

Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas SPDA

NBR 5419-3:2015

Danos Físicos a Estrutura e Perigos à Vida

Prof. Marcos Fergütz

Agosto/2024

Esta parte da NBR5419 se aplica a:

- ❖ Projeto, instalação, inspeção e manutenção de SPDA para estruturas sem limites de altura;
 - ❖ Estabelecimento de medidas para proteção contra lesões a seres vivos causadas pelas tensões de passo e toque provenientes das descargas atmosféricas.
- SPDA externo isolado da estrutura: sistema com captação e descidas posicionadas de tal forma que o caminho da corrente de descarga não fique em contato com a estrutura.
 - SPDA externo não isolado da estrutura: sistema com captação e descidas posicionadas de tal forma que o caminho da corrente de descarga esteja em contato com a estrutura.

Um SPDA isolado deve ser considerado quando os efeitos térmicos e de explosão no ponto de impacto, ou nos condutores percorridos pela corrente de descarga, puderem causar danos à estrutura ou seu conteúdo.

A **armadura de aço** das estruturas de concreto armado será considerada eletricamente contínua se pelo menos 50% das interligações entre barras horizontais e verticais sejam firmemente conectadas. Para a conexão entre barras verticais pode-se utilizar solda, arame recozido, cintas ou grampos, desde que haja traspasse mínimo de 20 vezes o diâmetro da barra.

São considerados componentes naturais os elementos como armaduras de aço do concreto, vigamentos metálicos das estruturas, telhas metálicas, dentre outros. Os mesmos poderão ser utilizados como componentes do SPDA, desde que cumpram com os requisitos da norma (espessura e/ou seção transversal).

Componentes metálicos da estrutura a ser protegida que não forem definitivos à estrutura ou que não cumpram com os requisitos da norma (dimensões), devem ficar dentro do volume de proteção ou incorporados complementarmente ao SPDA.

Classe do SPDA

Tabela 1 – Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA (ver ABNT NBR 5419-1)

Nível de proteção	Classe de SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

A eficiência de cada classe de SPDA é determinada pela 5419-2.

Cada classe de SPDA é caracterizada pelo seguinte.

a) dados dependentes da classe de SPDA:

- parâmetros da descarga atmosférica (ver ABNT NBR 5419-1:2015, Tabelas 3 e 4);
- raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção (ver 5.2.2);
- distâncias típicas entre condutores de descida e dos condutores em anel (ver 5.3.3);
- distância de segurança contra centelhamento perigoso (ver 6.3);
- comprimento mínimo dos eletrodos de terra (ver 5.4.2).

b) fatores não dependentes da classe do SPDA:

- equipotencialização para descargas atmosféricas (ver 6.2);
- espessura mínima de placas ou tubulações metálicas nos sistemas de captação (ver 5.2.5);
- materiais do SPDA e condições de uso (ver 5.5);
- materiais, configuração e dimensões mínimas para captadores, descidas e eletrodos de aterramento (ver 5.6);
- dimensões mínimas dos condutores de conexão (ver 6.2.2).

A classe do SPDA requerido deve ser selecionada com base na avaliação de risco

- Subsistema de Captação

O Subsistema de Captação pode ser constituído por um, ou uma combinação, dos seguintes elementos:

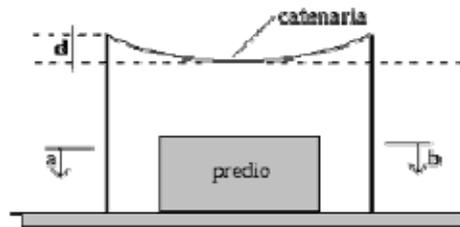
- a) Hastes/mastros;
- b) Condutores suspensos;
- c) Condutores em malha;
- d) Elementos naturais.

Franklin

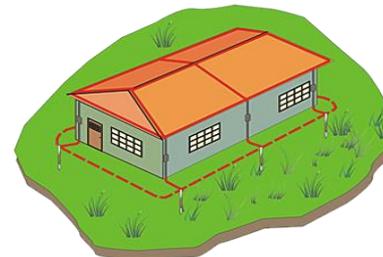


Fonte: www.google.com.br/imagens

Cabo Esticado



Gaiola de Faraday



Telhado Metálico



Esta norma não reconhece quaisquer recursos artificiais destinados a aumentar o raio de proteção dos captosres ou inibir a ocorrência de descargas atmosféricas.

Captosres individuais devem estar interconectados ao nível da cobertura para assegurar a divisão de corrente em pelo menos dois caminhos.

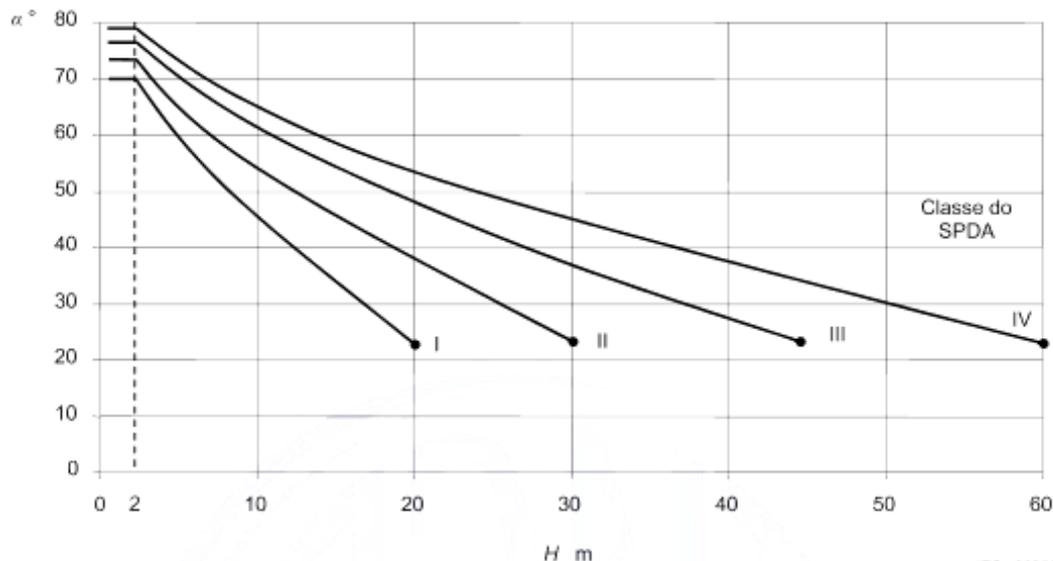
- Posicionamento

Os componentes do subsistema instalados na estrutura devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas, especialmente no nível superior de qualquer fachada.

Para o posicionamento do subsistema captor deve-se utilizar um, ou mais, dos seguintes métodos:

- Método do ângulo de proteção (Franklin);
- Método da esfera rolante (Eletrogeométrico);
- Método das malhas (Faraday).

O método do ângulo de proteção é adequado para edificações com **formato simples** e tem a limitação de altura dos captores segundo a figura abaixo:



- Para H superior ao valor do fim de cada curva se aplica apenas malha ou esfera rolante.

- H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida.

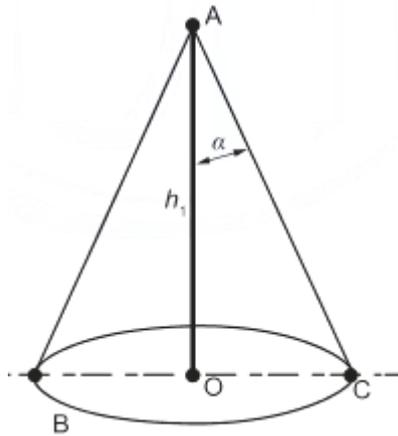
- Para $H < 2$ m o ângulo de proteção não se altera.

O método da esfera rolante e o das malhas pode ser aplicado à qualquer caso.

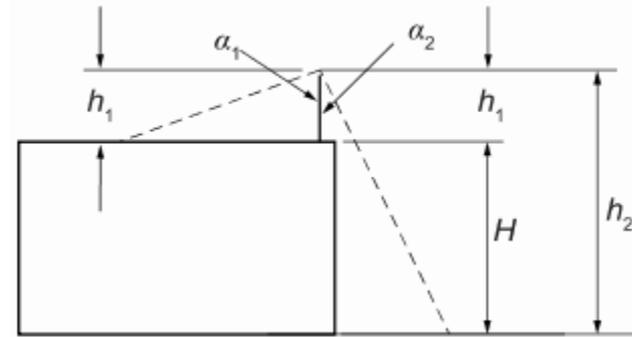
A tabela abaixo indica os valores do raio da esfera rolante e o tamanho da malha para cada classe de proteção:

