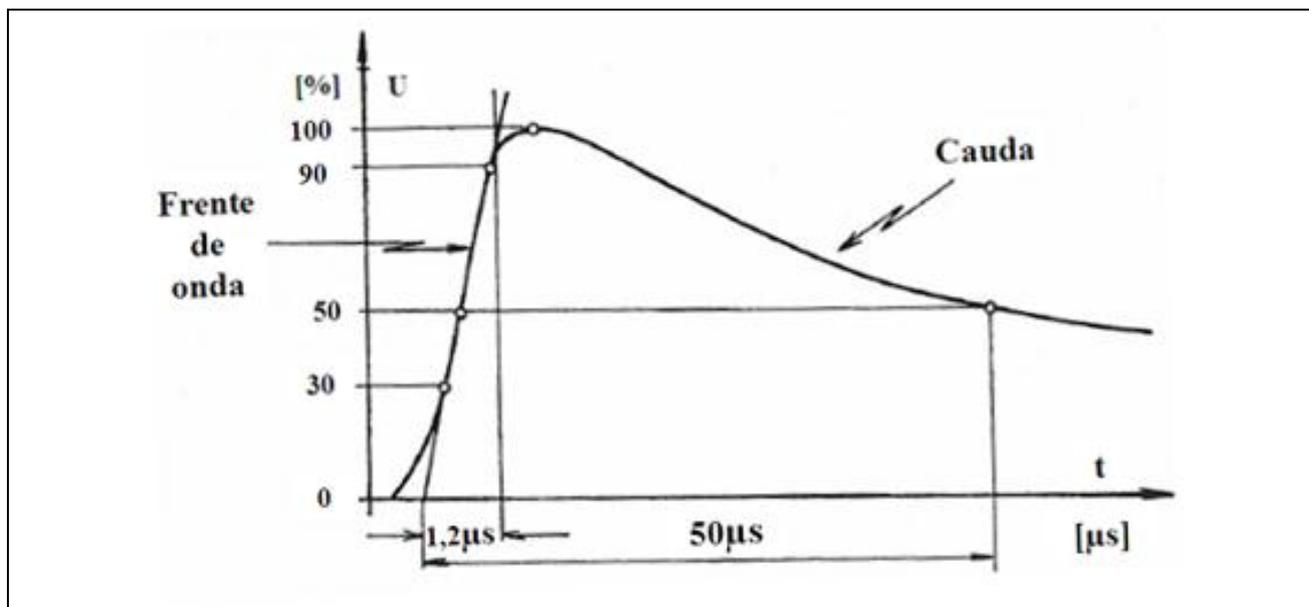


Figura 6. Forma de onda do raio
Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Podemos dividir essa onda em vários segmentos: o que chamamos de frente da onda, é o tempo de subida de tensão ou corrente, condizente com a ação fulminante do raio, no valor de 1,2µs. O valor máximo alcançado na onda chama-se crista. O restante é a cauda do raio, correspondendo a 200µs, e vai da crista até o final da onda. Tendo ainda a meia cauda, que corresponde ao valor de meia crista no tempo de 50µs.

Para proteger equipamentos, podemos considerar o raio até o valor de meia cauda, pois após esse período a descarga é mais suave e tranquila.

2.3.2. Grandezas do Raio

A variação dos valores dos raios é uma preocupação, necessitando maiores estudos. Os valores apresentados na Tabela 2, a seguir, podem ter sido medidos, ou estimados através de cálculos precisos.

Tabela 2: Valores do raio

Grandezas	Valores
Corrente	2.000 a 200.000 Ampères
Tensão	100 a 1.000 kV
Duração	70 a 200 μ s
Carga elétrica da nuvem	20 a 50 C
Potência Liberada	1.000 a 8.000 milhões de kW
Energia	4 a 10 kWh
Tempo de crista	1,2 μ s
Tempo de meia cauda	50 μ s

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Laboratórios internacionais apontam que descargas diretas no solo de maior magnitude de corrente são mais raras. Conforme demonstrado pelos pesquisadores, 50% dos raios excedem 15 kA, 6% excedem 60 kA, 0,7% excedem 100 kA e 0,1% excedem 200 kA.

Um raio de grandes proporções ocorre quando uma nuvem com uma quantidade extremamente grande de cargas se aproxima do solo, empurrada pela força das correntes de ar descendentes. Um fenômeno como esse pode ocasionar o que chamamos de raio seco, sem chuva. Também pode ocorrer quando uma nuvem chega perto de uma montanha, também deslocada pela ação dos ventos, possibilita um raio de grandes proporções. Dentre os dois fenômenos citados (Figura 7 e Figura 8), o primeiro deles um muito raro, sendo o segundo mais comum.

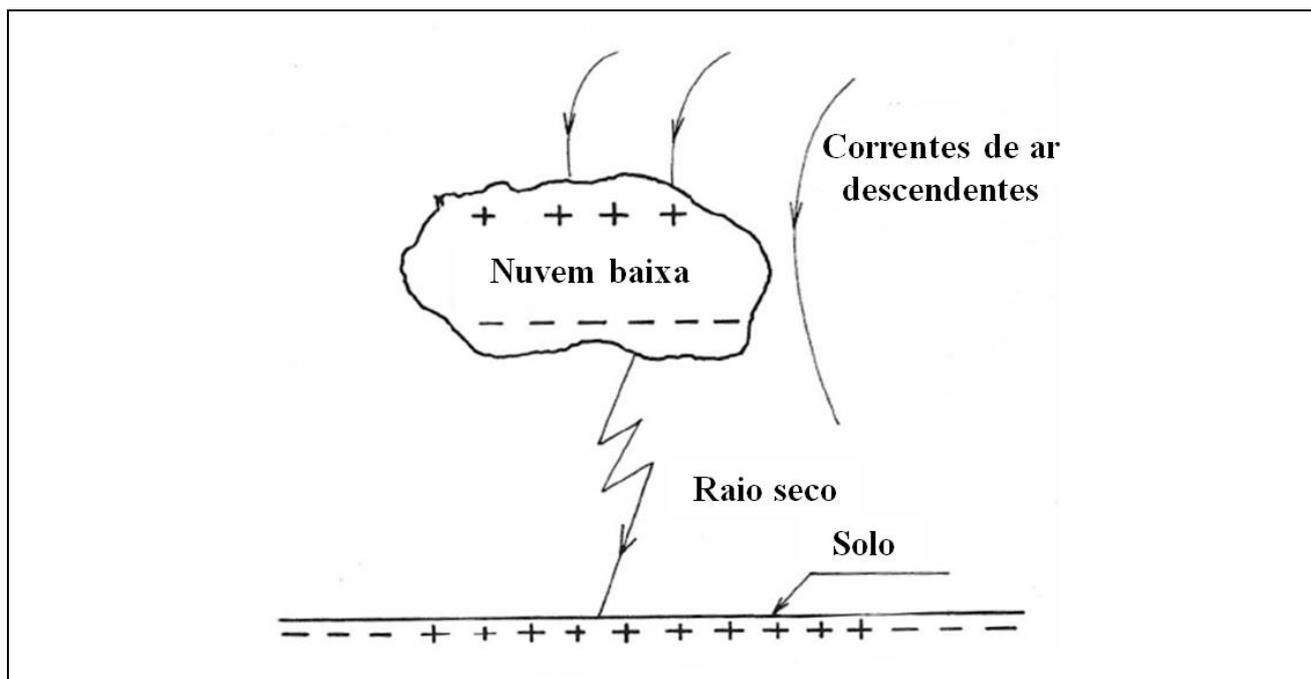


Figura 7. Raio de grande magnitude
 Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

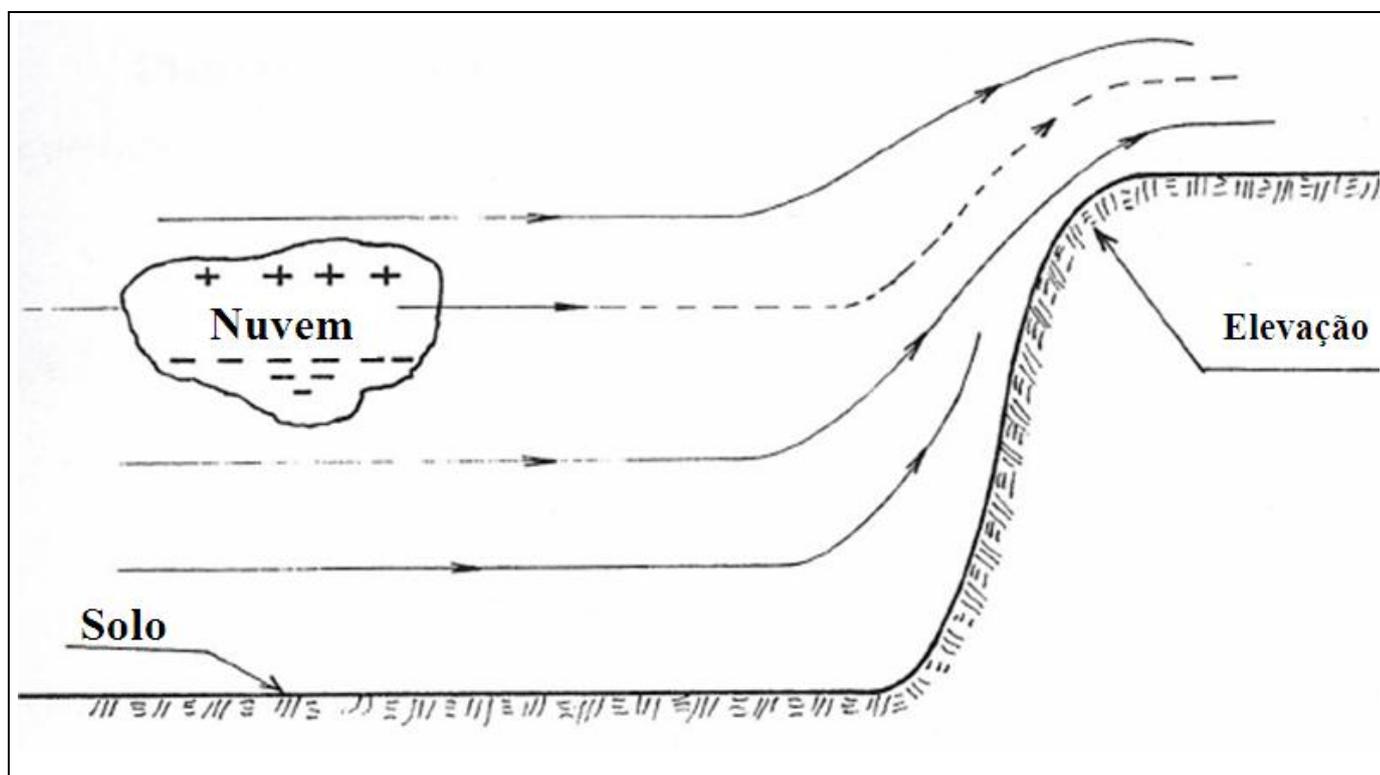


Figura 8. Raio de grande magnitude em uma elevação
 Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

3. PROTEGENDO ESTRUTURAS CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Existe uma série de parâmetros que devem ser verificados para execução de um projeto de um SPDA.

