

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**PROJETO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

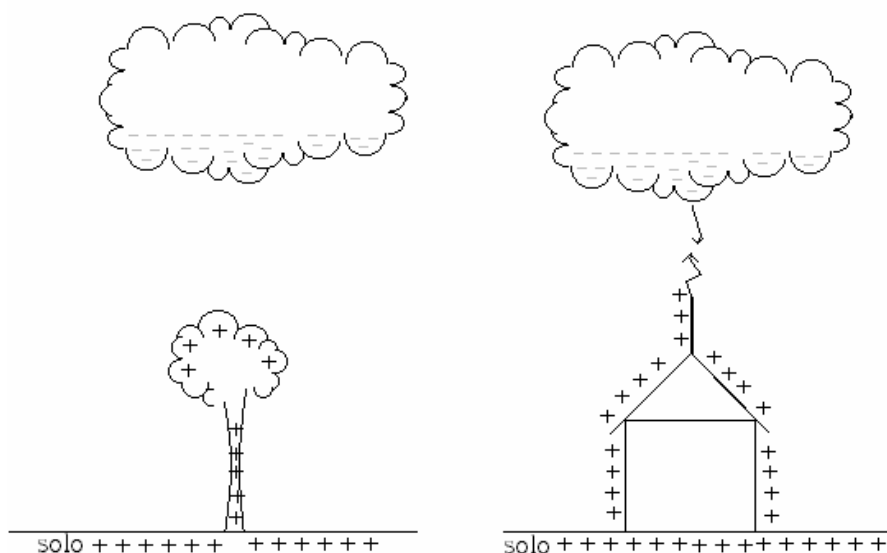
Prof. Adolar Ricardo Bohn - M. Sc.

PROJETO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

INTRODUÇÃO

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.



SEGUNDA FUNÇÃO: oferecer à 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. É preferível não ter pára-raio algum do que ter um pára-raio mal instalado. Um pára-raio 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 CERÁUNICO - IC

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

ISOCERÁUNICAS - são linhas (curvas) que ligam pontos (localidades) que têm o mesmo índice ceráunico.



Mapa isoceráunico do Brasil

De acordo com o mapa, em Florianópolis temos um índice ceráunico de 54.

DENSIDADE DE RAIOS - D_R

D_R é a quantidade de raios que caem por ano em 1 Km² de área, e é calculado pela fórmula

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

Em Florianópolis:

$$D_R = 0,0024 \times 54^{1,63} = 1,59 = 1,6 \text{ portanto, em 1 Km}^2, \text{ estima-se que caiam 1,6 raios por ano.}$$

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 5419/93

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
1º 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.	Consequências adicionais na ligação com a perda de comunicação, falha dos computadores e perda de dados.	II
	Hospitais, casas de repouso e prisões	Efeitos adicionais às 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
2º 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
3º 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	Consequências de incêndio e explosão da instalação para os arredores.	I
4º 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 consequências perigosas ao local e ao meio ambiente como um todo.	I

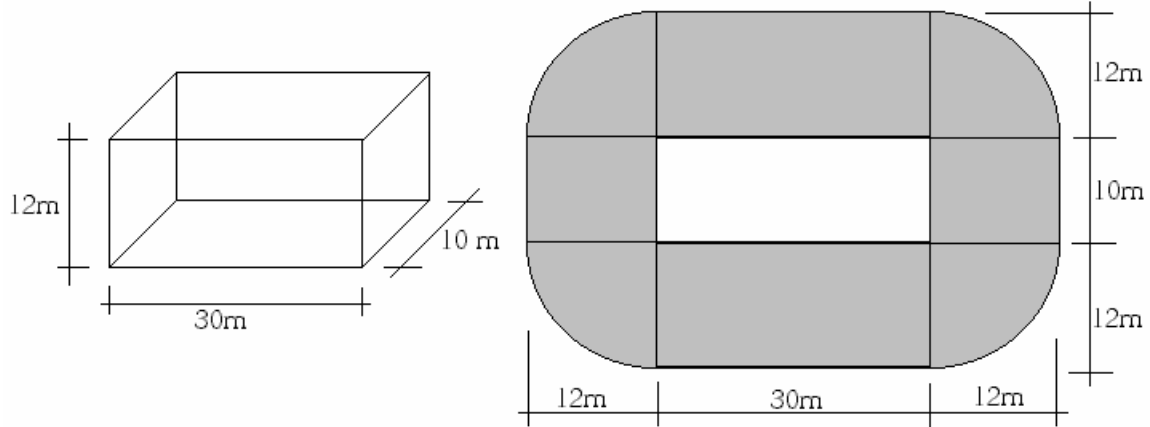
ÁREA DE CAPTAÇÃO

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:

