

Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas SPDA

NBR 5419-3:2015

Danos Físicos a Estrutura e Perigos à Vida

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:

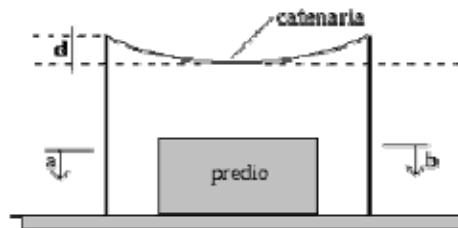
- a) Hastes/mastros;
- b) Condutores suspensos;
- c) Condutores em malha;
- d) Elementos naturais.

Franklin

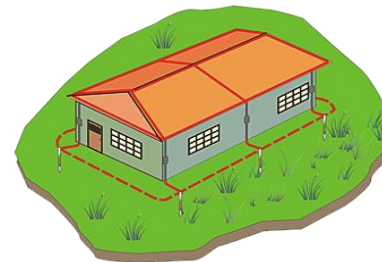


Fonte: www.google.com.br/imagens

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.

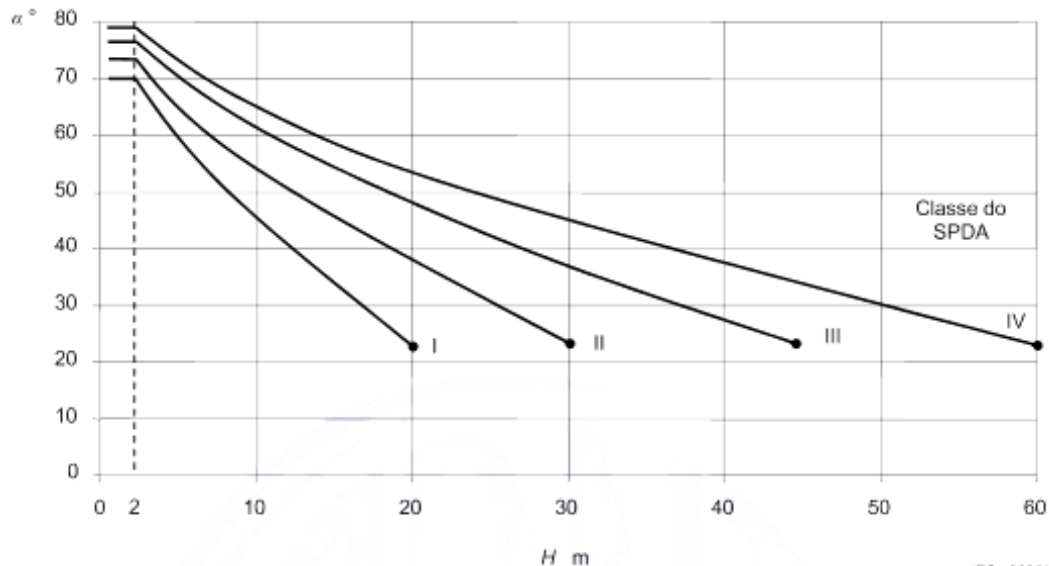
- Posicionamento

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.

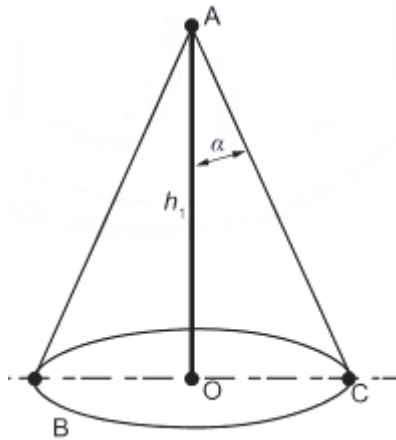
- Para $H < 2\text{m}$ o ângulo de proteção não se altera.

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

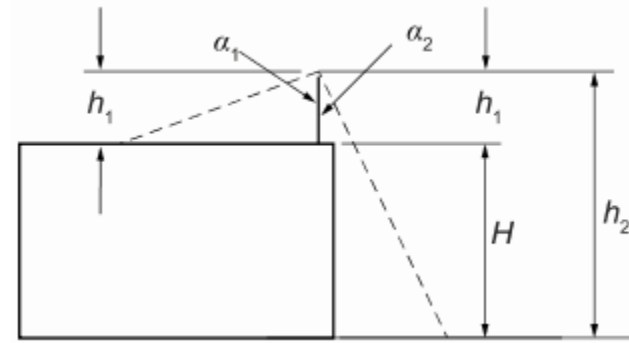
A tabela abaixo indica os valores do raio da esfera rolante e o tamanho da malha para cada classe de proteção:

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

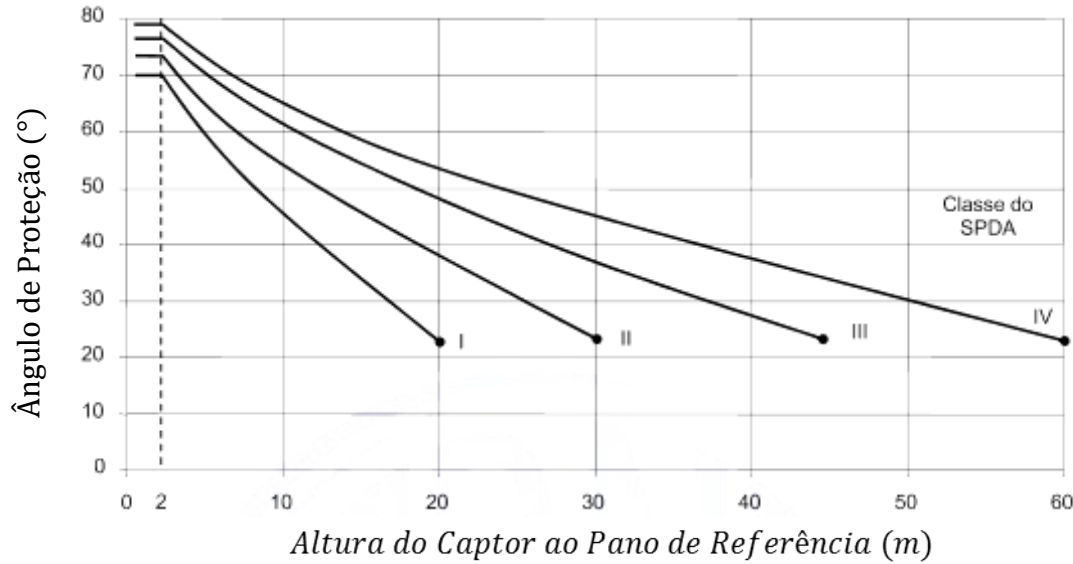


Volume de Proteção

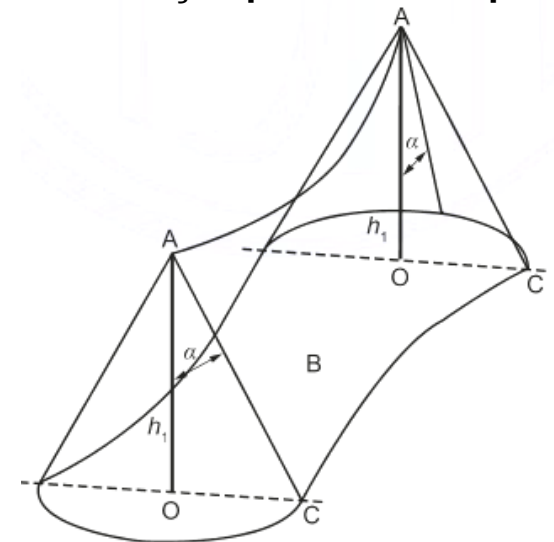


$$\alpha_1 \Rightarrow h_1$$

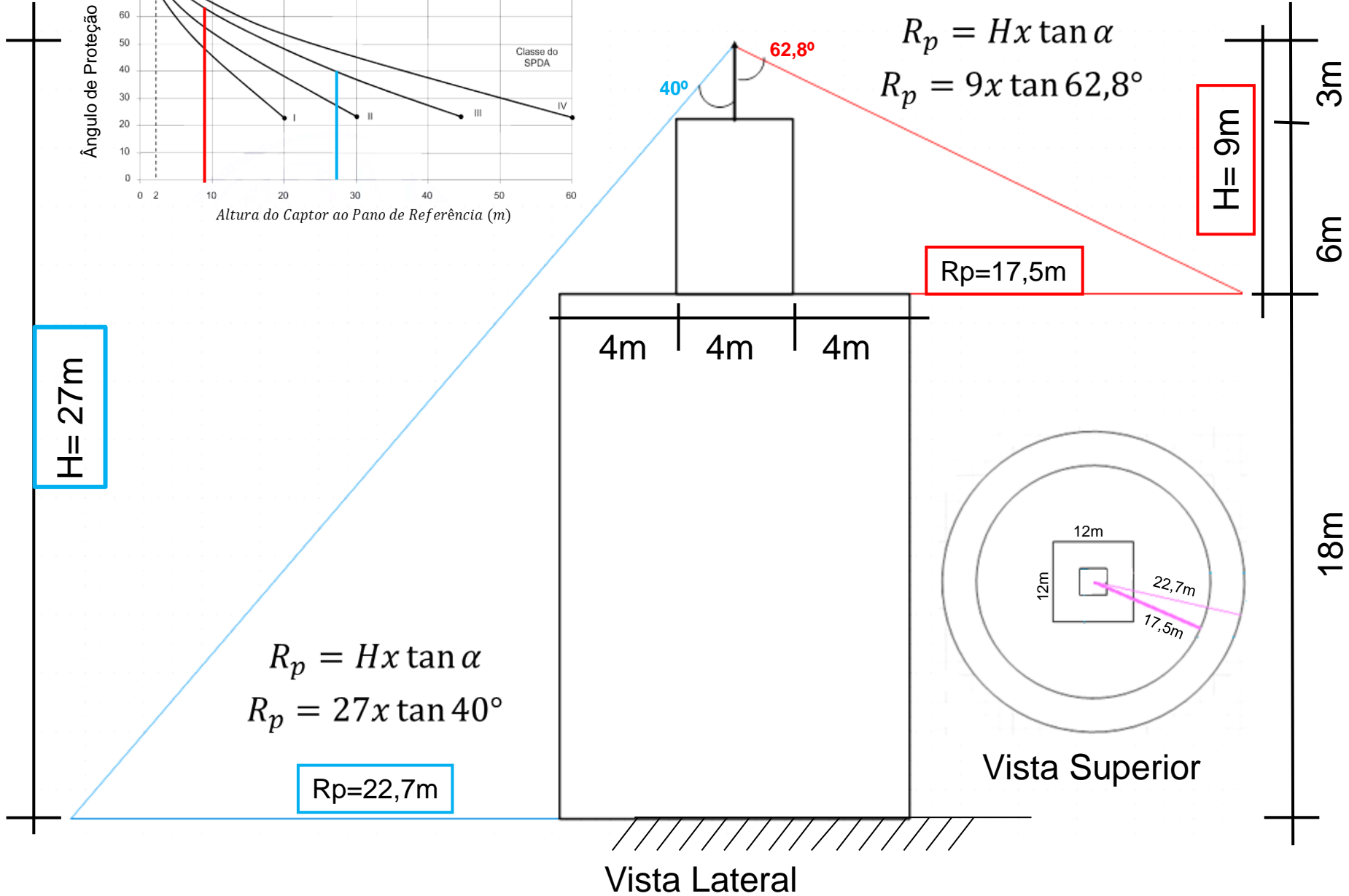
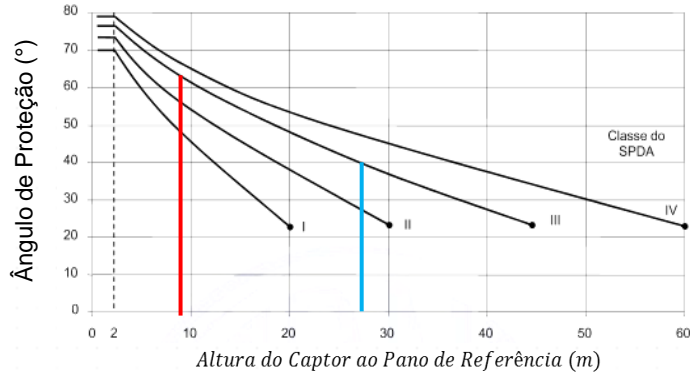
$$\alpha_2 \Rightarrow h_2 = H + h_1$$



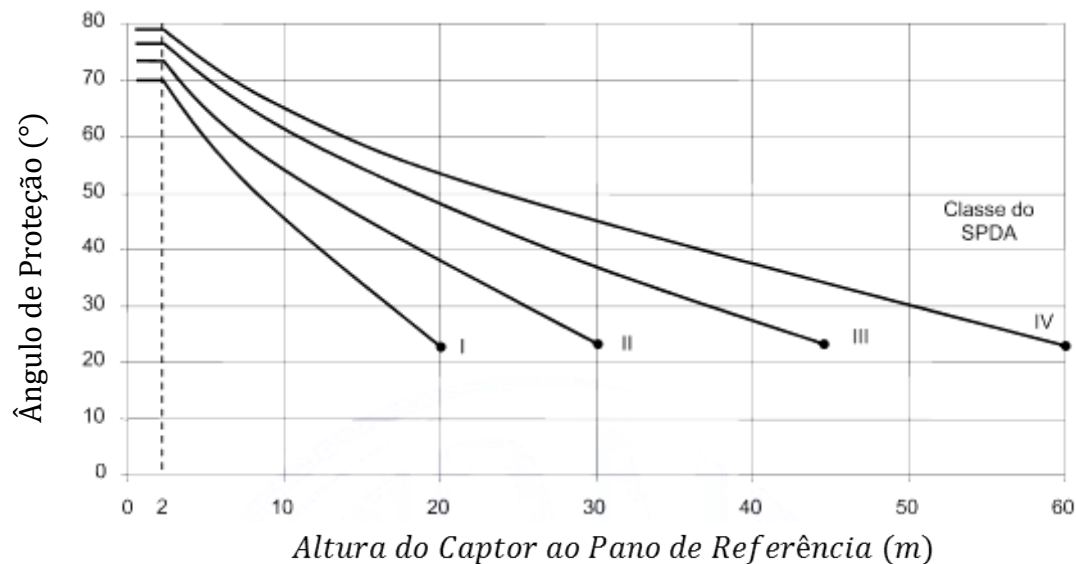
Volume de Proteção por Cabo Suspenso



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).