3.1. NÍVEIS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Para diferentes edificações, existem diferentes níveis de proteção contra descargas atmosféricas que são mostrados na Tabela 3:

Tabela 3. Proteção contra descargas atmosféricas

Nível de Proteção	Eficiência da Proteção	Caracterização da Proteção
I	98%	Nível máximo de proteção
II	95%	Nível médio de proteção
III	90%	Nível moderado de proteção
IV	80%	Nível normal de proteção

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Existem diferentes tipos de descargas atmosféricas. Por isso, um sistema de para raios pode não ser efetivo contra todas elas. Raios de altíssima intensidade podem danificar o sistema de proteção e causar danos na estrutura da edificação, podendo ser danos na estrutura propriamente dita, ou nos equipamentos elétricos.

A probabilidade do para raio captar uma descarga é muito pequena. Entretanto, não se pode garantir a proteção, somente ter uma estimativa.

O sistema de proteção está relacionado com a eficiência de captar e conduzir o raio à terra, e não com a chance de queda na estrutura.

Para efeito de projeto, as diferentes estruturas são classificadas conforme efeitos e danos que possam vir a sofrer por ação de uma descarga atmosférica. São elas:

- Estruturas comuns: são aquelas cujas preocupações são os efeitos do raio na própria estrutura.
- Estruturas com danos confinados: são estruturas onde, além do dano comum, existe preocupação séria, com relação à atividade interna executada.

- Estruturas com perigo aos arredores: são estruturas em que além dos riscos citados acima, há riscos e prejuízos nas estruturas adjacentes.
- Estruturas com danos ao meio ambiente: são estruturas que além dos danos próprios, há riscos ao meio ambiente de modo temporário ou permanente.

Na Tabela 4 a seguir, são apresentados as classificações, agrupamentos e os efeitos causados pela descarga atmosférica, para cada tipo de estrutura

Tabela 4. Efeito do raio em uma estrutura

Classificação da estrutura	Tipo da estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas Comuns	Residências	Perfuração da isolação de instalações elétricas, incêndio e danos materiais Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio	III
	Fazendas, estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas Risco indireto à interrupção de energia e risco de vida para animais devido à perda de controlas eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros	III ou IV
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas e igrejas	Danos às instalações elétricas (por exemplo: iluminação) e possibilidade de pânico Falha do sistema de alarme contra incêndio, causando atraso no socorro	II
	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais e outros	Como acima, além de efeitos indiretos com a perda de comunicações, falhas dos computadores e perda de dados	II
	Hospitais, casa de repouso e prisões	Como para escolas, além de efeitos indiretos para pessoas em tratamento intensivo e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas	II
	Indústrias	Efeitos indiretos conforme o conteúdo das estruturas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível	II
Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicações, usinas elétricas, indústrias	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo Risco indireto para as imediações devido a incêndios e outros com risco de incêndio	I
Estruturas	Refinarias, postos	Risco de incêndio e explosão para a instalação e	I

com risco para arredores	de combustível, fábricas de fogos, fábricas de munição	seus arredores	
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios bioquímicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com conseqüências perigosas para o local e para o meio ambiente	I

Fonte: Adaptado de NORMA NBR-5419 (2005)

3.2. DENSIDADE E ÁREA DE CAPTAÇÃO DO RAIOS EM UMA ESTRUTURA

Define-se como área de captação do raio em uma estrutura normal, como sendo a área em que, se ocorrer à incidência do raio, o mesmo será atraído pela estrutura. Em uma edificação simétrica, a área de captação é calculada pela soma da área de ocupação da própria estrutura, com a área correspondente a uma faixa contígua à primeira, de largura constante e igual à altura da estrutura, ao longo do seu perímetro. Esta área é obtida pela seguinte expressão:

$$S_{\text{captação}} = S_{\text{estrutura}} \cdot S_{\text{contígua}} \quad 1$$

Por tanto, deve-se calcular a área de captação de uma estrutura da seguinte maneira:

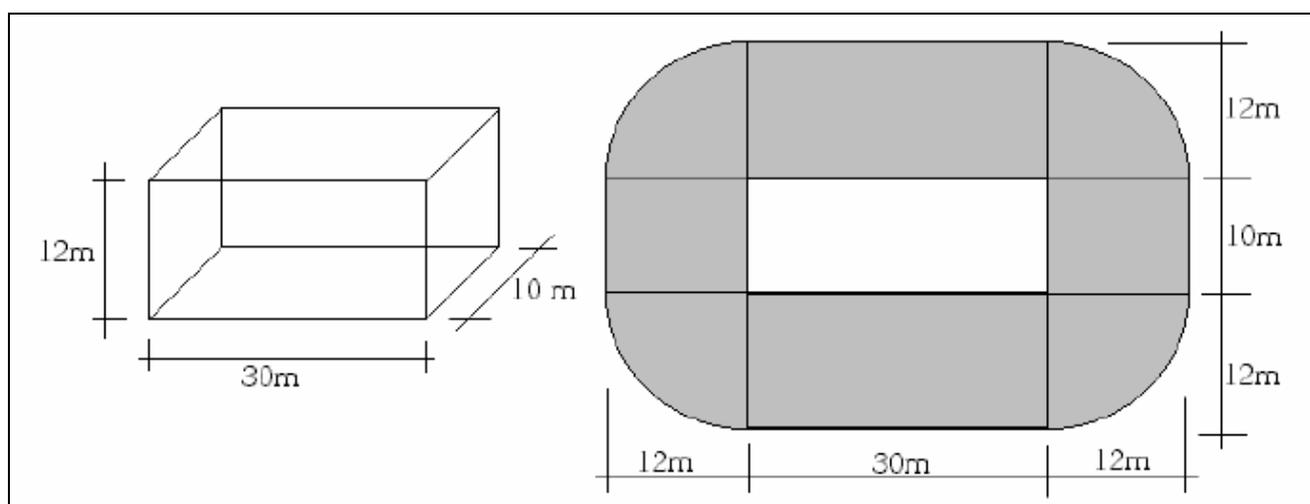


Figura 9. Área de captação de uma edificação simétrica
Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

$$S_{\text{captação}} = 30 \cdot 10 + 30 \cdot 12 \cdot 2 + 10 \cdot 12 \cdot 2 + \pi \cdot 12^2$$

$$S_{\text{captação}} = 1712,39 \text{ m}^2 = 0,00171239 \text{ km}^2$$

Se a edificação tiver uma geometria assimétrica, a área de captação será obtida pela superposição das áreas de captação correspondentes às partes de maior altura da estrutura, conforme o exemplo:

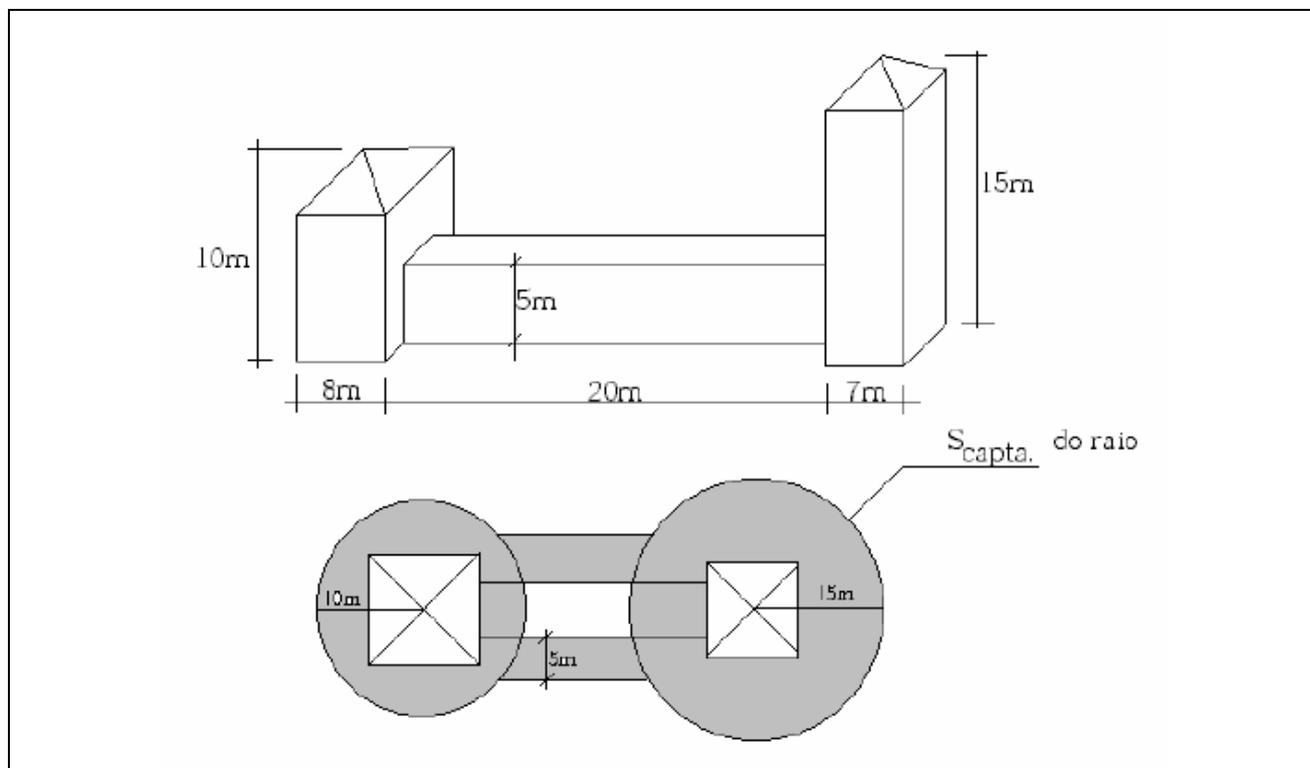


Figura 10. Área de captação de uma edificação assimétrica
 Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Quando se fala de densidade de raios, fala-se da quantidade de raios que caem por ano em uma área de 1 km², conforme explicado anteriormente em Índice Ceraúnic. Esta grandeza é determinada pela seguinte equação:

$$D_R = 0,0024 IC^{1,63} \quad 2$$

O conhecimento da densidade de raios é importante para determinar a quantidade de raios incidentes na área a ser protegida em uma estrutura, que é fruto do produto de área de captação e da densidade de raios, conforme Equação 3:

$$N_{\text{raios incidentes}} = S_{\text{captação}} \cdot D_R \quad 3$$

Por exemplo, se a edificação que usamos para calcular a área de captação estiver na cidade de Atibaia que tem uma densidade de raios de 6,2475 raios/km².ano, os raios incidentes serão:

$$N_{\text{raios incidentes}} = 0,00171239 \cdot 6,2475$$

$$N_{\text{raios incidentes}} = ,0107 \frac{\text{raios}}{\text{ano}}$$

Se o numero de raios incidentes estiver abaixo de 0,00001 o SPDA é dispensável, e acima de 0,001 é indispensável.