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

- Método do Ângulo de Proteção

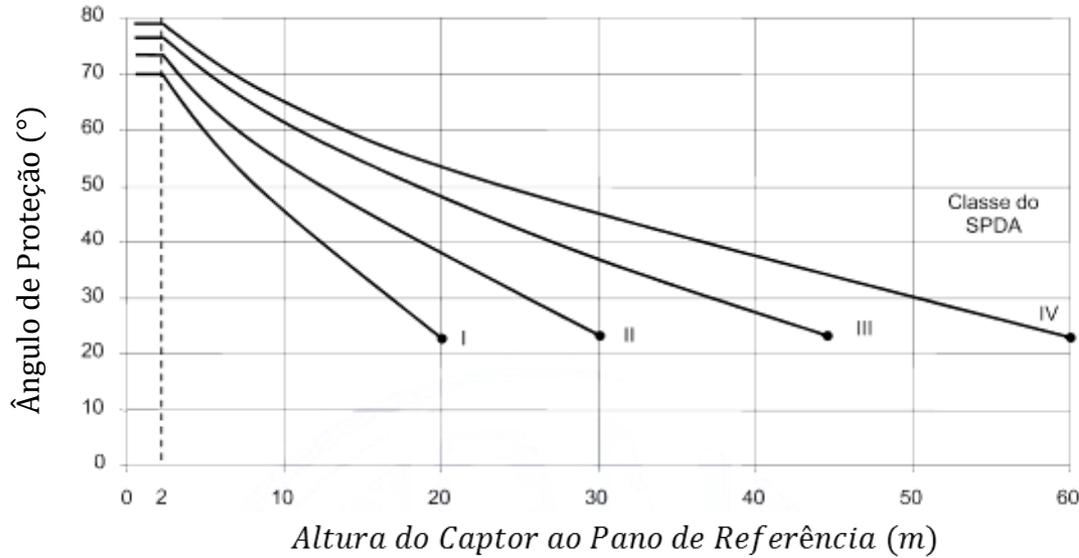


Volume de Proteção

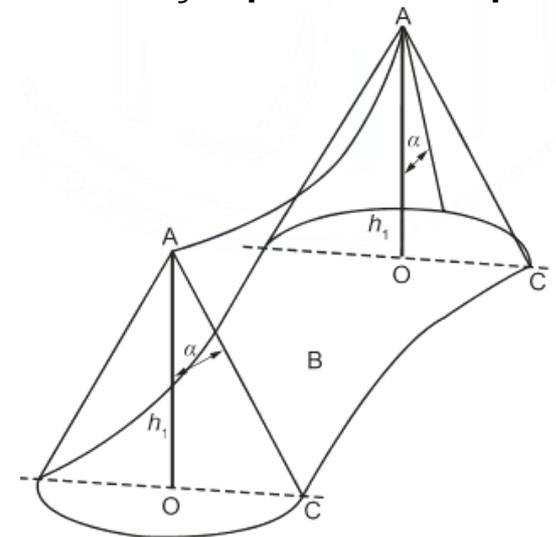


$$\alpha_1 \Rightarrow h_1$$

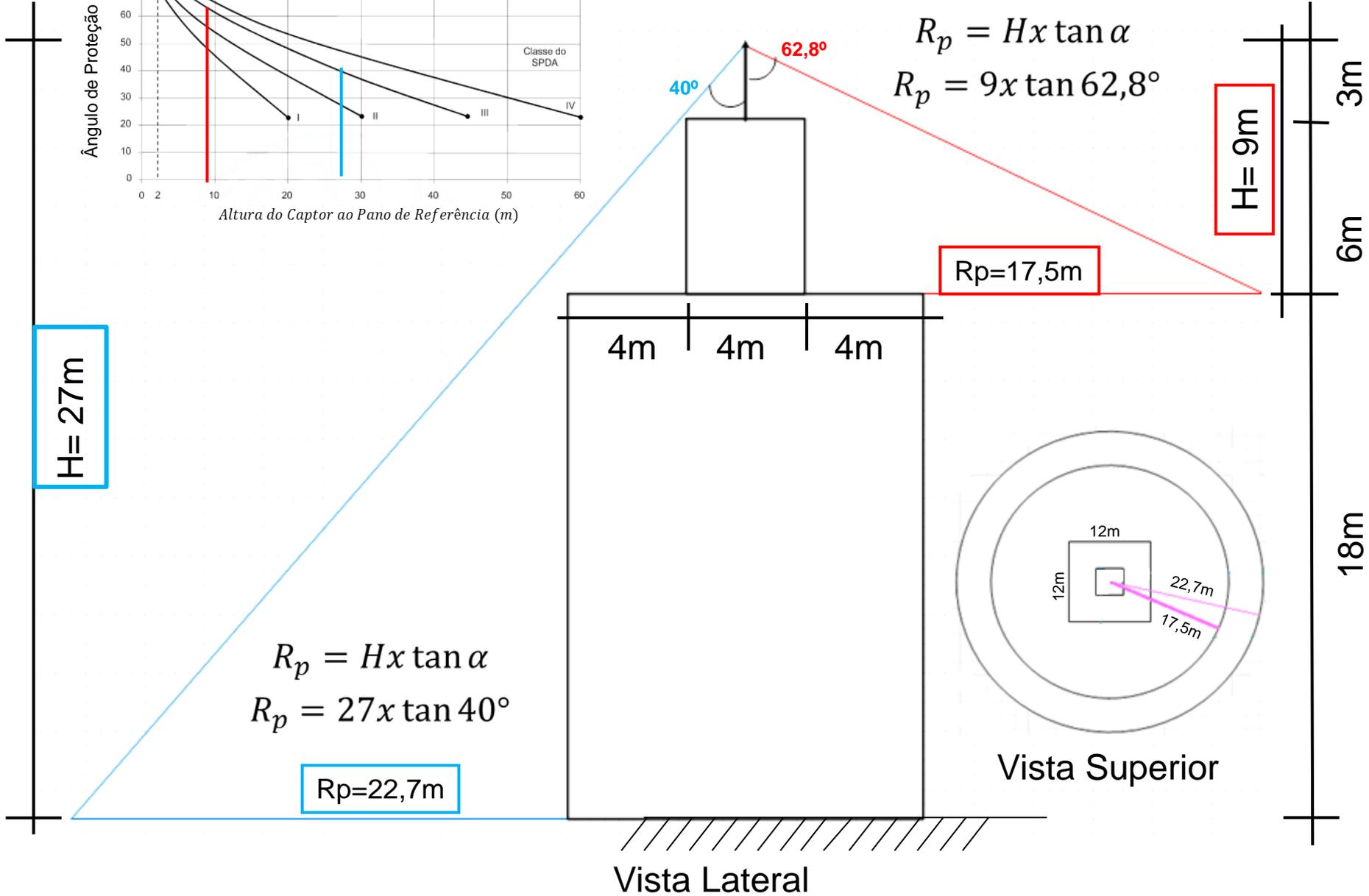
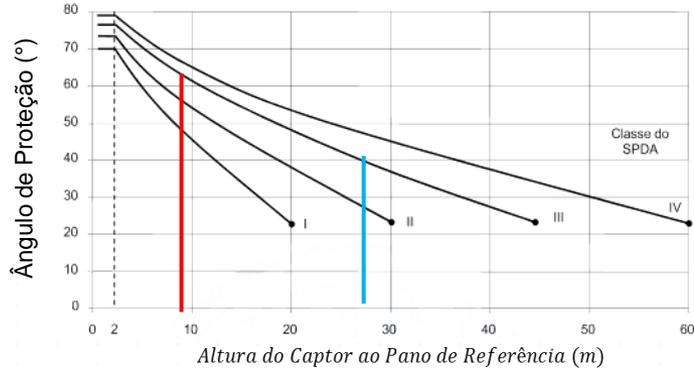
$$\alpha_2 \Rightarrow h_2 = H + h_1$$



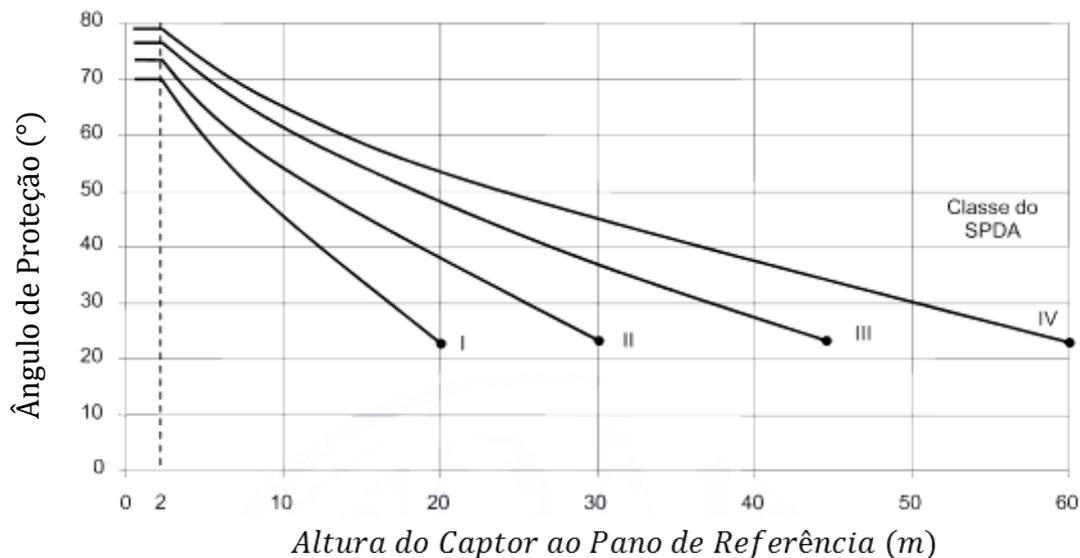
Volume de Proteção por Cabo Suspenso



Projeto de SPDA Predial – Edificações Simples



Conforme visto no exemplo anterior, o gráfico fornecido pela norma não possibilita muita precisão em sua leitura. Mesmo assim, com alguma imprecisão, apresenta-se, abaixo, uma tabela com valores discretos para a altura (H) , o Ângulo de proteção (α) e o raio de Proteção (Rp).