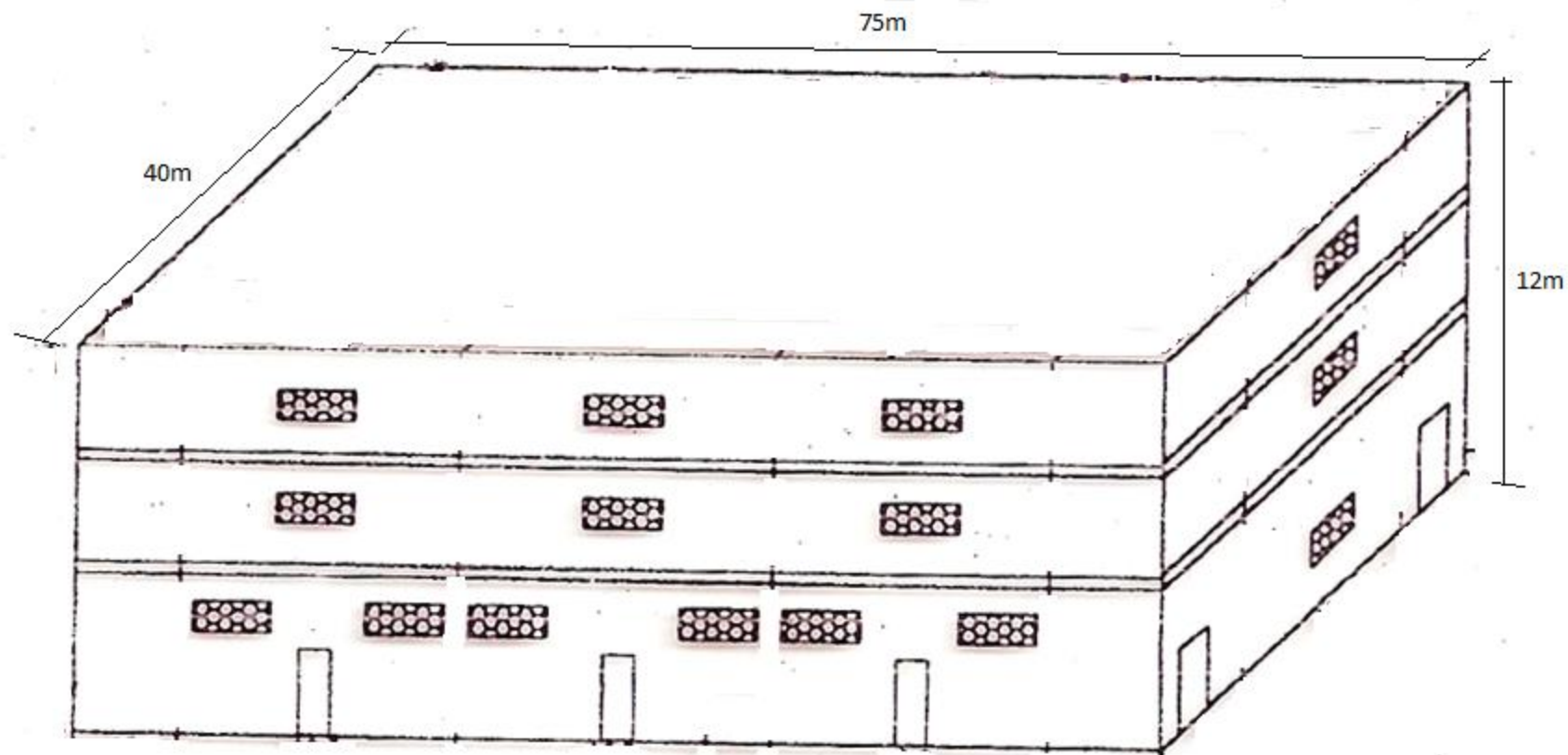


H(m)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	44
α (°)	77,2	75	72,3	70	68,6	66,4	64,3	62,8	61,4	54,3	48,6	42,1	37,1	32	27,1	23,6
Rp (m)	8,8	11,2	13	13,7	15,3	16	16,6	17,5	18,4	20,9	22,7	22,7	22,7	21,9	20,5	19,2

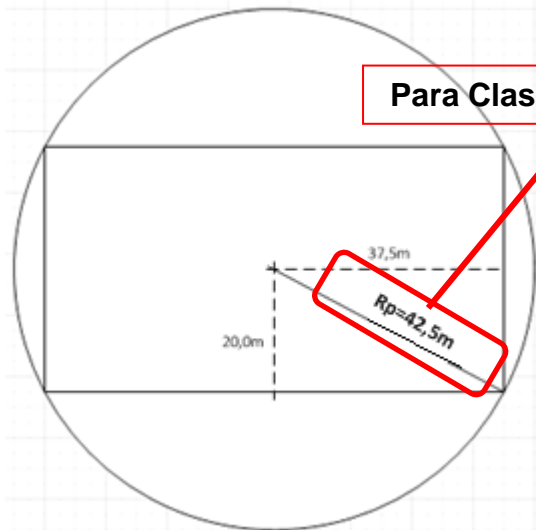
Analisando a tabela, observa-se que o Raio de Proteção, para Classe III, tem um valor mínimo em 8,8m e um valor máximo de 22,7m.