3.3. ÍNDICE DE RISCO

Determinar o índice de risco (R) de uma estrutura é fundamental para classificação seu grau de risco, conforme mostra a Tabela 5:

Tabela 5. Índices de risco

Índice de risco (R)	Nível de risco
0 a 2	Leves
2,01 a 3	Leves a moderados
3,01 a 4	Moderados
4,01 a 7	Moderados a severos
> 7,01	Severos

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

O índice de risco é determinado pela equação:

$$R = \frac{A + B + C + D + E}{F} \quad 4$$

As letras de A a F representam parâmetros que devem ser analisados conforme a estrutura, sendo que:

- A é relativo ao tipo de estrutura e área total construída.
- B é o enquadramento referente ao tipo de material usado na construção.
- C relaciona a área do terreno ocupado pela edificação com as estruturas vizinhas.
- D é relacionado com a topografia do terreno.
- E refere-se ao tipo de ocupação e conteúdo da edificação.
- F é relativo aos níveis cereâmicos da região em que está localizada a estrutura.

Todas as tabelas referentes aos parâmetros estão localizadas no apêndice.

4. DIFERENTES MÉTODOS DE PARA RAIOS

A seguir explicaremos o funcionamento e estrutura dos 2 principais tipos de para raio: Método de Franklin e Gaiola de Faraday.

4.1. MÉTODO DE FRANKLIN

O método de para raio mais conhecido é o de Franklin, que tem por base uma haste elevada em forma de pontas. Pelo fato de esta haste estar ligada ao solo, ela produz uma alta quantidade de cargas elétricas, juntamente com um campo elétrico intenso, sob a nuvem, conforme Figura 11:

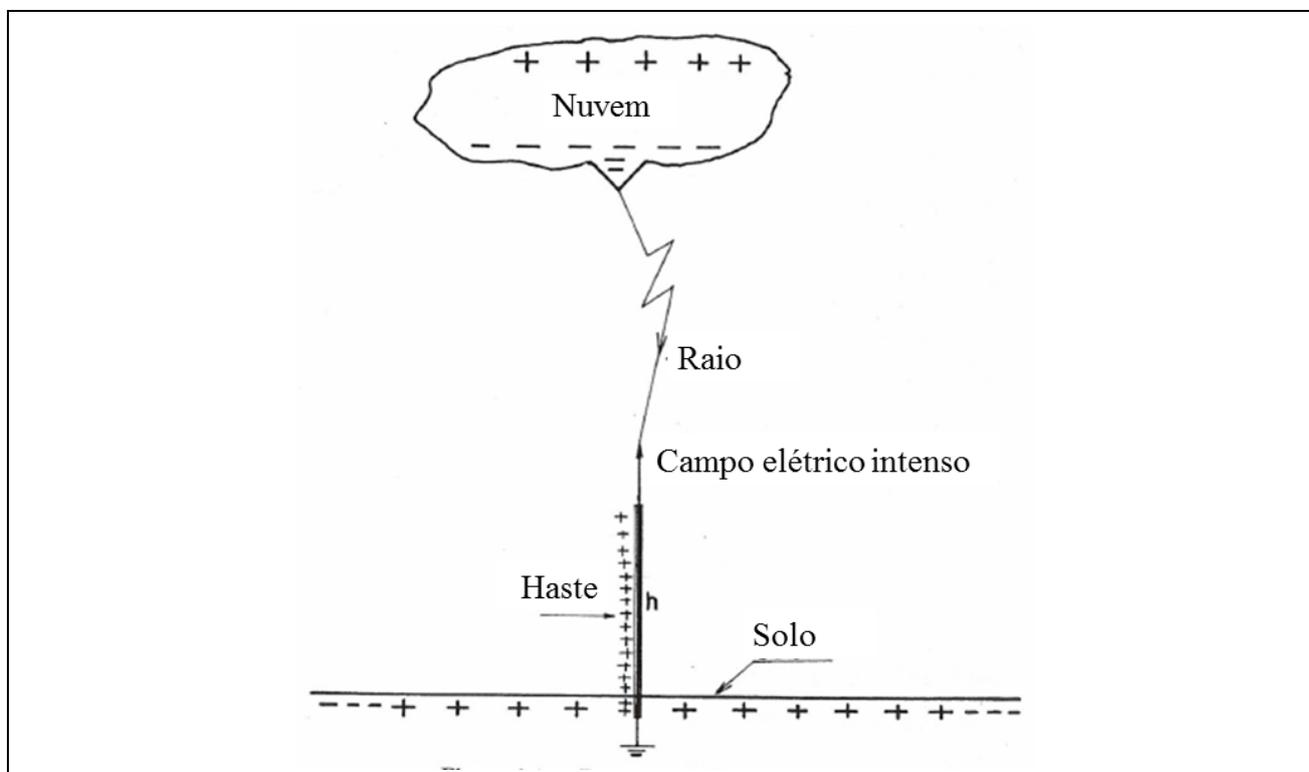


Figura 11. Indução de cargas pela haste
Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

O fato de a haste estar mais próxima da nuvem faz com que a ionização do ar aumente, propiciando um ambiente adequado para a descarga atmosférica.

O sistema de aterramento que é ligado na haste pelo cabo de descida, é responsável pelo escoamento do raio. A segurança do SPDA estará comprometida se não houver um dimensionamento correto dos componentes.

Existe um princípio básico da proteção com para raios que diz, “É preferível não ter para raio a ter um mal dimensionado ou mal instalado”.

4.1.1. Área Espacial de Proteção

A área espacial de proteção é a região protegida pelo para raio, isto é, se houver uma descarga nessa área, ela preferirá o caminho do para raio. Existem muitas teorias propostas ao longo da história sobre o volume efetivo de proteção proporcionado pela haste de Franklin.

Com o avanço das pesquisas sobre o assunto, verificou-se que, a área de proteção é formada por um cone descendo da haste em direção ao solo, e que o ângulo de proteção depende da altura e do grau de proteção pretendido, conforme é mostrado na Tabela 6, a seguir:

Tabela 6. Ângulos de proteção

Grau de Proteção adotado	Altura máxima (h) da ponta da haste ao solo (m)			
	≤ 20	$20 < h \leq 30$	$30 < h \leq 45$	$45 < h \leq 60$
IV	55°	45°	35°	25°
III	45°	35°	25°	*
II	35°	25°	*	*
I	25°	*	*	*

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

As lacunas na tabela (*) informam que naquela determinada situação, o para raio tipo Franklin não é suficiente. Devido à variação do ângulo de proteção, estruturas muito alta acabavam recebendo descargas laterais.

Deve se verificar a altura mínima da haste, para que proteja todo o volume da estrutura, como na Figura 12:

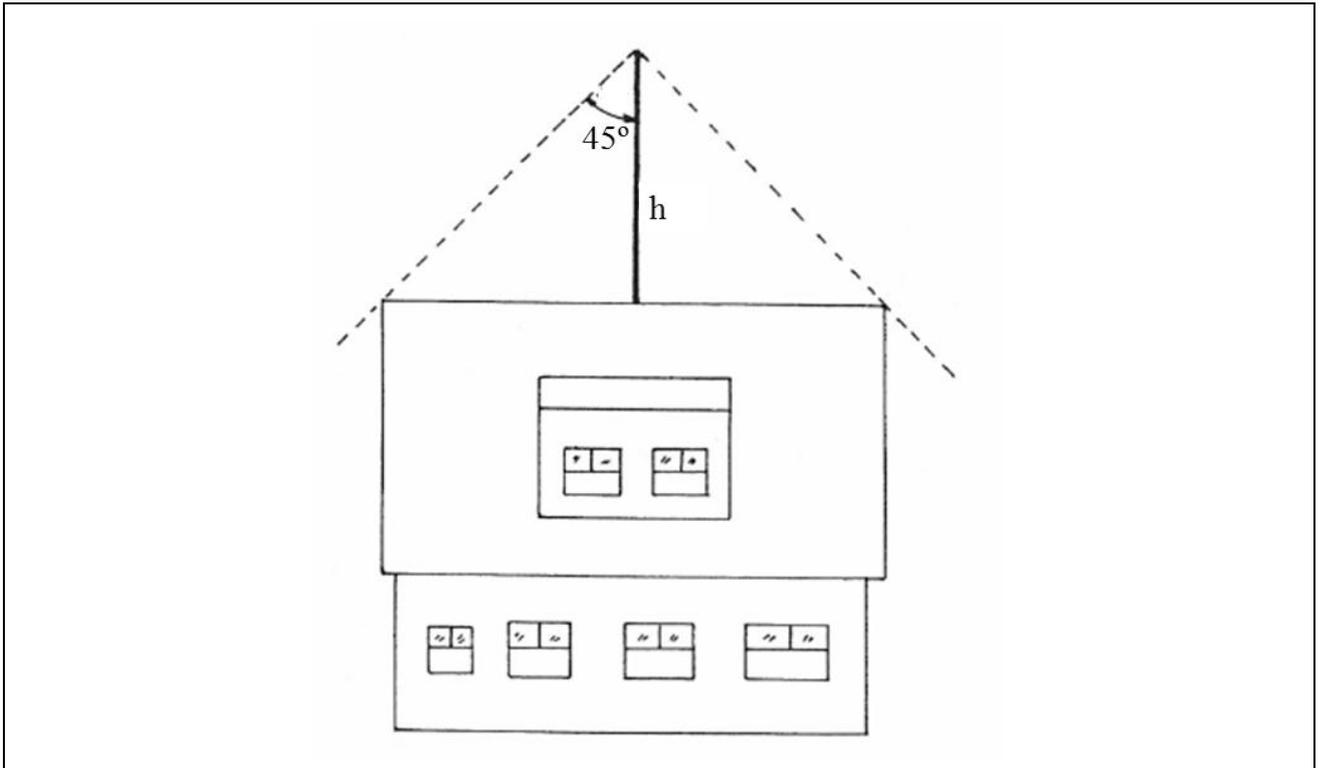


Figura 12. Altura da haste
 Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

4.1.2. Condutor Fictício de Proteção

Quando se utiliza mais de uma haste de Franklin em linha em uma mesma estrutura, o volume da área protegida aumenta devido a um fenômeno que chamamos de condutor fictício horizontal, como demonstra a Figura 13 a seguir:

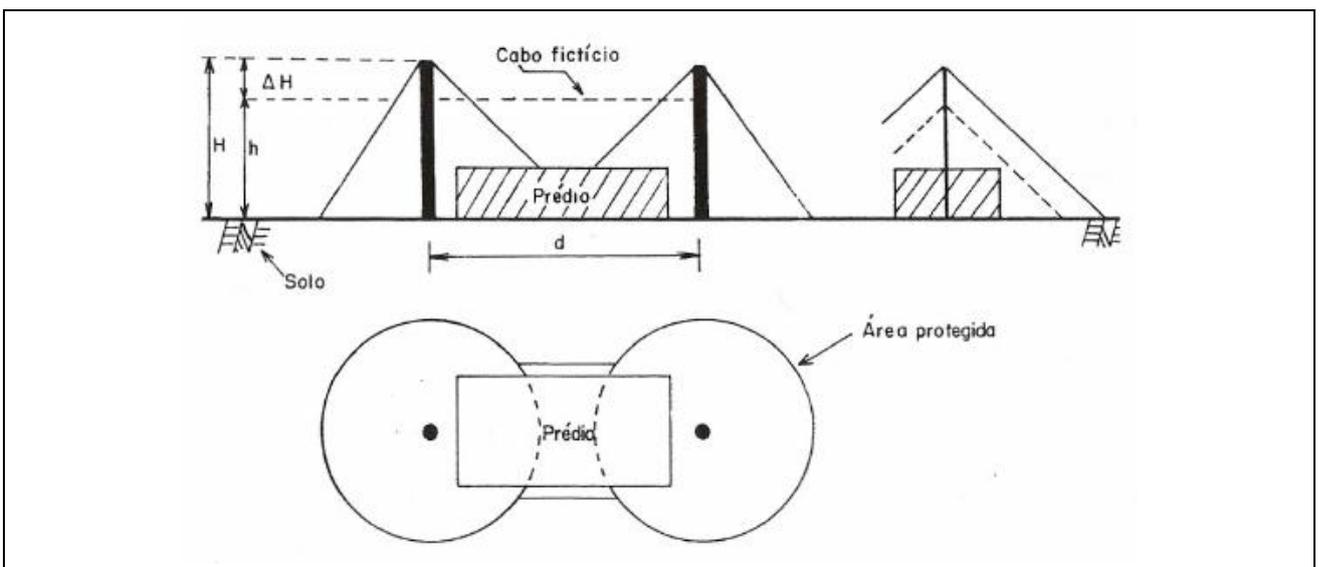


Figura 13. Condutor fictício horizontal
 Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Como mostra a figura, o condutor fictício situa-se um pouco abaixo de ponta da haste, e seu valor é obtido através da expressão:

$$h_{\text{cabo fictício}} = H_{\text{haste}} - \Delta H \quad 5$$

Na qual:

- $h_{\text{cabo fictício}}$ é a altura do condutor fictício
- H_{haste} é a altura da haste
- ΔH é a diferença entre a haste e o cabo fictício

Com a seguinte expressão é possível obter o valor de ΔH .

$$\Delta H = H_{\text{haste}} - R + \sqrt{(R - H_{\text{haste}})^2 + \frac{D^2}{4}} \quad 6$$

Onde:

- D é a distância entre as hastes de Franklin
- R é um parâmetro que varia com o grau de proteção desejado. Seu valor é obtido através da Tabela 7:

Tabela 7. Valores do parâmetro R

Nível de Proteção	Parâmetro R [m]
I	20
II	30
III	45
IV	60

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

As seguintes inequações precisam ser satisfeitas para que haja o cabo fictício:

$$H_{haste} \leq R \quad 7$$

$$D \leq 2\sqrt{2RH_{haste} - H_{haste}^2} \quad 8$$

O condutor fictício admite o mesmo ângulo de proteção da haste, conforme foi visto anteriormente na Tabela 6.

4.1.3. Plano Fictício de Proteção

Quando existe mais do que duas haste de Franklin em uma mesma estrutura, a zona espacial de proteção é aumentada, combinando as hastes duas a duas formando um plano fictício logo abaixo da ponta da haste.

A Figura 14, a seguir mostra uma edificação com quatro hastes formando um quadrado. Nota se também a altura do cabo fictício, e o plano fictício um pouco mais baixo.

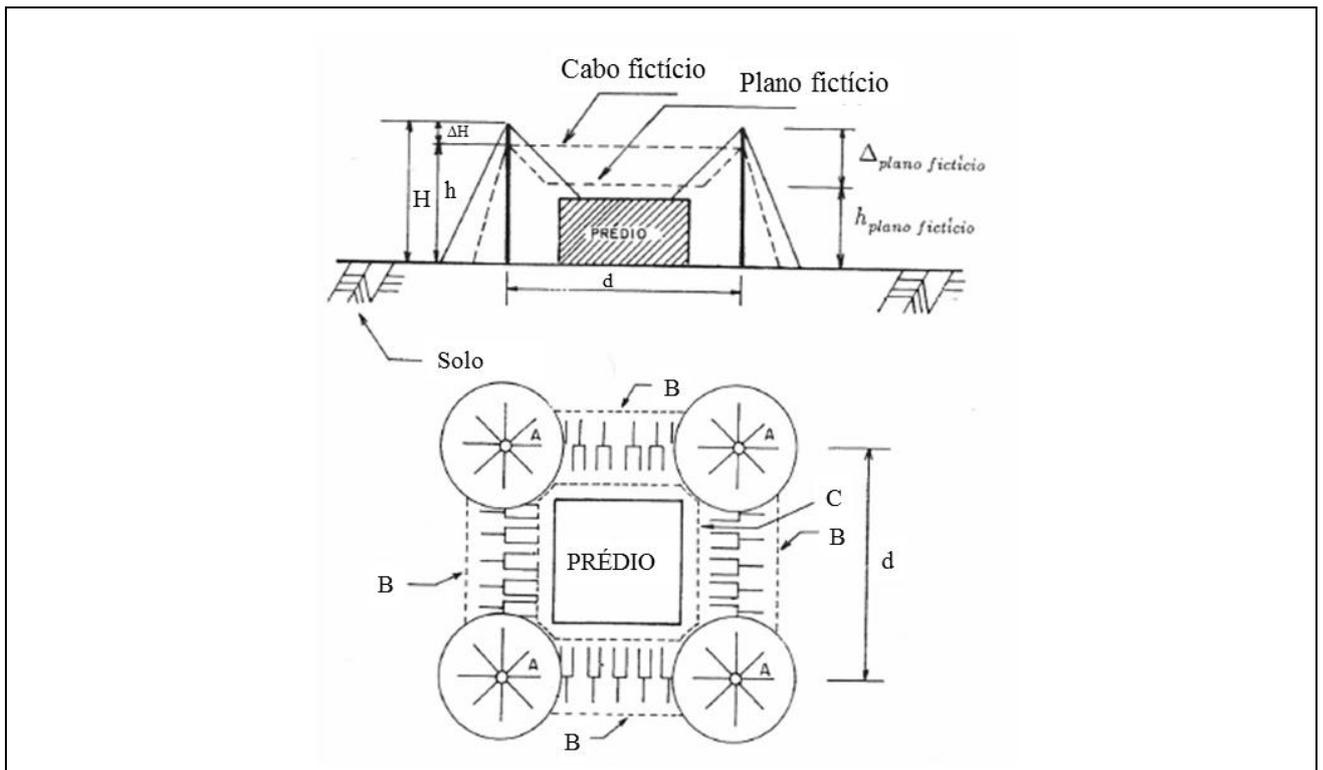


Figura 14. Plano fictício

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Na figura:

- A representa a zona de proteção devido a haste

- B a zona de proteção devido ao cabo fictício
- C representa o plano fictício

A altura do plano fictício é obtida através da seguinte expressão:

$$h_{\text{plano fictício}} = H_{\text{haste}} - \Delta_{\text{plano fictício}} \quad 9$$

O valor de $\Delta_{\text{plano fictício}}$ é obtido através da equação:

$$\Delta_{\text{plano fictício}} = R - \sqrt{R^2 - \frac{D_i^2}{4}} \quad 10$$

- D_i é o comprimento diagonal entre as hastes.
- R é um parâmetro que varia com o grau de proteção desejado. Seu valor é obtido através da Tabela 7.

Só poderá ser aplicado o plano fictício se satisfizer a inequação.

$$D_i \leq 2R \quad 11$$

No projeto do SPDA, o plano fictício deverá estar acima da estrutura considerada.

4.1.4. Esquema do Sistema de Para Raio tipo Franklin

Na Figura 15, é possível observar o esquema de um sistema de para raio tipo Franklin e seus componentes.

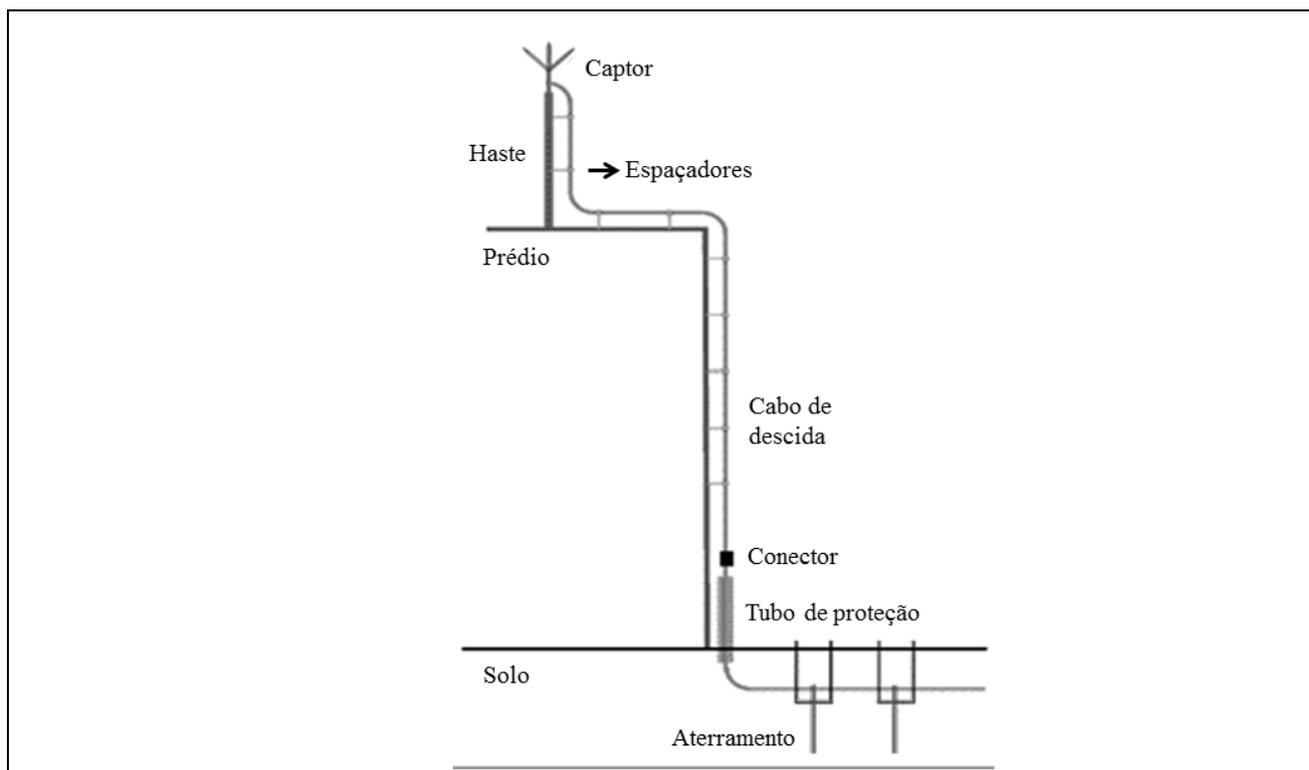


Figura 15. Sistema de para-raio tipo Franklin

Fonte: Adaptado de MSPC – INFORMAÇÕES TÉCNICAS (2011)

O para-raio tipo Franklin tem uma série de componentes, que são:

- Captor
- Conector
- Haste de sustentação
- Espaçador
- Braçadeira
- Cabo de descida
- Isolador
- Aterramento
- Tubo protetor
- Cobertura de conexão

Os mais importantes serão explicados a seguir:

4.1.4.1. Captor

O captor é o elemento que fica na ponta da haste. Ele pode ser de bronze, ferro, latão ou aço inoxidável. Existe uma divergência entre pesquisadores sobre qual deve ser o formato do captor. Se deve ter varias pontas ou se deve ser no formato de uma esfera. Entretanto, estudos realizados em laboratórios apontam que o formato não influi na funcionalidade do captor, pelo fato de haver uma grande distancia entre ele e a nuvem. Contudo, o captor em forma de esfera poderá receber um raio de maior potência sem problemas.