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

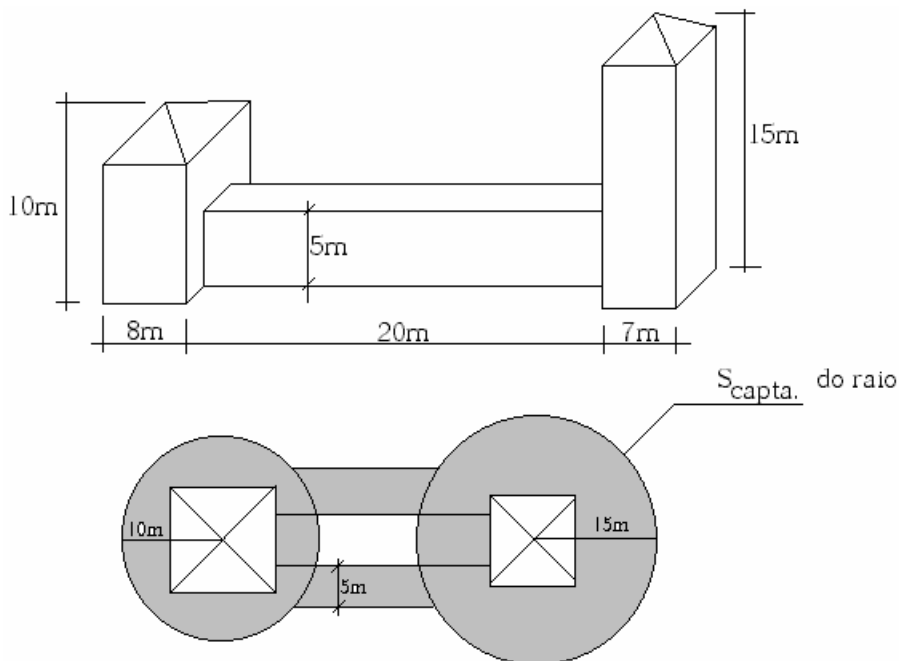
$S_{\text{edificação}}$ = área da própria edificação

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



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

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



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:

$$N_{\text{raios incidentes}} = 0.00141216 \text{Km}^2 \times 1,6 \text{raios/Km}^2 \cdot \text{ano}$$

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

De acordo com a NBR 5419/93, se:

$N 10^{-3} \geq$ o SPDA é indispensável (SPDA = sistema de proteção contra descargas atmosféricas)

$N 10^{-5} \leq$ o SPDA é dispensável

INDICE DE RISCO - R

O índice de risco depende da combinação da vários fatores:

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

FATOR A: Leva em consideração o tipo de estrutura, área construída e altura:

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: Considera o material de construção utilizado:

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 C: Considera a área ocupada e a altura das edificações vizinhas:

FATOR C	Área ocupada e altura das edificações vizinhas
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.

FATOR D: Considera a topografia:

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

FATOR E: Leva em consideração a ocupação da edificação:

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: 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

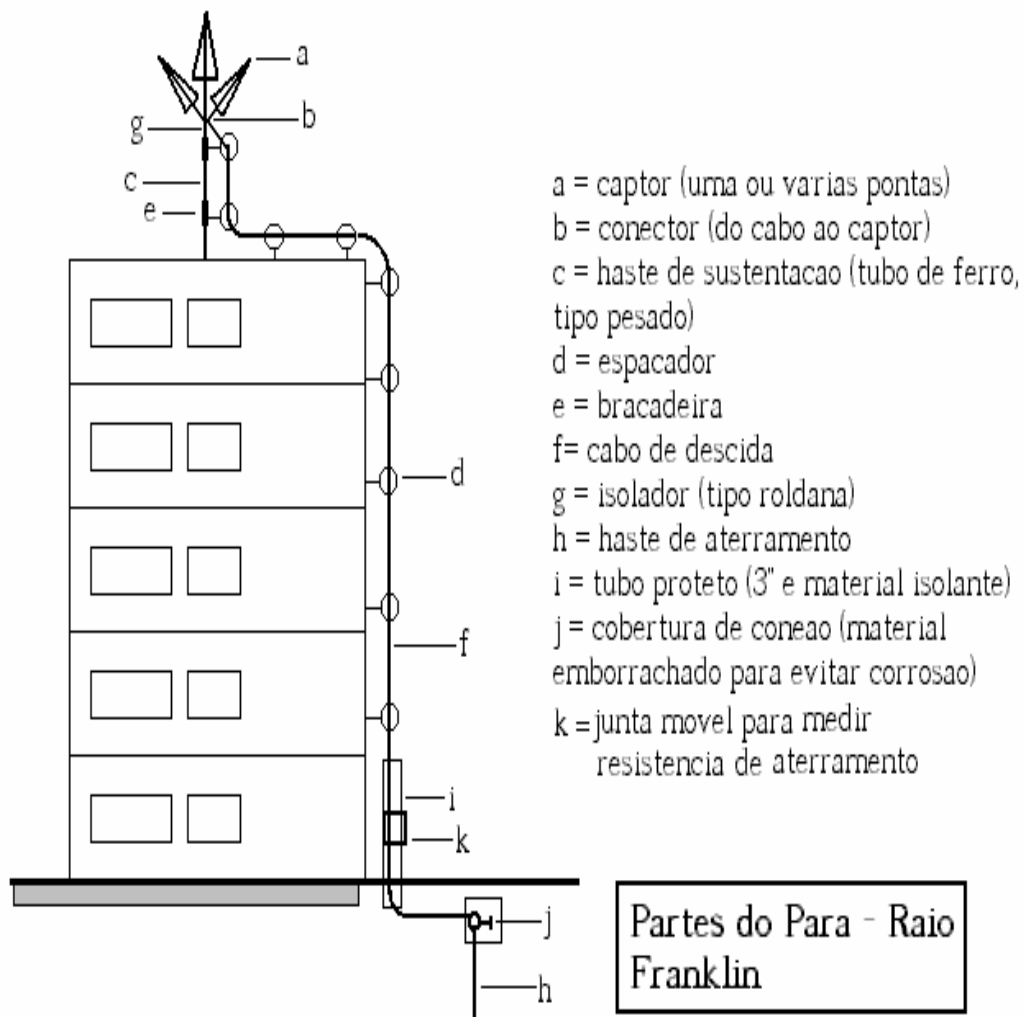
NÍVEL DE RISCO DA EDIFICAÇÃO:

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

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



REGIÃO ESPACIAL DE PROTEÇÃO

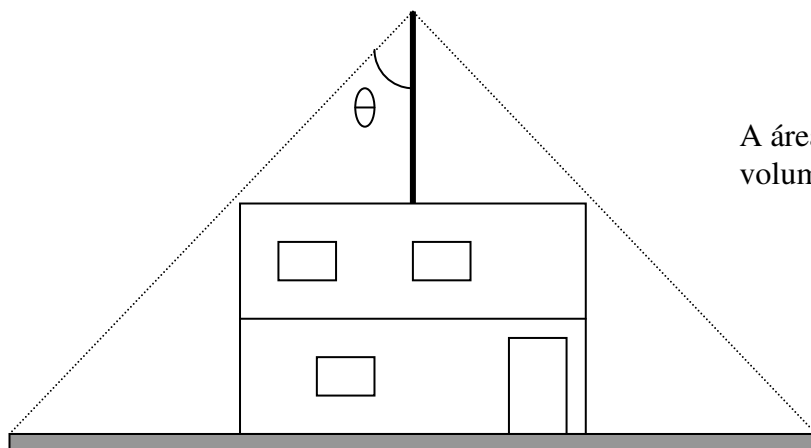
É a zona espacial protegida pelo pára-raio. Se o raio cair nesta zona, ele preferirá o caminho através do pára-raio. A maior evolução, desde a descoberta do pára-raio, ocorreu na definição da área protegida (zona espacial protegida). Há três métodos de definição da área protegida:

- método da haste vertical de Franklin
- método da malha ou gaiola de Faraday
- método eletromagnético ou das esferas rolantes.

DEFINIÇÃO DA REGIÃO ESPACIAL PROTEGIDA

1° PELA HASTE VERTICAL DE FRANKLIN

1.1. UMA HASTE DE FRANKLIN



A área de proteção é o volume encoberto pelo cone

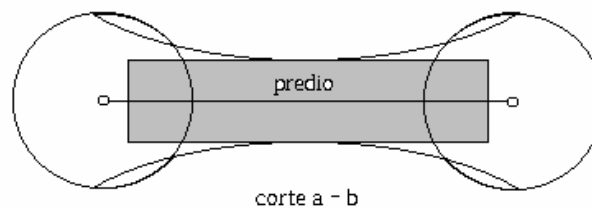
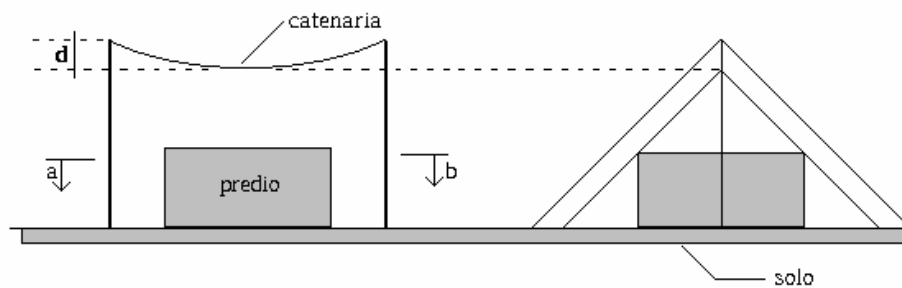
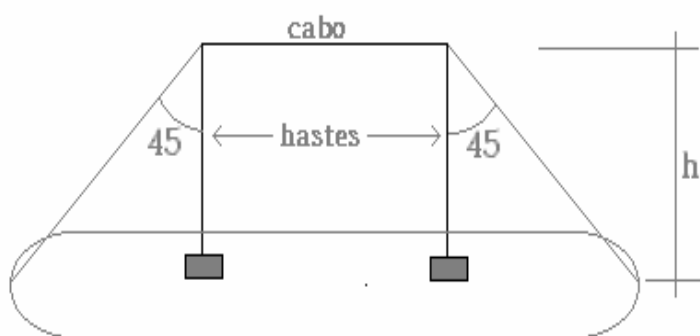
Recentemente se constatou que o ângulo θ deve variar em função do nível de proteção requerido e da altura da haste.

Ângulos de Proteção				
Nível de proteção adotado	Altura máxima (h) da ponta da haste ao solo, em metros			
	≤ 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.

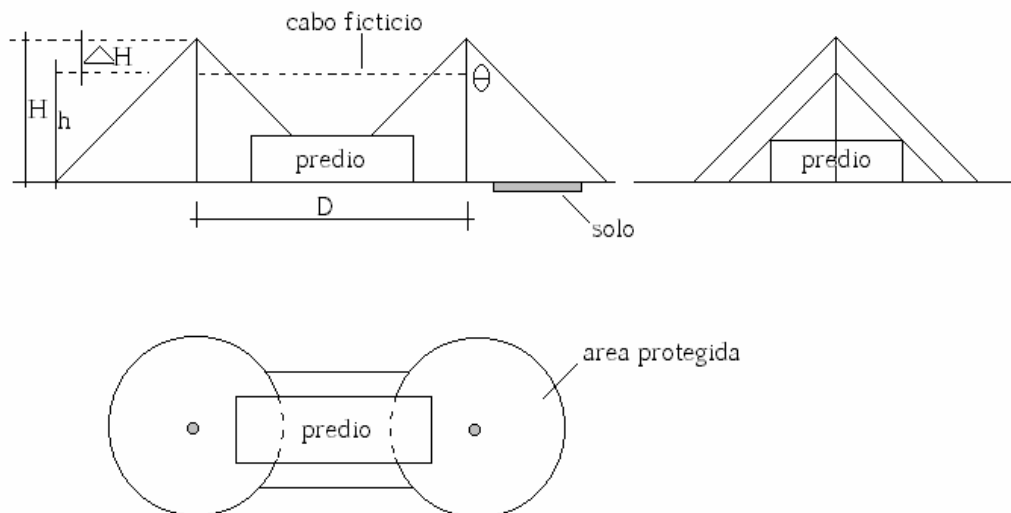
1.2. PELO CONDUTOR HORIZONTAL

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

θ = 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.