Galpão Industrial

Classe de Proteção III

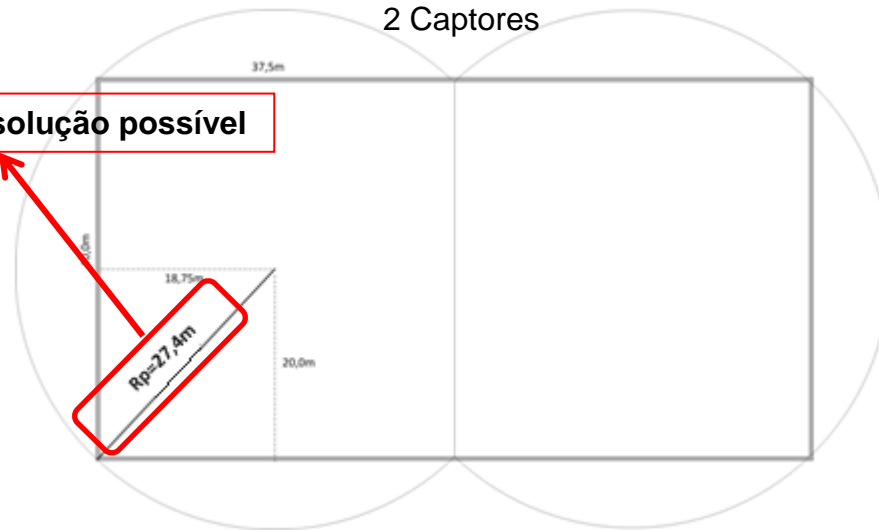


1 Captor

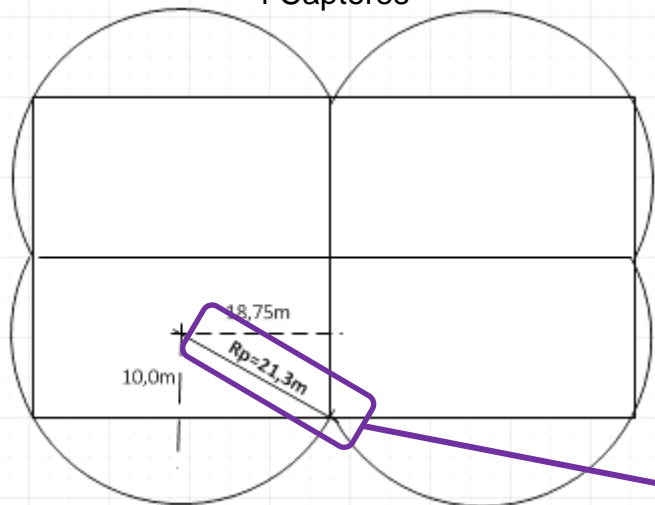


Para Classe III não há solução possível

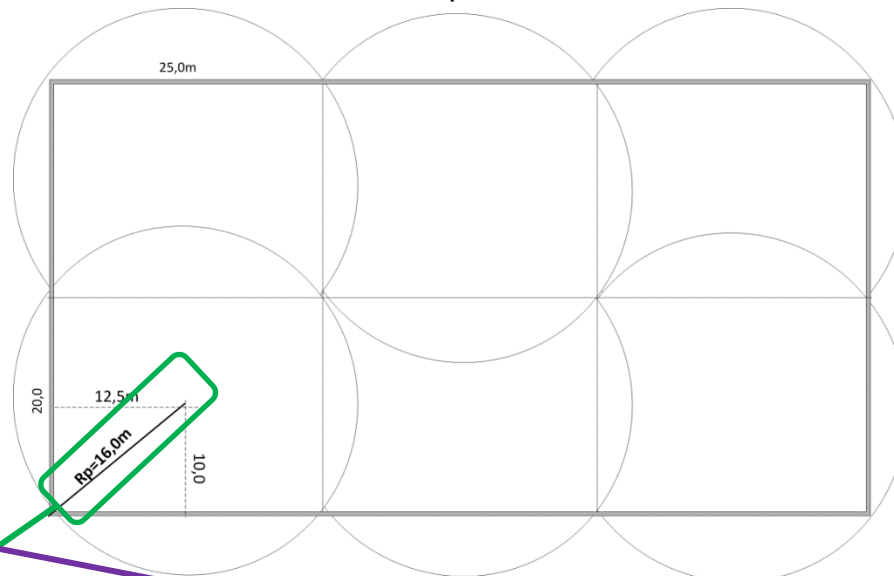
2 Captores



4 Captores

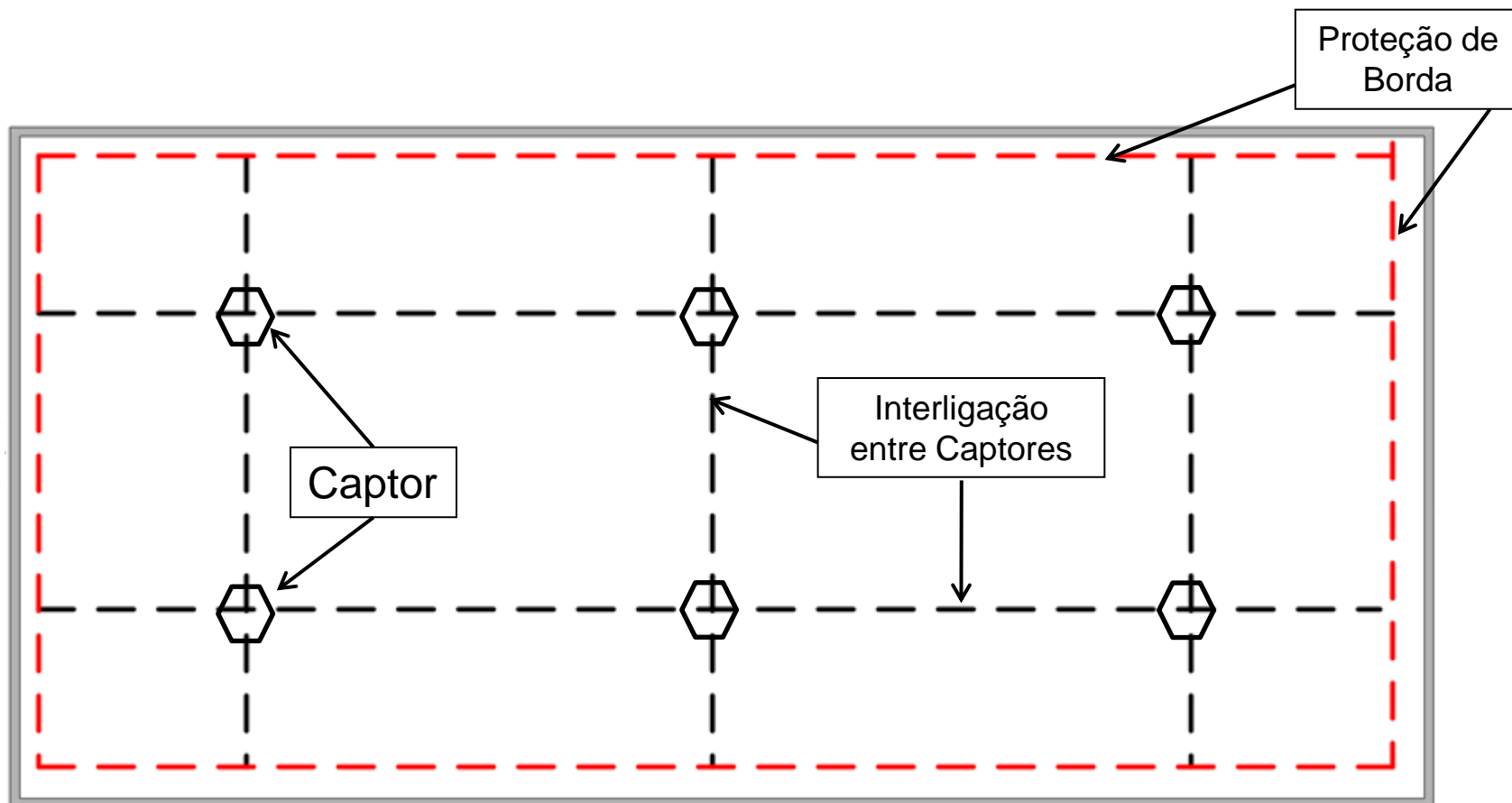


6 Captores



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

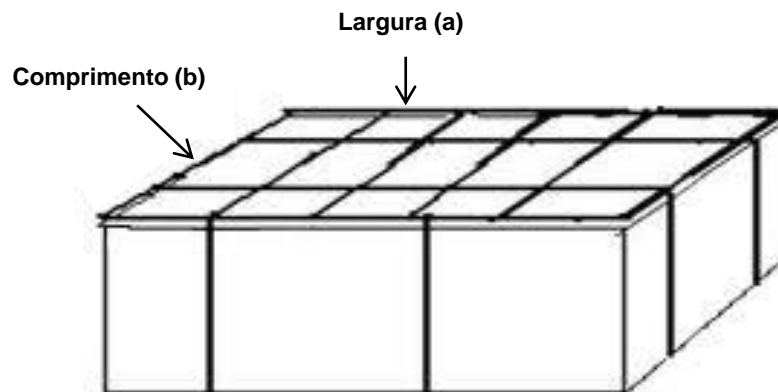
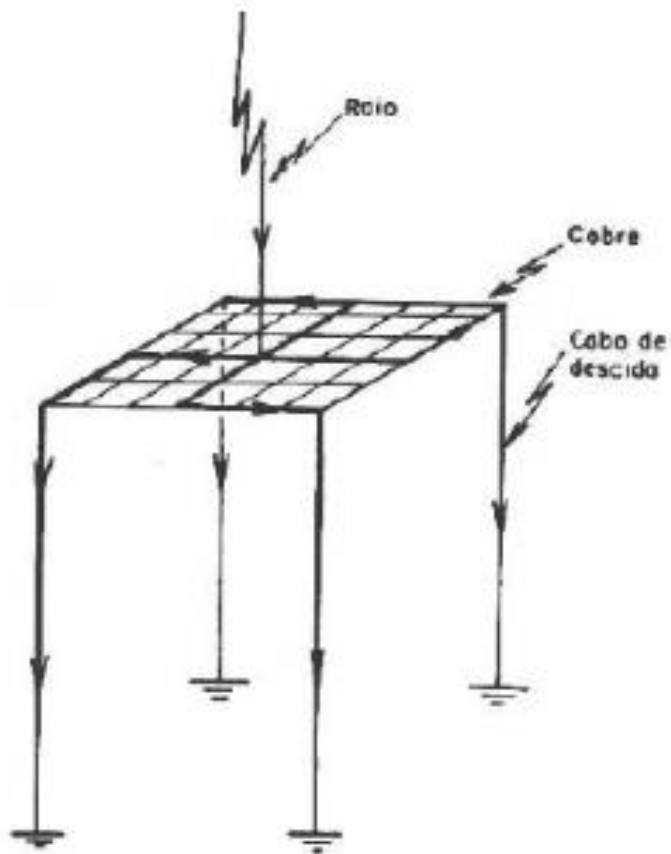
Solução para 6 captosres $H=7,0m$, $\alpha=66,4^\circ$ e $R_p=16,0m$:



- 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

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

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

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;