Figura 16. Captor de pontas

Fonte: Adaptado de CIMM - PARA RAIOS TIPO FRANKLIN (2011)

4.1.4.2. Cabo de Descida

O cabo de descida é responsável por conduzir o raio do captor para a haste de aterramento.

O cabo deve, de preferência, ser contínuo, mas se não houver esta possibilidade, devem ser feitas emendas metalizadas, seguindo os seguintes parâmetros:

- Solda exotérmica, conhecida como aluminotermia, cuja conexão é feita pela fusão obtida pela ignição e combustão dos ingredientes contidos em um cadinho;
- Brasagem com liga phoscopper (é uma união feita usando o maçarico). Neste tipo de solda deve haver uma superposição dos cabos de no mínimo, 20 diâmetros.

Na Figura 15, sobre o esquema de ligação do para raio tipo Franklin, há duas conexões feitas por pressão: a do captor no cabo de descida, e a da haste de aterramento no cabo de descida.

Conexões por pressão sofrem oxidação, gerando pontos de alta resistência elétrica, que no momento da descarga podem produzir aquecimentos, faiscamentos e descargas laterais. A conexão

por pressão deve ser evitada, mas se não for possível, deverá ser coberta por um material isolante emborrachado.

Bitola do Cabo de Descida

Quando um raio atinge um para-raio, ele produz aquecimento no cabo de descida. Por esse motivo, o cabo de descida deve ter um dimensionamento adequado da sua bitola. A prática tem mostrado que os limites térmicos do cabo, para edificações de até 20m são garantidos pelas bitolas mínimas indicadas na Tabela 8.

Tabela 8. Bitola do cabo de descida para prédios de até 20m.

Material	Bitola Mínima
Cobre	16 mm ²
Alumínio	25 mm ²
Aço	50 mm ²

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

As bitolas dos cabos de descida estão superdimensionadas em termos de efeito térmico. Mas o cabo também sofre com efeitos mecânicos, que são proporcionados pela distribuição do seu próprio peso, e pelo seu tracionamento. Esse efeito deve ser evitado pelo posicionamento adequado dos espaçadores, como veremos adiante.

Número de Descidas

Quando um raio atinge um SPDA, é gerada uma corrente nos cabos de descida. Consequentemente se forma um campo magnético variável que induz tensão nos materiais condutores vizinhos.

A distribuição do cabo de descida ajuda a atenuar a tensão induzida, os efeitos térmicos e os campos magnéticos internos à estrutura. A distribuição dos cabos deve ser feita uniformemente ao longo do perímetro da edificação, com um espaçamento determinado pela Tabela 9:

Tabela 9. Espaçamento entre cabos de descida

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

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

O calculo do numero de cabos de descidas deve ser feito através da seguinte expressão determinada pela norma NBR-5419.

$$N_{descidas} = \text{máximo} \left(\frac{A}{300}; \frac{H}{20}; \frac{P}{60} \right) \quad 12$$

- $N_{descidas}$ é o numero de descidas
- A é a área da ocupada pela edificação em m^2
- H é a altura da edificação em m^2
- P é o perímetro da edificação em m^2

Após calcular o numero de descidas, o valor encontrado deve ser arredondado para o valor superior mais próximo.

Equipotenciais na Estrutura

Entre os cabos de descida e ao longo deles, existem diferenças de potenciais. Essas diferenças podem induzir tensões nos condutores adjacentes, causando danos materiais e pessoais. Assim, é necessário ligar todos os cabos de descida por um condutor horizontal junto ao solo e a cada 20m de altura, conforme Figura 16, abaixo. A função desse condutor é manter o mesmo potencial.

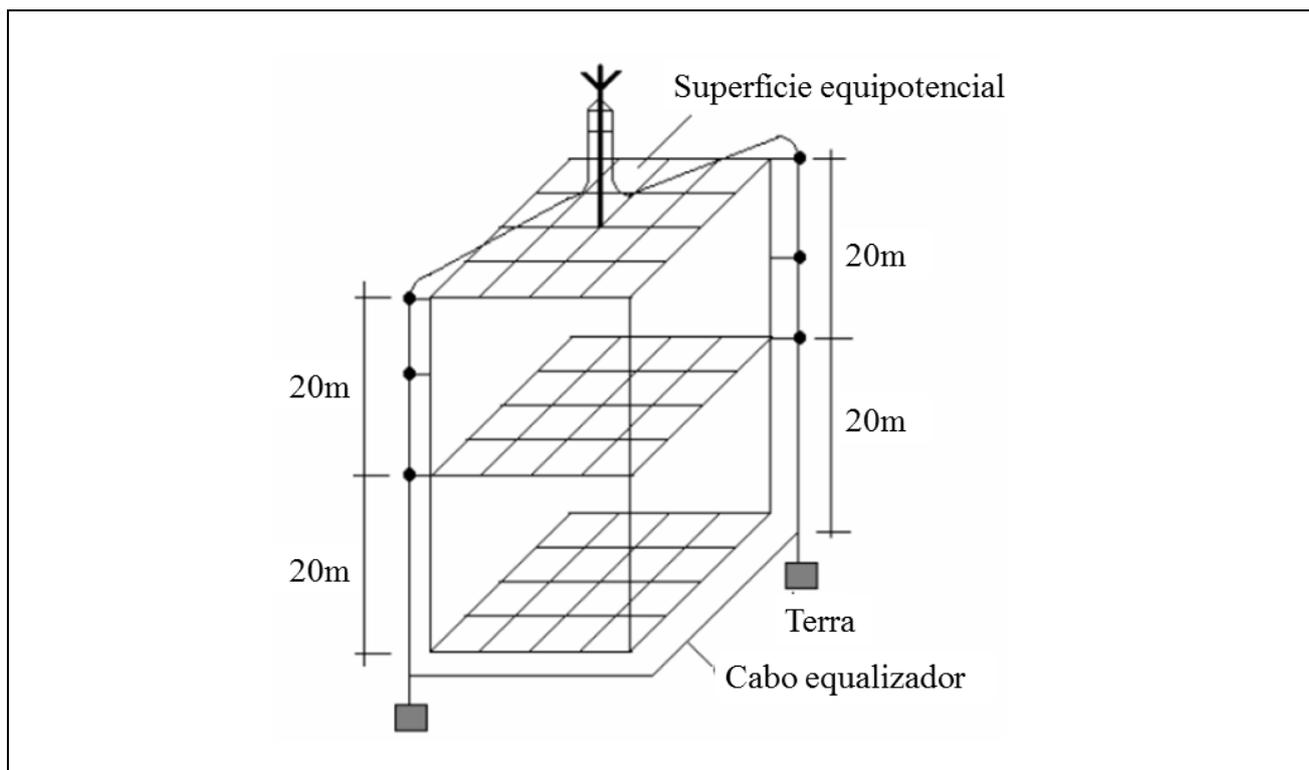


Figura 16. Ligação Equipotencial

Fonte: Comunidade de Instalações Elétricas Industriais (2011)

Fazendo a equalização dos pontos da estrutura, poderá haver a elevação do potencial em algum momento, mas toda a estrutura ficará com o mesmo potencial, evitando faiscamentos e outros tipos de danos.

Pelos cabos de equalização de potencial circulam correntes menores que as dos cabos de descida, portanto a conexão poderá ser feita de maneira mais simples, o com cabos de bitola menor, como mostra a Tabela 10:

Tabela 10. Bitola dos cabos de equalização

Material	Seção transversal
Cobre	6 mm ²
Alumínio	10 mm ²
Ferro	16 mm ²

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

A equalização dos potenciais pode ser feita utilizando a própria estrutura metálica da edificação, desde que as conexões sejam feitas convenientemente para evitar danos a edificação e ao SPDA.

Centelhamento Lateral

Nas edificações, os materiais condutores que estão próximos aos cabos de descida podem sofrer efeitos do campo magnético da descarga, que pode induzir tensões que provocam um arco elétrico através do ar ou mesmo das paredes, podendo produzir incêndios.

Quando uma edificação tem o número de descidas adequado e a equalização dos potenciais bem distribuídas, o material condutor não deve estar mais próximo do cabo de descida do que o estipulado pela seguinte inequação:

$$d \geq \frac{K_i K_e L}{K_{material}} \quad 13$$

- d é distancia em metros para não haver centelhamento;
- L é o comprimento do material condutor paralelo ao cabo de descida;
- K_i é um coeficiente do nível de proteção, selecionado através da Tabela 11:

Tabela 11. Coeficiente K_i

Nível de proteção	Coeficiente K_i
I	0,1
II	0,075
III e IV	0,05

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

- $K_{material}$ é um coeficiente determinado através da Tabela 12 da rigidez dielétrica do material que se encontra entre o cabo de descida e o material condutor.