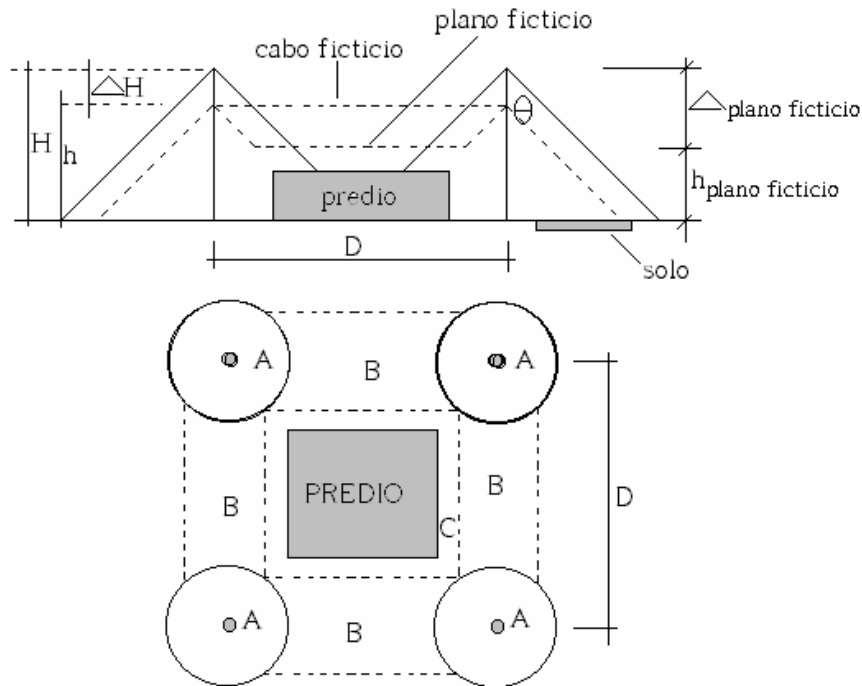
Nível de Proteção	Fator -Q (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

O efeito do cabo fictício só ocorre se:

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

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.

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

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

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 $\Delta_{\text{afastamento}}$.

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

2º PELAS ESFERAS ROLANTES

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

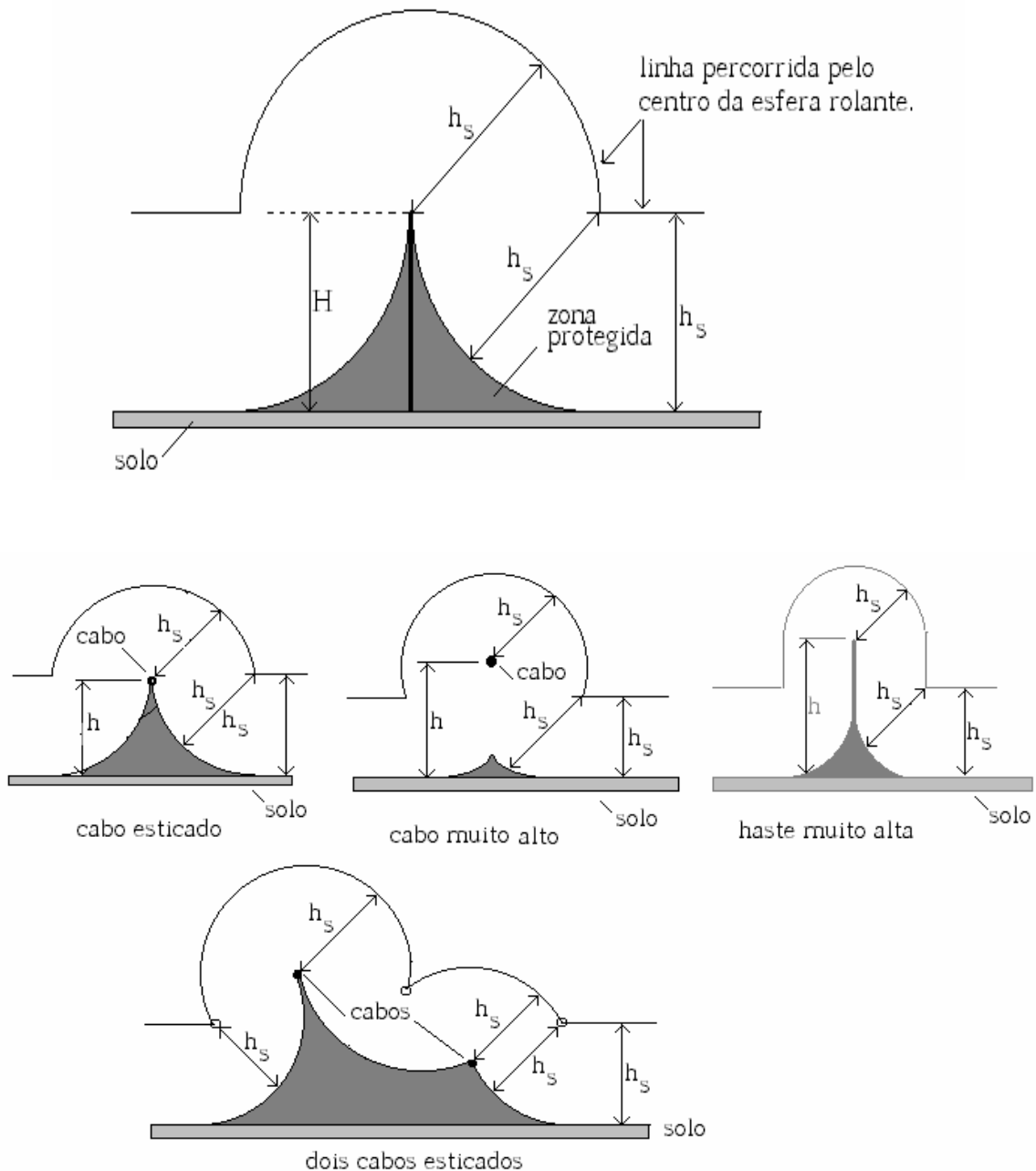
$$h_s = 10 \times I^{\frac{5}{3}}$$

h_s = raio da esfera rolante

I = corrente de crista do raio (KA)

