

**ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO  
ARNULPHO MATTOS**

# **Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)**

**PROJETO ELÉTRICO INDUSTRIAL**

# Tópicos Abordados

---

- 1- Descargas Atmosféricas
- 2- Formação das Descargas Atmosféricas
- 3- Necessidade de Proteção
- 4- Métodos de Proteção
  - 4.1- Franklin
  - 4.2- Gaiola de Faraday
  - 4.3- Eletrogeométrico
- 5- Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)

# 1- Descargas atmosféricas

---

- O que são descargas atmosféricas?
  - São descargas elétricas que ocorrem entre a nuvem (-) e a terra (+), com uma corrente de elevada intensidade, podendo chegar até a 200 kA.
  - Quando ocorre, causa um fenômeno de rara beleza e perigo.



# Descargas atmosféricas

---

## DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

# Descargas Atmosféricas

---

- As descargas atmosféricas são perigosas ?
- As descargas atmosféricas causam:
  - Sérias perturbações nas redes aéreas de transmissão e distribuição de energia elétrica;
    - Surtos de tensão (sobretensão).
    - Queima de equipamentos eletroeletrônicos.
  - Causam grandes danos materiais quando atingem residências, prédios, instalações comerciais e industriais;
  - Impõem sério risco de vida as pessoas e animais.
- Como podemos proteger as edificações das descargas atmosféricas ?
  - Por meio de um Sistema de Proteção Contra Descargas atmosféricas (SPDA).
  - Uso de Dispositivos de Proteção contra Surtos de Tensão (DPS).

# Descargas atmosféricas

---

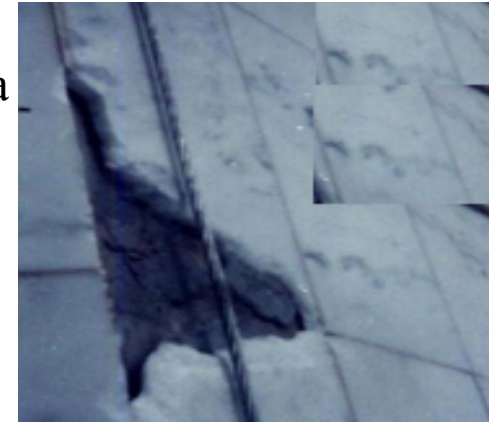
- Perguntas sobre raios:
- Pode-se operar aparelhos elétricos e telefônicos durante as tempestades ?
- É possível proteger equipamentos elétricos e telefônicos contra raios?
- Quais são as recomendações para se proteger dos raios?
  - Evitar locais descampados e descobertos;
  - Dentro de uma edificação, afastar-se de janelas metálicas, paredes, aparelhos elétricos e telefônicos;
  - Não entrar dentro de rios, lagos e mar;
  - Evitar ficar perto de cercas e estruturas elevadas ( torres, caixa d'água, árvore, etc.

# Descargas Atmosféricas



Árvore atingida por raio

Descarga lateral numa fachada em Belo Horizonte-MG



Descarga lateral numa pequena casa



Descarga direta destruiu 30 metros de um telhado e lançou telhas a 80 metros



# Descargas Atmosféricas

Cristo Redentor, castigado por raios, passa por ampla reforma



Galpão pega fogo após chuva com raios em SC



Fonte: “Notícias sobre raios  
<http://raiosnews.blogspot.com/>”



# Descargas Atmosféricas



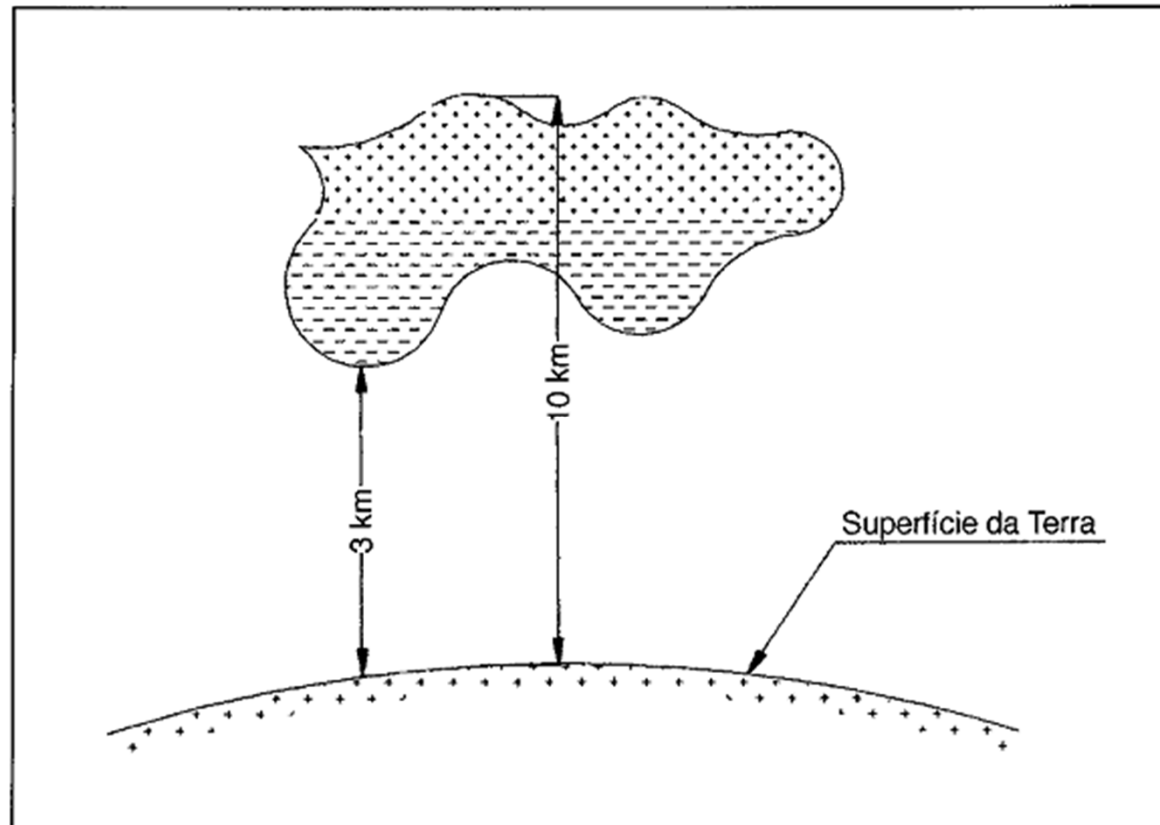
## **Fogo na refinaria**

*Um raio atingiu, na madrugada de ontem, um tanque de óleo diesel da Refinaria de Paulínia (Replan), na região de Campinas. Só depois de 12 horas de muito trabalho, os bombeiros da cidade, ajudados por equipes de outros*

*locais, conseguiram acabar com as chamas. O reservatório ficou destruído e foram queimados 7,5 milhões de litros de combustível. Foi o maior acidente ocorrido na refinaria, em seus 21 anos. Não houve feridos.*

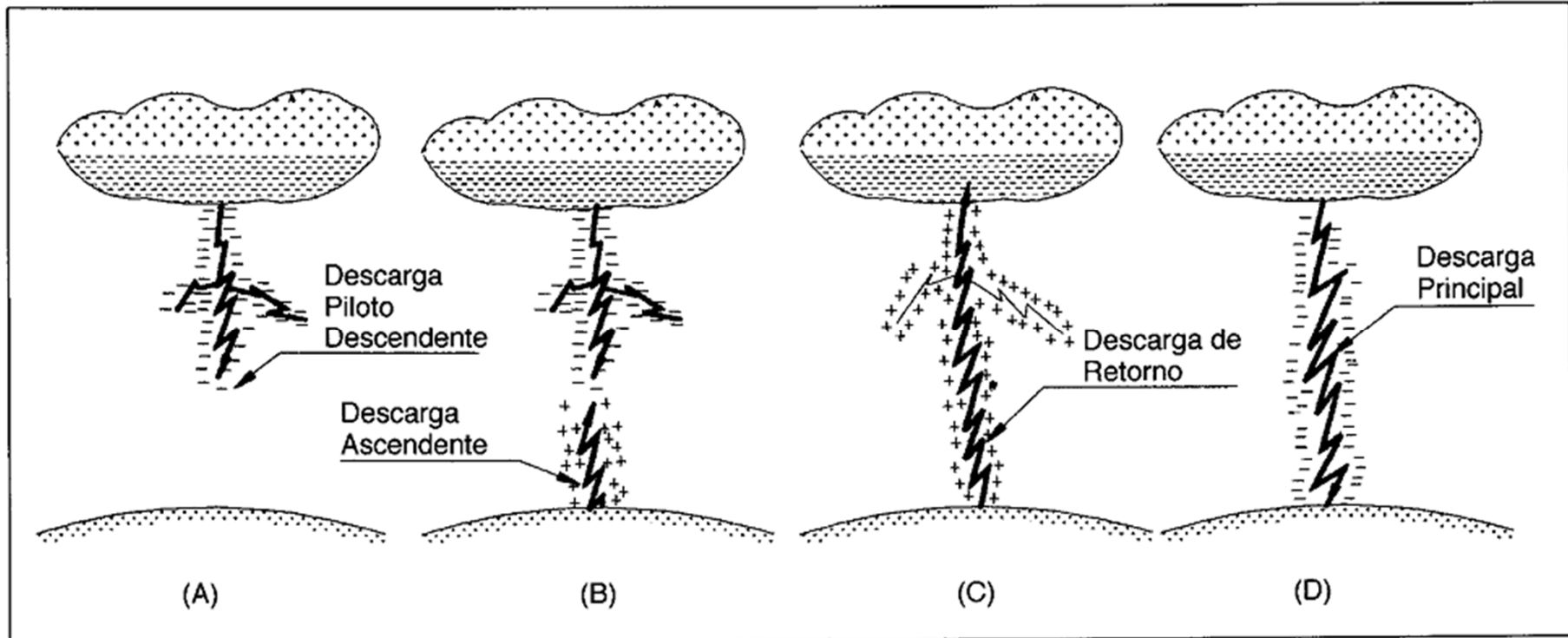
## 2- Formação das Descargas Atmosféricas

- Como são formadas as descargas atmosféricas?
  - Distribuição das cargas elétricas das nuvens e no solo.



- A nuvem tem característica bipolar.

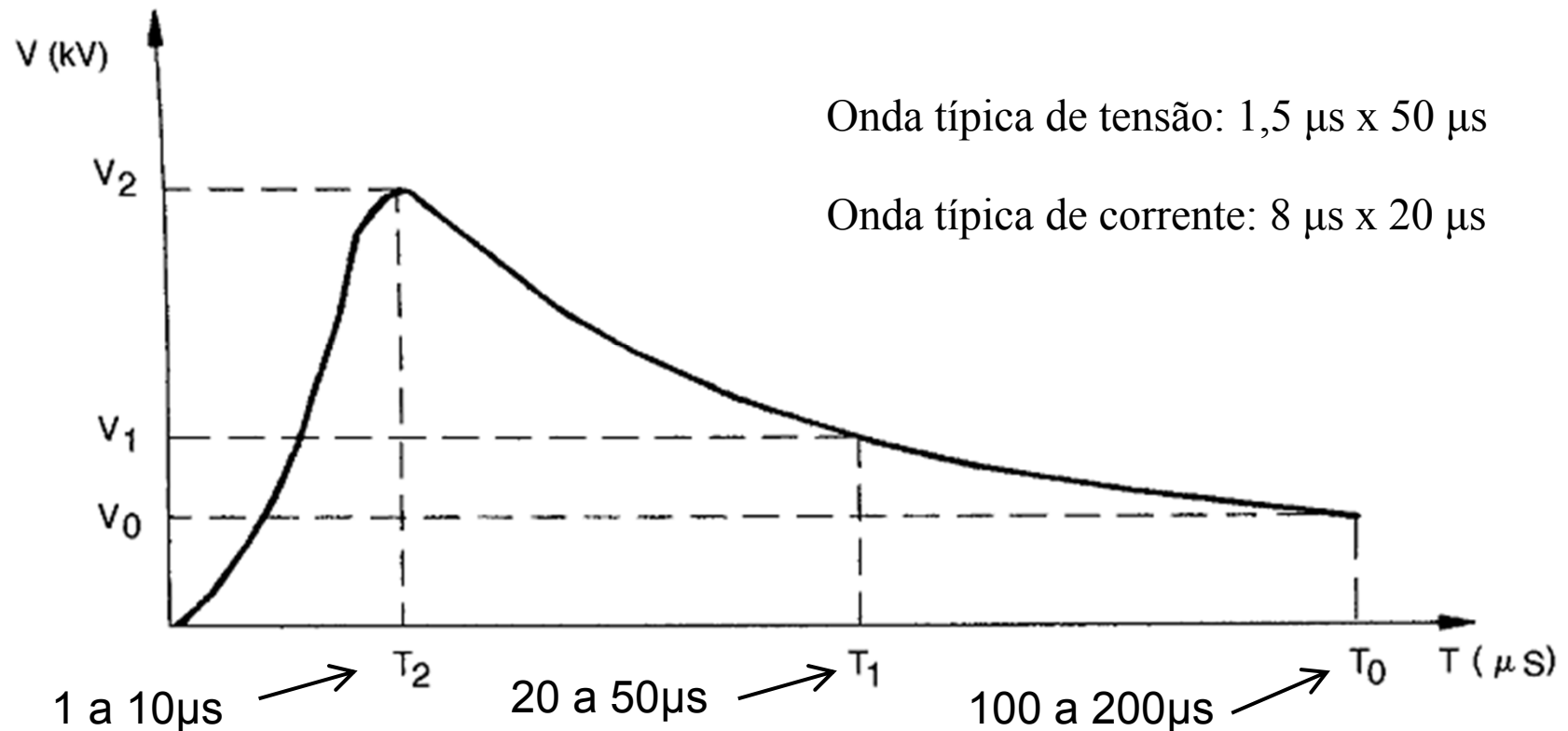
# Formação das Descargas Atmosféricas



- Relâmpago: é o clarão muito intenso e rápido proveniente de uma descarga atmosférica.
- Trovão: é o ruído resultante da onda de choque provocada pelo aquecimento instantâneo do ar ao ser atravessado por um raio

# Descargas Atmosféricas

- Qual a amplitude de um raio ou descarga atmosférica?
  - É da ordem de 15 kA, podendo chegar a 200 kA.
- Como é a forma típica de onda de uma descarga atmosférica?