Tabela 12. Coeficiente $K_{material}$

Material	Coeficiente $K_{material}$
Ar	1,0
Sólido	0,5

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

- K_c é um coeficiente determinado pela configuração dimensional do cabo de descida, que pode ser obtido através da análise das Figuras 18, 19 e 20:

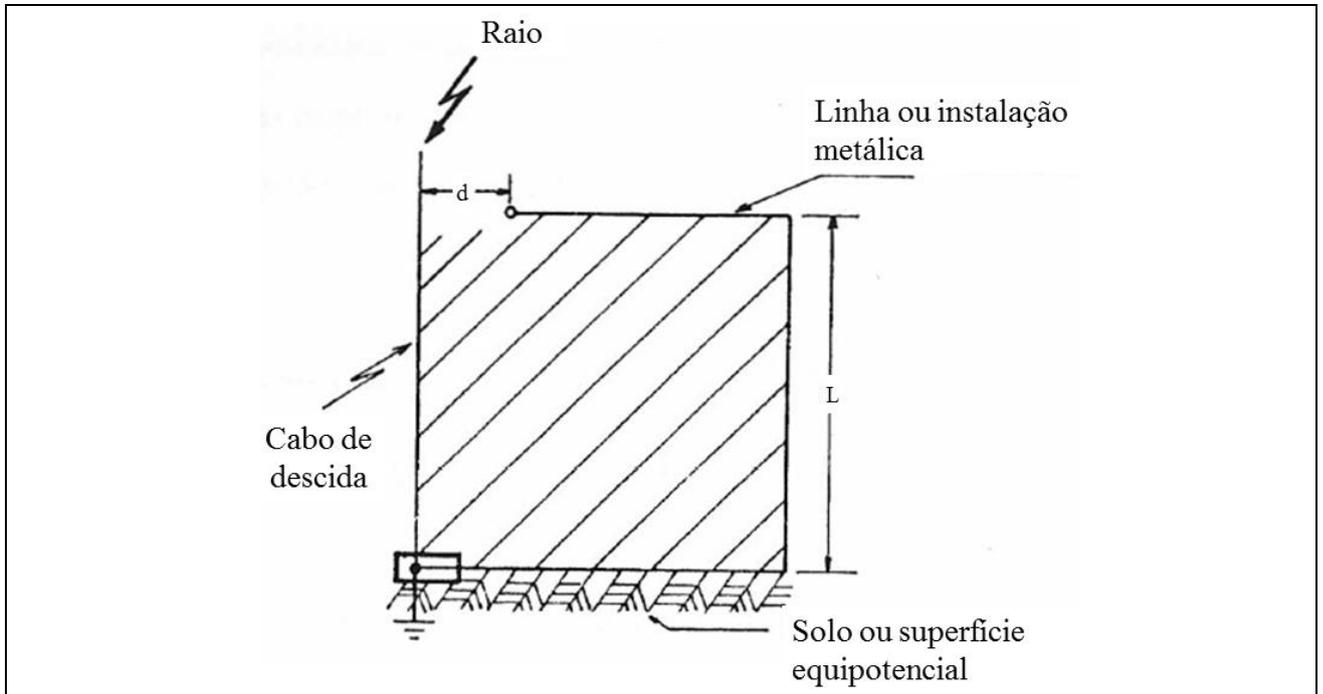


Figura 18. Coeficiente $K_c = 1$

Fonte: Adaptado de NORMA NBR-5419 (2005)

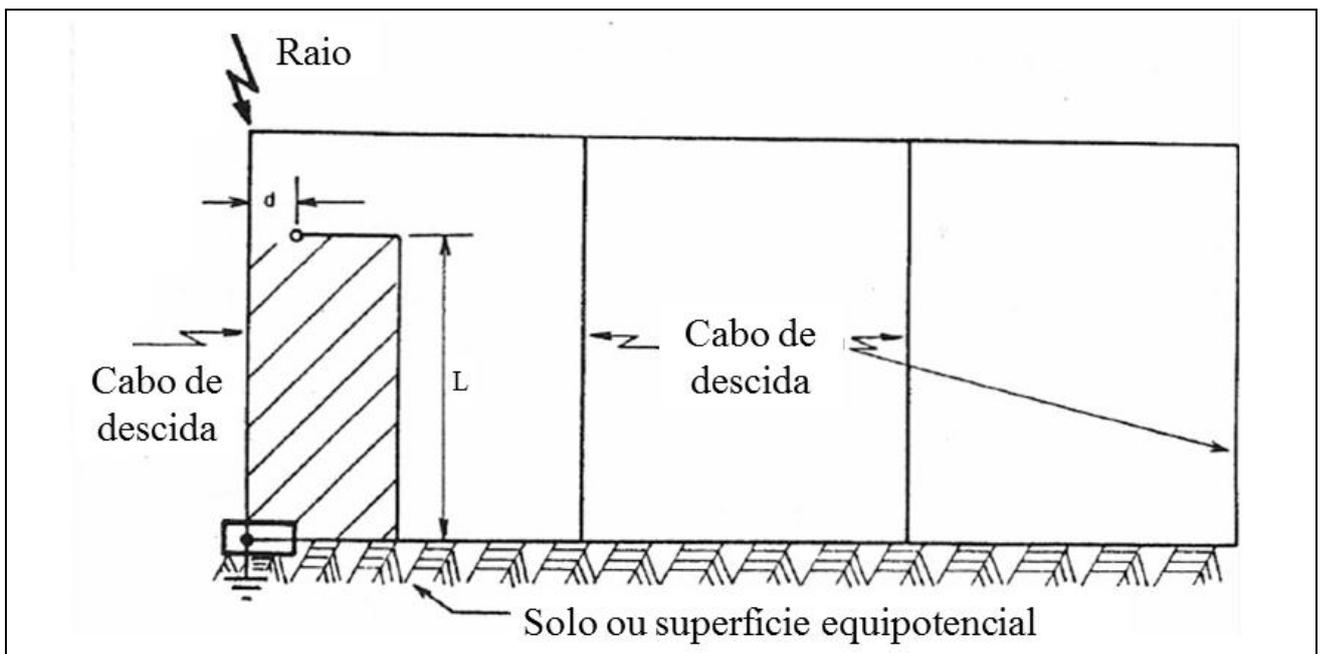


Figura 19. Coeficiente $K_c = 0,66$

Fonte: Adaptado de NORMA NBR-5419 (2005)

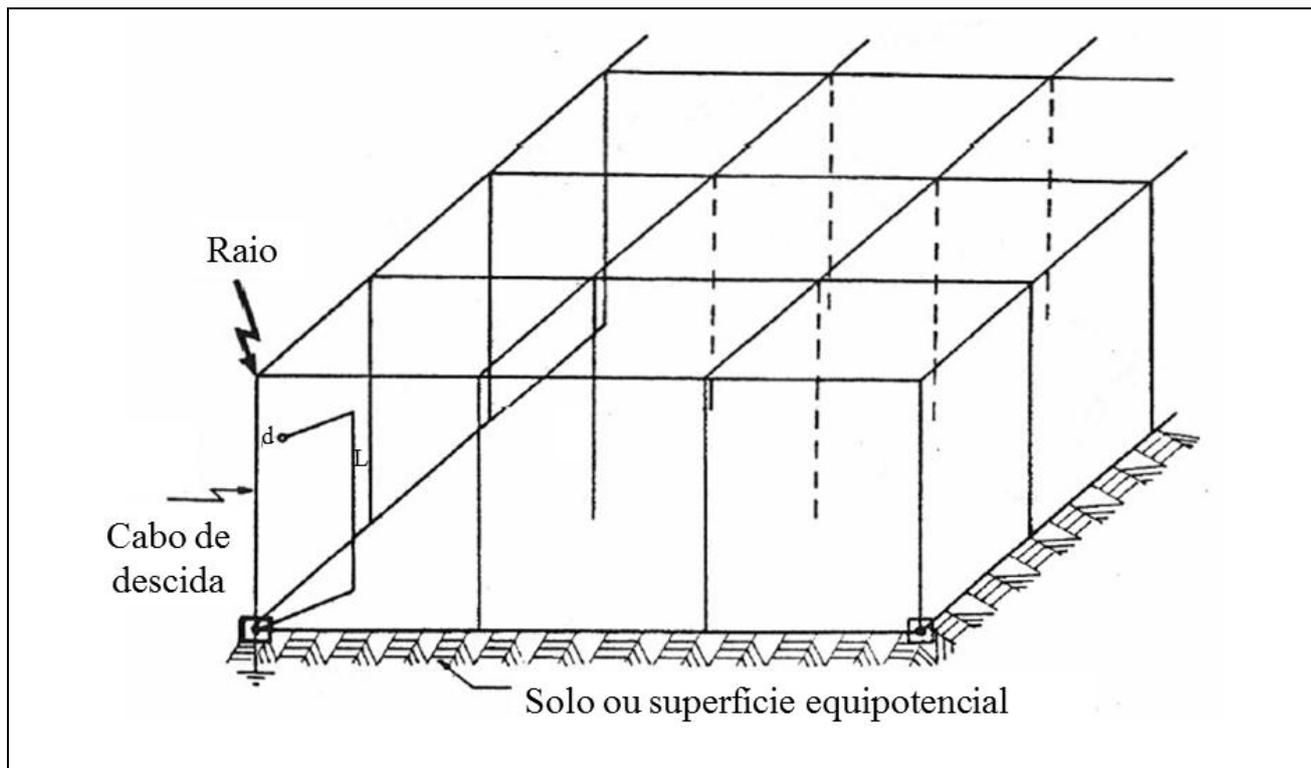


Figura 20. Coeficiente $K_c = 0,44$

Fonte: Adaptado de NORMA NBR-5419 (2005)

Em uma estrutura com nível de proteção IV, a distância mínima entre o cabo e o material condutor deve ser de 0,5m.

4.1.4.3. Espaçador

O espaçador é um elemento utilizado para manter o cabo de descida afastado da estrutura e sustentá-lo, de modo a mantê-lo na sua posição definida no projeto, para que não sofra deformações por tensionamento.

Composto basicamente de um isolador feito de cerâmica e uma haste metálica, o espaçador mantém a distância entre cabo de descida e a haste de sustentação do captor, de telhas ou paredes laterais.

A haste metálica que abraça o isolador, não deve formar um anel, deixando uma folga como mostra a Figura 21 (abaixo). Pois o campo magnético gerado pelo raio ao passar no cabo de descida transformaria o espaçador em uma bobina, induzindo tensões indesejadas podendo produzir descargas laterais.

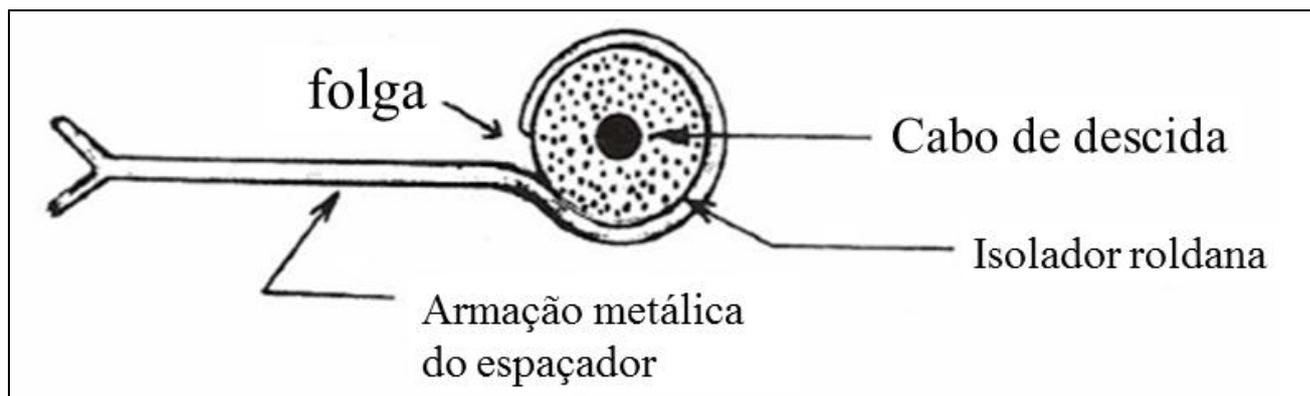


Figura 21. Espaçador

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

Deve se manter uma distancia de 2m entre dois espaçadores, principalmente na vertical, onde devem ser adicionados prendedores para evitar o escoamento do cabo.

