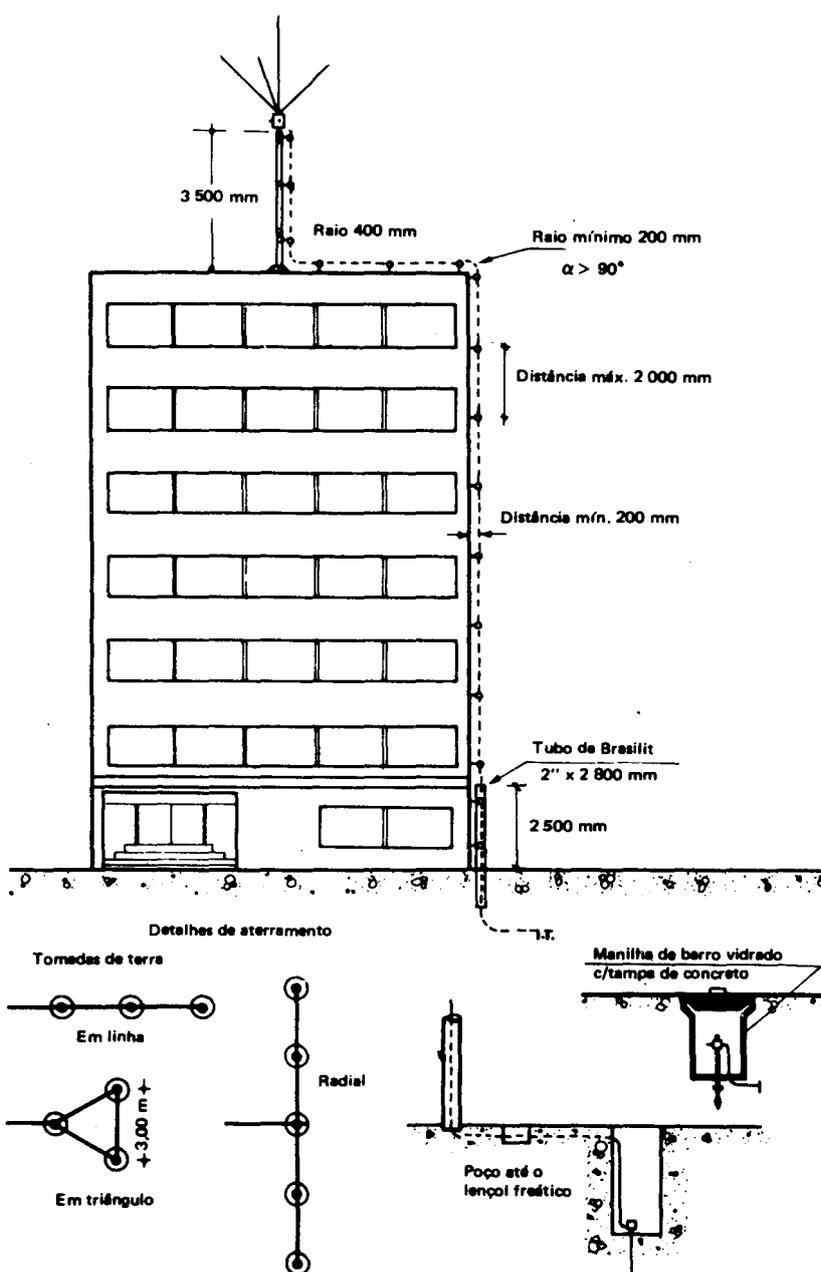
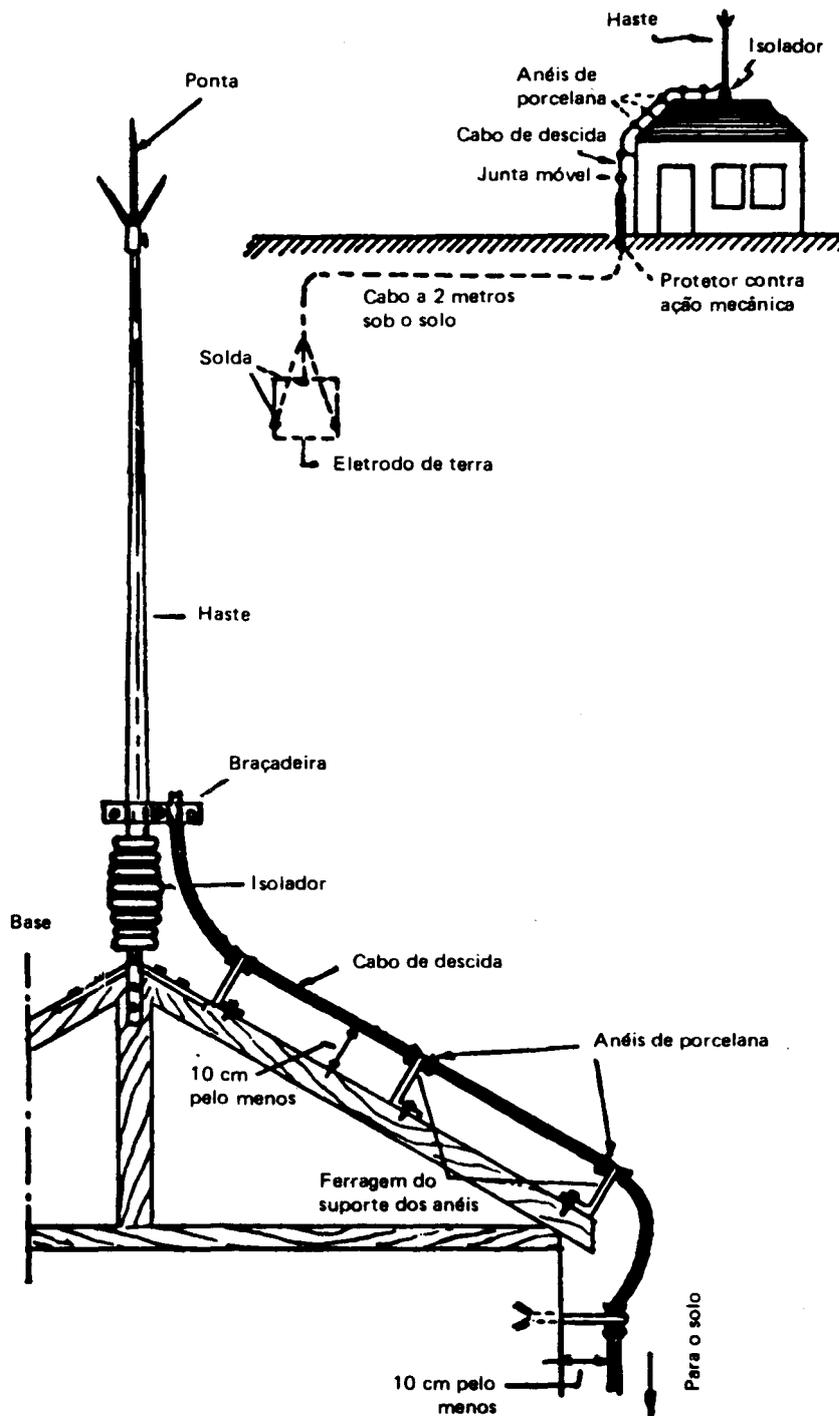


# SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA

## SPCDA



# SPCDA – SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA



# PROJETO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

## INTRODUÇÃO

Instalações de Pára-Raios Prediais

(REF: Norma NBR- 5419/93)

## GENERALIDADES SOBRE OS RAIOS

### Formação de Cargas

Raio é um fenômeno atmosférico de danosas conseqüências, resultante do acúmulo de cargas elétricas em uma nuvem e a conseqüente descarga sobre o solo terrestre ou sobre qualquer estrutura que ofereça condições favoráveis à descarga.

Há várias teorias explicativas do fenômeno, entre as quais as de Simpson, Elster e Geitel. Pela teoria de Simpson, durante uma tempestade, há correntes ascendentes de ar com uma certa umidade, sendo que, a certa altura, formam-se gotas de água, resultantes da condensação do vapor d'água. Estas gotas vão aumentando de diâmetro até ficarem grandes e caírem por ação da gravidade. Na queda, juntam-se umas às outras, aumentando de tamanho até se tomarem instáveis, aproximadamente com o diâmetro de 0,5 cm; então fragmentam-se e libertam íons negativos que, juntando-se às partículas existentes na atmosfera, são arrastados com violência para a parte superior e bordos da nuvem. Posteriormente, Simpson admitiu a existência de cargas positivas na parte superior das nuvens, em virtude da interferência de pequenos cristais de gelo aí existentes.

Pela teoria de Elster e Geitel, também foi admitida a existência das correntes ascensionais de ar úmido, formando-se gotas que, quando atingem certo peso, começam a cair. Considerando-se a superfície da terra predominantemente negativa, estas gotas, por indução, ficam carregadas positivamente na parte inferior e negativamente na parte superior. As gotas grandes encontram-se, em sua queda, com as gotas pequenas em ascensão, fornecendo-lhes cargas positivas e recebendo a negativa; assim, a parte superior da nuvem torna-se positiva e a parte inferior, negativa.

Conclui-se que, por ambas as teorias, ficou demonstrado que a parte inferior das nuvens está carregada por cargas predominantemente negativas e a parte superior por cargas positivas. Aliás, as observações e medições das descargas que caem sobre linhas de transmissão provam que são resultantes de nuvens carregadas negativamente.

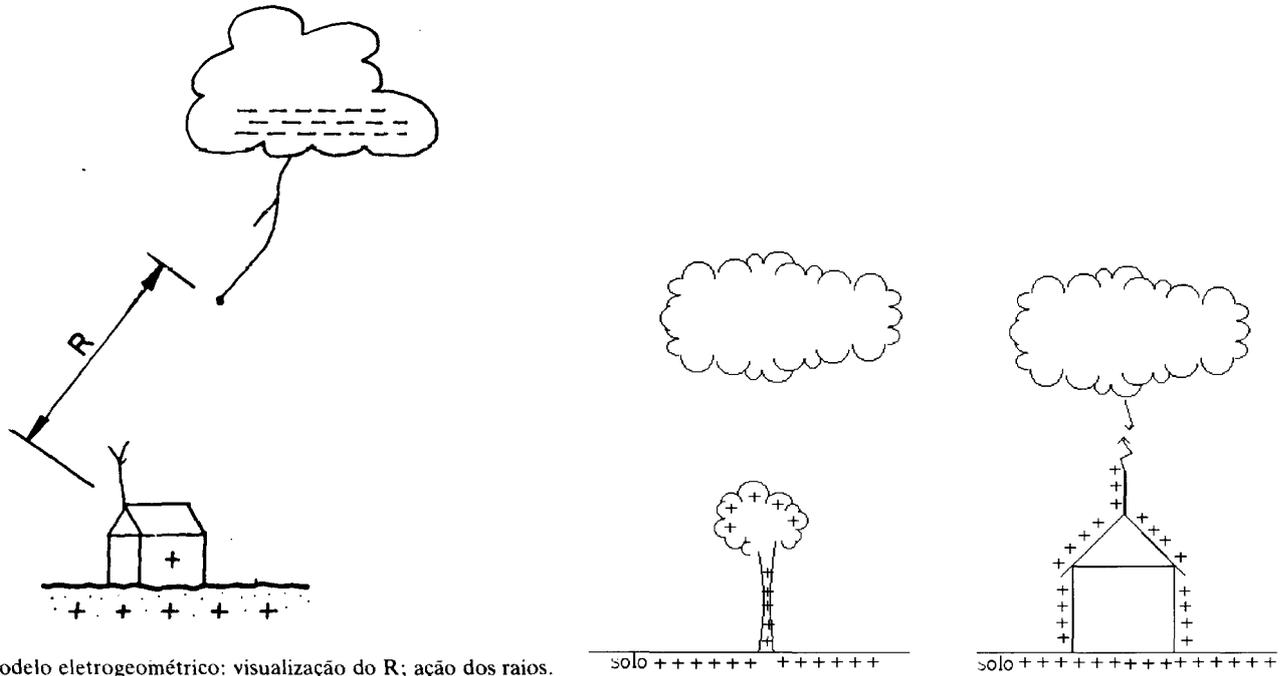
### Formação dos Raios

Conhecido o modo pelo qual se formam as cargas atmosféricas, vejamos como se dá a descarga.