## 3- Necessidade de Proteção

---

- Como proteger as edificações?
- O projeto de um SPDA leva em consideração os seguintes pontos:
  - Tipo de estrutura;
  - Área construída;
  - Material usado na estrutura;
  - Geografia do local e índice cerâmico;
  - Tipo de ocupação e seu conteúdo;
- A partir destas informações, determina-se o tipo de sistema que fornecerá a proteção adequada para o local.

# Necessidade de Proteção

---

- Qual tipo de edificação ou estrutura precisa de um sistema de proteção contra descargas atmosférica?
  - Em uma torre de estádio é necessário?
  - Uma ponte de concreto de grandes dimensões?
  - Uma caixa de água com 10 m de altura?
  - Um indústria petroquímica?
  - Em um prédio público, com grande afluência de pessoas ao longo do dia?
- Todas as respostas a estas perguntas podem ser encontradas na NBR 5419/2005.

# Necessidade de Proteção

---

- O que diz a NBR 5419/2005 sobre a necessidade de proteção?
  - Estruturas especiais com riscos inerentes de explosão, tais como aquelas contendo gases inflamáveis, requerem o mais alto nível de proteção.
  - Para os demais tipos de estruturas, deve ser inicialmente determinado se um SPDA é, ou não, exigido.
  - Em muitos casos a necessidade é óbvia:
    - Locais de grande afluência de público;
    - Locais que prestam serviços públicos essenciais;
    - Áreas com alta densidade de descargas atmosféricas;
    - Estruturas isoladas ou com altura superior a 25 m;
    - Estruturas de valor histórico ou cultural.

# Necessidade de Proteção

---

- A NBR 5419/2005 apresenta um método para determinar se um SPDA é, ou não necessário numa estrutura.
- a) Definir a densidade de descargas atmosféricas que atingem a terra, ou seja, o número de raios por Km<sup>2</sup> por ano.
  - Calculado pela expressão:

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} \quad (\text{por Km}^2/\text{ano})$$

- Onde:
  - N<sub>g</sub>- Densidade de descargas atmosféricas para a terra por quilômetro quadrado por ano.
  - T<sub>d</sub>: é o número de dias de trovoadas por ano, obtido por mapas isocerânicos.
- A seguir são exibidos os mapas isocerânicos do Brasil, obtidos por estações meteorológicas.

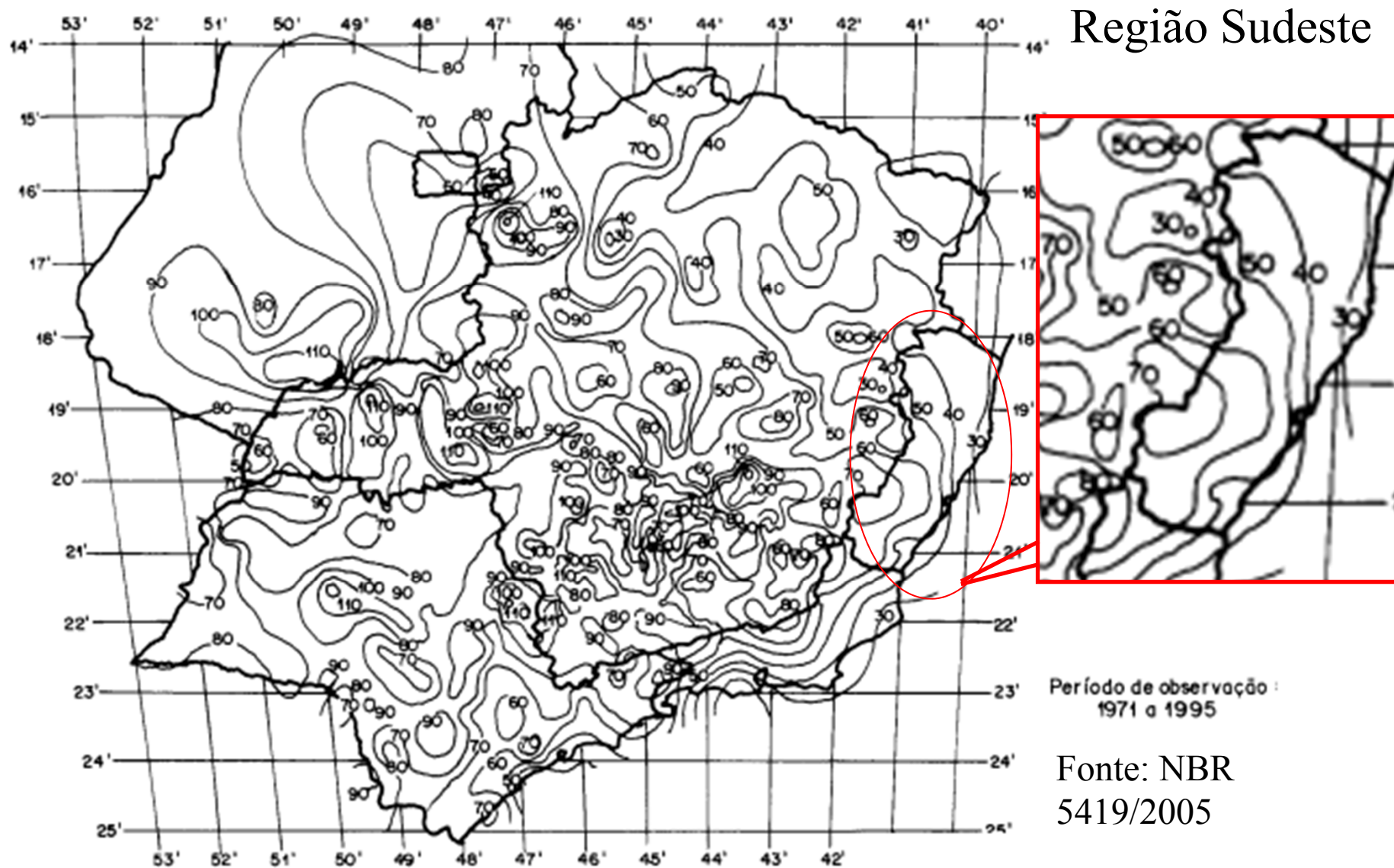


# Mapa de curvas isocerânicas (Brasil)



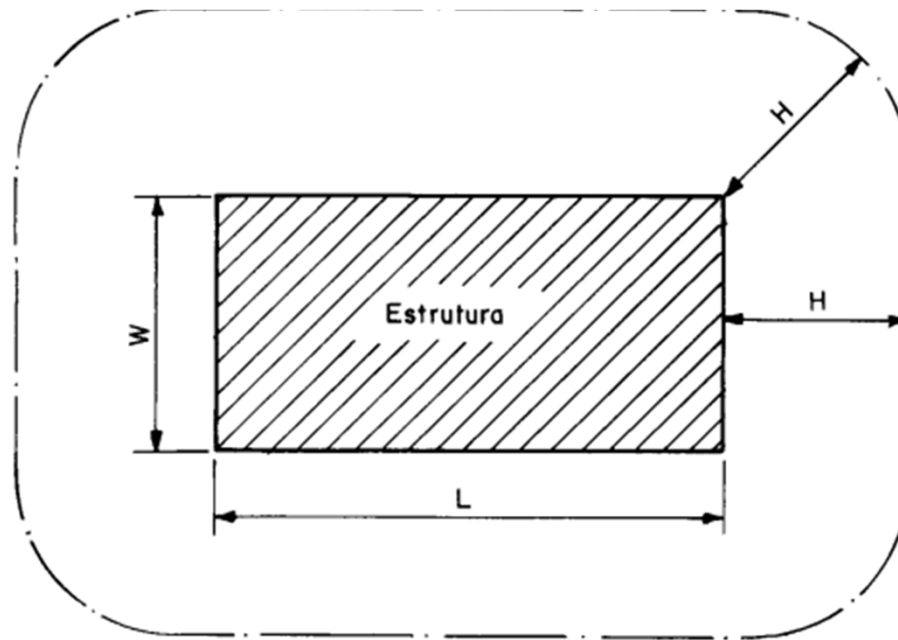
Fonte: NBR 5419/2005

# Mapa de curvas isocerânicas



# Necessidade de Proteção

- b) Área de exposição equivalente da estrutura ( $A_e$ )
  - É a área em torno da estrutura onde os raios que caem são atraídos.
  - É calculada como sendo a área da edificação aumentada de sua altura em todas as suas dimensões.



$$A_e = LW + 2HL + 2WH + \pi H^2$$

# Necessidade de Proteção

---

- c) A frequência média anual de descargas atmosféricas sobre uma estrutura (SEM SPDA) é dada por:

$$N_d = A_e \times N_g \times 10^{-6} \quad (\text{por ano})$$

- Onde:
  - $N_d$ - Número provável de raios que podem atingir a edificação por ano;
  - $A_e$ - Área de exposição equivalente da estrutura ( $\text{m}^2$ );
  - $N_g$ - Densidade de descargas atmosféricas para a terra por quilômetro quadrado por ano.

# Necessidade de Proteção

---

- A frequência média anual admissível de danos  $N_c$ 
  - Possui os seguintes limites reconhecidos pela comunidade técnica internacional:
    - Riscos maiores que  $10^{-3}$  (isto é, 1 dano ocorrido na estrutura para 1.000 descargas atmosféricas por ano): Valor INACEITÁVEL
    - Riscos menor que  $10^{-5}$  (isto é, 1 dano ocorrido na estrutura para 100.000 descargas atmosféricas por ano): Valor ACEITÁVEL

# Necessidade de Proteção

- d) Definido o valor  $N_d$ , aplicam-se cinco fatores de risco, relacionados com a edificação em análise.

$$N_{dc} = A \times B \times C \times D \times E \times N_d$$

- Fatores de ponderação

Tabela B.1 — Fator A: Tipo de ocupação da estrutura

Tipo de ocupação	Fator A
Casas e outras estruturas de porte equivalente	0,3
Casas e outras estruturas de porte equivalente com antena externa <sup>1)</sup>	0,7
Fábricas, oficinas e laboratórios	1,0
Edifícios de escritórios, hotéis e apartamentos, e outros edifícios residenciais não incluídos abaixo	1,2
Locais de afluência de público (por exemplo: igrejas, pavilhões, teatros, museus, exposições, lojas de departamento, correios, estações e aeroportos, estádios de esportes)	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, estruturas de múltiplas atividades	1,7

# Fatores de ponderação

**Tabela B.2 — Fator B: Tipo de construção da estrutura**

Tipo de construção	Fator B
Estrutura de aço revestida, com cobertura não-metálica <sup>1)</sup>	0,2
Estrutura de concreto armado, com cobertura não-metálica	0,4
Estrutura de aço revestida, ou de concreto armado, com cobertura metálica	0,8
Estrutura de alvenaria ou concreto simples, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	1,0
Estrutura de madeira, ou revestida de madeira, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	1,4
Estrutura de madeira, alvenaria ou concreto simples, com cobertura metálica	1,7
Qualquer estrutura com teto de palha	2,0

<sup>1)</sup> Estruturas de metal aparente que sejam contínuas até o nível do solo estão excluídas desta tabela, porque requerem apenas um subsistema de aterramento.

**Tabela B.3 — Fator C: Conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas**

Conteúdo da estrutura ou efeitos indiretos	Fator C
Residências comuns, edifícios de escritórios, fábricas e oficinas que não contenham objetos de valor ou particularmente suscetíveis a danos	0,3
Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos particularmente suscetíveis a danos <sup>1)</sup>	0,8
Subestações de energia elétrica, usinas de gás, centrais telefônicas, estações de rádio	1,0
Indústrias estratégicas, monumentos antigos e prédios históricos, museus, galerias de arte e outras estruturas com objetos de valor especial	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, locais de afluência de público	1,7

<sup>1)</sup> Instalação de alto valor ou materiais vulneráveis a incêndios e às suas conseqüências.

# Fatores de ponderação

**Tabela B.4 — Fator D: Localização da estrutura**

Localização	Fator D
Estrutura localizada em uma grande área contendo estruturas ou árvores da mesma altura ou mais altas (por exemplo: em grandes cidades ou em florestas)	0,4
Estrutura localizada em uma área contendo poucas estruturas ou árvores de altura similar	1,0
Estrutura completamente isolada, ou que ultrapassa, no mínimo, duas vezes a altura de estruturas ou árvores próximas	2,0

**Tabela B.5 — Fator E: Topografia da região**

Topografia	Fator E
Planície	0,3
Elevações moderadas, colinas	1,0
Montanhas entre 300 m e 900 m	1,3
Montanhas acima de 900 m	1,7



# Necessidade de Proteção

---

- Compara-se o valor calculado de  $N_{dc}$ , com os limites estabelecidos:
  - Se  $N_{dc} \geq 10^{-3}$ , a estrutura requer um SPDA.
  - Se  $10^{-3} > N_{dc} > 10^{-5}$ , a conveniência de um SPDA deve ser decidida por acordo entre projetista e usuário.
  - Se  $N_{dc} \leq 10^{-5}$ , a estrutura dispensa um SPDA.

# Nível de Proteção e Eficiência

- e) Havendo a necessidade de um SPDA, a estrutura a ser protegida deve ser classificada segundo o nível de proteção.
- O nível de proteção não está relacionado com a probabilidade de queda do raio.
- Tal eficiência está ligada com a capacidade que o sistema tem de captar e conduzir o raio à terra.