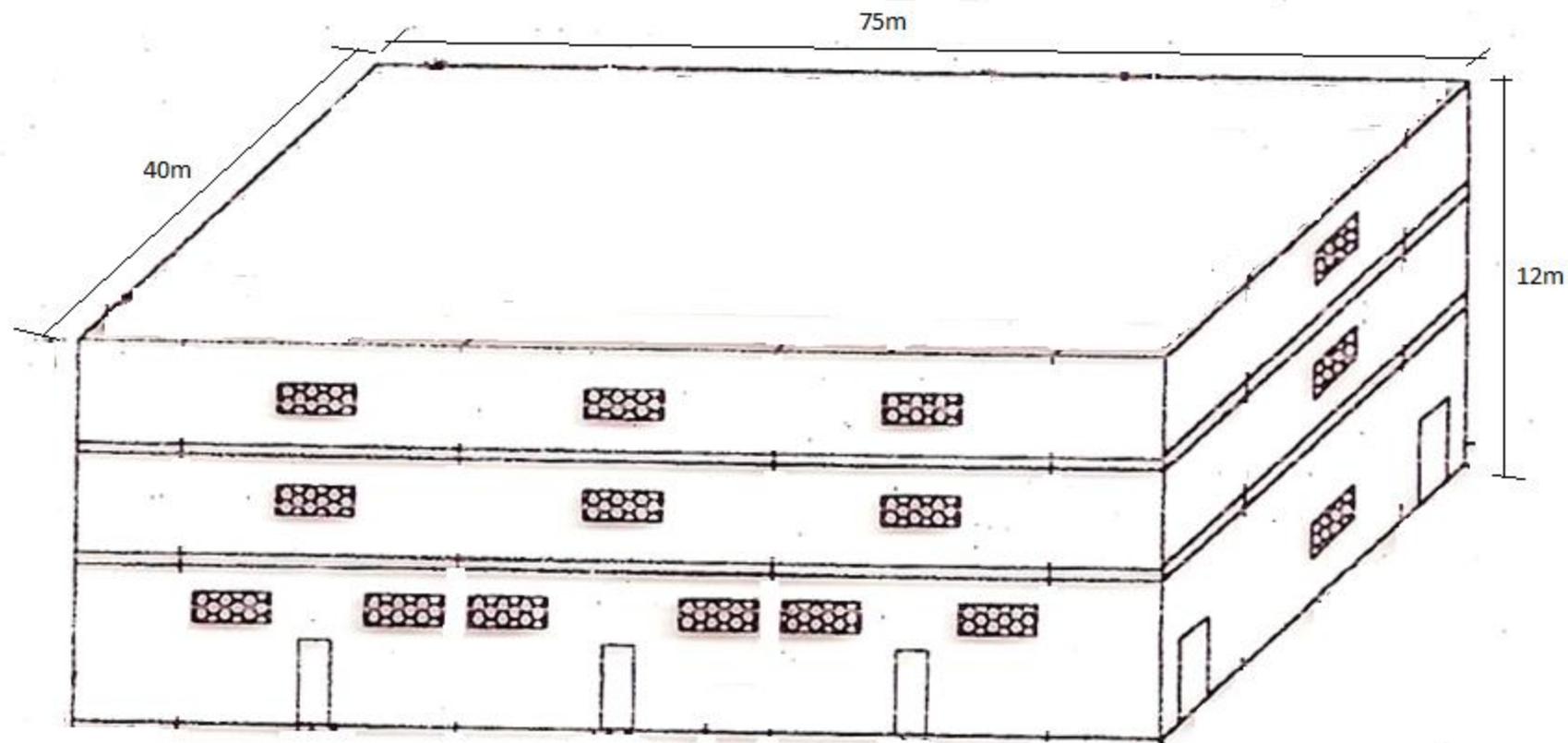


H(m)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	44
α (°)	77,2	75	72,3	70	68,6	66,4	64,3	62,8	61,4	54,3	48,6	42,1	37,1	32	27,1	23,6
Rp (m)	8,8	11,2	13	13,7	15,3	16	16,6	17,5	18,4	20,9	22,7	22,7	22,7	21,9	20,5	19,2

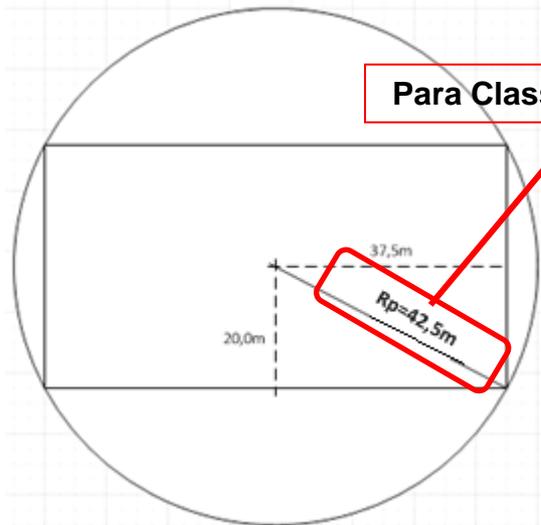
Analisando a tabela, observa-se que o Raio de Proteção, para Classe III, tem um valor mínimo em 8,8m e um valor máximo de 22,7m.