A Norma NBR-5419/93 conceitua o modelo eletrogeométrico da esfera rolante fictícia, que serve para delimitar o volume de proteção dos captores de um SPDA (sistema de proteção contra descargas atmosféricas). Nas descargas negativas, que são as mais freqüentes, o raio é precedido de um canal ionizado descendente (líder), que se desloca no espaço por saltos sucessivos de dezenas de metros. Este deslocamento provoca a formação na superfície da terra, por indução, de cargas elétricas crescentes e de sinal contrário. Assim, o campo elétrico da terra torna-se tão intenso que dá origem a um líder ascendente (receptor), que parte em direção ao líder descendente. O encontro de ambos estabelece o caminho da corrente do raio, que se descarrega através do canal ionizado. O raio atinge o solo ou uma estrutura no local de onde partiu o líder ascendente por meio de um trajeto não necessariamente vertical. Isto se torna evidente porque estruturas altas são muitas vezes atingidas lateralmente pelo raio, embora protegidas por um captor no topo. Os pontos de maior intensidade de campo elétrico no solo e nas estruturas são os próximos da extremidade do líder descendente. Deste modo, a superfície de uma esfera cujo centro se localiza na extremidade do último salto é o lugar geométrico dos pontos possíveis de serem atingidos pela descarga. Esses pontos podem ser simulados por uma esfera fictícia de raio R, cujo comprimento é igual ao último trecho a ser vencido pela descarga (líder descendente).

## A INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS TEM DUAS FUNÇÕES:

**PRIMEIRA FUNÇÃO:** neutralizar, pelo poder de atração das pontas, o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens, através do permanente escoamento de cargas elétricas do meio ambiente para a terra.



Modelo eletrogeométrico: visualização do R; ação dos raios.

**SEGUNDA FUNÇÃO:** oferecer á descarga elétrica que for cair em suas proximidades um caminho preferencial, reduzindo os riscos de sua incidência sobre as estruturas.

A instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas não impede a ocorrência de raios. Nem tão pouco atrai raios. E preferível não ter pára-raios algum do que ter um pára-raios mal instalado. Um pára-raios corretamente instalado reduz significativamente os perigos e os riscos de danos, pois captará os raios que iriam cair nas proximidades de sua instalação.

### DEFINIÇÕES PRELIMINARES:

#### ÍNDICE CERAÚNICO - IC

Índice ceraúnico é, por definição, o número de dias de trovoada, em determinado lugar, por ano.

**ISOCERAÚNICAS** - são linhas (curvas) que ligam pontos (localidades) que têm o mesmo índice ceraúnico.

## Mapa isoceraúnico do Brasil



De acordo com o mapa, em Colatina-ES temos um índice ceraúnico de 40.

### DENSIDADE DE RAIOS - DR

DR é a quantidade de raios que caem por ano em 1 Km de área, e é calculado pela fórmula

$$DR = 0,0024 IC^{1,63}$$

Em Colatina-ES:

$DR = 0,0024 \times 40^{1,63} = \dots\dots\dots$ , isto é, estima-se que caiam  $\dots\dots\dots$  raios em um ano por Km<sup>2</sup> na cidade de Colatina.

### NIVEIS DE PROTEÇÃO E EFICIÊNCIA DE PROTEÇÃO

O nível de proteção não está relacionado com a probabilidade de queda do raio na edificação, mas com a eficiência que o sistema tem de captar e conduzir o raio à terra. Há quatro níveis de proteção que o projetista pode adotar, conforme a tabela:

PROTEÇÃO E EFICIÊNCIA CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS		
Nível de Proteção	Características da Proteção	Eficiência da Proteção
I	Nível máximo de proteção	98%
II	Nível médio de proteção	95%
III	Nível moderado de proteção	90%
IV	Nível normal de proteção	80%

CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E NÍVEIS DE PROTEÇÃO SEGUNDO A NBR 54 19/93			
De acordo com os efeitos e danos causados pelos raios, as estruturas podem ser classificadas em:			
CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS	ESTRUTURAS TÍPICAS	EFEITOS DOS RAIOS	NÍVEL DE PROTEÇÃO
1° ESTRUTURAS COMUNS: as preocupações devem ser com os efeitos na própria estrutura.	Residências	Perfuração da isolamento de instalação elétrica, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio.	III
	Fazendas	Risco primário de incêndio e tensões de passo perigosas. Risco secundário devido à interrupção de energia, e risco de vida a animais devido à perda de controle eletrônico de ventilação, suprimento de alimento etc.	III ou IV
	Teatros, escolas, igrejas, lojas de departamentos, áreas esportivas.	Danos às instalações elétricas, possibilidade de pânico, falha do sistema de alarme contra incêndio.	II
	Bancos, companhia de seguro, companhia comercial, etc.	Conseqüências adicionais na ligação com a perda de comunicação, falha dos computadores e perda de dados.	II
	Hospitais, casas de repouso e prisões	Efeitos adicionais à pessoas em tratamento intensivo, dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas.	II
	Indústrias	Efeitos adicionais na fabricação, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda da produção.	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de tesouros insubstituíveis	II
2° ESTRUTURAS COM DANOS CONFINADOS: as preocupações devem ser com os efeitos na própria estrutura e com a atividade executada internamente.	Telecomunicação, usinas de força, indústria com risco de incêndio	Inaceitável perda de serviços ao público por pequeno ou longo período de tempo. Perigo às imediações devido a incêndios.	I
3° ESTRUTURAS COM PERIGO AOS ARREDORES: as preocupações devem ser com os efeitos anteriores, mais com os efeitos nas estruturas adjacentes ou de certa região.	Refinarias, depósitos de combustíveis, fábricas de inflamáveis, fábricas de munição	Conseqüências de incêndio e explosão da instalação para os arredores.	I
4° ESTRUTURAS COM DANOS AO MEIO AMBIENTE: as preocupações devem ser com os efeitos temporários ou permanentes no meio ambiente.	Instalações químicas, laboratórios, instalações nucleares, bioquímicas, etc.	Fogo e mal funcionamento da fábrica com conseqüências perigosas ao local e ao meio ambiente como um todo.	I