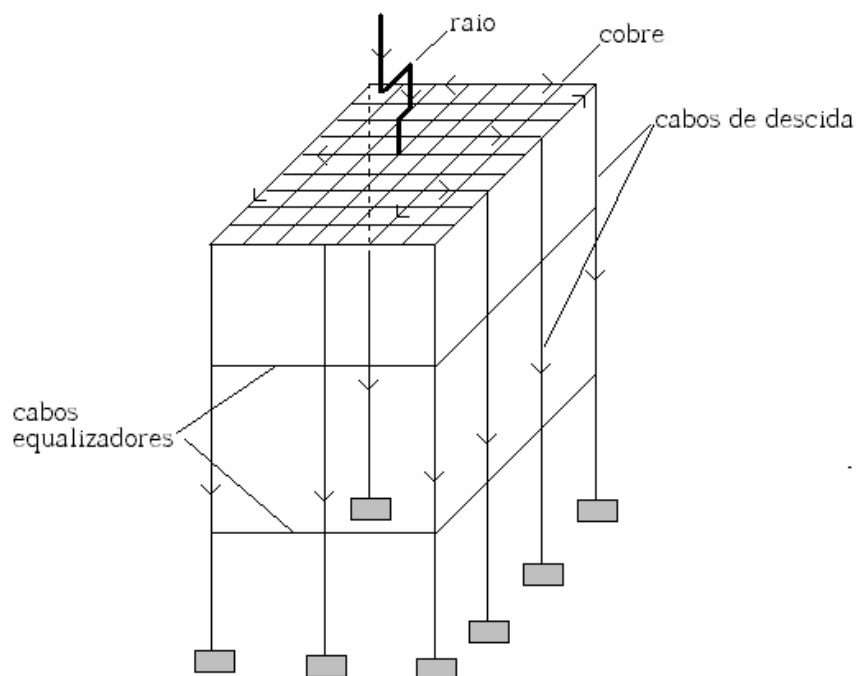
Nível de Proteção	Raio da Esfera Rolante h_s
I	20m
II	30m
III	45m
IV	60m

A esfera rolante deverá ser rodada 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.



3º 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	5 x 7,5
II e III	10 x 15
IV	20 x 30

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 10 cm da parede, utilizando-se para isto os espaçadores.
- Bitola:

Bitola mínima do Cabo de Descida	
Material	Bitola
Cobre	16 mm ²
Alumínio	25 mm ²
Aço	50 mm ²

- Número de descidas:

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

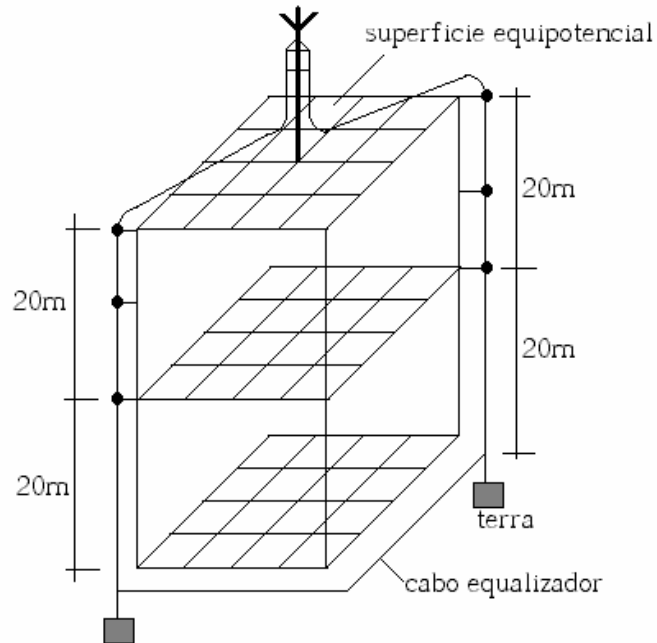
ESPAÇADORES:

- serão colocados no máximo de 2 em 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:

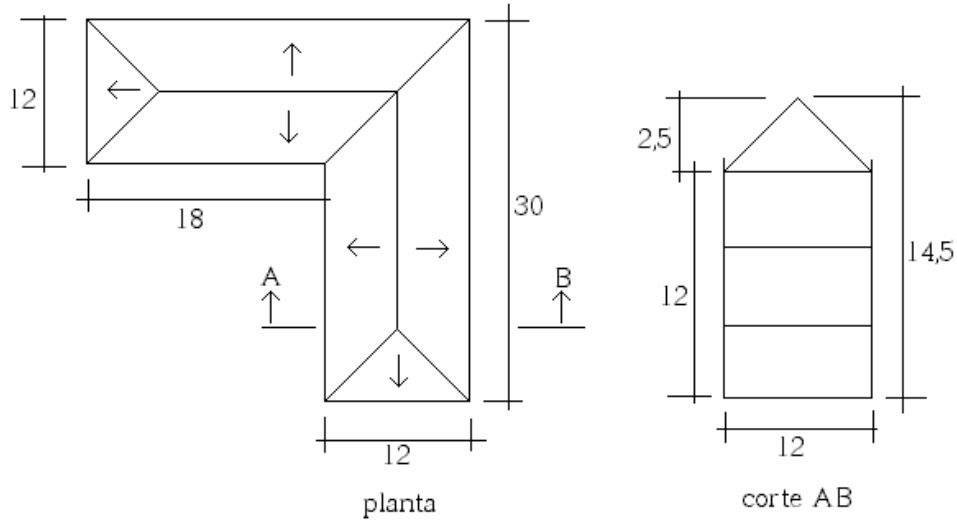
- as conexões da armadura com os cabos de descida sejam soldadas ou feitas com parafusos de aperto ou com cavilhas.
- sejam deixadas pontas adicionais na armadura para receber estas conexões.