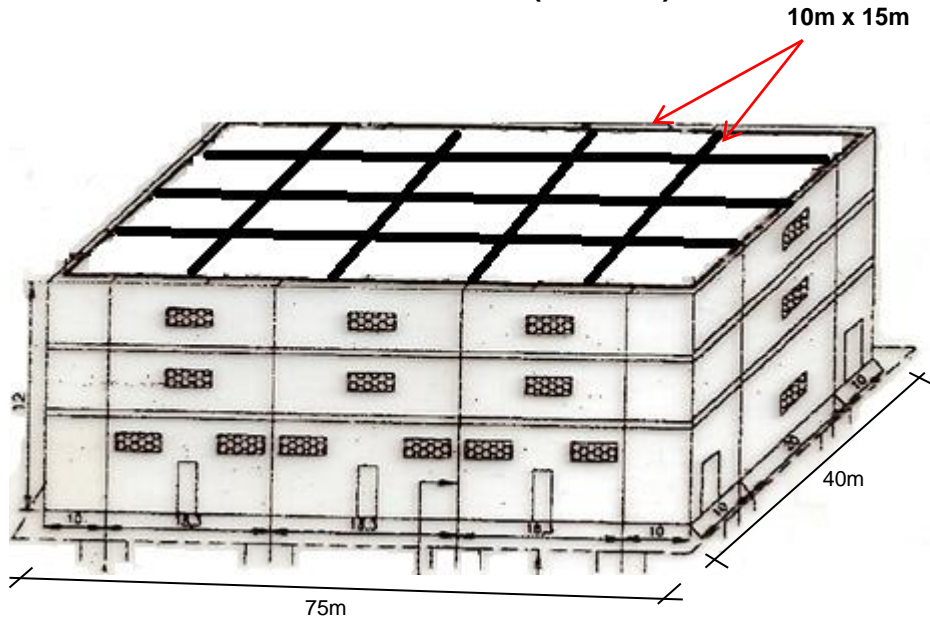
- O subsistema captor deve estar conectado a, no mínimo, 2 pontos distintos do subsistema de descidas;

- 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

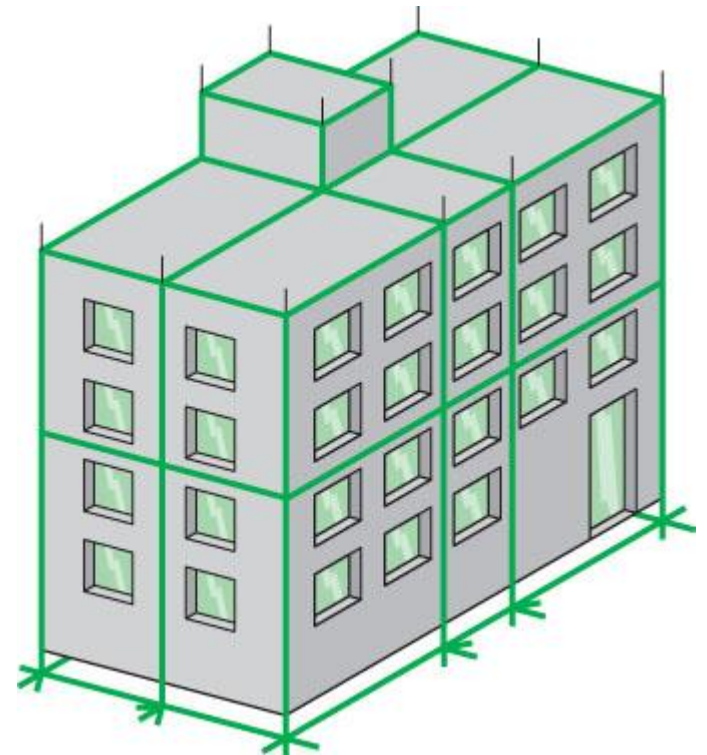
A quantidade de cabos em cada dimensão da malha, será:

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

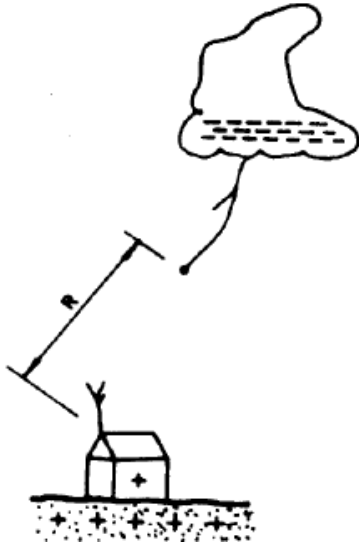
$$N_{cc} = \frac{75}{15} + 1 = 6 \text{ cabos}$$

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).

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

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:

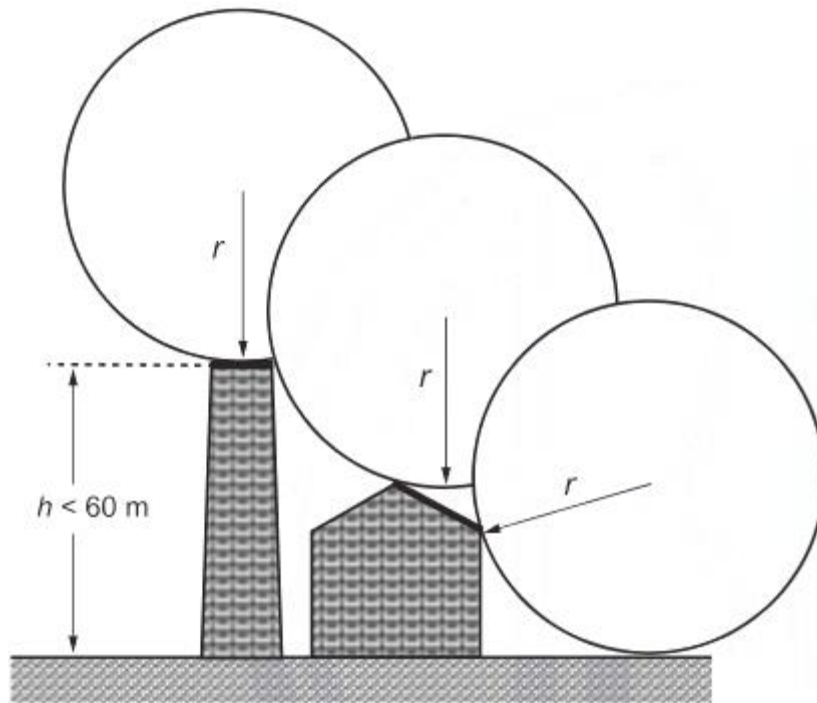
$$R = 10 \times I_{m\acute{a}x}^{0,65}$$

A equação demonstra que a distância de atração é função da intensidade de $I_{m\acute{a}x}$, 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 $\leq 60\text{m}$