### ÁREA DE CAPTAÇÃO

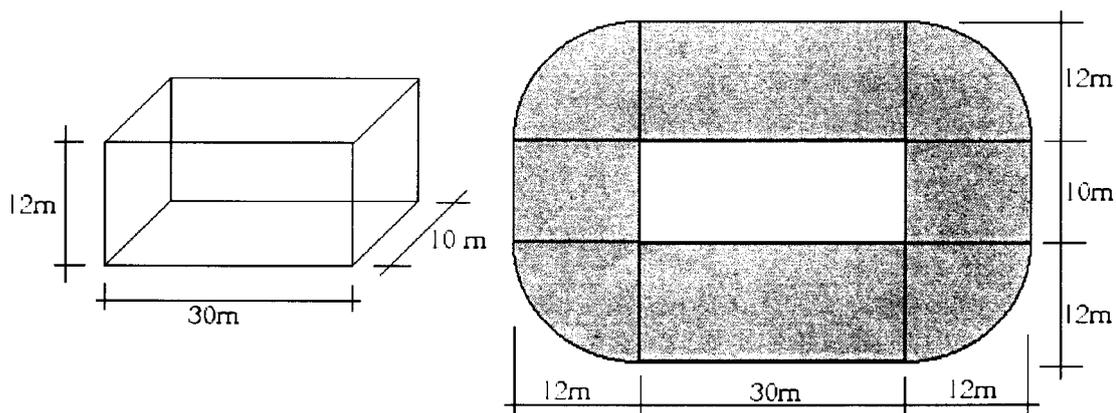
A área de captação do raio em uma estrutura é a área ao redor de uma edificação, onde, se cair um raio, ele será atraído pela edificação. Esta área corresponde à soma de duas áreas:

$$S_{\text{captação}} = S_{\text{edificação}} + S_{\text{contígua}}$$

$$S_{\text{edificação}} = \text{área da própria edificação}$$

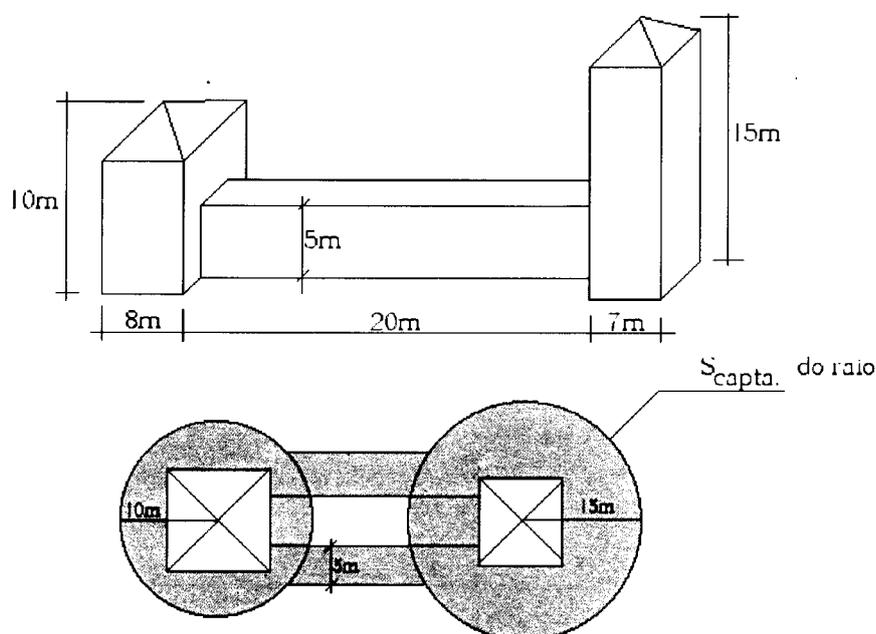
$$S_{\text{contígua}} = \text{área de uma faixa ao redor da edificação, com largura constante igual à altura da edificação.}$$

## Avaliação da área de proteção



$$S_{\text{capt.}} = 2 \times 30 \times 12 + 2 \times 12 \times 10 + 3,14 \times 12^2 \times 2$$

$$S_{\text{capt.}} = 1412,16\text{m}^2 = 0,00141216\text{Km}^2$$



Em edificações assimétricas a área de captação é obtida pela superposição das áreas correspondentes à maior altura da edificação.

### RAIOS INCIDENTES - N

É a quantidade de raios que incide anualmente numa dada área de captação.

$$N_{\text{ raios incidentes}} = S_{\text{ captação}} \times D_R$$

Supondo que a edificação da figura esteja em Florianópolis, teremos:

$$N_{\text{ raios incidentes}} = 0,00141216 \text{ Km}^2 \times \dots\dots\dots \text{ raios/Km ano}$$

$$N_{\text{ raios incidentes}} = 0,0022 \text{ raios/ano.}$$

#### Recomendações Internacionais

- a) riscos maiores que  $10^{-3}$  (Istoé, 1 em 1000) por ano são considerados inaceitáveis;
- b) riscos menores que  $10^{-5}$  (Istoé, 1 em 100.000) por ano são considerados aceitáveis;

Depois de determinado o valor de (N), que é o número provável de raios que atingem a estrutura, aplicam-se fatores de ponderação indicados nas tabs. De 10 a 14 do Anexo C da NBR – 5419.