Galpão Industrial

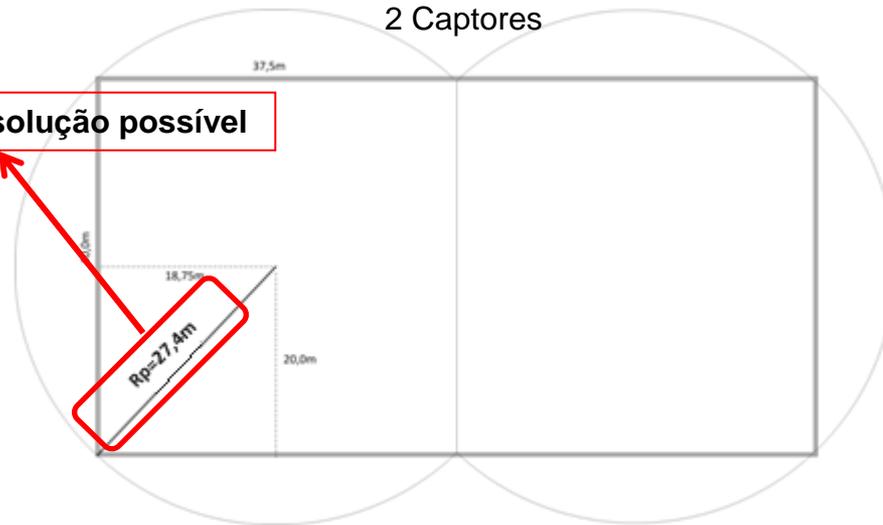
Classe de Proteção III



1 Captor

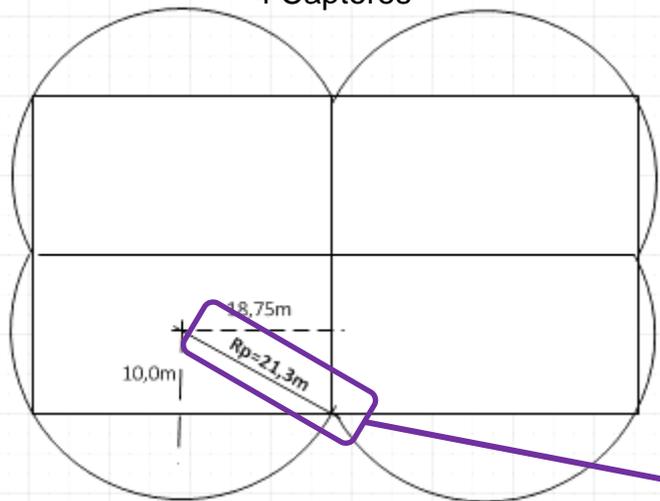


2 Captores

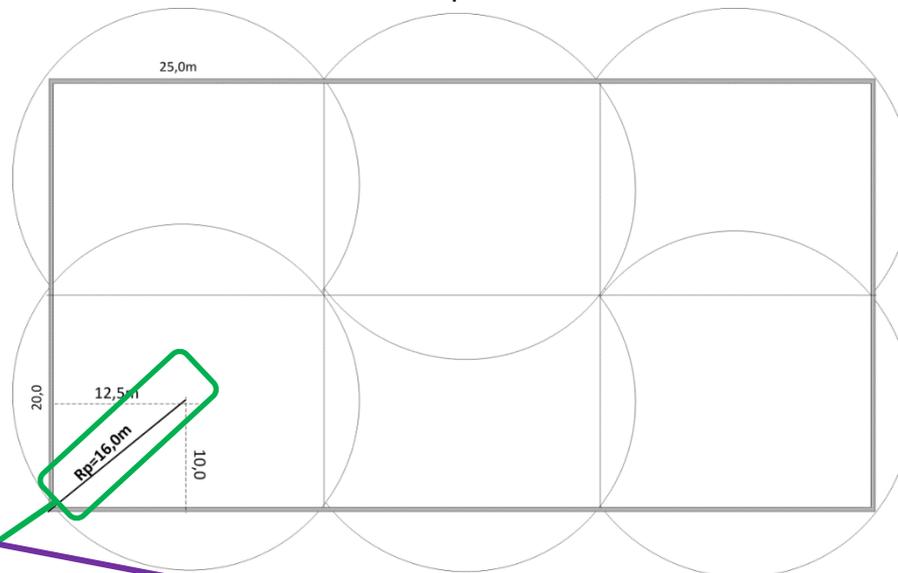


Para Classe III não há solução possível

4 Captores

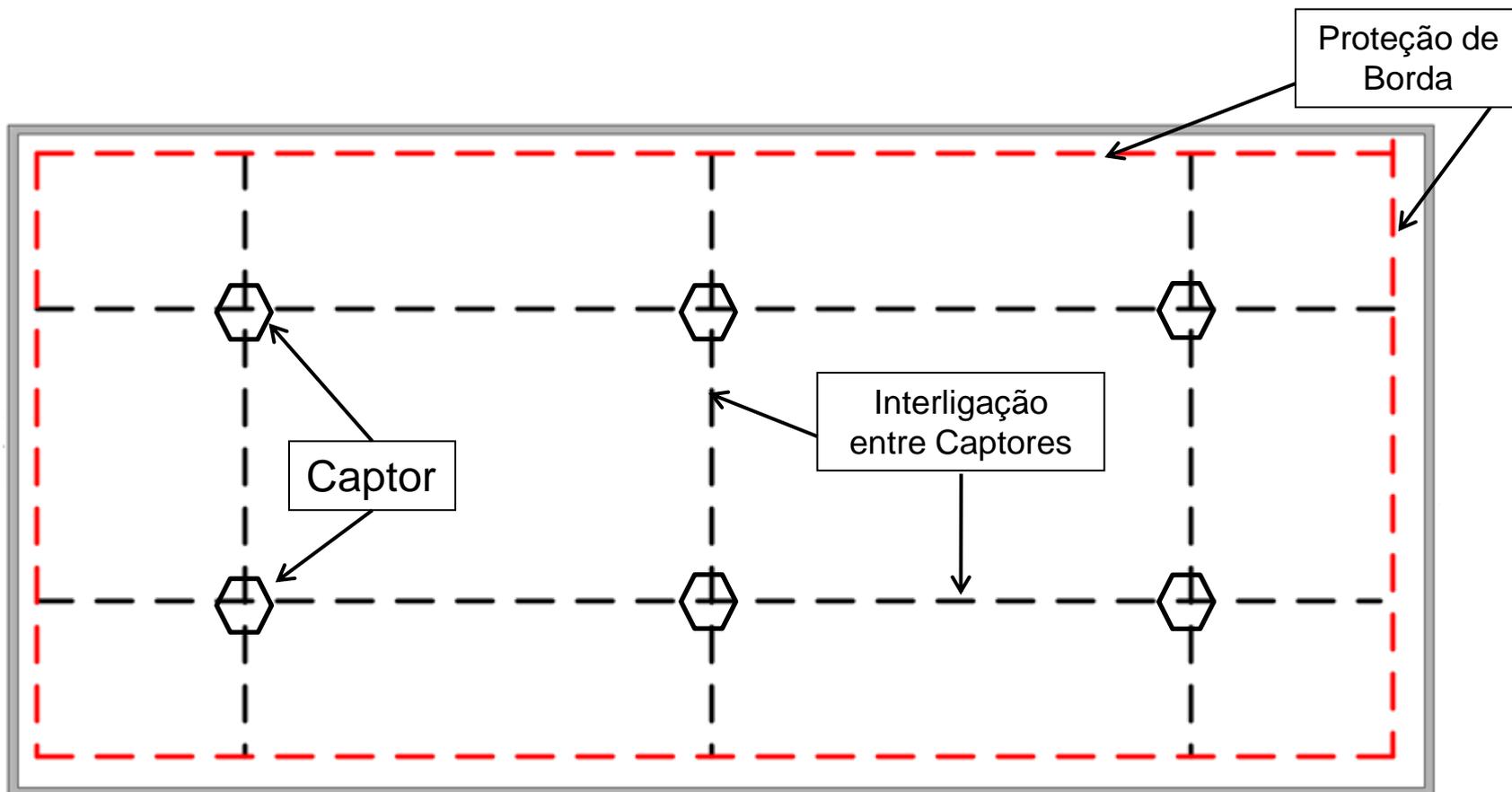


6 Captores



H(m)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	44
α (°)	77,2	75	72,3	70	68,6	66,4	64,3	62,8	61,4	54,3	48,6	42,1	37,1	32	27,1	23,6
Rp(m)	8,8	11,2	13	13,7	15,3	16	16,6	17,5	18,4	20,9	22,7	22,7	22,7	21,9	20,5	19,2

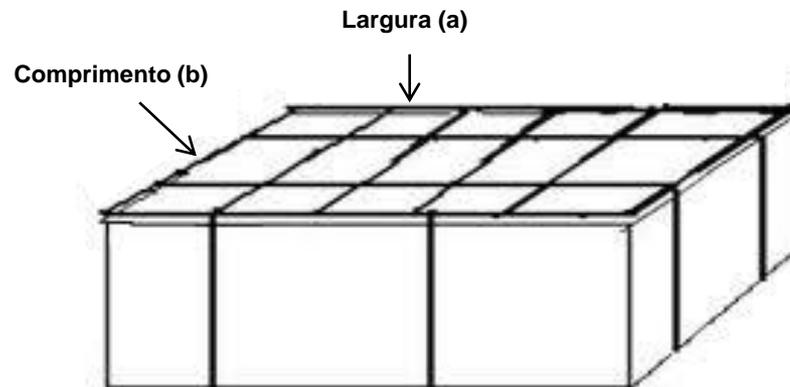
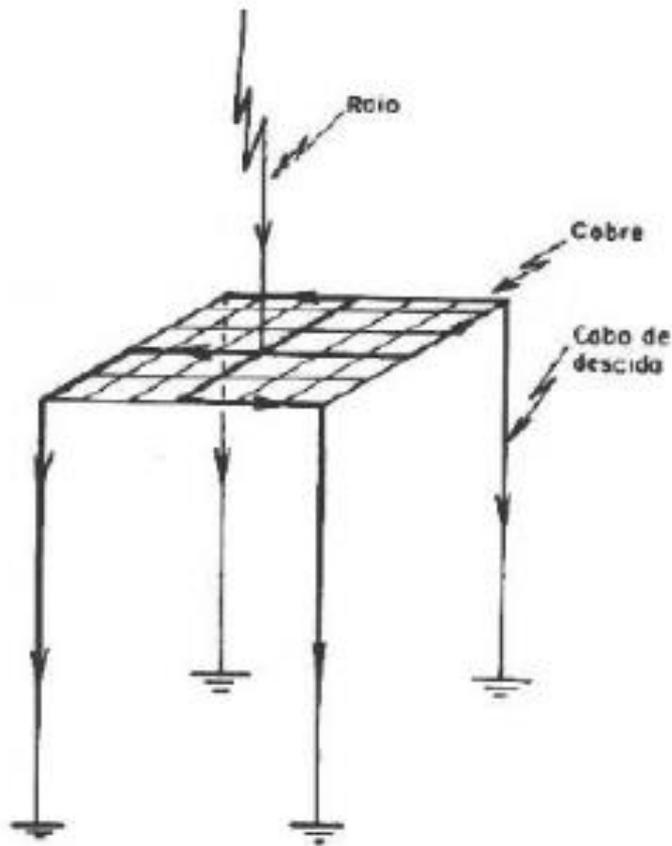
Solução para 6 captosres $H=7,0\text{m}$, $\alpha=66,4^\circ$ e $R_p=16,0\text{m}$:



- 6 mastros de 7,0m
- 5 cabos na largura da edificação
- 4 cabos no comprimento da edificação

Proteção de borda → edificações com altura >10m e posicionada a até 0,5m da borda

- Método das Malhas



Classe do SPDA	Máx. afastamento dos condutores da malha (m)
I	5x5
II	10x10
III	15x15
IV	20x20

$$N_{cl} = \frac{\text{Largura}}{a} + 1$$

$$N_{cc} = \frac{\text{Comprimento}}{b} + 1$$

Onde,

N_{cl} → quantidade de cabos na **largura da malha**

N_{cc} → quantidade de cabos no **comprimento da malha**

- Aplicação do Métodos das Malhas

- ❖ Telhados horizontais e inclinados sem curvatura;
- ❖ Proteção de superfícies laterais planas;

- Requisitos para instalação da malha protetora:

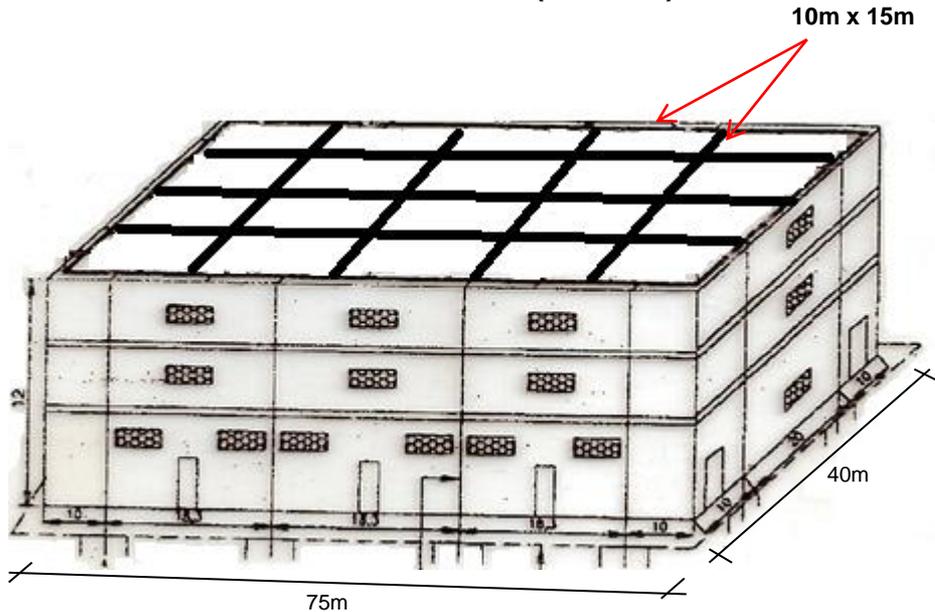
- Os condutores devem ser instalados: na periferia da cobertura da estrutura (proteção de borda); nas saliências da cobertura; e, na cumeeira do telhado, se o declive exceder $1/10$ (um de desnível por 10 de comprimento).