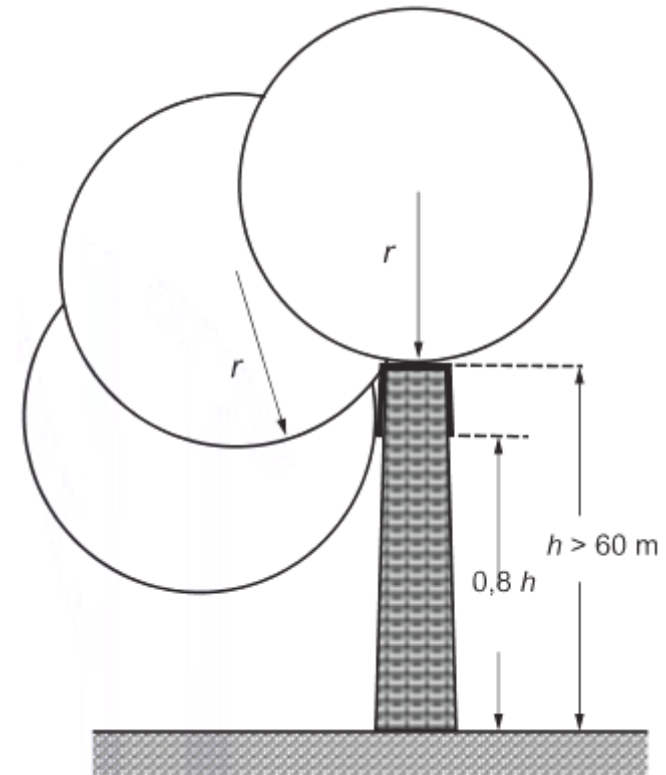
Legenda

— sistema de captação

r → raio da esfera rolante

Descargas laterais com probabilidade desprezível

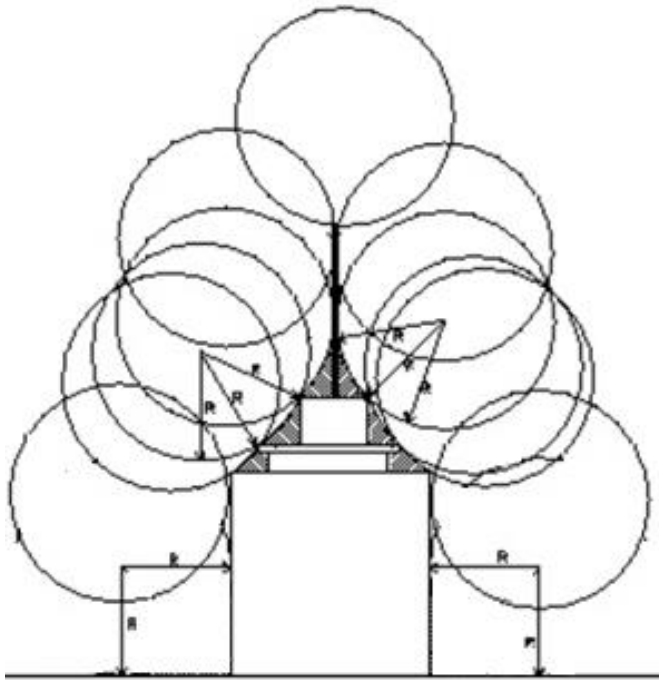
- Altura da Edificação $> 60\text{m}$



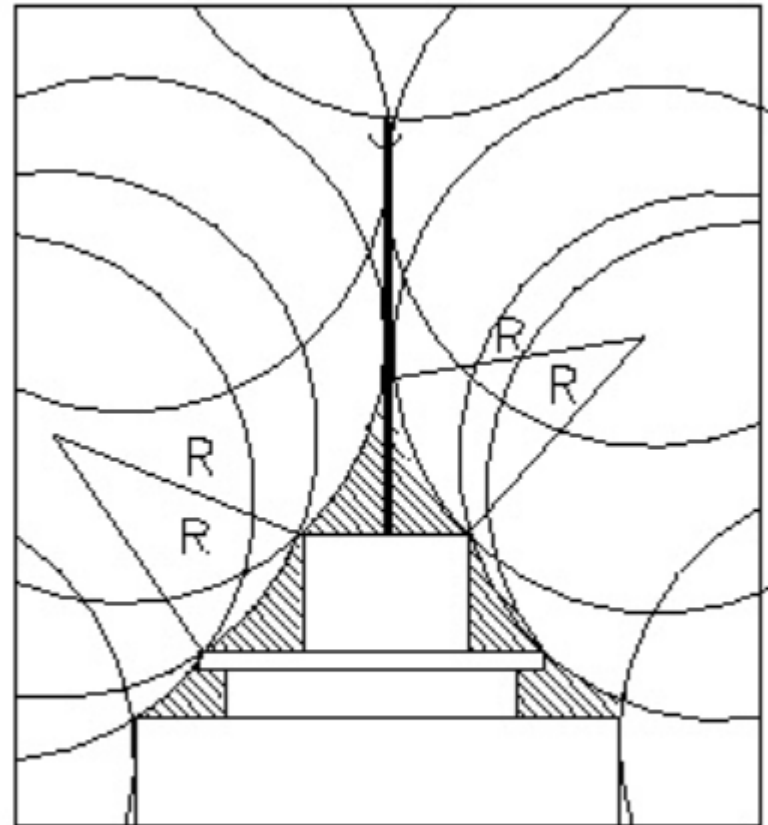
Aumento da probabilidade de descargas laterais, com a norma indicando 20% do topo da edificação.

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

Método da Esfera Rolante Aplicada a Edificações Altas



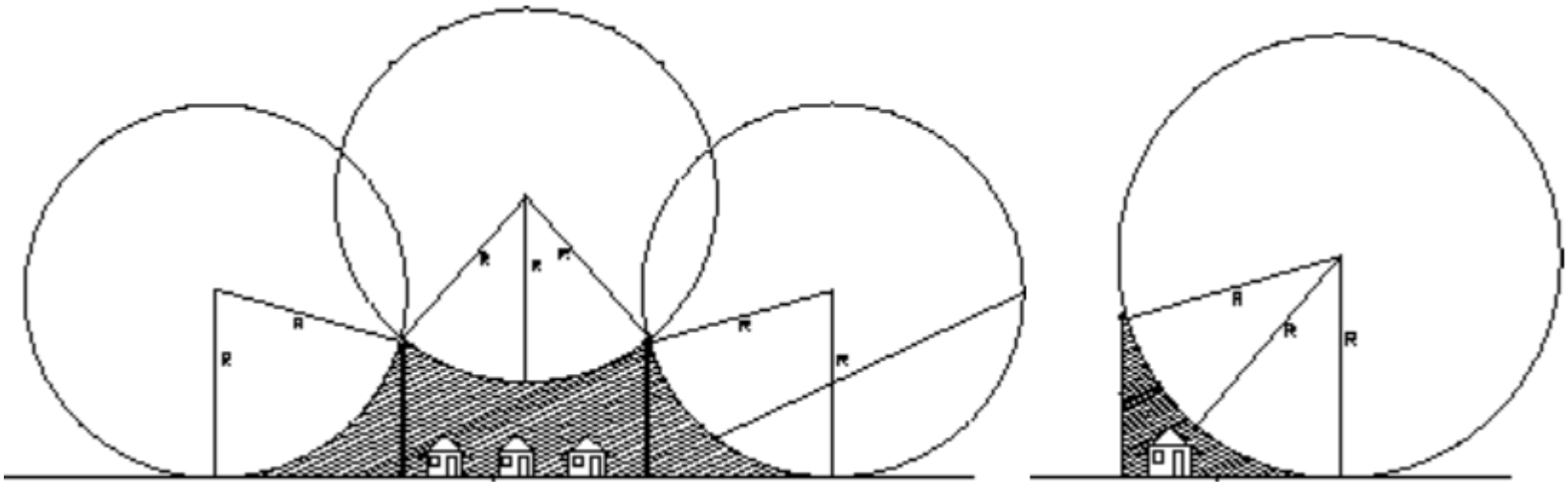
$H > 60m$



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)

- Detalhes construtivos do Subsistema Captor

A instalação do subsistema captor podem ser da seguinte forma:

- ❖ Os condutores podem ser posicionados na superfície da cobertura, desde que a mesma seja de material não combustível (alvenaria/concreto/telhas);
- ❖ Para materiais prontamente combustíveis deve ser observado:
 - Cobertura de sapé ou palha que não utilizam barras de aço para sustentação, a distância dos condutores para a cobertura deve ser superior a 15cm;
 - Para demais materiais combustíveis observar uma distância mínima de 10cm;
- ❖ Partes facilmente combustíveis da estrutura a ser protegida não podem estar em contato com os componentes do SPDA externo e não podem ficar abaixo de componentes metálicos susceptíveis a derretimento quando atingido por uma descarga. Folhas de madeira devem ser considerados componentes menos combustíveis;
- ❖ Em sendo permitido o acúmulo de água em cobertura plana, então, o subsistema captor deve ser instalado acima do nível máximo de água presumível.
- ❖ Os condutores, sejam cabos, cordoalhas, fitas ou barras, na horizontal devem ser fixados a espaçamentos de até 1m, se inclinados, à até 1,5m.