Se  $N \geq 10^{-3}$ , a estrutura requer SPCDA

Se  $N \leq 10^{-5}$ , a estrutura dispensa SPCDA

## INDICE DE RISCO - R

O índice de risco depende da combinação da vários fatores:

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

<b>FATOR A</b> Leva em consideração o tipo de estrutura, área construída e altura:	
<b>FATOR A</b>	<b>Tipo de estrutura e área construída</b>
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.

<b>FATOR B: Considera o material de construção utilizado:</b>	
<b>FATOR B</b>	<b>Material utilizado</b>
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.

<b>FATOR C: Considera a área ocupada e a altura das edificações vizinhas:</b>	
<b>FATOR C</b>	<b>Área ocupada e altura das edificações vizinhas</b>
1	Área ocupada $\leq 929\text{m}^2$ e estruturas vizinhas mais altas.
2	Área ocupada $> 929\text{m}^2$ e estruturas vizinhas mais altas.
4	Área ocupada $\leq 929\text{m}^2$ e estruturas vizinhas mais baixas.
5	Área ocupada $> 929\text{m}^2$ e estruturas vizinhas mais baixas.
7	Altura maior que as da vizinhança, mas não as ultrapassando de 15m.
10	Altura maior que 15m em relação aos prédios vizinhos.

<b>FATOR D: Considera a topografia:</b>	
<b>FATOR D</b>	<b>Relevo</b>
1	Planície
2	Encosta de colinas
4	Topo de colinas
5	Topo de montanha

<b>FATOR E: Leva em consideração a ocupação da edificação:</b>	
<b>FATOR E</b>	<b>Tipo de ocupação</b>
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.

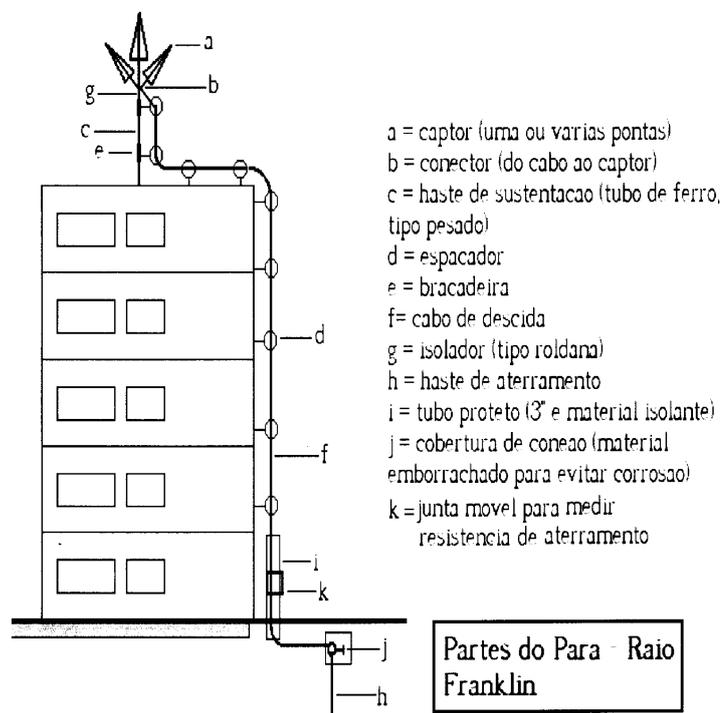
FATOR F: Depende do índice cerâmico:	
FATOR F	Índice cerâmico
1	>70
2	61 a 70
3	51 a 60
4	41 a 50
5	31 a 40
6	21 a 30
7	11 a 20
8	06 a 10
9	<6

NÍVEL DE RISCO DA EDIFICAÇÃO:	
Índice de Risco - R	Nível de Risco
0 a 2	Leve
2 a 3	Leve a moderado
3 a 4	Moderado
4 a 7	Moderado a severo
> 7	Severo

### PROTEÇÃO POR PÁRA-RAIO

Desde a criação do pára-raios há 200 anos, por Benjamin Franklin, não se avançou muito nesta área, usando o mesmo dispositivo até hoje. Este dispositivo (para-raio) consiste na combinação de 3 elementos básicos:

- Captores de raio
- Cabos de descida
- Sistema de aterramento.



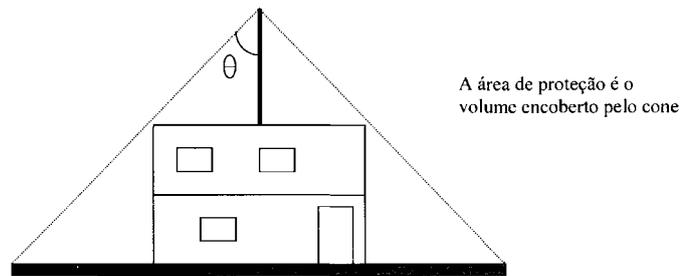
### REGIÃO ESPACIAL DE PROTEÇÃO

É a zona espacial protegida pelo pára-raios. Se o raio cair nesta zona, ele preferirá o caminho através do pára-raios. A maior evolução, desde a descoberta do pára-raios, ocorreu na definição da área protegida (zona espacial protegida). Há três métodos de definição da área protegida:

Método da haste vertical de Franklin, método da malha ou gaiola de Faraday e método eletromagnético ou das esferas rolantes.

# DEFINIÇÃO DA REGIÃO ESPACIAL PROTEGIDA MÉTODO DA HASTE VERTICAL DE FRANKLIN

## 1.1. Uma Haste de Franklin



Recentemente se constatou que o ângulo  $\theta$  deve variar em função do nível de proteção requerido e da altura da haste.