<b>PROTEÇÃO E EFICIÊNCIA CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS</b>		
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 quanto ao Nível de Proteção

Tabela B.6 — Exemplos de classificação de estruturas

Classificação da estrutura	Tipo da estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas comuns <sup>1)</sup>	Residências	Perfuração da isolamento 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 devido à interrupção de energia e risco de vida para animais devido à perda de controles eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros	III ou IV <sup>2)</sup>
	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

# Classificação quanto ao Nível de Proteção

**Tabela B.6 — Exemplos de classificação de estruturas**

Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicação 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 com risco para os arredores	Refinarias, postos de combustível, fábricas de fogos, fábricas de munição	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores	I
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
<p><sup>1)</sup> ETI (equipamentos de tecnologia da informação) podem ser instalados em todos os tipos de estruturas, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro destas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a ABNT NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis.</p> <p><sup>2)</sup> Estruturas de madeira: nível III; estruturas nível IV. Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustíveis (pós de grãos) sujeitos a explosão são considerados com risco para arredores.</p>			

# Eficiência Mínima do SPDA

---

- f) Cálculo da eficiência mínima do SPDA

$$E = \left( 1 - \frac{N_c}{N_{dc}} \right) \times 100\%$$

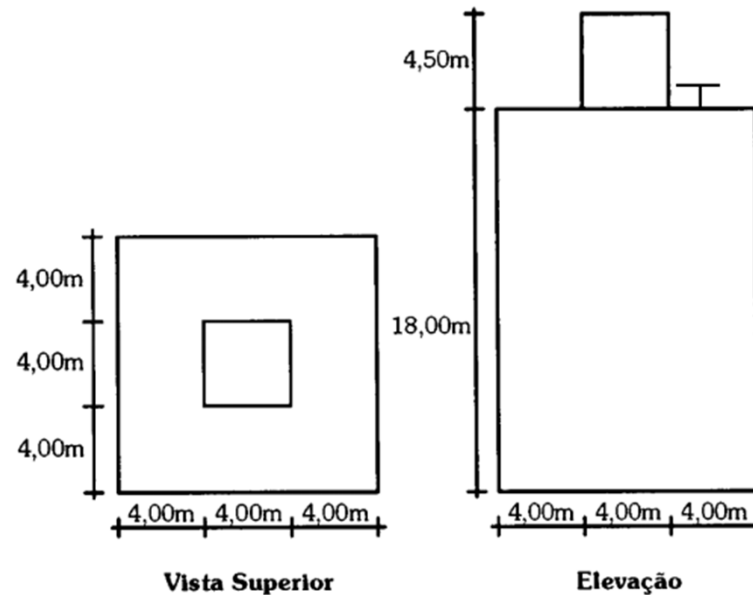
$N_c$  : frequência média anual admissível de danos. Valor típico de  $10^{-3}$ .

$N_{dc}$ : frequência média anual de descargas atmosféricas sobre uma estrutura (SEM SPDA) corrigida.

- Checar se o nível de proteção atende a eficiência mínima do SPDA.

# Exemplo 1

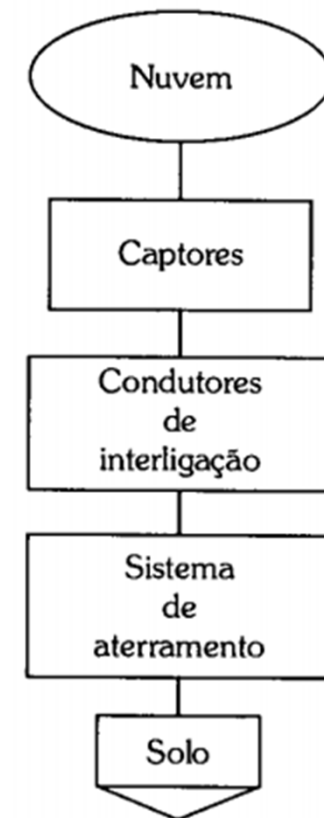
Um edifício Stephani está sendo construído em Brasília-DF e possui as seguintes dimensões ilustradas na figura abaixo.



O edifício será residencial e possui estrutura de concreto armado, com cobertura não metálica (com antena). Esta localizado em um local com elevações moderadas e com poucas estruturas ou árvores de altura similar. Verifique a necessidade de um SPDA na construção.

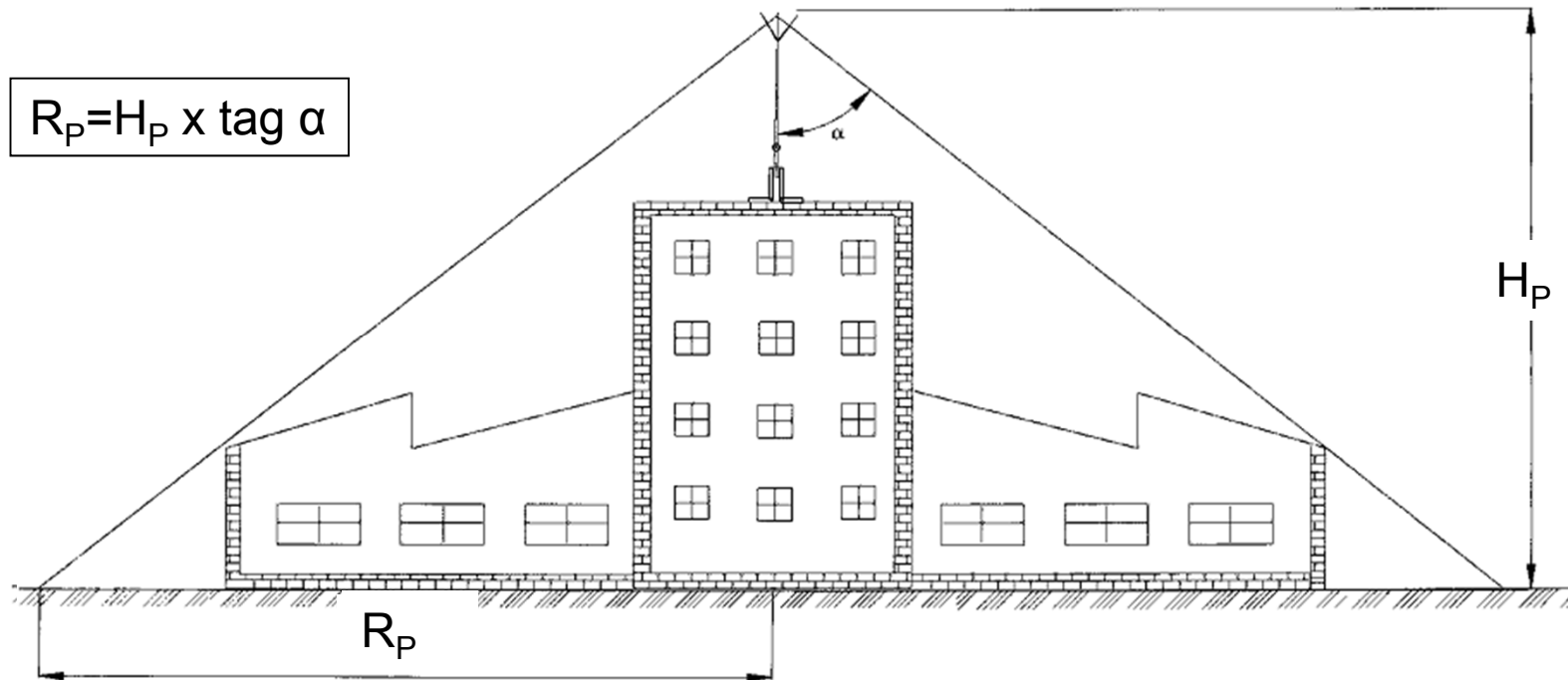
## 4- Métodos de Proteção

- Um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) é formado pelos seguintes elementos:
  - Captores (pára-raios, terminais e cabos);
  - Condutores de descida;
  - Sistema de aterramento
- O SPDA deve possuir a configuração série.
  - Tipos de captores:
    - Pára-raios tipo Franklin;
    - Gaiola de Faraday.
    - Eletrogeométrico
  - Condutores de descida:
    - Cabos;
    - Fitas;
    - Estruturas prediais ( metálica e ferragens).
  - Aterramento:
    - Eletrodos verticais, horizontais;
    - Múltiplos eletrodos horizontais ( radial ou em anel);
    - Combinação de eletrodos verticais e horizontais ( malha).



## 4.1- Método de Franklin

- Formado por uma haste metálica (captor) a uma determinada altura do solo.
- Forma um cone que delimita o volume de proteção.
- Sua maior eficiência ocorre em edificações pequenas e baixas, não muita alta.





# Método de Franklin

- Como é definido o ângulo de proteção?
- A tabela a seguir fornece o ângulo de proteção, por meio da:
  - Altura aonde será instalado o captor, em relação ao solo ( $h$ );
  - Nível de proteção.

Posicionamento de captores conforme o nível de proteção

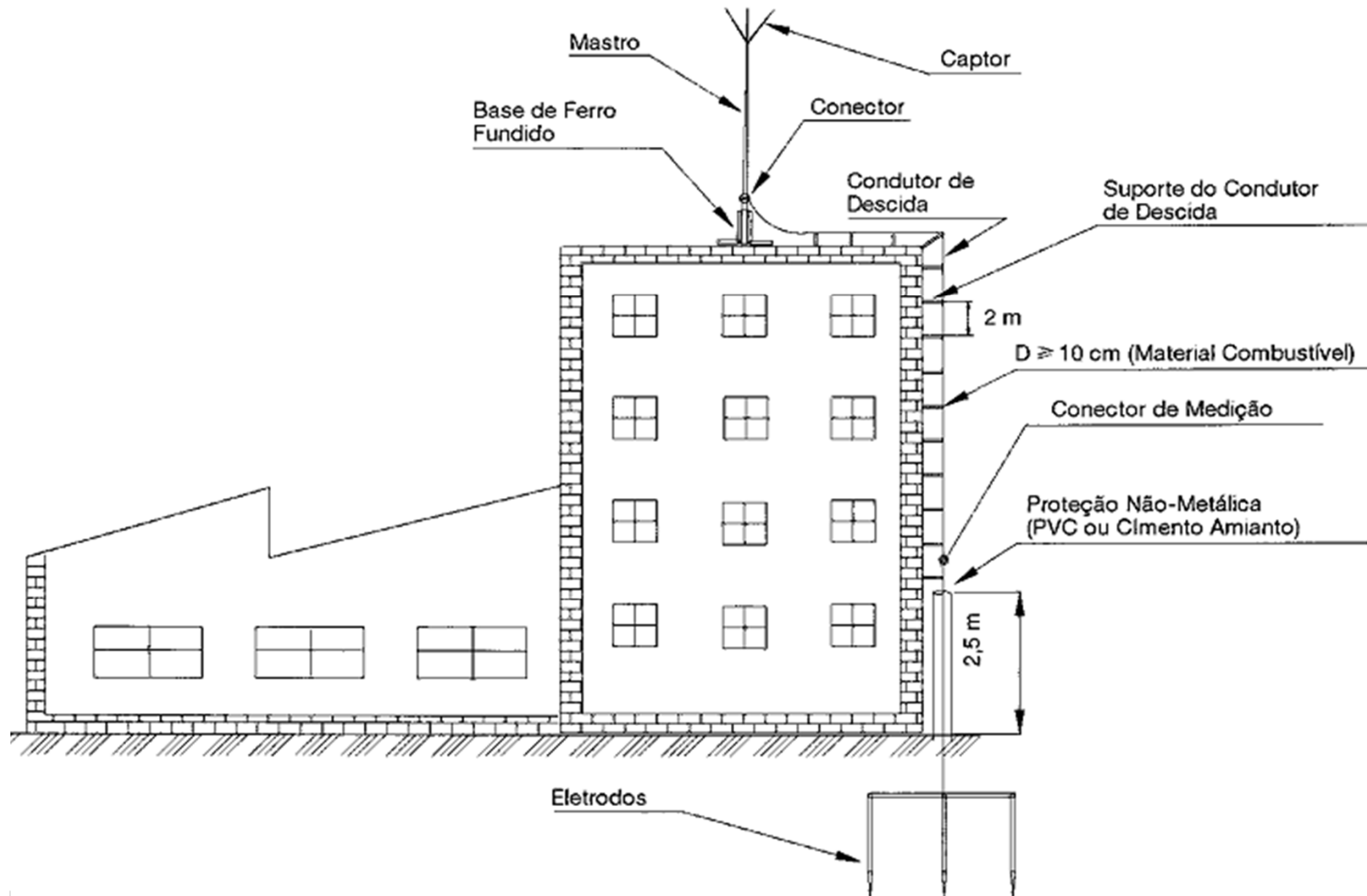
		Ângulo de proteção ( $\alpha$ ) - método Franklin, em função da altura do captor ( $h$ ) (ver Nota 1) e do nível de proteção					
Nível de proteção	$R$ m	$h$ m	0 - 20 m	21 m - 30 m	31 m - 45 m	46 m - 60 m	> 60 m
I	20		25°	1)	1)	1)	2)
II	30		35°	25°	1)	1)	2)
III	45		45°	35°	25°	1)	2)
IV	60		55°	45°	35°	25°	2)

$R$  = raio da esfera rolante

<sup>1)</sup> Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico, malha ou da gaiola de Faraday.