OBS.: sendo o declive maior que $1/10$, em vez de malha, podem ser utilizados condutores em paralelo (no sentido do declive), desde que a distância entre condutores não exceda a largura de malha exigida.

- As dimensões da malha não podem exceder os limites tabelados pela norma;
- O subsistema captor deve estar conectado a, no mínimo, 2 pontos distintos do subsistema de descidas;
- Instalações metálicas que não possam assumir condição de elemento captor devem estar dentro do volume protegido pelo subsistema captor;
- Os condutores da malha devem seguir o caminho mais curto e retilíneo possível.

- Projeto de Captação por Malha

Classe III → 15m x 15m (máximo)



- Exemplo de proteção de estrutura com 12 m de altura e classe de proteção III

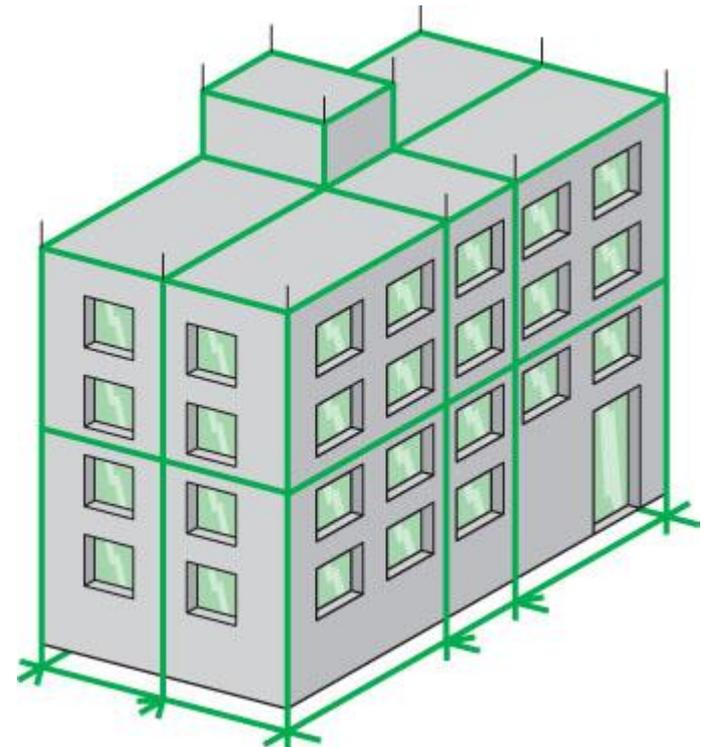
A quantidade de cabos em cada dimensão da malha, será:

$$N_{cl} = \frac{40}{10} + 1 = 5 \text{ cabos}$$

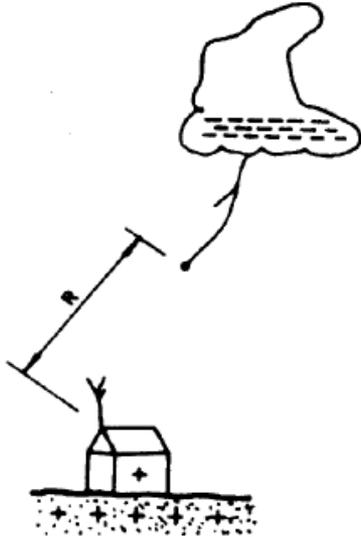
$$N_{cc} = \frac{75}{15} + 1 = 6 \text{ cabos}$$

Em virtude largura (40m) e comprimento (75m) da edificação serem, respectivamente, múltiplos de 10 e 15, se adotará:

Exemplo de Edificação com Captação em Malha



- Método da Esfera Rolante (Eletrogeométrico)



Classe do SPDA	Raio da Esfera Rolante – R (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

O comprimento R mostrado na Figura, representa a distância entre o ponto de partida do líder ascendente e a extremidade do líder descendente, é o parâmetro utilizado para o projeto do posicionamento dos captores no modelo eletrogeométrico, sendo que se pode calcular essa distância através do valor de crista máximo do primeiro raio negativo, em quilo amperes (kA).

$$d = k \times I^p$$

Esta equação foi elaborada pelo GT-33 da CIGRÉ – Conferência Internacional de Grandes Redes Elétricas de Alta Tensão. A ABNT NBR 5419 utiliza:

$k = 10$ e $p = 0,65$, então:

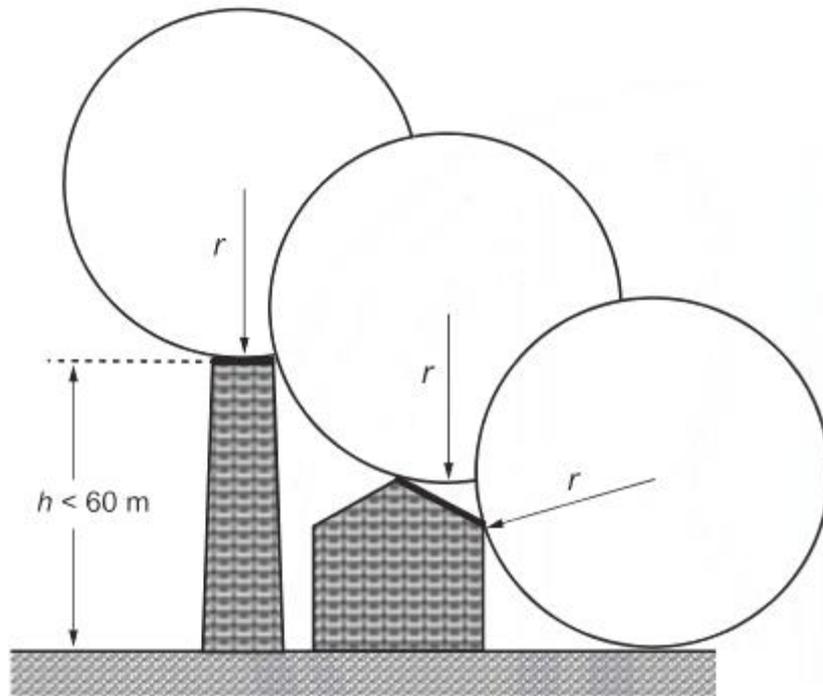
$$R = 10 \times I_{máx}^{0,65}$$

A equação demonstra que a distância de atração é função da intensidade de $I_{máx}$, de forma que durante a aproximação do líder descendente, a parte da estrutura ou o elemento que se encontrar com a distância menor que o raio tem a maior probabilidade de sofrer o impacto do raio.

Posicionamento do Subsistema Captor pelo Método da Esfera Rolante

O adequado posicionamento do subsistema captor ocorre se algum ponto da estrutura a proteger entrar em contato com a esfera, a qual deve ser rolada no topo e ao redor da estrutura em todas as direções possíveis.