Bitola do cabo de equalização:

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

EXEMPLO: Projetar um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) para uma edificação escolar em Florianópolis, localizada no Campus da UFSC, tendo a seguinte planta:



Altura = 14,5m

Área ocupada = 576m²

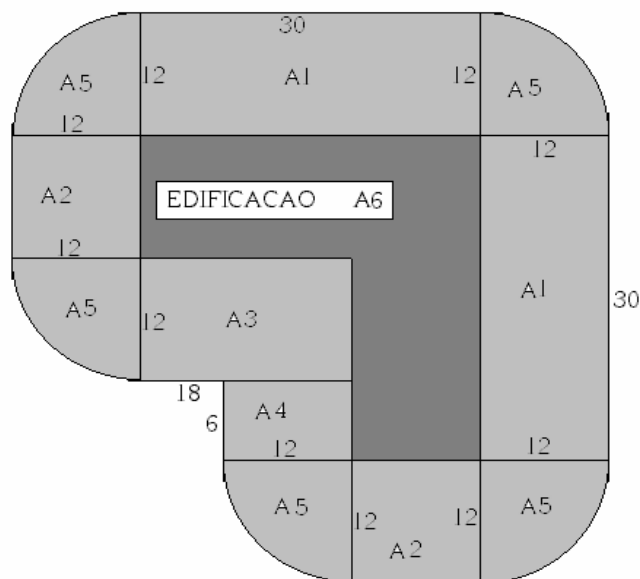
SOLUÇÃO:

Índice Ceraúmico em Florianópolis: IC = 54 (tirado do mapa)

Densidade de Raios: $D_R + 0,0024 \times IC^{1,63}$

$D_R = 0,0024 \times 54^{1,63} = 1,6$ raios/km² x ano

Área de Captação:



$$A1 = 30 \times 12 = 360$$

$$A2 = 12 \times 12 = 144$$

$$A3 = 12 \times 18 = 216$$

$$A4 = 6 \times 12 = 72$$

$$A5 = \pi \times 12^2/4 = 113$$

$$A6 = 30 \times 12 + 18 \times 12 = 576$$

$$S_{\text{captação}} = 2 \times A1 + 2 \times A2 + A3 + A4 + 5 \times A5 + A6$$

$$S_{\text{captação}} = 2637\text{m}^2 = 0,00264\text{Km}^2$$

Raios Incidentes - N:

$$N = D_R \times S_{\text{captação}} = 1,6 \times 0,00264 = 0,0042 \text{ raios/ano.}$$

Como $N > 10^{-3}$ há necessidade do SPDA.

A estrutura é do tipo comum, escolar, portanto exige nível de proteção II, pela norma.

Índice de Risco - R:

A = 9 (escola) - questionável

B = 5

C = 4

D = 1

E = 6

F = 3

$$R = \frac{A + B + C + D + E}{F} = \frac{9 + 5 + 4 + 1 + 6}{3} = 8,3$$

RISCO SEVERO (pela tabela)

PROJETO DE PROTEÇÃO

Utilizando hastes Franklin com:

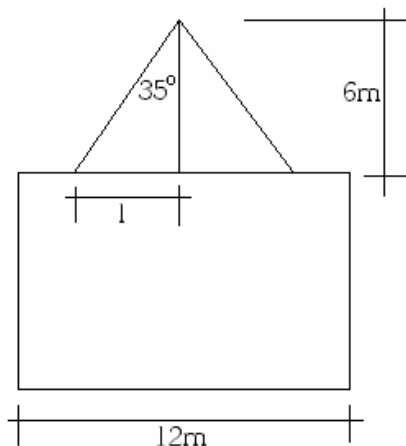
Comprimento = 3,5m e diâmetro = 35mm.

Distância da ponta da haste ao solo: $h = 14,5 + 3,5 = 18\text{m}$

DEFINIÇÃO DA REGIÃO ESPACIAL PROTEGIDA:

- Pelo cone de proteção:

$\theta = 35^\circ$ (pela tabela)



$$\text{tg } 35^\circ = \frac{l}{h}$$

$$l = \text{tg } 35^\circ \times h$$

$$l = 4,2 \text{ m}$$

logo, o predio nao esta protegido somente pela haste

- Pelo efeito do cabo fictício:

Fator Q = 30m (pela tabela)

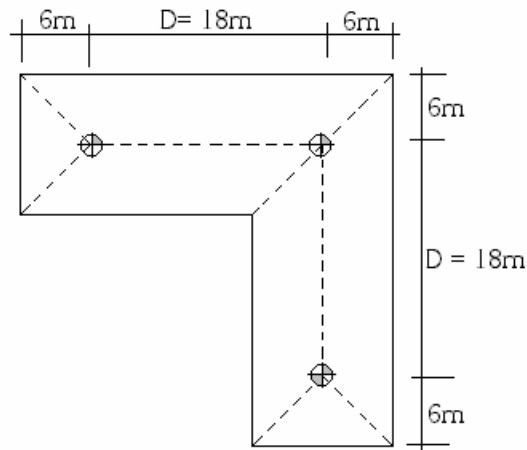
H = 18m (H deve ser menor que Q)

Distância máxima entre as hastes:

$$D \leq 2 \sqrt{2QH - H^2} \leq 2 \sqrt{2 \times 30 \times 18 - 18^2} \leq 54,99$$

Portanto, se $H < 30$ e $d < 55$, ocorre o efeito do cabo fictício.