<sup>2)</sup> Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

# Método de Franklin

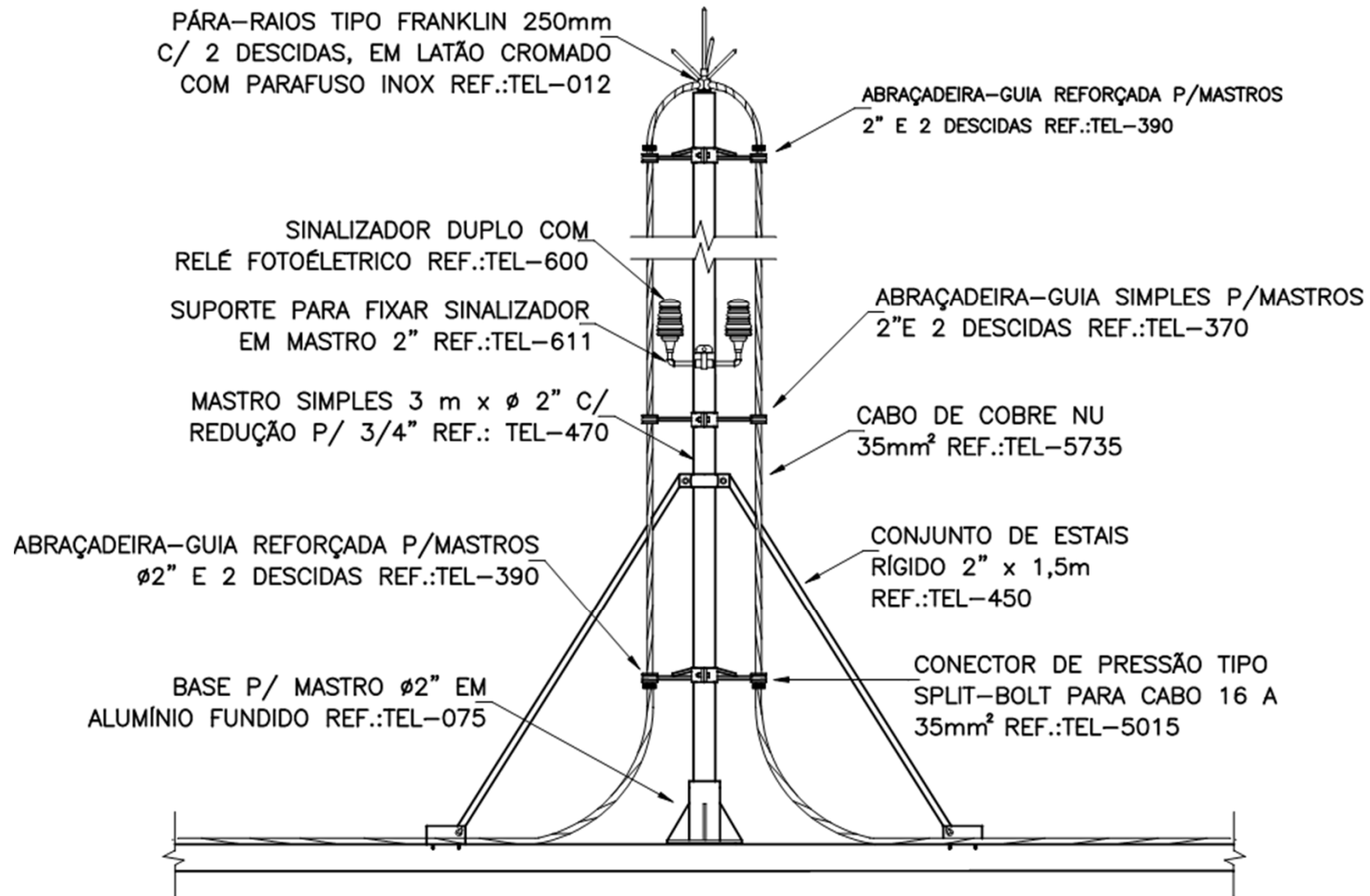


# Para-raios Tipo Franklin

- Captor
  - É o principal elemento do pára-raios.
  - Formado por três ou mais pontas de aço inoxidável ou cobre.
- Mastro ou haste
  - É o suporte do captor, formado por um tubo de cobre de comprimento entre 3 a 5m
- Base de ferro fundido para o mastro
- Condutor de descida
- Isolador
  - Tem como função a fixação da haste e isolamento dos condutores de descida.
  - Em geral de porcelana vitrificada (tensão de isolamento 10 kV).

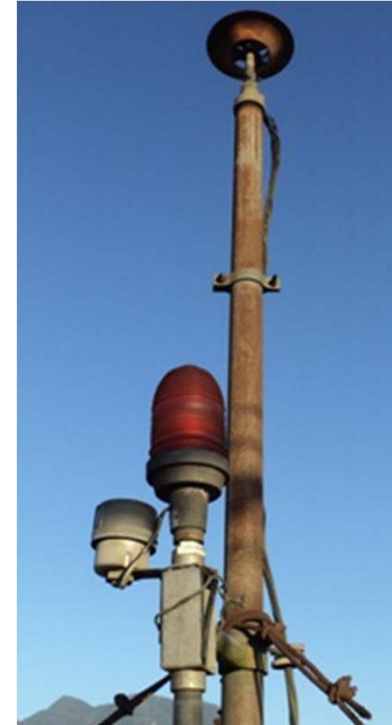


# Para-raios Tipo Franklin



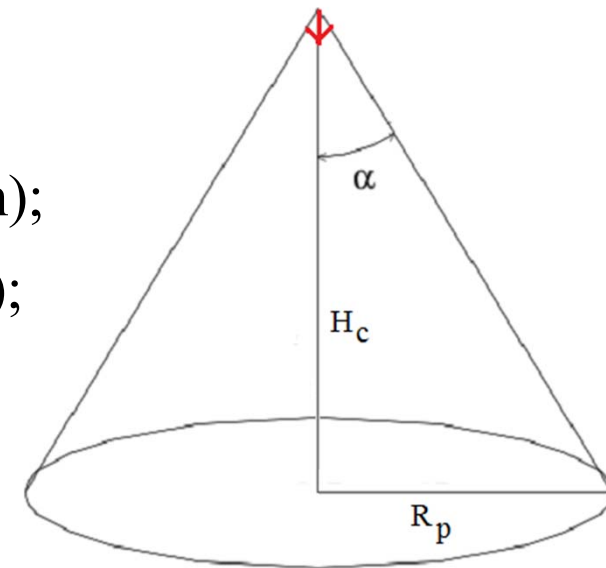
# Para-Raios Radioativo

- É semelhante ao para-raios de Franklin, onde no seu captor são colocados os elementos radioativos (Rádio-226, Radônio-226).
- Sua ação é produzida pelos elementos radioativos que bombardeiam o ar, ionizando-o.
- Esse tipo de para-raios radioativo é proibido no Brasil, pelos seguintes motivos:
  - A zona de proteção não é maior que a do para-raios tipo Franklin;
  - Risco de armazenagem e manutenção;
  - Vida útil superior a 450 anos, maior que a vida útil da edificação;
  - Quando o para-raios ficar velho e fora de uso, onde guardar a carcaça radioativa?

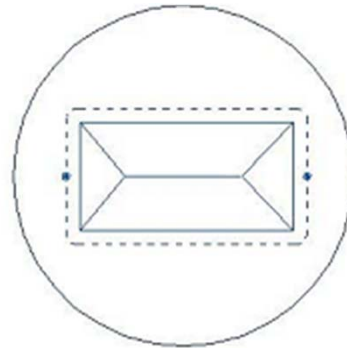
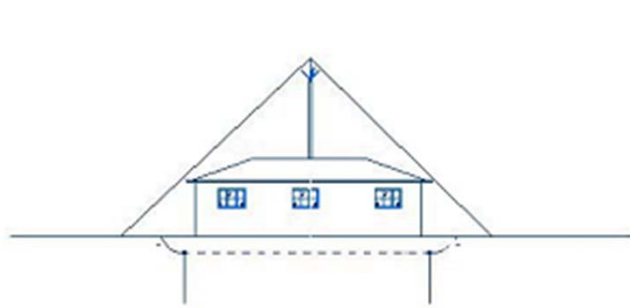


# Método de Franklin

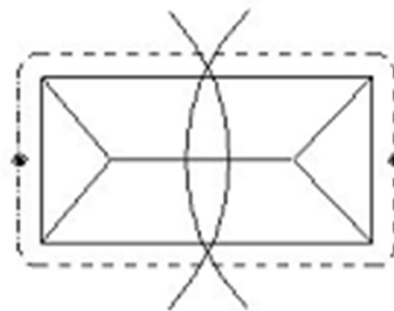
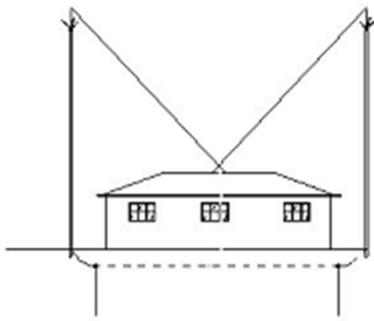
- Passos para o desenvolvimento de um projeto SPDA utilizando o Método de Franklin.
- a) Definição da zona de proteção
  - Definido o nível de proteção, escolher o ângulo geratriz do cone de proteção.
  - $R_p = H_c \times \tan \alpha$ 
    - $R_p$  – raio da base do cone de proteção (m);
    - $H_c$  – altura da extremidade do captor (m);
    - $\alpha$  – ângulo de proteção com a vertical.
  - O cone envolve toda a edificação ?
    - Sim! Passar para a próxima etapa.
    - Não, adotar mais de um captor e verificar a região de proteção.



# Método de Franklin



Captor único sobre a estrutura



Dois Captores sobre a estrutura

NBR 5419/2005:

**5.1.1.3.3** No topo das estruturas, em especial naquelas com altura superior a 10 m, recomenda-se instalar um captor em forma de anel, disposto ao longo de todo perímetro. Este captor não deve estar situado a mais de 0,5 m da borda do perímetro superior da edificação. Esta recomendação é suplementar e não exclui a necessidade de outros captores, quando determinada pelo projeto.

# Método de Franklin

- b) Condutores de descida
  - Estabelece o caminho entre o captor e a terra, por meio de um condutor.
  - O número de condutores é dado por :

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}}$$

- $N_{cd}$  – número de condutores de descida;
  - $P_{co}$  – perímetro da construção (m);
  - $D_{cd}$  – Distância entre os condutores de descida, fornecido pela tabela ao lado.
  - Devem ser instalados a 50cm de portas, janelas e outras aberturas.
- Obs: O número de condutores de descida ( $N_{cd}$ ) não pode ser inferior a 2!

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



# Método de Franklin

- c) Seção do condutor

Seções mínimas dos materiais do SPDA

Material	Captor e anéis intermediários mm <sup>2</sup>	Descidas (para estruturas de altura até 20 m) mm <sup>2</sup>	Descidas (para estruturas de altura superior a 20 m) mm <sup>2</sup>	Eletrodo de aterramento mm <sup>2</sup>
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto	50	50	50	80

- Em zonas industriais de elevada poluição ou próximo a orlas marítimas, deve ser usado condutor de cobre.

- d) Aterramento

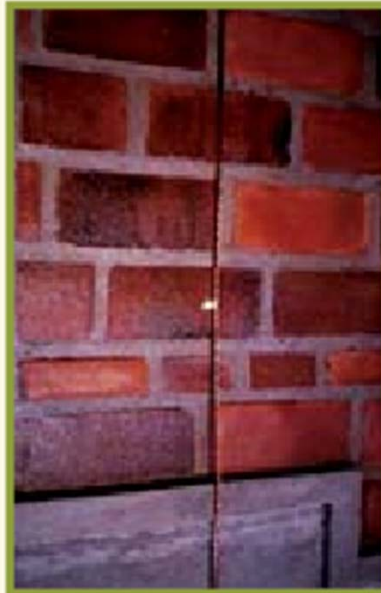
- Não deve ser superior a  $10 \Omega$  , em qualquer época do ano.
- Quando a construção contiver materiais explosivos, a resistência da malha de terra deve ser menor a  $1 \Omega$  .
- Deve ser realizada a equipotencialização!

Obs: O mastro de uma antena deve ser ligado ao SPDA

# Descidas



Descida com barra chata de alumínio, conector de compressão bimetálico e tubo metálico



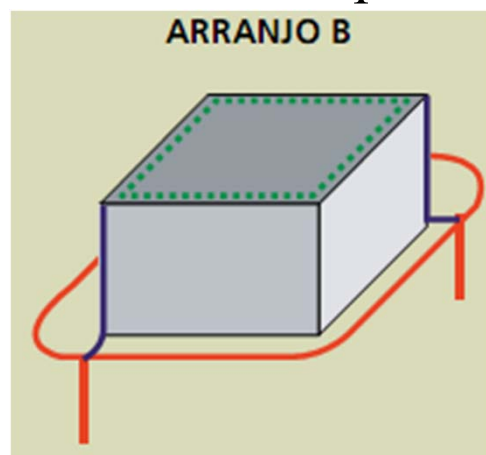
Descida com cabo de cobre em fachada de tijolo à vista



Descida com cabo de cobre embutida no reboco

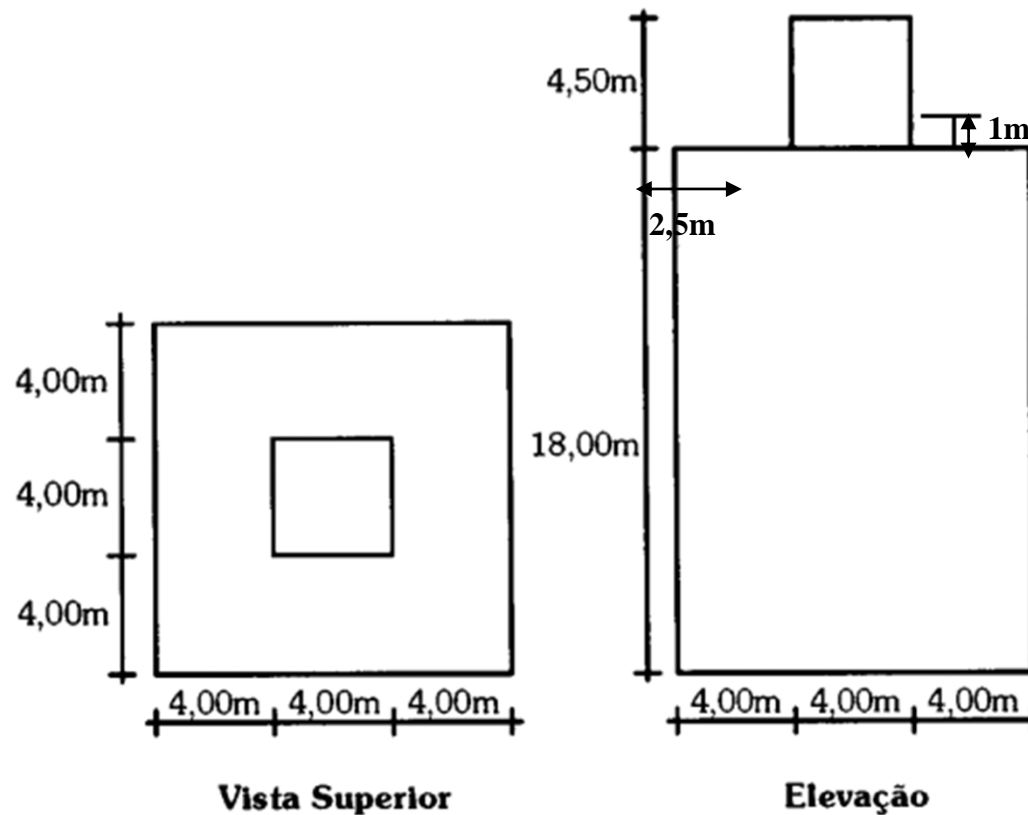
# Aterramento Elétrico

- O aterramento elétrico mais comum é o arranjo B (NBR5419/2005)
  - Consiste num anel de aterramento de 50 mm<sup>2</sup> a 50 cm de profundidade no solo.
  - Para cada descida deve ser conectado um haste tipo Copperweld (  $L \geq 2,5\text{m}$  para nível de proteção II a IV e para nível I deve ser avaliado a resistividade do solo).
  - As hastes devem ser ligadas por soldas exotérmicas ao anel ou por conexão mecânica por meio de caixa de inspeção.