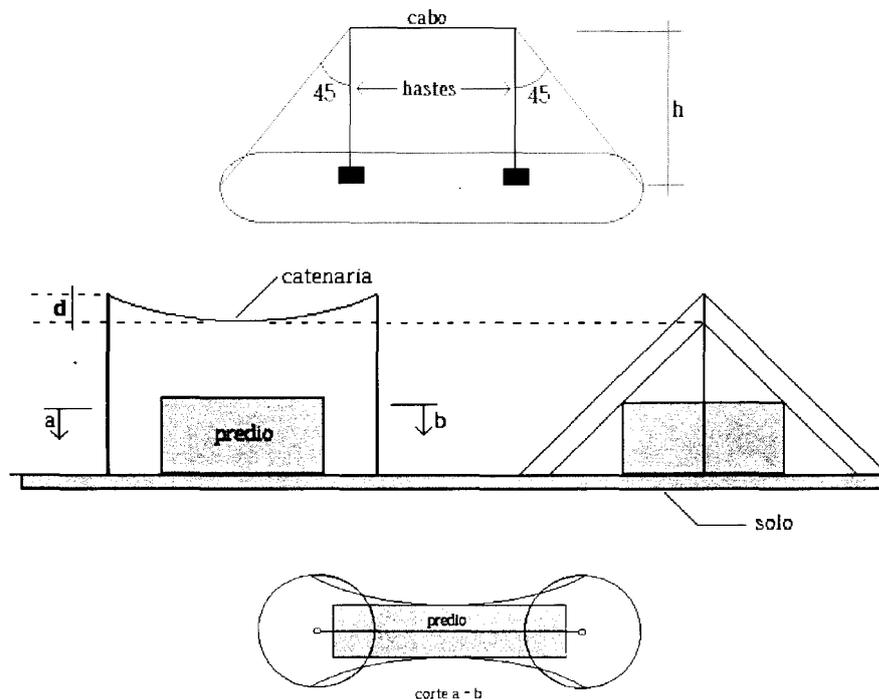
### Ângulos de Proteção

Nível de proteção adotado	Altura máxima (h) da ponta da haste ao solo, em metros			
	$\leq 20$	$20 < h \leq 30$	$30 < h \leq 45$	$45 < h \leq 60$
IV	55°	45°	35°	25°
III	45°	35°	25°	*
II	35°	25°	*	*
I	25°	*	*	*

\*Nestes casos a haste não é suficiente, porque a estrutura recebe descargas laterais.

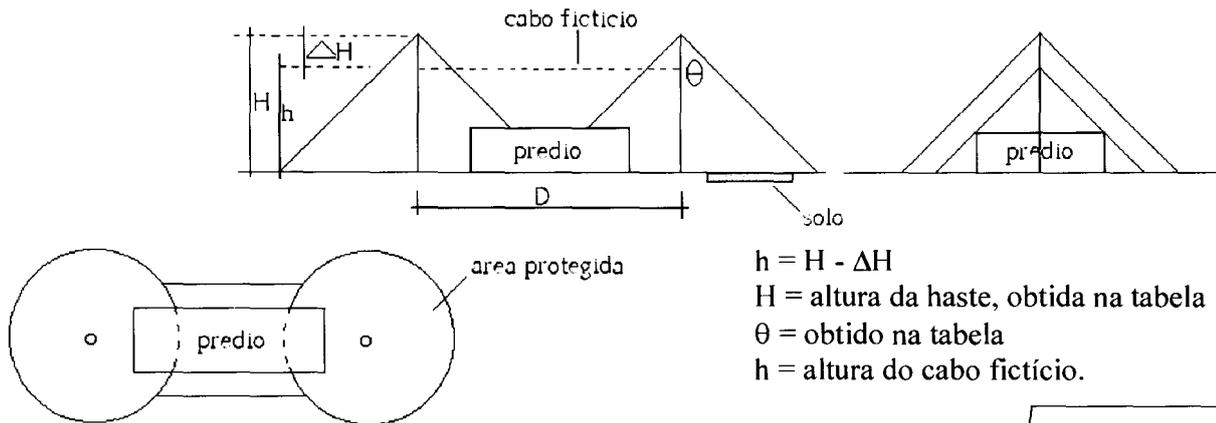
## 1.2. Pelo Condutor Horizontal

Um condutor horizontal produz o efeito de uma haste da altura do condutor se deslocando ao longo do condutor. Na prática o condutor forma uma catenária, dificultando a obtenção da zona protegida.



### 1.3. Por Duas Hastes de Franklin

Duas hastes criam o efeito de um cabo horizontal fictício estendido entre elas, aumentando a zona protegida.



$h = H - \Delta H$   
 $H =$  altura da haste, obtida na tabela  
 $\theta =$  obtido na tabela  
 $h =$  altura do cabo fictício.

$$\Delta H = H - Q + \sqrt{(Q - H)^2 + \frac{D^2}{4}}$$

**D** distância entre as hastes

**Q** fator dependente do nível de proteção.

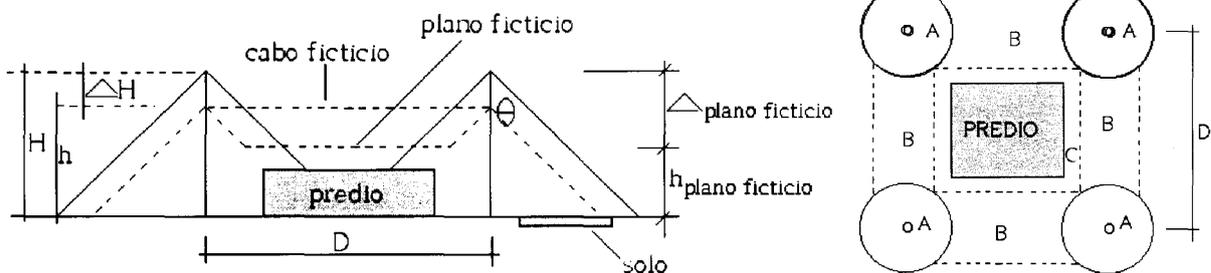
Nível de Proteção	Fator Q (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

O efeito do cabo fictício só ocorre se:

$$H \leq Q \quad \text{e} \quad D \leq 2 \sqrt{2QH - H^2}$$

### 1.4. Por três ou mais Hastes Franklin

Neste caso combinam-se as hastes duas a duas para obter a zona protegida. Mas cria-se entre elas um plano fictício, abaixo do qual a edificação estará protegida.