Posicionando então as hastes conforme a figura teremos:



$$H = H - \Delta H$$

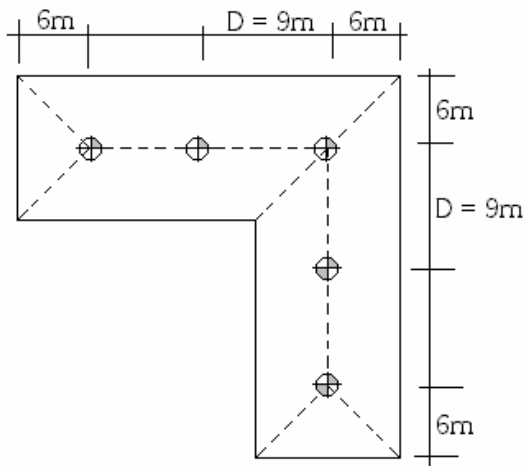
$$\Delta H = H - Q + \sqrt{(Q - H)^2 + \frac{D^2}{4}}$$

$$\Delta H = 18 - 30 + \sqrt{(30 - 18)^2 + \frac{18^2}{4}} = 3$$

$$\Delta H = 3$$

$h = 18 - 3 = 15$ m, portanto este cabo fictício estará a 0,5m da cumieira, ou seja, tão próximo que, se utilizarmos a esfera rolante com $R = 30$ m, certamente a edificação não estará na zona protegida.

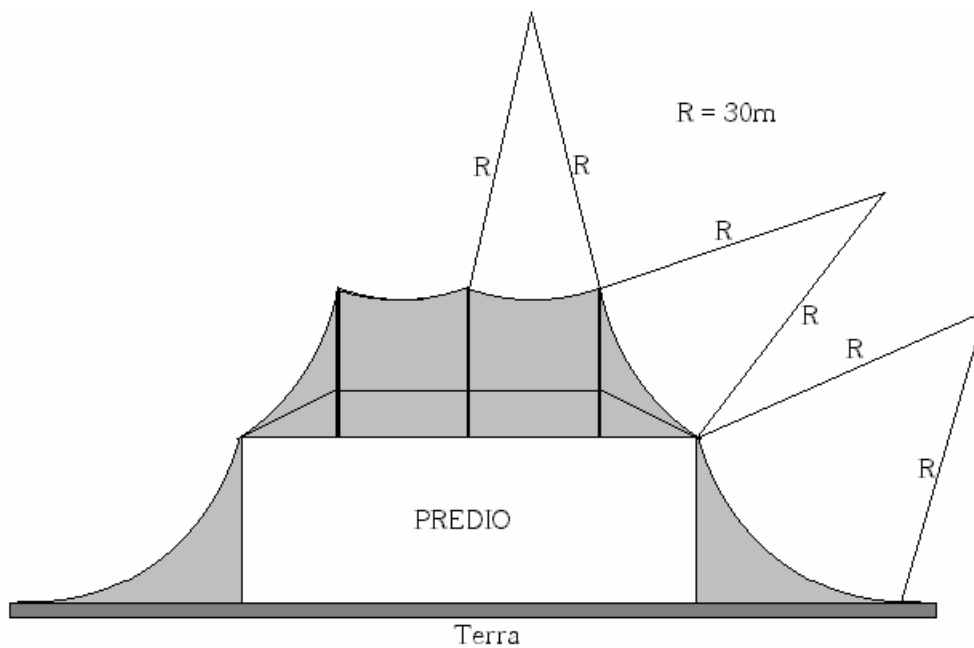
Colocando mais duas hastes entre as anteriores, teremos:

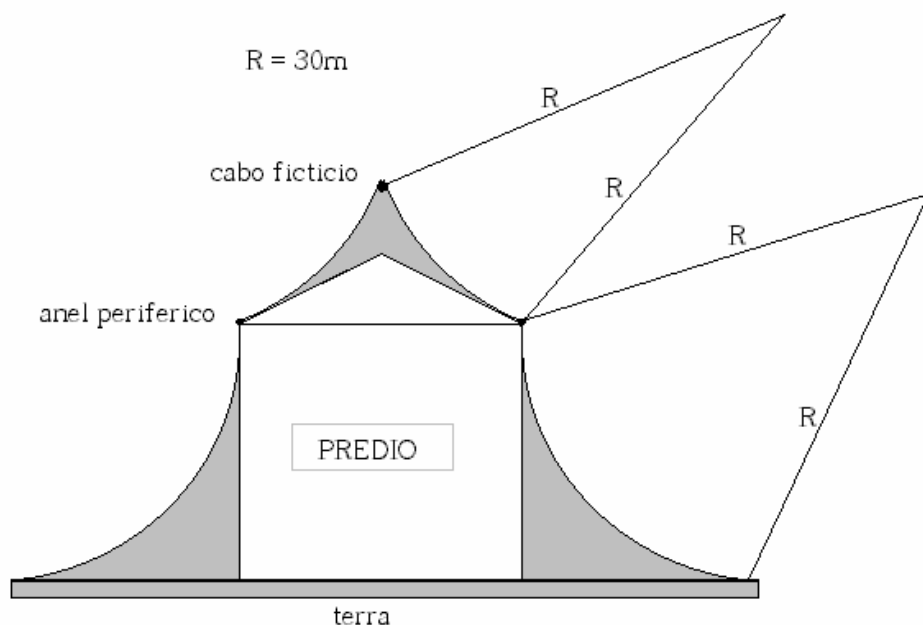


$$\Delta H = 18 - 30 + \sqrt{(30 - 18)^2 + \frac{9^2}{4}} = 0,81$$

$$h = 18 - 0,81 = 17,18\text{m}$$

Conjugando estas hastes com um anel externo, fixo sobre a platibanda, podemos aplicar a esfera rolante e verificar se a edificação estará protegida.