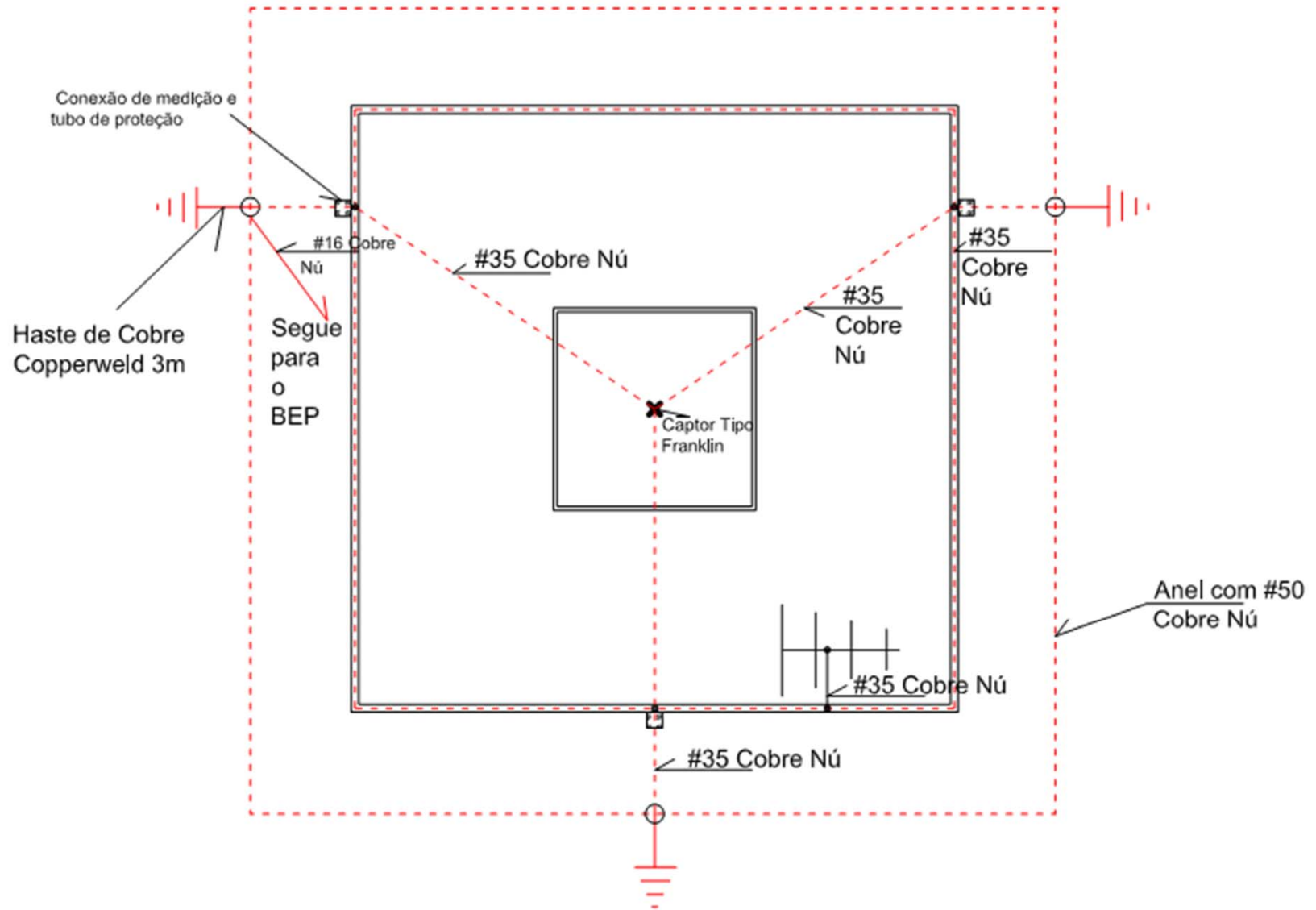


## Exemplo 2

Projetar um SDPA do edifício Stephani ilustrado abaixo, utilizando o Método de Franklin.

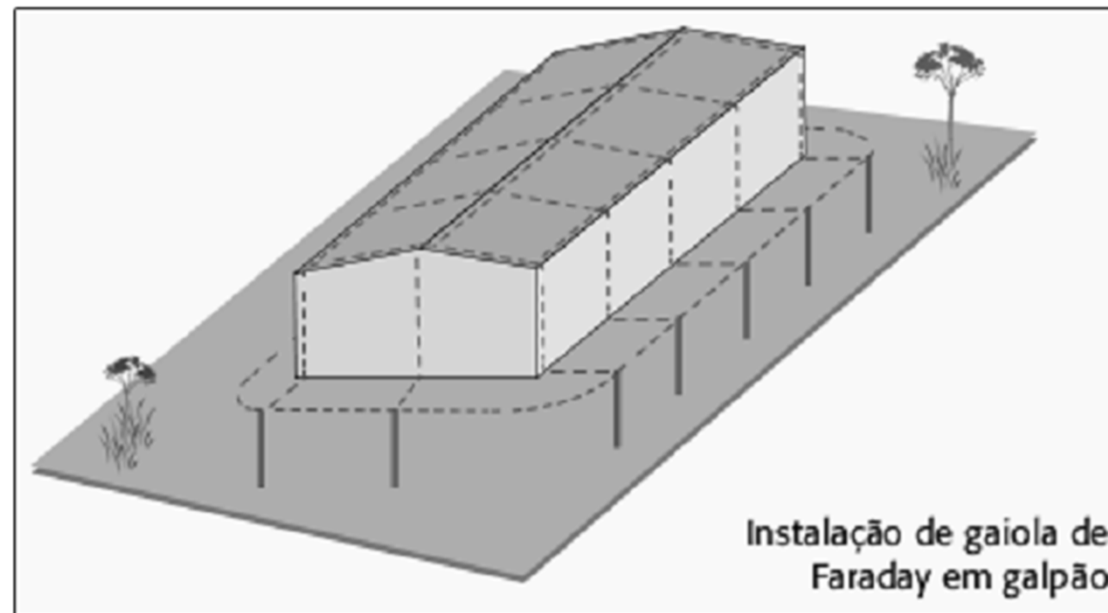


# Exemplo 2



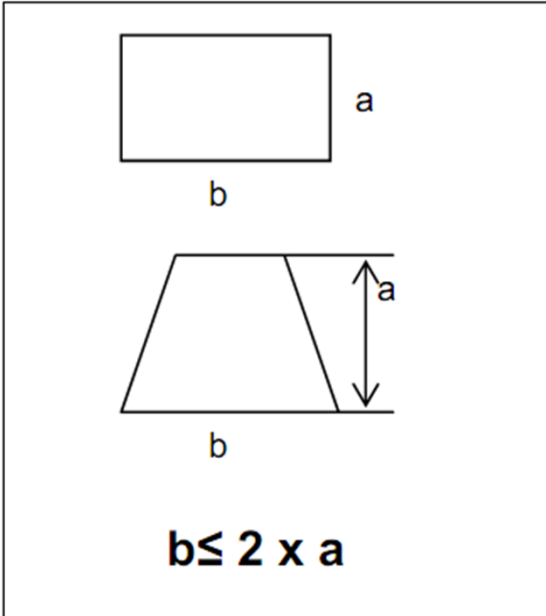
## 4.2-Método da Gaiola de Faraday

- É baseado na teoria de que o campo magnético no interior de uma gaiola condutora é nulo.
- O sistema de captos é formado por condutores horizontais interligados em forma de malha.
- É indicado para edificações extensas como galpões e grandes edificações com elevada altura (prédios).



# Método da Gaiola de Faraday

- Condutores horizontais devem cobrir todo o perímetro da estrutura, formando uma malha.
- Largura do módulo da malha:

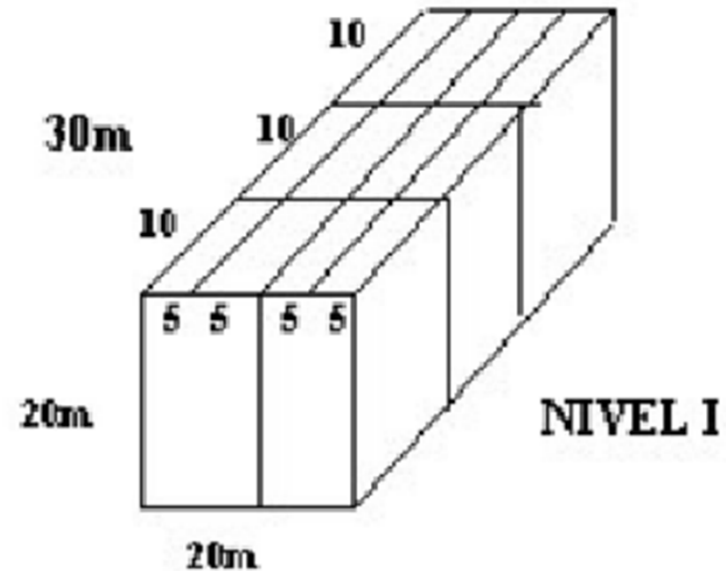
 <p><math>b \leq 2 \times a</math></p>	Nível de proteção	Largura da malha (a)
	I	5 m
	II	10 m
	III	10 m
IV	20 m	

- O módulo da malha deverá constituir um anel fechado, com o comprimento não superior ao dobro da largura.

# Método da Gaiola de Faraday

- Exemplo

NÍVEL	malha
I	5 x 10 m
II	10 x 15 m
III	10 x 15 m
IV	20 x 20 m



- Seção dos condutores da malha

Material	Captor e anéis intermediários mm <sup>2</sup>
Cobre	35
Alumínio	70
Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto	50



# Método da Gaiola de Faraday

- Captores verticais ou terminais aéreos
  - A NBR 5419/2005 recomenda instalar captosres verticais ou terminais aéreos de 30 a 50 cm de altura, separados de 5 a 8m ao longo dos condutores da malha.



# Método da Gaiola de Faraday

- Descidas
  - Podem ser utilizadas descidas naturais ou não-naturais.
  - Naturais fazem parte da estrutura da edificação:
    - Cantoneiras;
    - Tubulações metálicas;
    - Barras metálicas;
  - Não-naturais
    - Condutores e/ou barramentos instalados para tal finalidade

Seções mínimas dos materiais do SPDA

Material	Captor e anéis intermediários mm <sup>2</sup>	Descidas (para estruturas de altura até 20 m) mm <sup>2</sup>	Descidas (para estruturas de altura superior a 20 m) mm <sup>2</sup>	Eletrodo de aterramento mm <sup>2</sup>
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto	50	50	50	80

# Método da Gaiola de Faraday

- Condutores de descida

- Estabelece o caminho entre o captor e a terra, por meio de um condutor.

- O número de condutores é dado por :

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}}$$

- $N_{cd}$  – número de condutores de descida;

- $P_{co}$  – perímetro da construção (m);

- $D_{cd}$  – Distância entre os condutores de descida, fornecido pela tabela ao lado.

- Devem ser instalados a 50cm de portas, janelas e outras aberturas.

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

# Método da Gaiola de Faraday

---

- Descidas naturais (NBR 5419/2005):

Os pilares metálicos da estrutura podem ser utilizados como condutores de descida naturais.

**5.1.2.5.2** Os elementos da fachada (perfis e suportes metálicos) poderão ser utilizados como condutores de descidas naturais, desde que suas seções sejam no mínimo iguais às especificadas para os condutores de descida conforme tabela 3 e com a sua continuidade elétrica no sentido vertical no mínimo equivalente.

**5.1.2.5.4** As armaduras de aço interligadas das estruturas de concreto armado podem ser consideradas condutores de descida naturais, desde que:

- a) cerca de 50% dos cruzamentos de barras da armadura, incluindo os estribos, estejam firmemente amarradas com arame de aço torcido e as barras na região de trespasse apresentem comprimento de sobreposição de no mínimo 20 diâmetros, igualmente amarradas com arame de aço torcido, ou soldadas, ou interligadas por conexão mecânica adequada;

**5.1.2.5.7** As equalizações de potenciais internos à estrutura seguem o mesmo critério do sistema externo. Isto significa que, próximo ao solo e, no máximo, a cada 20 m de altura, todas as massas metálicas (tubulações, esquadrias metálicas, trilhos, etc.) deverão ser ligadas diretamente a uma armadura local (de pilar, viga ou laje). Os sistemas elétricos de potência e de sinal, deverão ser referenciados a um barramento de equalização (TAP/LEP), o qual deverá ser ligado a uma armadura local e/ou ao eletrodo de aterramento.

# Método da Gaiola de Faraday

---

- Descidas, notas importantes:

## Recomendações:

- ◆ Devem ser espaçados regularmente, de preferência utilizando-se um em cada canto;
- ◆ Para estruturas com altura maior que 20 m, as descidas devem ser interligadas a condutores horizontais, formando anéis;
- ◆ Devem ser distanciados no mínimo 0,5 m de portas e janelas;
- ◆ Pode ser instalado na superfície, por suportes apropriados, embutidos ou espaçados dependendo da constituição dos materiais da parede;
- ◆ Devem ser retilíneos, evitando-se curvas e laços;
- ◆ As emendas somente poderão ser realizadas por solda exotérmica;
- ◆ conectores de medição próximos aos eletrodos de aterramento;
- ◆ Devem ser protegidas com eletrodutos até a altura de 2,5 m acima do solo.