$A =$  zonas protegidas pelas hastes  
 $B =$  zonas protegidas pelos cabos fictícios  
 $C =$  zona protegida pelo plano fictício.

$h_{\text{plano fictício}} = H - \Delta_{\text{fictício}}$

$D_i =$  diagonal formada pelas hastes

O efeito do plano fictício só ocorre se:  $D_i \leq 2Q$

O plano fictício deve estar acima da edificação considerada e deve estar afastado do retângulo formada pelas hastes numa distância  $\Delta_{\text{afastamento}}$ .

$$\Delta_{\text{pf}} = Q - \sqrt{Q^2 - \frac{D_i^2}{4}}$$

$$\Delta_{\text{afastamento}} = \sqrt{2Qh_{\text{pf}} - h_{\text{pf}}^2} - \sqrt{2QH - H^2 - \frac{D^2}{4}}$$

## MÉTODO PELAS ESFERAS ROLANTES

Este método leva em consideração a intensidade do raio, para o cálculo da área protegida, através da fórmula:

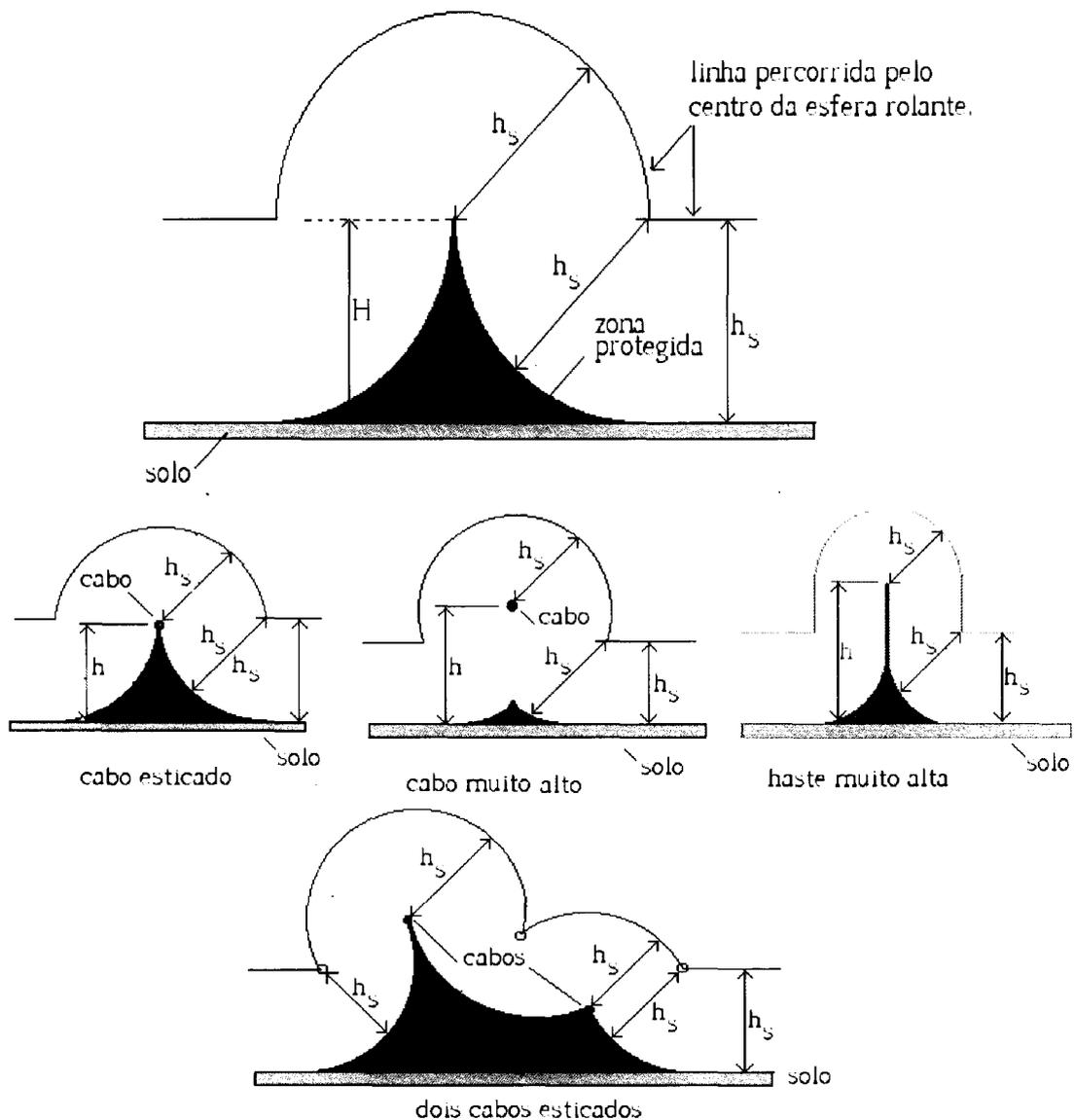
$$h_s = 10 \times I^{\frac{5}{3}}$$

$h_s$  = raio da esfera rolante

$I$  = corrente de crista do raio (KA)

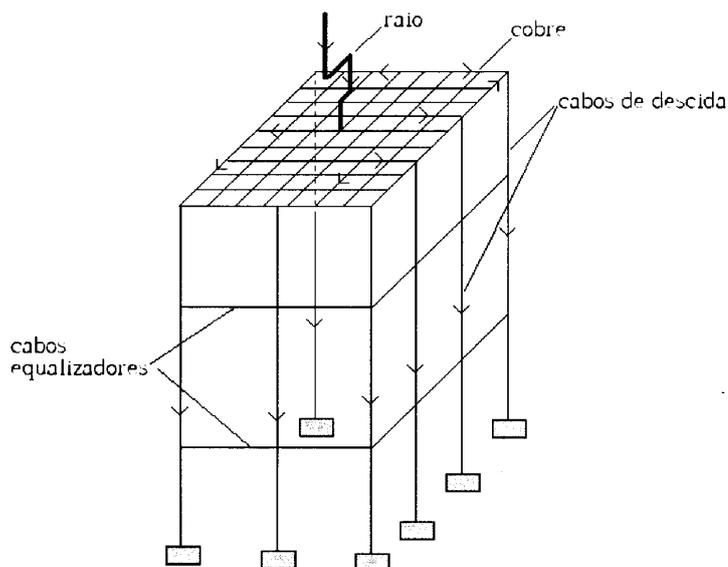
Nível de Proteção	Raio da Esfera Rolante $h_s$
I	20m
II	30m
II	45m
IV	60m

A esfera rolante deverá ser rolada sobre o solo e os elementos de proteção. Neste caso a zona protegida é toda a região que não é tocada pela esfera. A esfera rolante não poderá tocar na edificação.