- Altura da Edificação $\leq 60\text{m}$



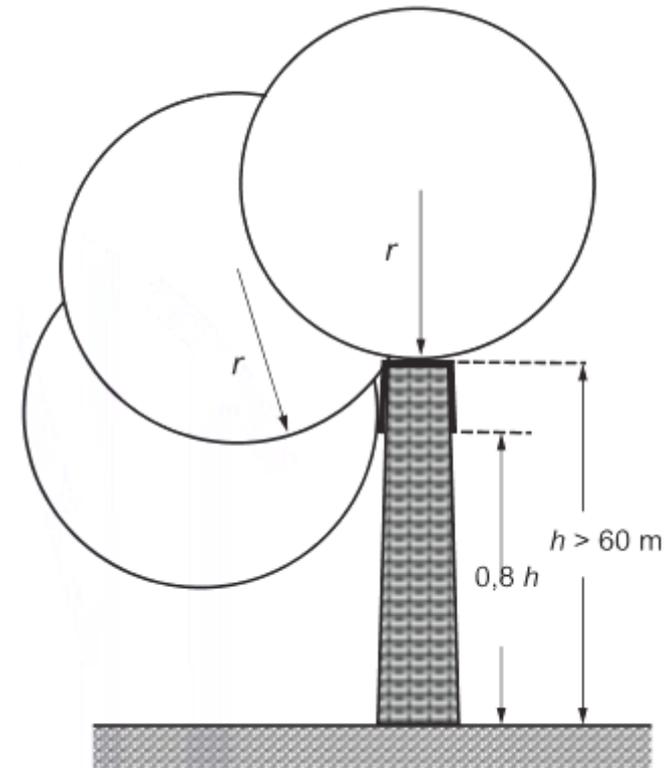
Legenda

— sistema de captação

r → raio da esfera rolante

Descargas laterais com probabilidade desprezível

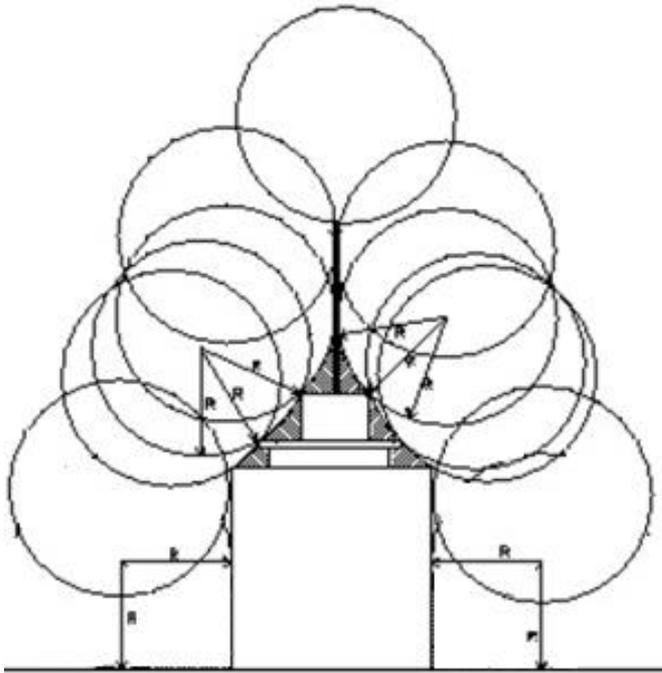
- Altura da Edificação $> 60\text{m}$



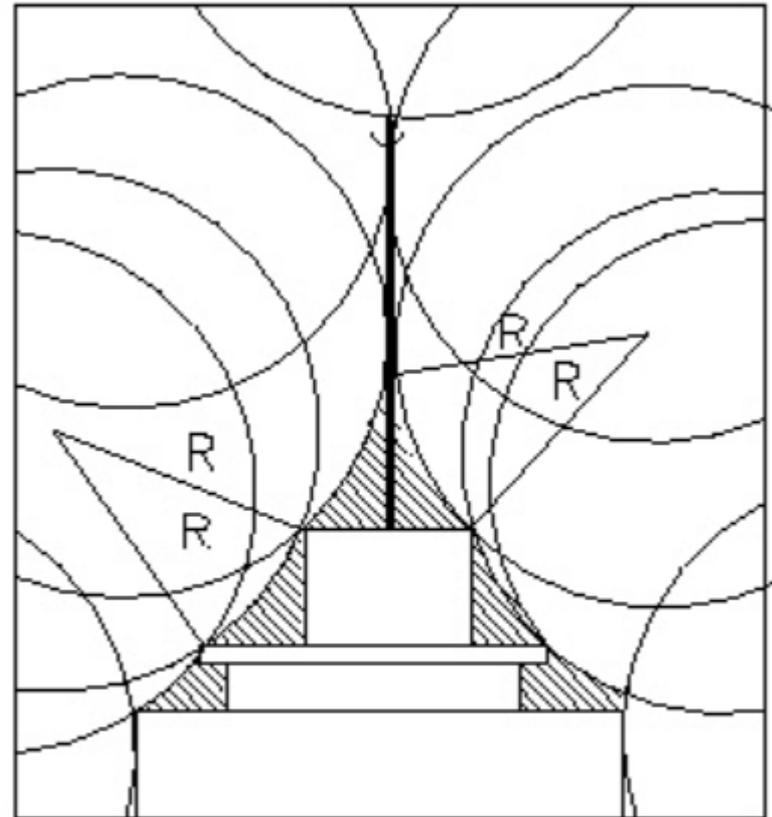
Aumento da probabilidade de descargas laterais, com a norma indicando 20% do topo da edificação.

Método da esfera rolante se aplica apenas para a parte superior da estrutura

Método da Esfera Rolante Aplicada a Edificações Altas



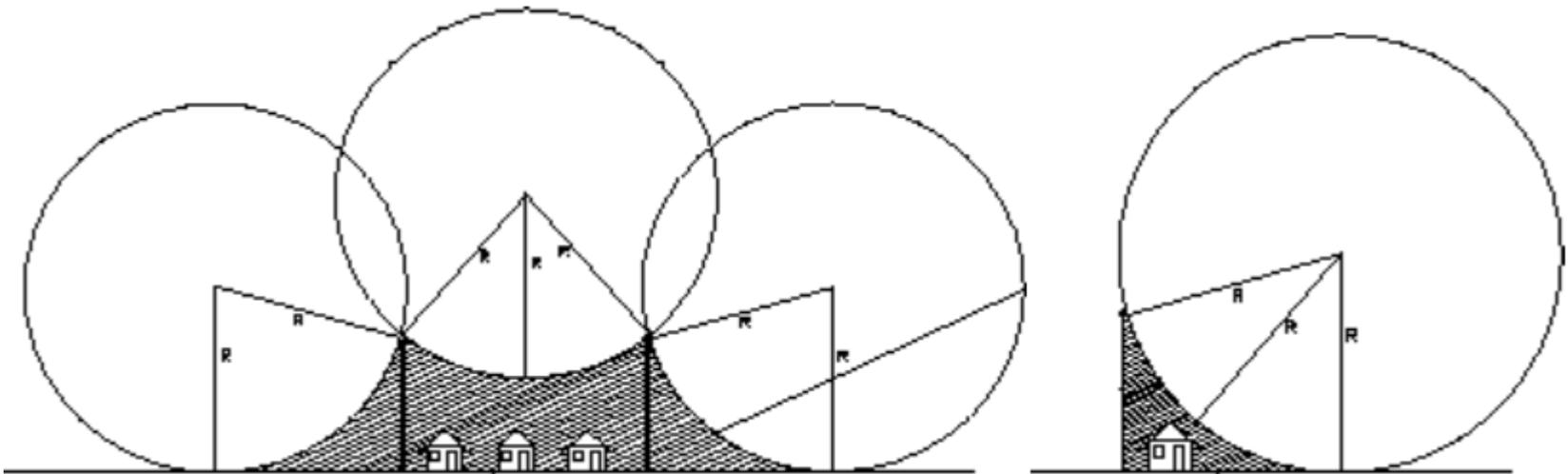
$H > 60m$



ZOOM DA CAPTAÇÃO

Presença de um captor Franklin para proteção da sinalização de altura

Método da Esfera Rolante Aplicada a Edificações Baixas



Fonte: Termotécnica Ind. e Com. Ltda.

- Descargas Laterais

Para estruturas com menos de 60m de altura, a norma reconhece a baixa probabilidade e indica que medidas de proteção podem ser desconsideradas.

Para edificações com altura superior a 60m, aumenta consideravelmente a probabilidade de ocorrência de descargas, especialmente em pontas, cantos e saliências significativas (varandas, marquises...).

As medidas de proteção requer subsistema de captação que atenda ao menos aos requisitos do nível IV, havendo ênfase na localização dos elementos da captação em cantos, quinas, bordas e saliências.

A captação lateral pode ser satisfeita pela presença de elementos metálicos externos (revestimento de metal ou fachada metálica), desde que atendam os requisitos mínimos da norma.

A captação lateral deve ser interligada ao subsistema de descida (cabos, estrutura metálica da fachada ou às armaduras de aço dos pilares)

- Componentes naturais

- ✓ Chapas metálicas cobrindo a estrutura a ser protegida, desde que:
 - Tenha continuidade elétrica entre as partes de forma duradoura (solda, caldeamento, frisamento, costurado, aparafusado ou conectado com parafuso e porca);
 - A espessura da chapa tenha espessura mínima segundo a tabela abaixo:

SPDA	Material	Espessura (mm) (prevenir perfuração, ponto quente e ignição)	Espessura (mm) (sem prevenir perfuração, ponto quente e ignição)
I a IV	Chumbo	-	2,0
	Aço (inoxidável ou galvanizado a quente)	4	0,5
	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	-	0,7

- ✓ Componentes metálicos da cobertura (treliças, ganchos de ancoragem, armadura de aço da estrutura, dentre outras, posicionadas abaixo de cobertura não metálica, desde que esta possa ser excluída do volume de proteção;
- ✓ Partes metálicas como grades, tubulações cobertura de parapeitos, dentre outras, que estejam instaladas de forma permanente (retirada desconfigura a estrutura) e que tenha a seção transversal mínima exigida pela norma para componentes captadores;
- ✓ Tubulações metálicas e tanques na cobertura, desde que atendam as especificações de espessura e seção transversal exigidas pela norma;
- ✓ Tubulações metálicas e tanques contendo material explosivo ou prontamente combustível, desde que atendam à espessura mínima exigida pela norma (tabela anterior) e que a elevação de temperatura da superfície interna no ponto de impacto não constitua alto grau de risco (Anexo D, da norma). Se as condições não forem atendidas, as tubulações e tanques devem ficar dentro do volume de proteção.

OBS.: tubulações contendo mistura explosiva ou prontamente combustível não podem ser considerados um componente captador se a gaxeta do acoplamento dos flanges não forem metálicos ou se os lados dos flanges não forem apropriadamente equipotencializados.

SUBSISTEMA DESCIDAS

- SPDA Não Isolado

$$ND = \frac{P}{d}$$

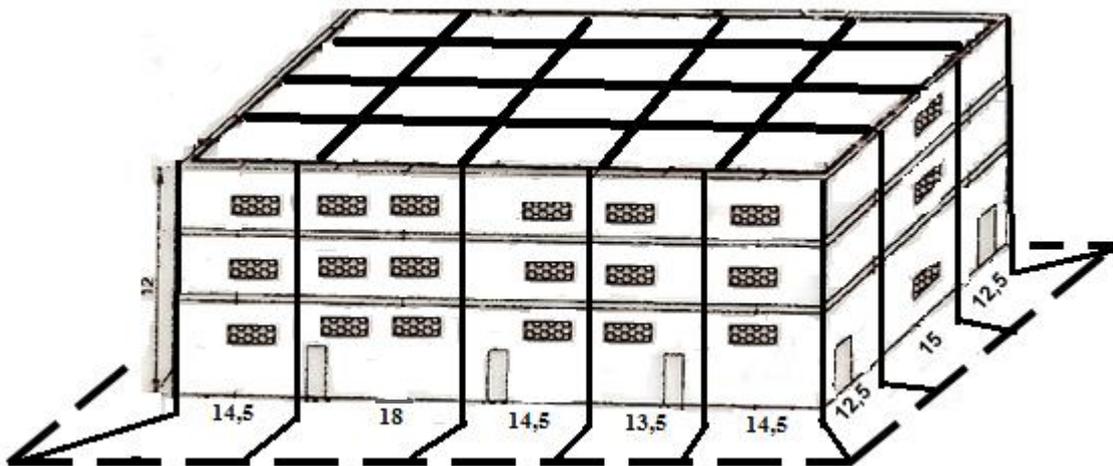
Onde,
ND → Número de Descidas
P → Perímetro da edificação
d → Espaçamento médio entre descidas

NOTAS

- 1 Os condutores de descidas devem prover diversos caminhos paralelos para escoar a corrente de descarga, terem o menor comprimento possível e a equipotencialização com partes condutoras deve obedecer ao item 6.2, desta norma;
- 2 Um condutor de descida deve ser instalado, preferencialmente, em cada canto saliente da estrutura, espaçando os demais condutores o mais uniforme possível ao redor do perímetro.
- 3 Deverá haver uma equipotencialização (anéis horizontais) das descidas não naturais, ao nível do solo, e em intervalos de altura conforme a Tabela supra indicada. A equipotencialização é normalmente atendida quando da existência de estruturas metálicas e em estruturas de concreto armado, nas quais a interconexão do aço provem continuidade elétrica.