- 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

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

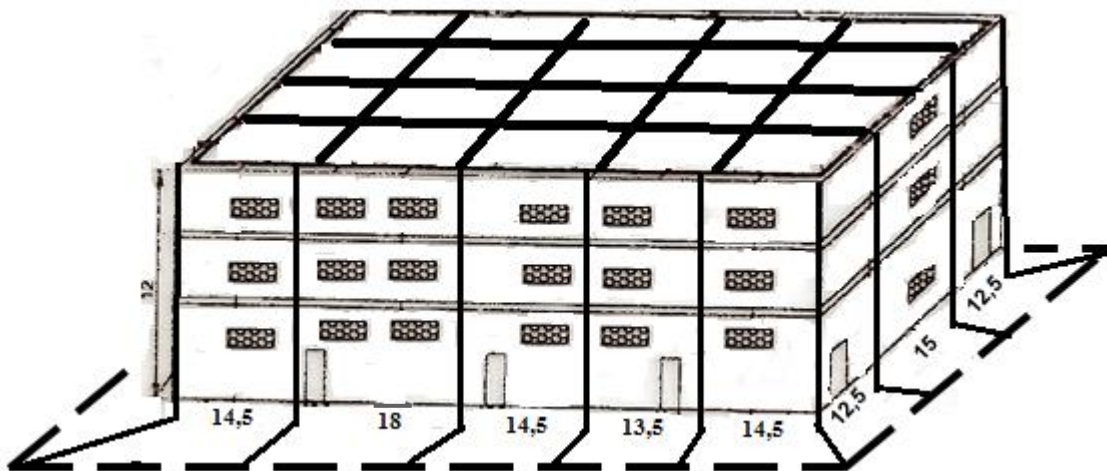
Onde,
ND → Número de Descidas
P → Perímetro da edificação
d → Espaçamento médio entre descidas

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.

- Forma de instalação das descidas não naturais

- ❑ A instalação deve ser de forma exequível e dando continuidade entre a captação e o aterramento;
- ❑ Devem ser instaladas em linha reta, verticalmente e constituindo o menor caminho para a terra;
- ❑ Laços devem ser evitados, mas, onde não for possível, deve ser seguido o que preconiza o item 6.3, da norma;
- ❑ Descidas não devem ser instaladas dentro de calhas ou tubulações pluviais, porém, se for a única alternativa, há que considerar os riscos de par eletrolítico, além da possibilidade de entupimento por retenção de resíduos (folhas, gravetos etc.)
- ❑ Em paredes não combustíveis (alvenaria), os condutores podem estar sobre ou dentro da parede;
- ❑ Para paredes de material combustível, os condutores podem estar sobre a mesma, desde que a elevação de temperatura, pela passagem da corrente, de descarga, não ofereça risco ao material da parede;
- ❑ Em paredes prontamente combustíveis, sendo a elevação de temperatura um risco, os condutores devem estar instalados à, pelo menos, 10 cm da mesma, sendo que os suportes podem estar em contato;

Obs.: quando a distância entre condutor e parede de material prontamente combustível não puder ser assegurada, a seção nominal para condutor de aço galvanizado deve ser igual ou superior a 100mm². Podendo ser utilizado outro material para o condutor de tal forma que proporcione equivalência térmica.

- ❖ Os condutores, sejam cabos, cordoalhas, fitas ou barras, na vertical ou inclinados, devem ser fixados a espaçamentos de até 1,5m.

- 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.

Sistema Interno de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

O SPDA Interno deve evitar que a corrente de descarga gere centelhamentos perigosos dentro do volume de proteção e da estrutura a se protegida.

O centelhamento pode ocorrer entre o SPDA externo e instalações metálicas (tubulações, escadas, dutos de ar condicionado, coifas, armadura de aço e peças metálicas estruturais), sistemas internos (equipamentos de comunicação, TI, instrumentação e controle), partes condutivas externas (eletrocalhas, suportes metálicos e dutos metálicos), ou, ainda, linhas elétricas.

- Equipotencialização para evitar centelhamento

O SPDA externo deve estar interligado com as instalações metálicas, sistemas internos, partes condutivas externas e as linhas elétricas.

A forma de interligação pode ser:

- ✓ Direto: condutores de ligação, onde as ligações naturais não garantam continuidade elétrica;
- ✓ Indireto: utilizando DPS, onde a conexão direta não possa ser realizada;
- ✓ Indireto: com centelhadores, onde a conexão direta não seja permitida.

- Equipotencialização para instalações metálicas

SPDA externo isolado → equipotencialização apenas ao nível do solo;

SPDA externo não isolado, equipotencialização em:

- Na base da estrutura ou próximo do nível do solo. Com os condutores de ligação conectados ao BEP ou, se necessário, a um barramento de equipotencialização local (BEL). Sendo que, para estruturas com mais de 20m em qualquer direção (vertical ou horizontal), deve haver tantos BELs quanto necessário, desde que entre as barras haja uma ligação proposital e delas para o BEP.
- Onde os requisitos de isolação não são atendidos (vide item 6.3)

A Tabela 8, da norma, apresenta as bitolas mínimas dos condutores para interligação de barramentos e/ou ligação das barras ao aterramento.

Tabela 8 – Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barramentos de equipotencialização (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta mm ²
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

Para aço inoxidável, há que ter a seção equivalente a do aço galvanizado a fogo

Os condutores que ligam as instalações metálicas aos barramentos devem ter as seguintes seções mínimas, independente da classe do SPDA:

- ❖ Cobre → 6mm²
- ❖ Alumínio → 10mm²
- ❖ Aço galvanizado a fogo → 16mm²

As tubulações metálicas que tiverem material isolantes intercaladas em seus flanges, devem ser interligadas direta (condutores) ou indiretamente (DPS), dependendo das condições locais da instalação.

Quando do uso de DPS, o mesmo deve ter as seguintes características:

$I_{imp} \geq k_c I$, onde $k_c I$ é a corrente de descarga que flui no elemento metálico.
 k_c deve ser determinado conforme Anexo C, da norma

$U_{RIMP} < \text{nível de impulso suportável de isolamento ente as partes}$

U_{RIMP} é a tensão de impulso disruptiva nominal

- Equipotencialização para elementos condutores externos

A equipotencialização deve ocorrer no ponto mais próximo de onde os elementos adentram na estrutura a ser protegida. Pode ser utilizada uma ligação direta, ou, se não for possível, usar um DPS com as seguintes características:

$I_{imp} \geq I_F$, onde I_F é a parcela da corrente que flui ao longo do condutor externo

I_F deve ser avaliada conforme Anexo F, NBR5419 – 1:2015

$U_p < \text{nível de suportabilidade a impulso da isolação ente as partes}$

$U_{RIMP} < \text{nível de impulso suportável de isolação ente as partes}$

- Equipotencialização para sistemas internos

A equipotencialização deve ser feita com ligação ao BEP ou BEL e onde os requisitos de isolação não sejam atendidos (ver item 6.3).

Se sistemas internos tiverem condutores blindados ou estiverem dentro de eletrodutos metálicos, pode ser suficientes equipotencializar as blindagens ou os eletrodutos. Caso contrário, os condutores vivos devem ser ligados ao BEP via DPS. Os condutores PE ou PEN (TN), devem ser ligados diretos ao BEP.

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.

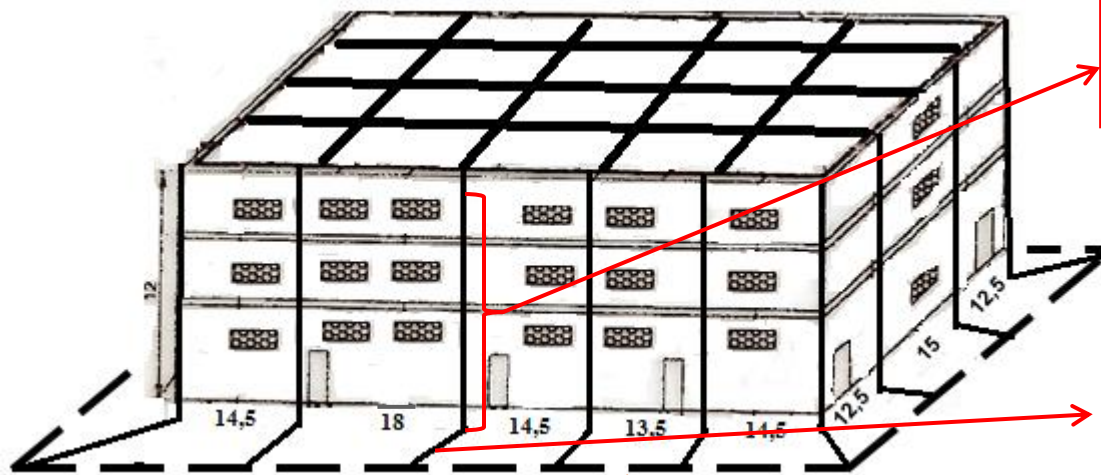
Nível do SPDA	K_i
I	0,08
II	0,06
III e IV	0,04

Material	K_m
Ar	1,0
Concreto ou tijolo	0,5

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.