Pela esfera rolante a edificação estará protegida. Para descida se usa cabos de cobre de 16mm^2 , espaçados no máximo em 15m. Outras soluções poderão ser adotadas, como um cabo estendido na cumieira e outro na periferia, forando uma gaiola de Faraday com os cabos de descida.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

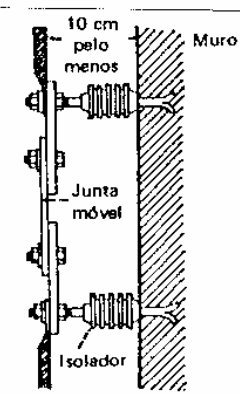
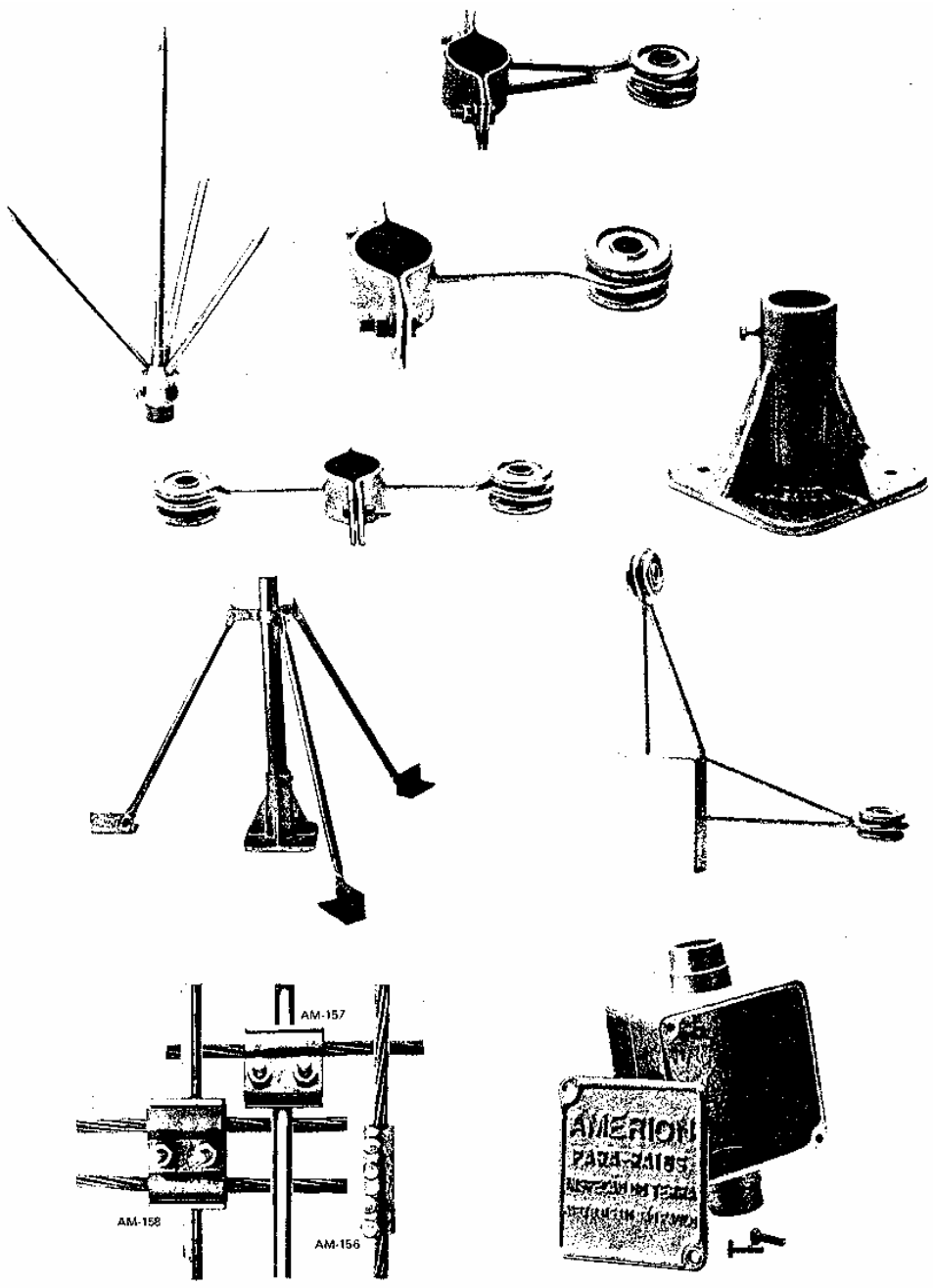
CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. Ed. Livros Técnicos e Científicos .

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

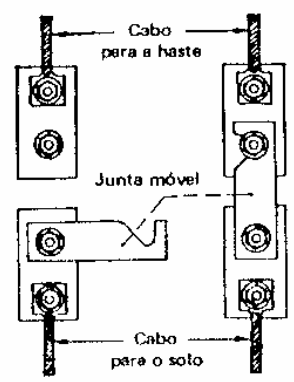
LIMA, Domingos Leite Filho. **Projetos de instalações elétricas prediais**. Editora Érica.

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



Vista lateral



Posição para introduzir o aparelho de medir

Posição normal da junta