Não se faz mais uso dos espaçadores em paredes de material não combustível, como concreto por exemplo. A norma permite que o cabo seja fixado na própria estrutura.

4.1.4.4. Tubo Protetor

A chegada o cabo de descida no solo deve ser protegida por um tubo de material não condutor, com a finalidade de evitar tensão de toque no momento da descarga e proteger o cabo de possíveis danificações.

O tubo protetor normalmente é feito de PVC, que é um material não condutor e de boa resistência mecânica. Deve ter no mínimo 3m de comprimento e 2" de diâmetro.

4.1.4.5. Sistema de Aterramento

O sistema de aterramento é um assunto muito complexo e extenso, podendo ter um trabalho estritamente sobre isso.

Na norma NBR-5419, não é exigido um valor de resistência de aterramento para SPDA, mas é recomendado que seja inferior a 10Ω . Valores mais altos são aceitos desde que sejam justificados por laudos técnicos.

Existe uma série de fatores que influenciam no cálculo de um aterramento, como composição física e química do solo, tipo de haste utilizada, disposição das hastes, entre outros.

4.2.1. Proteção pelo método de Faraday

O método de Faraday tem como princípio básico a lei de Lenz. A lei proposta por Heinrich Lenz (1804 – 1864) diz que “[...] o sentido da corrente é o oposto da variação do campo magnético que lhe deu origem. Havendo diminuição do fluxo magnético, a corrente criada gerará um campo magnético de mesmo sentido do fluxo magnético da fonte. Havendo aumento, a corrente criada gerará um campo magnético oposto ao sentido do fluxo magnético da fonte”. (Wikipédia. 2011).

A gaiola de Faraday é constituída de malhas condutoras, que evitarão a passagem do raio para o interior do prédio. Faraday em sua experiência, provou que correntes uniformes não produzem campo magnético no interior da malha ao passarem pela mesma. Um pequeno campo magnético se forma quando correntes não uniformes atravessam a malha, que é o caso do raio, que ao cair produz uma dissipação não uniforme. A proteção pela gaiola ocorre devido a indução de correntes nas malhas, criando campos magnéticos de oposição, obrigando o raio a ir para as bordas da malha e passar pelo cabo de descida. Como mostra a Figura 23:

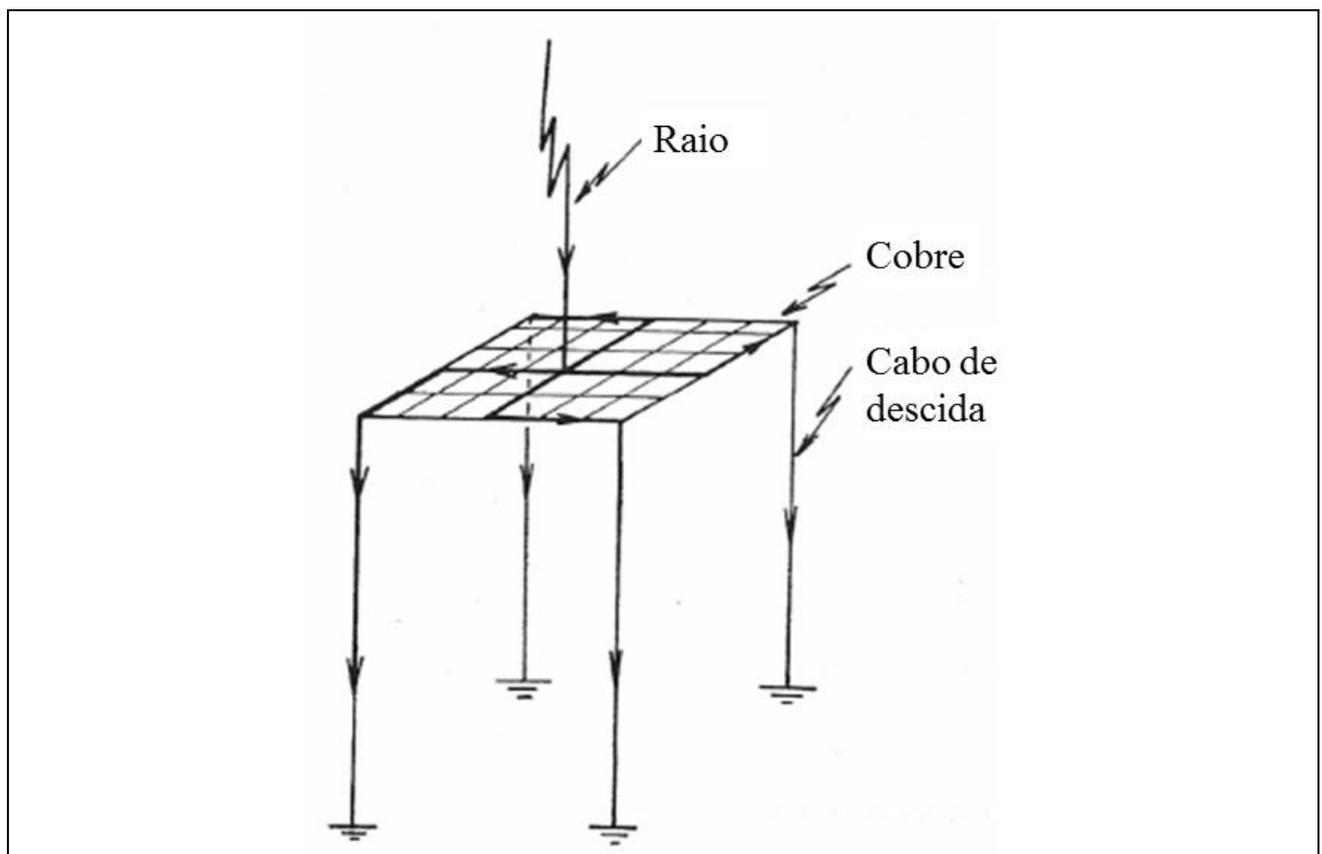


Figura 23. Corrente do raio descendo pela gaiola.
Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

4.2.2. Malhas da gaiola de Faraday

As malhas da gaiola de Faraday são formadas por cabos condutores que se cruzam formando retículos, não necessariamente quadrados, fechando a superfície da edificação.

Depois de vários estudos e pesquisas, entidades competentes estabeleceram uma relação entre nível de proteção e dimensão das malhas da gaiola, como é mostrado na Tabela 13:

Tabela 13. Malhas da Gaiola de Faraday

Nível de Proteção	Malha da Gaiola de Faraday
I	5 x 7,5
II	10 x 15
III e IV	20 x 30

Fonte: Adaptado de Comunidade de Instalações Elétricas Industriais (2011)

O dimensionamento das bitolas dos condutores utiliza a mesma tabela para cabos de descida da proteção de Franklin.

4.2.3. Cabos de descida

Pelo método de gaiola de Faraday, recomenda-se utilizar uma descida em cada canto da edificação.

Nas laterais da edificação, o espaçamento das descidas não segue o recomendado na Tabela 13, e sim o mesmo do método de Franklin. Isto porque as descidas já fecham uma malha com o cabo equalizador de potenciais e com a periferia da malha superior.

As quadriculas da malha superior são mais fechadas do que as laterais, pois a superfície da edificação é uma área mais suscetível a incidência de raios, não necessitando uma malha muito fechada nas paredes laterais.

Se na edificação houver janelas metálicas, estas ajudarão a melhorar a qualidade da Gaiola de Faraday, pois funcionarão como um anel de oposição ao raio.

4.2.4. Posicionamento da Malha Superior de Faraday

Existem quatro formas de executar a instalação de malha superior da gaiola. Que são:

- Malha suspensa a uma certa altura da superfície, como uma espécie de varal;

- Malha suspensa a uma pequena altura da superfície (cerca de 0,2m);
- Malha encostada e fixada na superfície;
- Malha embutida na própria laje da cobertura.

Os três primeiros métodos facilitam quando o assunto é manutenção e inspeção, já o último, tem vantagem quanto a estética e a conservação dos condutores, pois se um raio atingir a edificação, a descarga danificará o concreto e não os condutores.

4.2.5. Coberturas Metálicas

As edificações que possuem cobertura metálica não necessitam de malha superior, pois a mesma proporciona uma blindagem completa de superfície, fazendo-se necessário apenas o projeto das descidas.

A cobertura metálica dissipará o raio através de sua extensão, escoando a descarga para os cabos de descida. O ponto de impacto do raio gera aquecimento, então, deve-se verificar a espessura da cobertura metálica.

Se no interior da edificação não houver produtos de risco, isto é, com baixo ponto de fulgor, a espessura mínima da cobertura metálica será dada pela Tabela 14:

Tabela 14. Espessura mínima de coberturas metálicas

Nível de Proteção	Material na Chapa	Espessura da Chapa (Mínimo)
I a IV	Aço	0,4 mm
	Cobre	0,3 mm
	Alumínio	0,7 mm
	Zinco	0,7 mm

Fonte: Adaptado de KINDERMANN (1992)

No caso de haver produtos de risco de combustão no interior da edificação, deve-se adicionar 2mm na espessura de chapa de cobertura.

Em casos de cobertura metálica, deve haver continuidade elétrica perfeita entre as chapas, para não haver risco de centelhamento. As conexões devem ser feitas usando qualquer um dos processos citados anteriormente.

5. ESTUDO DE CASO

No seguinte relatório será apresentado um estudo de caso sobre o sistema de para raios do prédio de engenharia da Universidade São Francisco, no campus de Itatiba.

O prédio tem três andares de altura mais o térreo. Suas dimensões são: 40m de largura, 77,5m de comprimento e 14m de altura. Por indisponibilidade da planta estrutural da edificação a altura proposta foi estimada, podendo divergir alguns centímetros do real valor. O nível de proteção foi classificado como nível II, pela Tabela 4.

5.1. ÁREA DE CAPTAÇÃO

A edificação admite a forma simétrica de um retângulo. Assim, o cálculo da área de captação será como o demonstrado no item 3.2.

$$S_{\text{captação}} = 40 \cdot 77,5 + 2 \cdot 14 \cdot 77,5 + 2 \cdot 14 \cdot 40 + 2 \cdot \pi \cdot 14$$

$$S_{\text{captação}} = 6477,9645 \text{m}^2 = 0,006477 \text{km}^2$$

5.2. RAIOS INCIDENTES

O número de raios incidentes é dado pelo produto da área de captação pela densidade de raio na cidade de Itatiba, que é igual a 6,5606 , segundo dados do INPE.