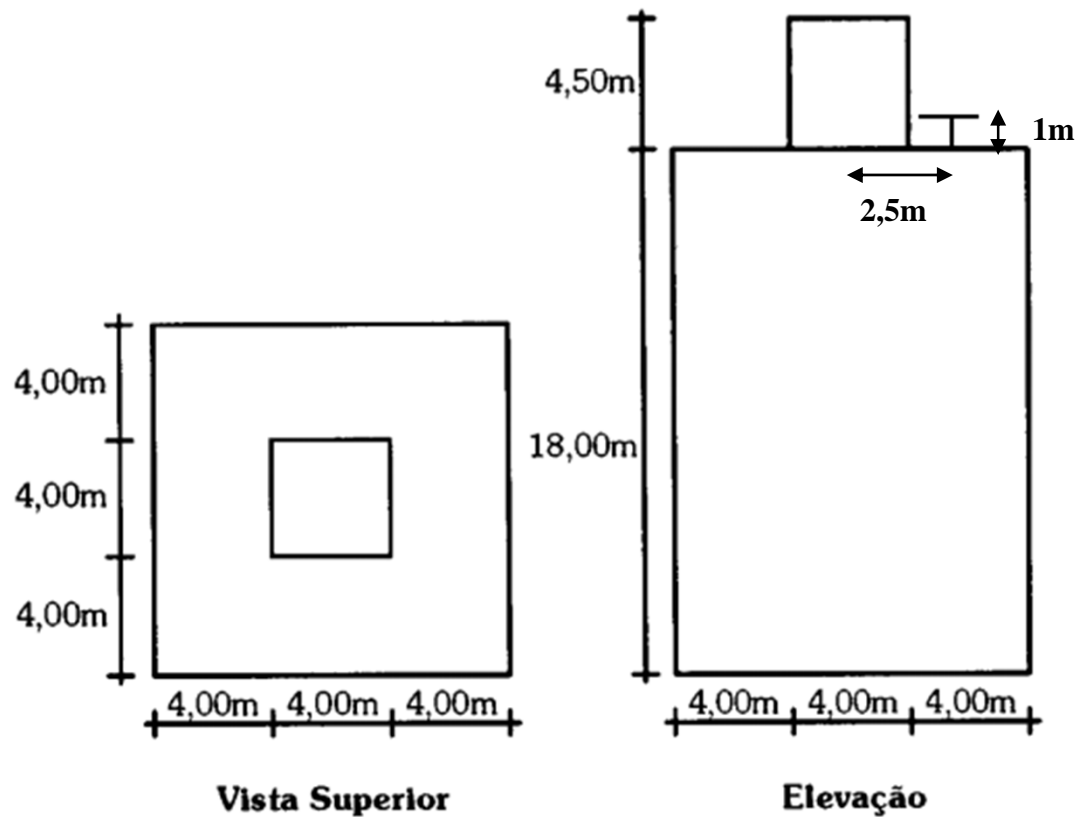
# Método da Gaiola de Faraday

---

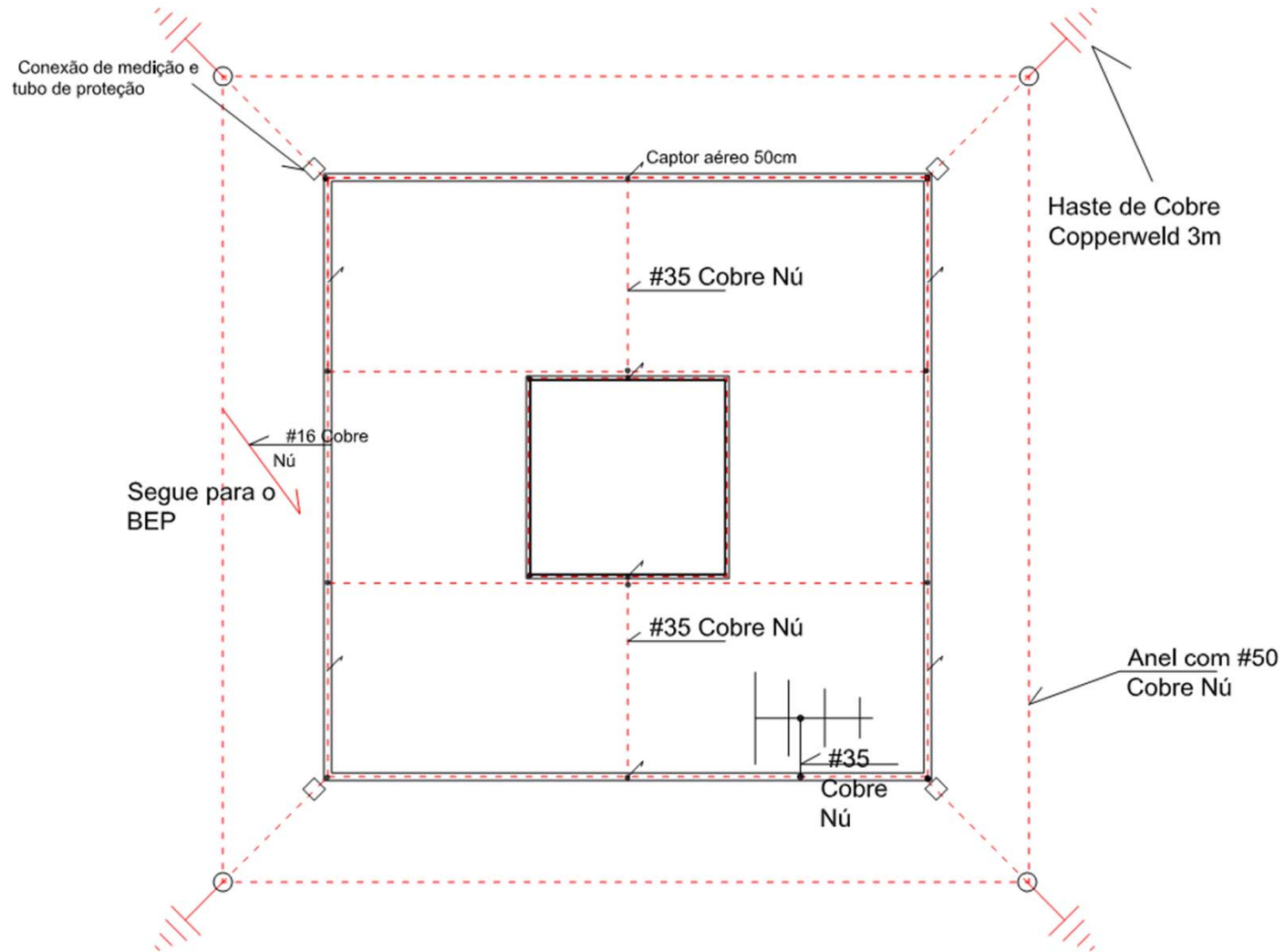
- Aterramento Elétrico:
  - No mínimo uma haste para cada descida;
  - Todas as hastes devem estar interligadas formando um anel (Arranjo B);
  - O aterramento deve ser único em toda a instalação, deve ser feito a equipotencialização;
  - A resistência de aterramento deve ser menor que 10 ohms.

## Exemplo 3

Projetar um SDPA do edifício Stephani ilustrado abaixo, utilizando o Método da Gaiola de Faraday.



# Exemplo 3





## 4.3- Método Eletrogeométrico

---

- Também designado como método da esfera rolante ou fictícia.
- Tal método delimita o volume a ser protegido, podendo ser constituído de:
  - Hastes;
  - Cabos;
  - Uma combinação de ambos.
- Este método é baseado no conceito de distância de atração, que é definido como a maior distância em que o raio será atraído pelo captor.
- Tal distância define o raio da esfera rolante e depende da corrente do raio.

# Método Eletrogeométrico

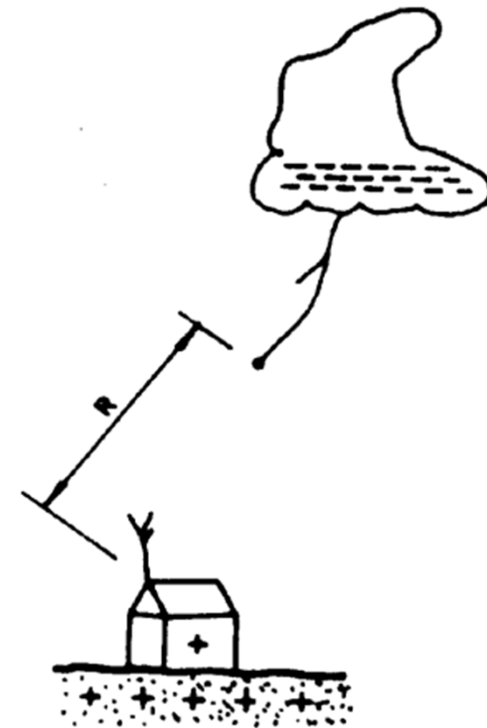
- Distância  $R$  em função da corrente  $I_{\max}$

**C.1.5** A distância  $R$  entre o ponto de partida do líder ascendente e a extremidade do líder descendente (ver figura C.1) é o parâmetro utilizado para posicionar os captores segundo o modelo eletrogeométrico. Seu valor é dado por:

$$R = 10 \times I_{\max}^{0,65}$$

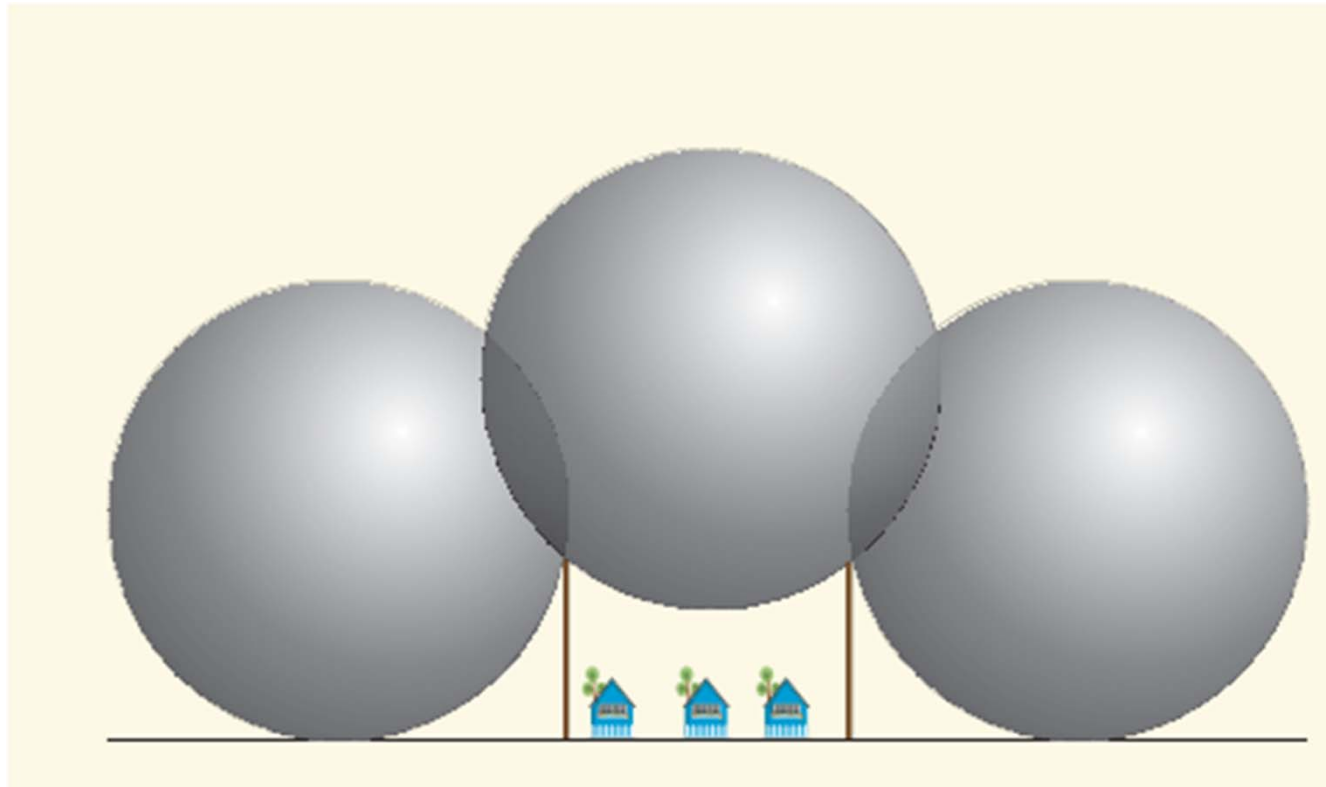
sendo  $R$ , em metros, e  $I_{\max}$  o valor de crista máximo do primeiro raio negativo, em quiloampéres.