## MÉTODO ELETROMAGNÉTICO OU DAS ESFERAS ROLANTES. PROTEÇÃO POR GAIOLA DE FARADAY

É uma proteção muito eficiente e largamente utilizada. Consiste em cobrir a edificação com uma grade metálica que está devidamente aterrada.



O raio bate na grade, escoar para a periferia da grade e desce pelos cabos de descida.

### MALHA DA GAIOLA DE FARADAY

Nível de Proteção	Malha máxima do retângulo
I	5x7,5
II e III	10x15
IV	20x30

O lado maior deve ser 1,5 a 2 vezes o lado menor.

#### A malha pode ocupar 4 posições:

- Ficar suspensa a certa altura da cobertura, tipo varal.
- Ficar suspensa a 20 cm da cobertura.
- Ficar depositada sobre a cobertura.
- Ficar embutida na própria laje de cobertura.

### DETALHES CONSTRUTIVOS

#### CAPTOR:

- Pode ter uma ou mais pontas.
- Pode ser de latão, ferro, bronze, aço inoxidável.
- A ponta, se for arredondada, se danifica menos ao receber uma descarga.

#### DESCIDA:

- Deve ser o mais contínua possível.
- Qualquer emenda deve ser feita com solda.
- A distância mínima à qualquer esquadria metálica é de 50cm.
- Distância à parede:
  - Se a parede for de material incombustível o cabo de descida pode ser preso diretamente sobre a superfície da parede.
  - Se a parede for de material combustível o cabo de descida deverá ficar no mínimo a 10cm da parede, utilizando-se para isto os espaçadores.
- Bitola:

Bitola mínima do Cabo de Descida	
Material	Bitola
Cobre	16 mm <sup>2</sup>
Alumínio	25 mm <sup>2</sup>
Aço	50 mm <sup>2</sup>

- Número de descidas:

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

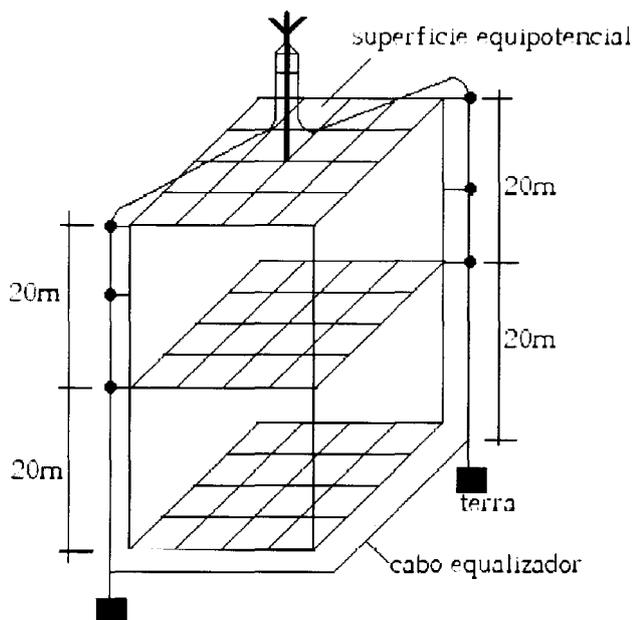
### ESPAÇADORES:

- serão colocados no máximo de 2 cm 2 metros.
- A cada 5 espaçadores (ou no máximo de 10 em 10m) deve-se colocar um prendedor, para prender o cabo de descida no espaçador, evitando assim a tensão causada pelo peso próprio do cabo.

### CABOS EQUALIZADORES:

Os diversos cabos de descida, ao longo do perímetro do prédio, devido à assimetria da distribuição, podem estar em potenciais elétricos diferentes, num mesmo plano horizontal. Estas diferenças de potenciais podem causar danos às pessoas e à estrutura. Convém então interligar os cabos de descida, junto ao solo e a cada 20m de altura, através de um cabo, chamado cabo equalizador. Criam-se assim superfícies equipotenciais. As superfícies equipotenciais podem ser feitas aproveitando a própria armação da laje e vigas do prédio, desde que:

- as conexões da armadura com os cabos de descida sejam soldadas ou feitas com parafusos de aperto ou com cavilhas.
- sejam deixadas pontas adicionais na armadura para receber estas conexões.



Bitola do cabo de equalização:

Bitola Mínima do Cabo de Equalização	
Material	Seção transversal
Cobre	6 mm <sup>2</sup>
Alumínio	10 mm <sup>2</sup>
Ferro	16 mm <sup>2</sup>

## MATERIAL PARA INSTALAÇÃO DE PÁRA-RAIOS



### BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

CREDER, Hélio. Instalações elétricas. Ed. Livros Técnicos e Científicos.

MACINTYRE, Archibald Joseph, NISKIER, Julio, Instalações elétricas. Livros Técnicos e Científicos Editora AS. 1996

LIMA, Domingos Leite Filho. Projetos de instalações elétricas prediais. Editora Érica.

KINDERMANN, Geraldo. Descargas atmosféricas. Sagra - DC Luzzatto Editores. 1992.

Decreto n° 4909 Normas de segurança contra incêndios, Corpo de Bombeiros de Santa Catarina, 18 de outubro de 1994