Portanto:

$$N_{\text{raios incidentes}} = 0,006477 \cdot 6,5606$$

$$N_{\text{raios incidentes}} = 0,04249 \text{ raio/ano}$$

O numero de raios incidentes é maior que 0,001, então há necessidade de um sistema de para raios.

5.3. ÍNDICE DE RISCO

O índice de risco depende dos parâmetros citados no item 3.3. Após análise desses parâmetros, constatamos que: A = 9, B = 3, C = 2, D = 1, E = 6, F = 3.

$$R = \frac{A + B + C + D + E}{F}$$

$$R = \frac{9 + 3 + 2 + 1 + 6}{3}$$

$$R = 7$$

O risco é classificado como moderado a severo pela Tabela 5.

5.4. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE PARA RAIOS

O sistema de para raios do prédio estudado é composto de gaiola de Faraday conjugada com uma haste de Franklin. Os retângulos da malha superior utilizam cabos de alumínio de 35mm² e têm dimensões de 12,9m x 20 m. A bitola dos cabos em relação ao material usado está de acordo com o recomendado na Tabela 8, conforme Figura 27 do Anexo. Entretanto, as dimensões dos retângulos estão fora das medidas recomendadas pela Tabela 13, que são de 10m x 15 m.

A haste de Franklin é utilizada para proteção de uma antena parabólica (Figura 24) que está acima da malha da gaiola. A haste tem 3,5m de altura em relação ao topo do prédio e a antena tem 2,5m do mesmo referencial. Realizando os cálculos, a antena que esta afastada 1m da haste não poderia ter mais que 2,07m de altura, levando em conta o angulo de proteção que é de 35°.

As descidas utilizam cabos de 16mm² de cobre, estando dentro dos padrões recomendados pela Tabela 8, conforme Figura 31. Todos os dezesseis cabos de descida estão ligados equipotencialmente por um cabo de cobre de 35mm².

Existem dez hastes de aterramento (Figura 30), número inferior ao recomendado, que é de uma haste por descida. O valor de aterramento está variando entre 6,5Ω e 7Ω de haste para haste, conforme informado pela Universidade.

A escada metálica de acesso ao topo do prédio esta devidamente conectada ao sistema de para raios, conforme Figura 26. Contudo, outras estruturas não estavam conectadas ao sistema de para raios (Figura 32), havendo ainda, algumas falhas de conexão por pressão que não estavam cobertas com material emborrachado para evitar corrosão (Figura 25).

Todos os fatos relatados acima podem ser verificados nas fotos encontradas no Anexo.

5.5. RESULTADO DA ANÁLISE

Através do conhecimento adquirido ao longo deste trabalho, pode-se concluir que o sistema de para raios do prédio de engenharia da Universidade São Francisco no campus de Itatiba pode estar classificado em uma categoria diferente da recomendada, por isso apresentou algumas divergências dos parâmetros recomendados pela norma brasileira.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de um para raio é simplesmente proteger a estrutura das edificações e as pessoas que dentro delas estão, de uma eventual descarga atmosférica. Sempre visando às normas de regulamentação, para que haja maior eficácia na instalação de um sistema de proteção. Lembrado que um sistema de para raio projetado e instalado corretamente irá proteger a edificação mesmo de descargas de alta intensidade. Já um para raio mal projetado e mal instalado poderá prejudicar e danificar ao invés de proteger. Sendo assim, é melhor não ter um para raio do que ter um para raio precário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] KINDERMANN, Geraldo. Descargas atmosféricas. 1. ed. Porto Alegre: SAGRA-DC LUZZATTO, 1992.

[2] MSPC – Informações Técnicas. Disponível em: <http://www.mspc.eng.br>. Acesso em: 27 de mai. 2011.

[3] Instituto de Meteorologia, IP Portugal. Disponível em <http://www.meteo.pt/pt/otempo/previsaonumerica/>. Acesso em 23 de out. 2011.

[4] Comunidade de Instalações Elétricas Industriais. Disponível em: <http://www.centralmat.com.br/Artigos>. Acesso em 24 de set.2011

[5] Para Raios Tipo Franklin - CIMM. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portalprodutos>. Acesso em 05 de out. 2011

[6] Wikipédia. Disponível em <http://www.wikipedia.com.br>. Último acesso em 29 de out. 2011

[7] Dicionário Online de Português. Disponível em <http://www.dicio.com.br>. Acesso em 02 de nov. 2011

[8] UNIMAR - Universidade de Marília. Disponível em: http://www.unimar.br/universidade/nap/MANUAL_DE_METODOLOGIA_TCC_UNIMAR.pdf. Acesso em 05 de nov. 2011

GLOSSÁRIO

Ascendente	Que vai subindo ou progredindo: movimento ascendente; marcha ascendente.
Brasagem	Brasagem é um processo térmico com o objetivo de proporcionar a junção ou revestimento de peças e materiais metálicos por meio um metal de adição em fusão, chamado meio de brasagem (sendo este, um metal relativamente puro ou uma liga).
Cadinho	Vaso de argila refratária, de ferro, de prata, de platina ou de outra matéria, que serve para nele se fundirem metais ou outros minerais; crisol. (Tem geralmente a forma de um tronco de cone.)
Descendente	Que vai descendo ou regredindo: movimento descendente; marcha descendente.
Granítico	Que tem a natureza do granito: Rocha cristalina formada de uma mistura heterogênea de quartzo, feldspato e biotita. O granito é de cor clara, e seus cristais são bastante grandes para poderem ser vistos a olho nu. Pode-se estudá-los nas superfícies polidas dos blocos de granito usados em monumentos e edifícios.
Haste	Pedaço de pau ou ferro, delgado, levantado e direito, em que se embute ou encrava alguma coisa, como uma bandeira, uma lança, uma alabarda. Parte fina e alongada de um objeto.
Íon	Espécie química eletricamente carregada, geralmente um átomo ou molécula que perdeu ou ganhou um ou mais elétrons. Íons carregados negativamente são conhecidos como ânions ou até mesmo como íon negativo, enquanto íons com carga positiva são denominados cátions ou íon positivo.
Lenz	Heinrich Friedrich Emil Lenz foi um físico alemão que ganhou fama por ter formulado a lei de Lenz em 1833. Além da lei nomeada em sua honra, Lenz também formulou a Lei de Joule em 1842.
Mesopotâmia	Trata-se de um planalto de origem vulcânica localizado no Oriente Médio, delimitado entre os vales dos rios Tigre e Eufrates, ocupado pelo atual território do Iraque e terras próximas. A Mesopotâmia é considerada um dos berços da civilização, já que foi na Baixa Mesopotâmia onde surgiram as primeiras civilizações por volta do VI milênio a.C.
Phoscopper	Liga de Cobre e Fósforo, podendo conter pequenas quantidades de Estanho. São também conhecidas por várias variantes de nomes, como Foscooper ou Foscopper. São soldas de baixo custo, largamente utilizadas nas tubulações em refrigeração e ar condicionado, por produzirem juntas que suportam uma

faixa de temperaturas entre aproximadamente -50°C a 200°C . Também são utilizadas em instalações e hidráulicas.

Relâmpago	Clarão muito intenso e rápido produzido pelo raio, precedendo ou acompanhando o trovão.
Rigidez Dielétrica	Valor limite de campo elétrico aplicado sobre a espessura do material (kV/mm), sendo que, a partir deste valor, os átomos que compõem o material se ionizam e o material dielétrico deixa de funcionar como um isolante.
Trovão	O trovão é o ruído resultante da onda de choque provocada pelo aquecimento instantâneo do ar ao ser atravessado por um raio durante uma tempestade.
Xistoso	Da natureza ou constituição do xisto: Mineralogia Mineral de estrutura laminosa e friável, formado por diversos óxidos metálicos, sílica e argila.

APÊNDICE A – PARÂMETROS DE ÍNDICES DE RISCO

Este apêndice trata-se das tabelas de parâmetros de índices de risco, conforme citadas no item 3.3. Índice de Risco, deste trabalho. Estas tabelas foram retiradas da fonte bibliográfica [4].

FATOR A	Tipo de estrutura e área construída
1	Residência com $A \leq 465\text{m}^2$
2	Residência com $A > 465\text{m}^2$
3	Residências, escritórios ou fábricas com $A \leq 2325\text{m}^2$ e $h \leq 15\text{m}$
4	Residências, escritórios ou fábricas com $15\text{m} \leq h \leq 23\text{m}$
5	Residências, escritórios ou fábricas com $A > 2325\text{m}^2$ ou $23\text{m} \leq h \leq 46\text{m}$
7	Serviços públicos de água, bombeiros, polícia, hangares
8	Usinas geradoras, centrais telefônicas, biblioteca, museus, estruturas históricas, ou prédios com $h \leq 46\text{m}$
9	Construções de fazendas, abrigos em área aberta, escolas, igrejas, teatros, estádios.
10	Chaminés, torres, hospitais, armazéns de materiais perigosos.

FATOR B	Material utilizado
1	Qualquer estrutura, salvo madeira, com telhado metálico eletricamente contínuo.
2	Estrutura de madeira, com telhado metálico eletricamente contínuo
3	Qualquer estrutura com telhado composto ou não contínuo
4	Estrutura de aço, concreto ou madeira com telhado metálico não contínuo
5	Estrutura não metálica com telhado de madeira ou barro.

FATOR D	Relevo
1	Planície
2	Encosta de colinas
4	Topo de colinas
5	Topo de montanha

FATOR E	Tipo de ocupação
1	Materiais não combustíveis
2	Móveis residenciais ou similares
3	Animais ou gado bovino
4	Local de reunião com menos de 50 pessoas
5	Material combustível
6	Local de reunião com 50 pessoas, ou mais
7	Equipamentos ou material de alto valor
8	Serviços de gás, gasolina, telefonia, bombeiros, pessoas imobilizadas ou leitos
9	Equipamento de operação crítica
10	Conteúdo histórico ou explosivo.

FATOR F	Índice cerâmico
1	> 70
2	61 a 70
3	51 a 60
4	41 a 50
5	31 a 40
6	21 a 30
7	11 a 20
8	06 a 10
9	< 6

Fonte: Comunidade de Instalações Elétricas Industriais. Disponível em:
<http://www.centralmat.com.br/Artigos>. Acesso em 24 de set.2011

ANEXO I – PARA RAIOS ANALISADO NO ESTUDO DE CASO



Figura 24. Haste de Franklin protegendo a antena.



Figura 25. Conexão por pressão mal executada



Figura 26. Conexão da escada de acesso



Figura 27. Cruzamento dos condutores da malha da Gaiola de Faraday



Figura 28. Cabo de descida com tubo protetor



Figura 29. Conexão do cabo de descida



Figura 30. Haste de aterramento



Figura 31. Conexão do cabo de descida na estrutura metálica das janelas



Figura 32. Refletor não conectado ao sistema de para raio



Figura 33. Visão geral do topo do prédio