Nível de proteção	Distância $R$ m	Valor de crista de $I_{\max}$ kA
I	20	3
II	30	5
III	45	10
IV	60	15



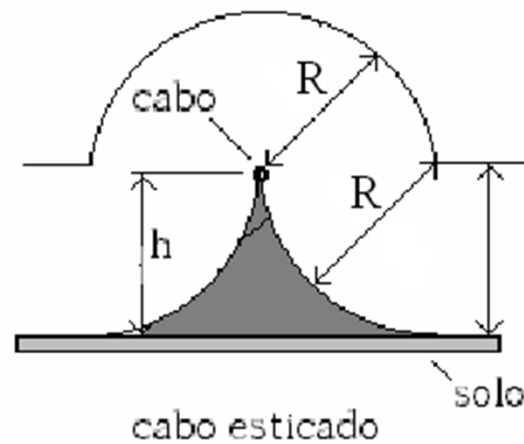
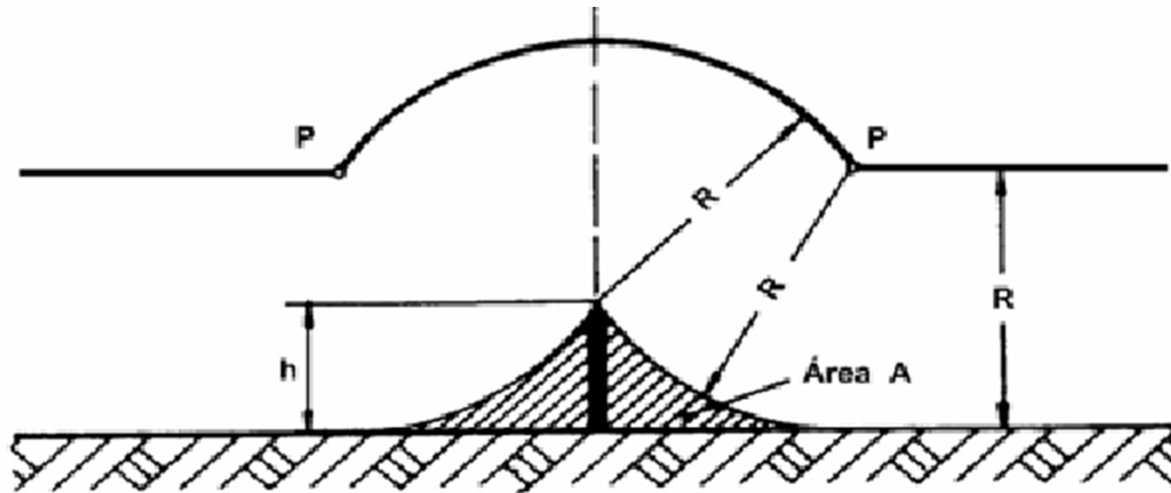
# Método Eletrogeométrico

---



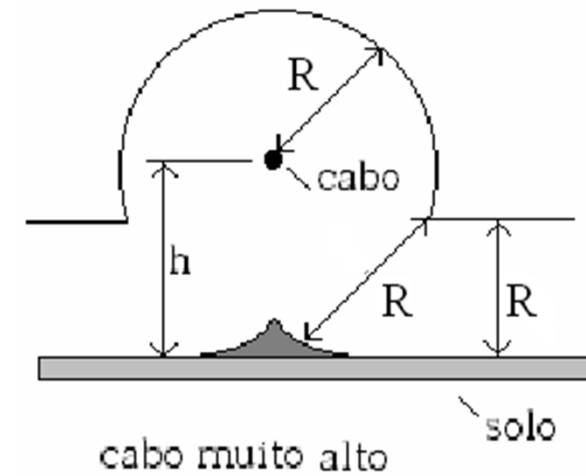
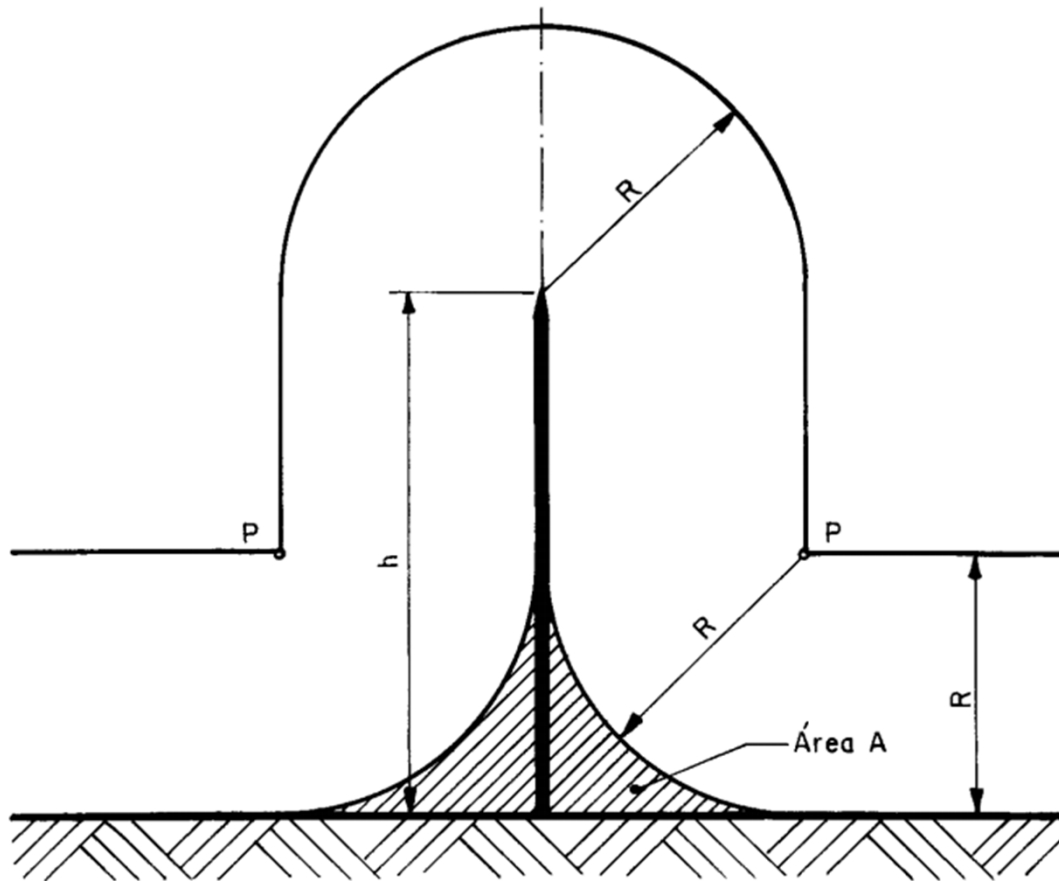
# Método Eletrogeométrico

- Volume protegido para  $h \leq R$



# Método Eletrogeométrico

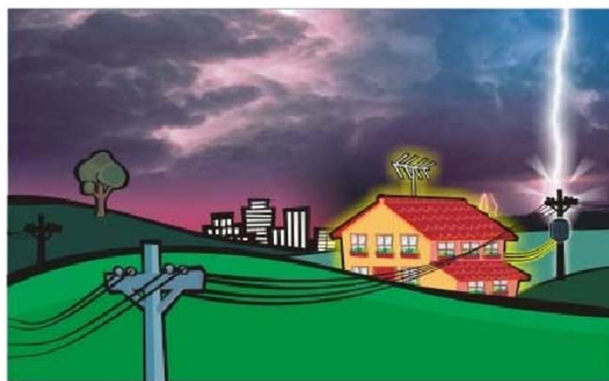
- Volume protegido para  $h \geq R$



## 5- Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)

- A NBR 5410/2004 divide a proteção contra sobretensões em duas categorias:
  - Sobretensões temporárias: Perda do condutor neutro em esquemas TN e TT, em sistemas trifásicos, bifásicos e monofásicos a três condutores;
  - Sobretensões transitórias :
    - Chaveamento de cargas elétricas:
      - Centenas de sobretensões diárias (Baixa amplitude), causadas por lâmpadas fluorescentes, motores, máquinas de soldas e etc;
    - Descargas atmosféricas (2 a 200 kA ,  $t=200 \mu\text{s}$ ).

Mais comuns

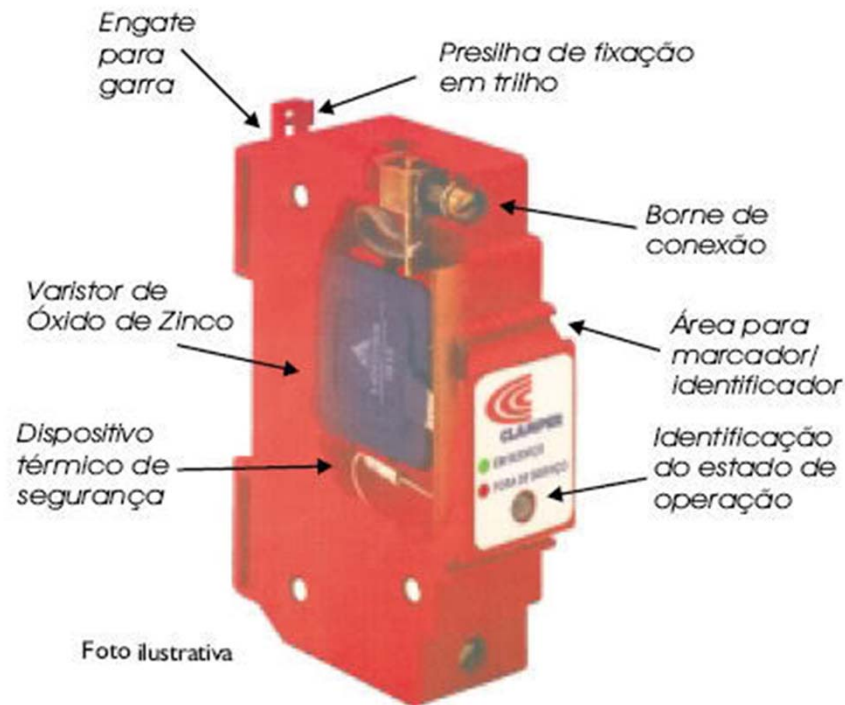


*Incidência direta (descarga direta)*



*Incidência próxima (descarga indireta)*

# Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS)