SPDA	Distâncias (m) (descidas e anéis de equipotencialização)
I e II	10
III	15
IV	20

É aceitável, para descidas, um acréscimo máximo de 20% sobre os espaçamentos definidos acima.



$$P = 2 \times 75 + 2 \times 40 = 230m$$

$$\text{SPDA Classe III} \rightarrow d=15m$$

$$ND = \frac{230}{15} = 15,3 \Rightarrow 16 \text{ descidas}$$

Para descida não natural deve haver um conector interligando a descida ao sistema de aterramento. Ver item 5.3.6 da norma.

- Utilização de elementos naturais como descida

As seguintes partes da estrutura podem ser utilizadas como descidas naturais:

- ✓ Instalações metálicas, desde que a continuidade elétrica seja garantida entre as partes (vide item 5.5.2, da norma) e, que as dimensões sejam, no mínimo, iguais ao especificado pela Tabela 6, da norma. Observando que tubulações contendo misturas inflamáveis/explosivas, somente poderão ser utilizadas se as gaxetas nos acoplamentos dos flanges forem metálico, e adequadamente conectados;
- ✓ Armaduras das estruturas de concreto armado eletricamente contínuas, sendo que para as estruturas pré-fabricadas, deve haver **pontos de interconexão**, para a ligação, no campo (obra), entre as partes individuais; já para concreto protendido, estudos sobre o risco de danos mecânicos e corrosão, além de consulta ao fabricante, são indispensáveis para validar a utilização; Neste caso, anéis intermediários de equipotencialização não são necessários
- ✓ Vigamento de aço interconectado da estrutura.
- ✓ Para armaduras e vigamentos, anéis intermediários de equipotencialização não são necessários;
- ✓ Elementos de fachada, perfis e subconstruções metálicas das fachadas, desde que atendam as dimensões mínima para condutores de descidas, sendo que para folhas e/ou tubulações metálicas as espessuras não sejam inferiores àquelas indicadas quando não há preocupação com perfuração, pontos quentes e ignição

Em termos de número de descidas, utilizando-se descidas naturais, a norma indica (item F.4-NBR5419-3/15) que se calcula a quantidade de descidas do mesmo modo que para descidas não naturais. E, ainda, que se o número de pilares permitir, deve-se, preferencialmente, se utilizar o dobro do valor calculado.

Subsistema de Aterramento

Uma única infraestrutura de aterramento deve ser utilizada envolvendo SPDA, sistemas de energia elétrica e de sinal.

- Arranjos para a infraestrutura de aterramento

1- Armadura de aço das fundações de concreto, ou outra estrutura metálica subterrânea, desde que com continuidade elétrica garantida;

2- Malha de aterramento, sendo necessária ações preventivas contra tensões superficiais perigosas (seção 8 da norma)

3- Anel condutor, externo à estrutura a ser protegida, em contato com o solo por, pelo menos, 80% de seu comprimento; ou, elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da fundação (sapatas). Em qualquer dos caso, a continuidade elétrica deve ser garantida.

Obs.: eletrodos adicionais (verticais [haste], horizontais ou inclinados [cabos]) quando necessário, podem ser conectados ao eletrodo em anel, dando preferência para serem localizados o mais próximo possível dos pontos de conexão com os condutores de descidas.

O eletrodo em anel deve ser enterrado a, no mínimo, 0,5m de profundidade e ficar aproximadamente a 1,0m das paredes externas da edificação a ser protegida. Na impossibilidade do anel ser externo, o mesmo pode ser interno, porém, ações contra tensões superficiais devem ser tomadas (item 8 da norma).

A Tabela 5, da norma, apresenta as condições em que se pode empregar os materiais disponíveis para implantar um SPDA.

Tabela 5 – Materiais para SPDA e condições de utilização

Material	Utilização				Corrosão		
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumentado por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico
Cobre	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Não permitido	Boa em muitos ambientes	Compostos sulfurados Materiais orgânicos Altos conteúdos de cloretos	–
Aço galvanizado a quente	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos	Cobre
Aço inoxidável	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Bom em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos	–
Aço revestido por cobre	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Não permitido	Bom em muitos ambientes	Compostos sulfurados	–
Alumínio	Maciço Encordoado	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Bom em atmosferas contendo baixas concentrações de sulfurados e cloretos	Soluções alcalinas	Cobre

NOTA 1 Esta tabela fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.

NOTA 2 Condutores encordoados são mais vulneráveis à corrosão do que condutores sólidos. Condutores encordoados são também vulneráveis quando eles entram ou saem nas posições concreto/terra.

NOTA 3 Aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.

Dimensionamento dos Subsistemas Captor e Descida

A Tabela 6, da norma, estabelece as dimensões mínimas para os componentes dos subsistemas captor e descida.

Tabela 6 – Material, configuração e área de seção mínima dos condutores de captação, hastes captoras e condutores de descidas

Material	Configuração	Área da seção mínima mm ²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30 % ^e	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64 %	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente ^a	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável ^c	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm

^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme ABNT NBR 6323 [1].

^b Aplicável somente a minicaptoras. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo, força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.

^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.

^d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos, sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.

^e A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).

NOTA 1 Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo é importante que as prescrições da Tabela 7 sejam atendidas.

NOTA 2 Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Tabela 7 – Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado ^c	–	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	–	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	–	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço ^{a, b}	16 mm	Diâmetro 10 mm	–
	Tubo ^{a b}	25 mm	–	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça ^a	–	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordoado	–	70 mm ²	–
Aço cobreado	Arredondado Maciço ^d Encordoado ^g	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável ^e	Arredondado maciço	15 mm	Diâmetro 10 mm	Espessura mínima 2 mm
	Fita maciça		100 mm ²	

^a O recobrimento a quente (fogo) deve ser conforme a ABNT NBR 6323 [1].

^b Aplicável somente a mini captotes. Para aplicações onde esforços mecânicos, por exemplo: força do vento, não forem críticos, é permitida a utilização de elementos com diâmetro mínimo de 10 mm e comprimento máximo de 1 m.

^c Composição mínima AISI 304 ou composto por: cromo 16 %, níquel 8 %, carbono 0,07 %.

^d Espessura, comprimento e diâmetro indicados na tabela refere-se aos valores mínimos sendo admitida uma tolerância de 5 %, exceto para o diâmetro dos fios das cordoalhas cuja tolerância é de 2 %.

^e Sempre que os condutores desta tabela estiverem em contato direto com o solo devem atender as prescrições desta tabela.

^f A cordoalha cobreada deve ter uma condutividade mínima de 30 % IACS (*International Annealed Copper Standard*).

^g Esta tabela não se aplica aos materiais utilizados como elementos naturais de um SPDA.

Isolação elétrica do SPDA Externo

Os subsistemas de captação e descida devem estar isolados eletricamente das partes metálicas, instalações metálicas e sistemas internos. Isto pode ser obtido pela observação de uma distância “d”, entre as partes, superior à distância de segurança “s”, dada pela fórmula:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \quad , \text{ onde:}$$

$k_i \Rightarrow$ depende do nível de proteção do SPDA (tab. 10)

$k_c \Rightarrow$ depende da corrente pelos condutores descida (Tab. 12 e Anexo C)

$k_m \Rightarrow$ depende do material isolante (Tab. 11)

$l \Rightarrow$ comprimento (m), ao longo do subsistema captação ou de descida, desde o ponto onde a distância de segurança deve ser considerada até a equipotencialização mais próxima

Se a captação é feita através do uso de telhado metálico, então, l pode ser desprezado.

Para a determinação de K_c deve-se observar o Anexo C, da norma. Contudo, a norma indica uma simplificação através do uso da Tabela 12.