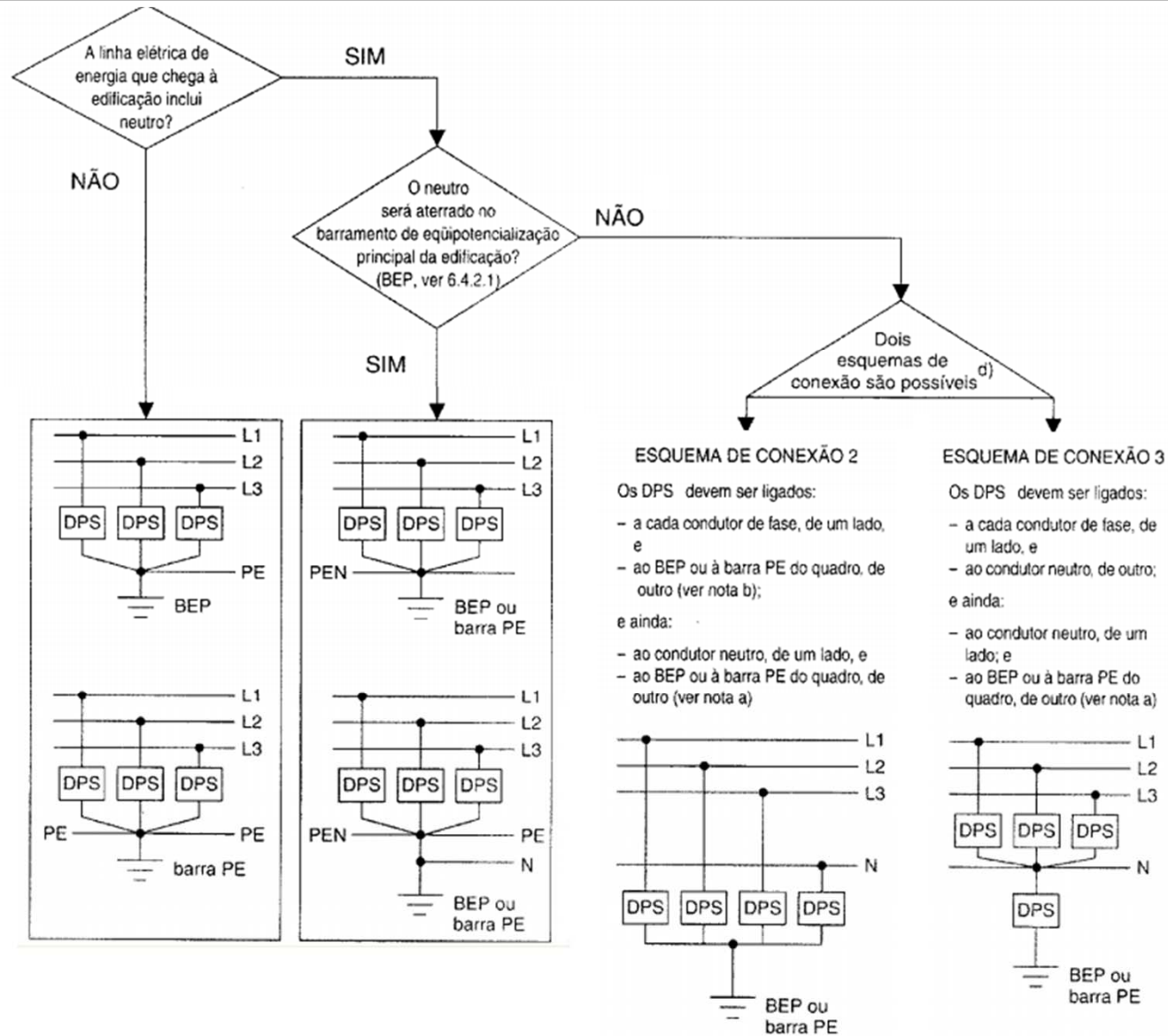
# Instalação do DPS

---

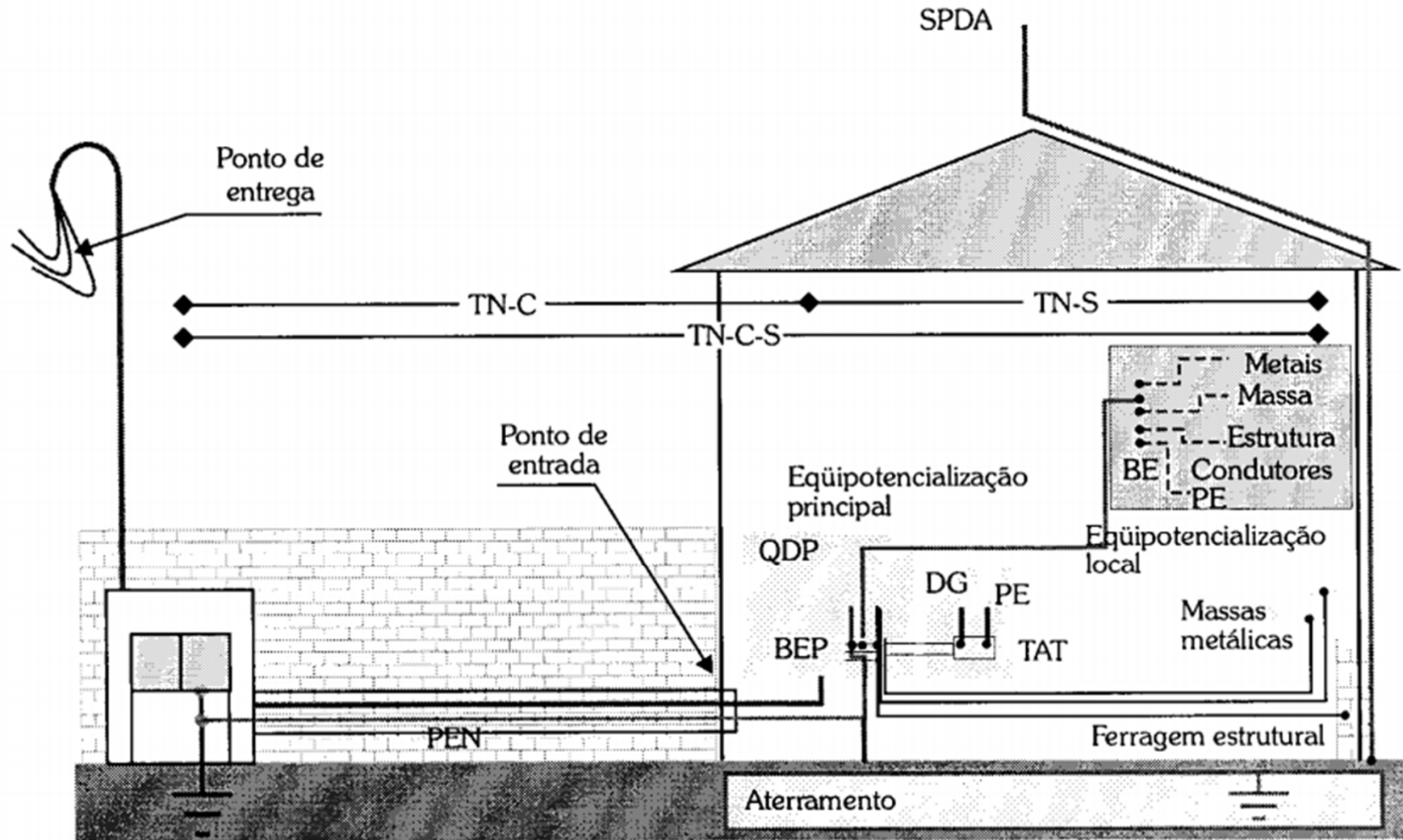
- A NBR 5410/2004 determina que o DPS deve ser usado obrigatoriamente quando :
  - A alimentação da instalação elétrica for feita por linhas aéreas (total ou parcial) e se situar em regiões AQ2 (>25 dias de trovoadas por ano) – Descargas Indiretas;
  - A instalação se situar numa região AQ3 (riscos provenientes da exposição de componentes da instalação) – Descargas Diretas.
- O DPS deve ser instalado:
  - Junto com o ponto de entrada da linha elétrica na edificação ou no quadro de distribuição principal, o mais próximo possível do ponto de entrada.
- O modo como cada DPS será ligado (Fase-PE, Neutro-PE) depende do esquema de aterramento, como ilustrado na figura a seguir:



# Instalação do DPS

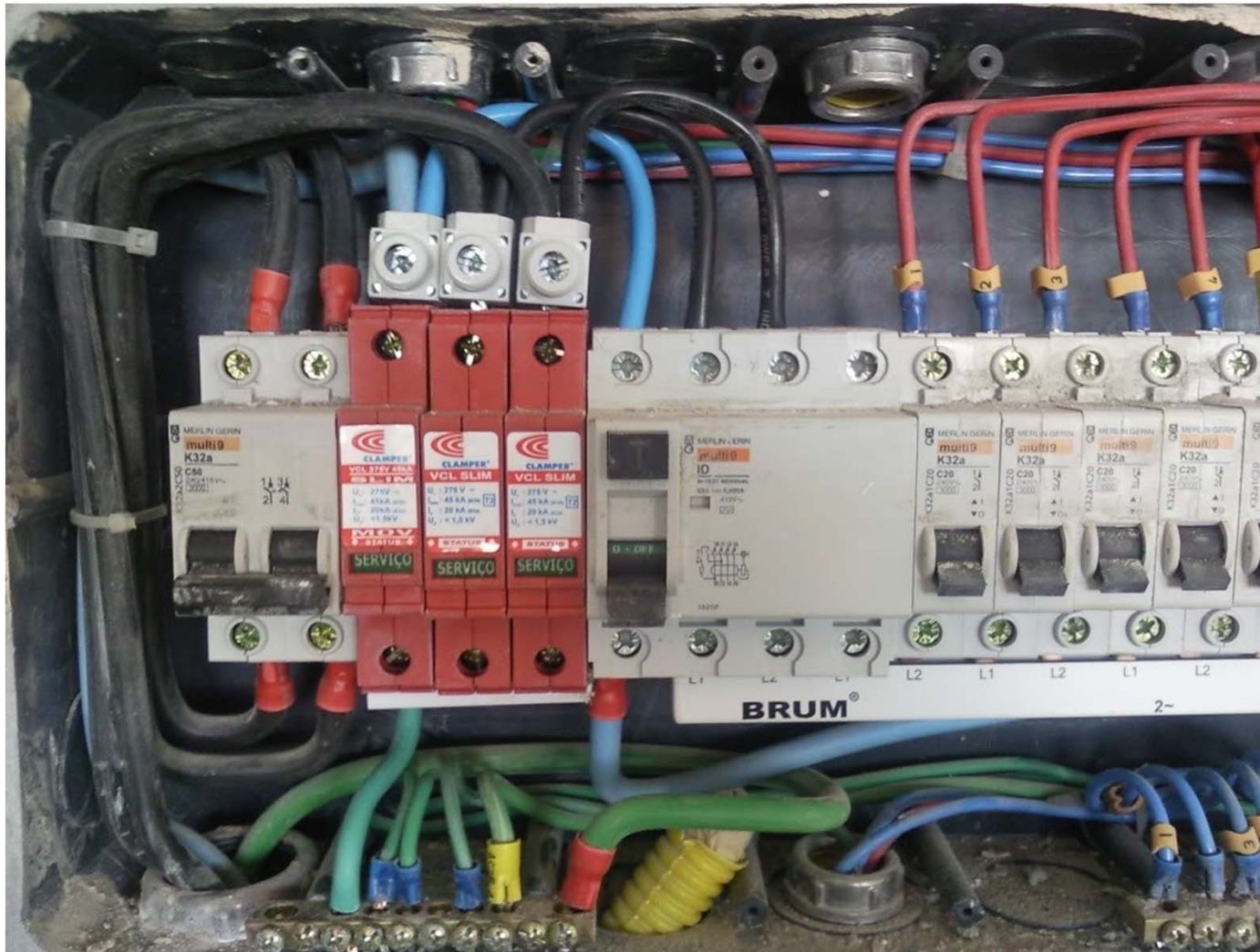


# Instalação do DPS

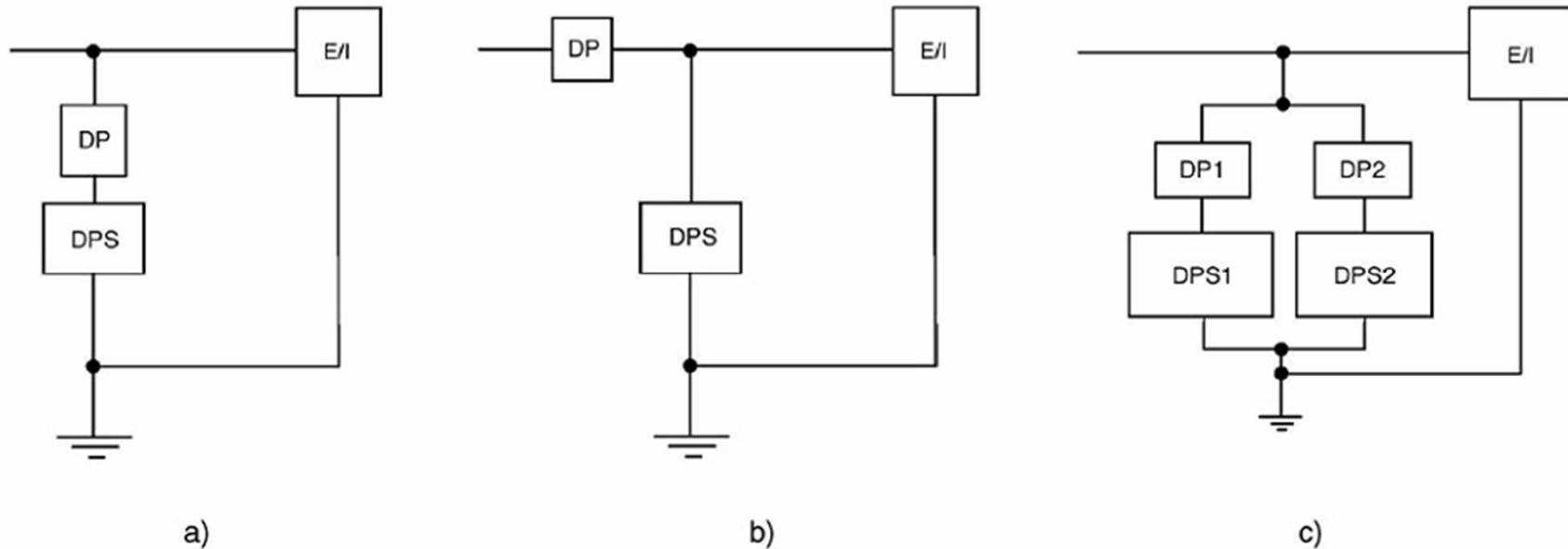


# Instalação do DPS

- DPS no Quadro de Distribuição de Circuitos



# Instalação do DPS



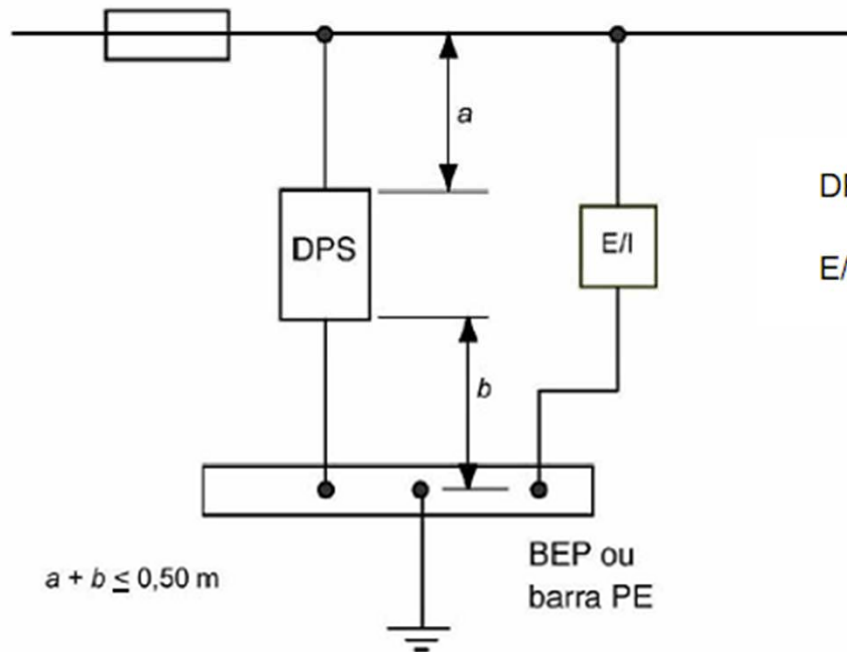
DP: dispositivo de proteção contra sobrecorrentes

DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

- Quando o DPS for instalado a jusante do DDR no QDC, o DDR deve ter imunidade a surto de no mínimo 3 kA ( 8/20  $\mu$ A).

# Instalação do DPS



DPS: dispositivo de proteção contra surtos

E/I: equipamento/instalação a ser protegida contra sobretensões

**Seção Nominal dos  
condutores  
Ligação DPS-PE**

Caso o **DPS seja instalado no ponto de entrada** da linha elétrica da edificação ou em suas proximidades, deve ter seção de no **mínimo 4 mm<sup>2</sup>** em cobre ou equivalente".

Caso o "DPS seja destinado à proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, a seção nominal do condutor das ligações DPS deve ser de no **mínimo 16 mm<sup>2</sup>** .

# Especificação da Proteção Contra Surtos (DPS)

- O DPS deve ser especificado com as seguintes características:
  - Nível de proteção ( $U_p$ ):

Suportabilidade a impulso exigível dos equipamentos da instalação (Tabela 31 da NBR 5410:2004).

Tensão Nominal da Instalação (V)		Tensão de Impulso Suportável Requerida (kV)			
		Categoria do Produto			
Sistemas trifásicos	Sistemas monofásicos com neutro	Produto a ser utilizado na entrada da instalação	Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais	Equipamentos de utilização	Produtos especialmente protegidos
		Categoria de Suportabilidade a Impulsos			
		IV	III	II	I
120/208 127/220	115-230 120-240 127-254	4	2,5	1,5	0,8

- Tensão de operação contínua ( $U_c$ ):

Tabela 49 da NBR 5410:2004

DPS conectado entre				Esquema de aterramento				
Fase	Neutro	PE	PEN	TT	TN-C	TN-S	IT com Neutro Distribuído	IT Saem Neutro Distribuído
X	X			$1,1 V_o$		$1,1 V_o$	$1,1 V_o$	
X		X		$1,1 V_o$		$1,1 V_o$	$\sqrt{3} v_o$	V
X			X		$1,1 V_o$			
	X	X		$V_o$		$V_o$	$V_o$	

$V_o$  é a tensão fase-neutro.

V é a tensão entre fases.

# Especificação da Proteção Contra Surtos (DPS)

---

- Corrente nominal de descarga ( $I_n$ ) e corrente de impulso ( $I_{imp}$ ):
  - Quando o DPS for usado para proteção contra sobretensões de origem atmosféricas pela linha externa e contra sobretensões temporárias:
    - a corrente nominal não deve ser inferior a 5 kA (8/20 $\mu$ s);
    - Todavia  $I_n$  não deve ser inferior a 20 kA (8/20 $\mu$ s) em redes trifásicas, ou a 10 kA em redes monofásicas quando o DPS for usado entre neutro e PE.
  - Quando o DPS for destinado para a proteção contra sobretensões provocadas por descargas diretas sobre a edificação:
    - $I_{imp}$  não deve ser inferior a 12,5 kA;
    - No caso de DPS usado entre fase e neutro,  $I_{imp}$  não deve ser inferior a 50 kA para rede trifásica ou 25 kA para rede monofásica.