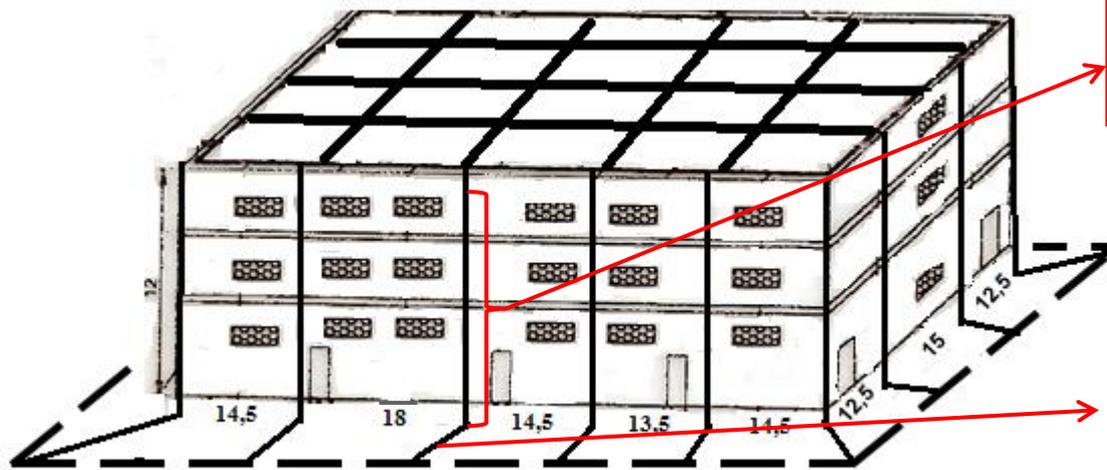
Tabela 10 – Valor de k_i	
Nível do SPDA	K_i
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Tabela 11 – Valor de k_m	
Material	K_m
Ar	1,0
Concreto ou tijolo	0,5

Tabela 12 – Valor de k_c	
Número de Descidas (n)	K_c
1 (somente SPDA isolado)	1
2	0,66
3 ou mais	0,44

Exemplo de cálculo de distância de segurança

Supondo para a estrutura abaixo, que as janelas fosse de estrutura metálica, tipo alumínio. Então, sendo os condutores de descida de cobre, há que se calcular a distância de segurança para a isolação elétrica entre as partes. O pior caso será o das janelas do 3º. Piso, pois, são as mais distantes da equipotencialização provida pelo eletrodo de aterramento.



X = Comprimento do condutor de descida desde a parte superior da janela até o ponto em que toca o nível da calçada

Y = comprimento do condutor de descida desde o ponto que toca o nível da calçada até a conexão com o eletrodo de aterramento que, pela norma, deverá ter profundidade mínima de 0,5m e afastamento mínimo de 1,0m da edificação.

Eletrodo de aterramento em anel

Para o exemplo, vamos supor: $X=9,5m$ e $Y=1,8m$. Portanto: $l = X + Y = 9,5 + 1,8 = 11,3m$

Obtendo as constantes para SPDA nível III, isolamento Ar e mais de 3 descidas:

- $k_i = 0,04$
- $k_m = 1,0$
- $k_c = 0,44$

Substituindo na fórmula, obtemos: $s = \frac{0,04}{1,0} \times 0,44 \times 11,3 = 0,2m$

Assim, assumindo uma distância (d) de 25cm entre condutores e janelas, já se estará garantindo a isolação elétrica entre as partes.

- Medidas de proteção contra tensões de toque

Sob certas condições, a proximidade dos condutores de descidas de um SPDA externo, pode trazer risco à vida mesmo que tenha sido projetado e executado conforme a norma.

Os riscos são reduzidos a níveis toleráveis se uma das condições for alcançada:

- A probabilidade da aproximação de pessoas, ou a duração da permanência delas fora da estrutura e próximas aos condutores de descida, for baixa;
- Se houve ao menos 10 caminhos naturais de descidas interconectados conforme 5.3.5;
- A resistividade da camada superficial do solo, até 3m de distância dos condutores for igual ou superior a $100\text{k}\Omega\cdot\text{m}$.

Esta resistividade que trata a Norma, pode ser obtida com uma camada de 5cm de asfalto ou 20cm de brita.

Se nenhuma das condições acima for preenchida, então deve-se adotar uma das seguintes medidas:

- ✓ A isolação dos condutores de descidas expostos deve ser de material que suporte tensão de ensaio de 100kV (1,2/50 μ s). Tipicamente, 3mm de XLPE;
- ✓ Restrição física (barreiras) ou sinalização de alerta para os condutores não serem tocados.

- Medidas de proteção contra tensões de passo

Basicamente, os riscos são reduzidos se uma das condições apresentadas para tensões de toque forem preenchidas.

Se nenhuma das condições for alcançada, então deve-se proceder:

- ❖ Imposição de barreiras físicas ou sinalização de alerta para minimizar a probabilidade de acesso à área perigosa, até 3m dos condutores;
- ❖ Construção de eletrodo de aterramento reticulado complementar no entorno do condutor de descida.





Sistema de Barra de Reforço (Reinforcing Bar – Re-Bar)



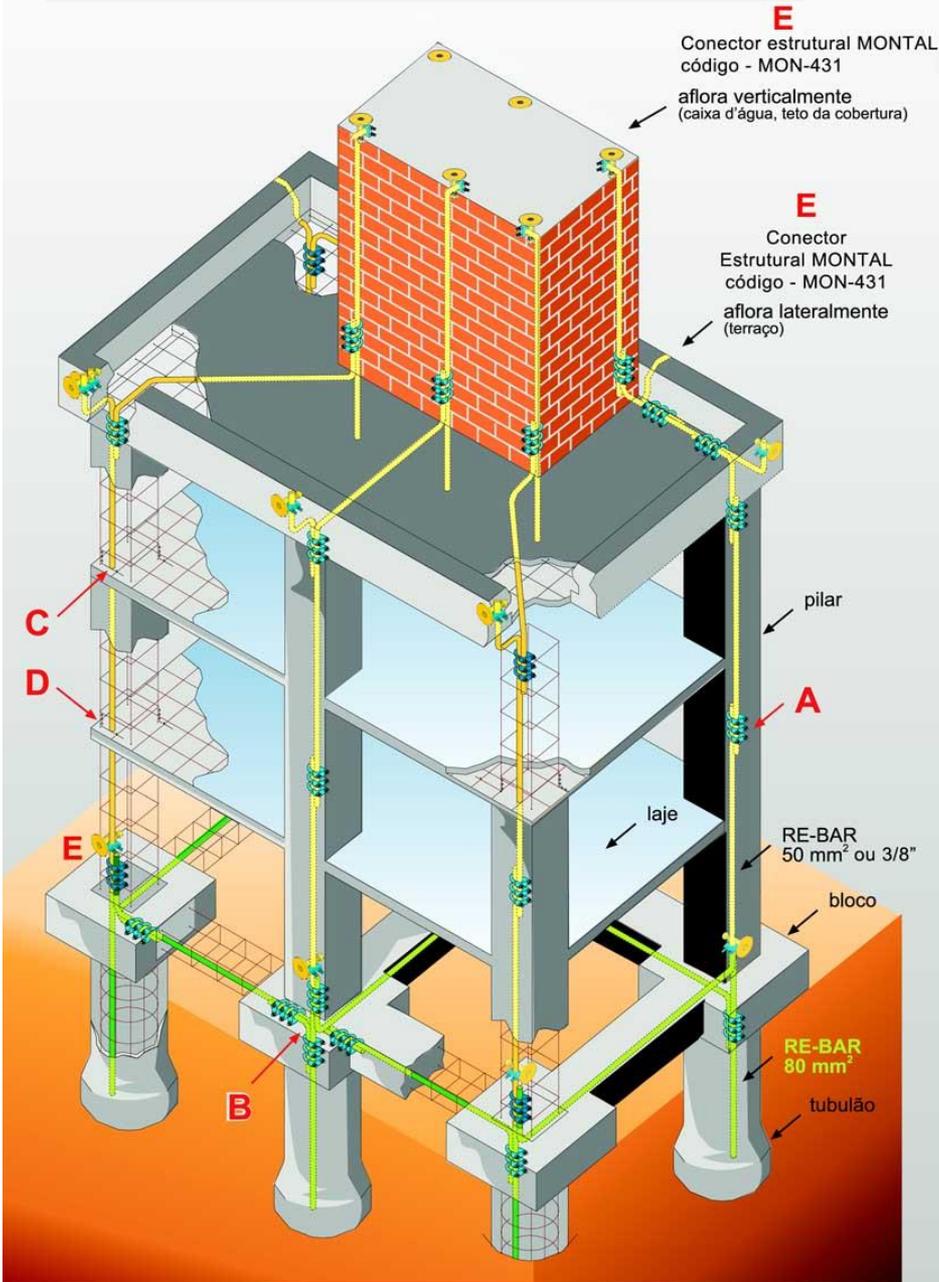
Interligação
barra vertical
c/ horizontal.

MON T A L



RE-BAR

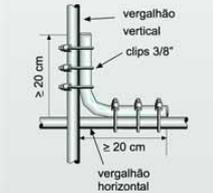




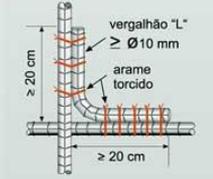
A
Conexão entre vergalhões RE-BAR:
Amarrar com arame o vergalhão
vertical à todos estribos.



B
Conexão entre vergalhão vertical
(pilar) e vergalhão horizontal (viga
baldrame)



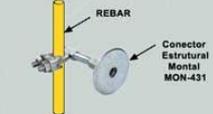
C
Conexões entre ferragens do pilar
viga/laje/bloco: Interligar 50% das
barras verticais, ou seja uma sim,
outra não ... (ver detalhe "D")



D
A conexão alternada entre ferragens
do pilar e laje/viga deverá ser feita em
todas as lajes.



E
Conector estrutural interligando es-
trutura e parte externa do SPDA:
Captação, massas metálicas,
pontos de medição, etc.



FLANGES E ANEL/JUNTA DE VEDAÇÃO

TUBULAÇÃO METÁLICA



ANEL/JUNTA DE VEDAÇÃO



TUBULAÇÃO PLÁSTICA



TUBULAÇÃO PARA GÁS



RETORNO