Eletrodo de aterramento em anel

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.

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

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: $s = \frac{0,04}{1,0} \times 0,44 \times 11,3 = 0,2\text{m}$

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

INSPEÇÃO DO SPDA

O item 7 da NBR 5419-3:2015 trás as recomendações para a inspeção do SPDA e tem como objetivo:

- a) o SPDA esteja conforme projeto baseado nesta Norma;
- b) todos os componentes do SPDA estão em bom estado, as conexões e fixações estão firmes e livres de corrosão e são capazes de cumprir suas funções
- c) todas as construções ou reforma que altere as condições iniciais previstas em projeto, além de novas tubulações metálicas, linhas de energia e sinal que adentrem a estrutura e que estejam incorporados ao SPDA externo e interno se enquadrem nesta Norma.

As inspeções prescritas devem ser efetuadas na seguinte ordem cronológica:

a) durante a construção da estrutura;

b) após o término da instalação do SPDA, no momento da emissão do documento “as built”;

c) Após alterações ou reparos, ou quando houver suspeita de que a estrutura foi atingida por descarga atmosférica;

d) Inspeção visual semestral apontando eventuais pontos deteriorados no sistema;

e) periodicamente, realizada por profissional capacitado e habilitado, com emissão de documentação pertinente, em intervalos conforme segue:

- 1 ano, para estruturas contendo munição ou explosivos, ou em locais expostos à corrosão atmosférica severa (regiões litorâneas, ambientes industriais com atmosfera agressiva etc.), ou ainda, estruturas pertencentes a fornecedores de serviços essenciais (energia, água, sinais, etc.).
- Três anos, para as demais estruturas.

Durante as inspeções periódicas, deve-se verificar os seguintes itens:

- ✓ Deterioração e corrosão dos captores, condutores de descida e conexões;
- ✓ Condições de equipotencialização;
- ✓ Corrosão dos eletrodos de aterramento;
- ✓ Verificação da integridade física dos condutores do eletrodo de aterramento para os subsistemas de aterramento não naturais.

Com efeito, o procedimento do ensaio para medição de continuidade elétrica das armadura pode ser aplicada aos condutores do subsistema de aterramento para fins de comprovação da continuidade dos trechos ensaiados. Neste caso, os valores para validação devem estar compatíveis com os parâmetros relacionados ao tipo de material (resistividade do condutor relacionada ao comprimento do trecho ensaiado)

Usar equipamento a quadro fios para os ensaios, não sendo permitido o uso de multímetro na função de ohmímetro.

A regularidade das inspeções é condição essencial para a confiabilidade do SPDA. Sendo que o responsável pela estrutura deve estar ciente de toda a situação, através dos relatórios emitidos nas inspeções periódicas. Ainda, cabe ao profissional emitente do relatório indicar/recomendar, baseado nos danos encontrados, o prazo para manutenção no sistema, com a indicação desde “imediato”, até “item de manutenção preventiva”.

A seguinte documentação técnica deve ser mantida no local, ou em poder dos responsáveis pela manutenção do SPDA:

- relatório de verificação de necessidade do SPDA e de seleção do respectivo nível de proteção, com base na análise de risco, conforme esta Norma;
- desenhos em escala mostrando as dimensões, os materiais e as posições de todos os componentes do SPDA, inclusive eletrodos de aterramento;
- Quando aplicável, os dados sobre a natureza e a resistividade do solo; constando obrigatoriamente detalhes relativos às estratificações do solo, ou seja, o número de camadas, a espessura e o valor da resistividade de cada uma.
- um registro de ensaios realizados no subsistema de aterramento e outras medidas em relação a prevenção contra as tensões de toque e passo. Verificação da integridade física do eletrodo (continuidade elétricas dos condutores) e se o emprego de medidas adicionais no local foi necessário para mitigar tais fenômenos (acréscimo de materiais isolantes, afastamento do local etc.)

- 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.

❖ Ensaio de Continuidade Elétrica das Armaduras – Anexo F 5419-3:2015

A continuidade das armaduras, via ensaios, tem dois objetivos:

- Verificação da continuidade de pilares e trechos de armaduras da fundação
→ Primeira Verificação;
- Verificação da continuidade de todo o sistema instalado → Verificação Final

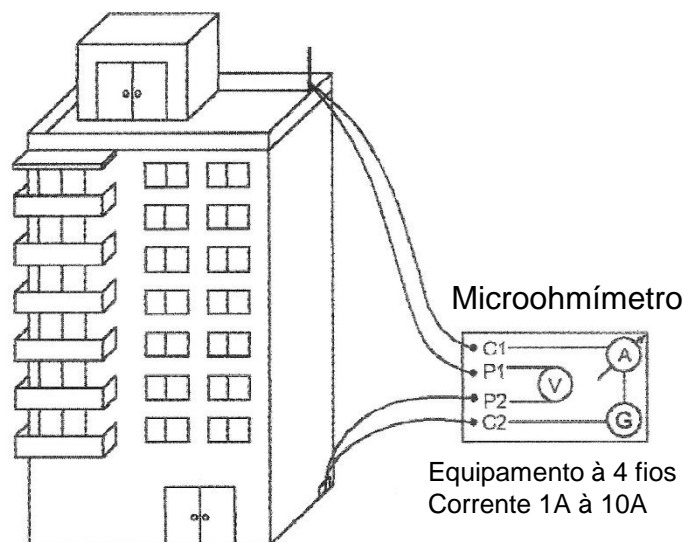
✓ Primeira Verificação

Se aplica à edificações já construídas e que não apresentam evidências de que as condições previstas em norma (item 5.3.5) para uso das armaduras de concreto foram satisfeitas.

Para edificações em construção, quando for acompanhado a execução e verificado o atendimento dos requisitos da norma (item 5.3.5), há que se realizar o registro por meio de documento técnico oficial (LAUDO TÉCNICO), incluindo fotos com a identificação dos locais, sendo dispensável a Primeira Verificação.

O ensaio se dá através da medição da resistência ôhmica, com instrumento adequado (à 4 fios), entre diversos pontos da estrutura e com diversas medições entre trechos diferentes

Esquema de Medição



- Continuidade será aceitável se os valores medidos para trechos semelhantes forem da mesma ordem de grandeza e inferior a 1Ω ;
- Todos os pilares a serem ligados na captação devem ser verificados individualmente;
- Para edificações extensas ($P > 200m$), se pelo menos 50% do total de pilares tiver medidas na mesma ordem de grandeza e inferior a 1Ω , o número de medições pode ser reduzido;

Pontos de Medição

- Para os pontos no topo e base dos pilares, há que se remover, com ferramental adequado, a cobertura de concreto para expor a armadura de aço, de forma a permitir a fixação dos conectores de prova, limpando o aço (lixa) para conseguir melhor contato elétrico;
- Medições cruzadas, topo de um pilar contra base de outro pilar, devem ser realizadas para certificar a interligação entre pilares;
- Medições nas partes inferiores de pilares são necessárias para garantir continuidade da viga baldrame e trechos da fundação;
- Medições em trechos intermediários dos pilares devem ser feitos para eventual verificação de descontinuidade na armadura

✓ Verificação Final

- Deve ser realizada após a instalação do sistema;
- A medição deve ser feita entre o ponto mais alto da captação e o aterramento, preferencialmente no BEP;
- O valor máximo permitido é $0,2\Omega$.

FIM





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



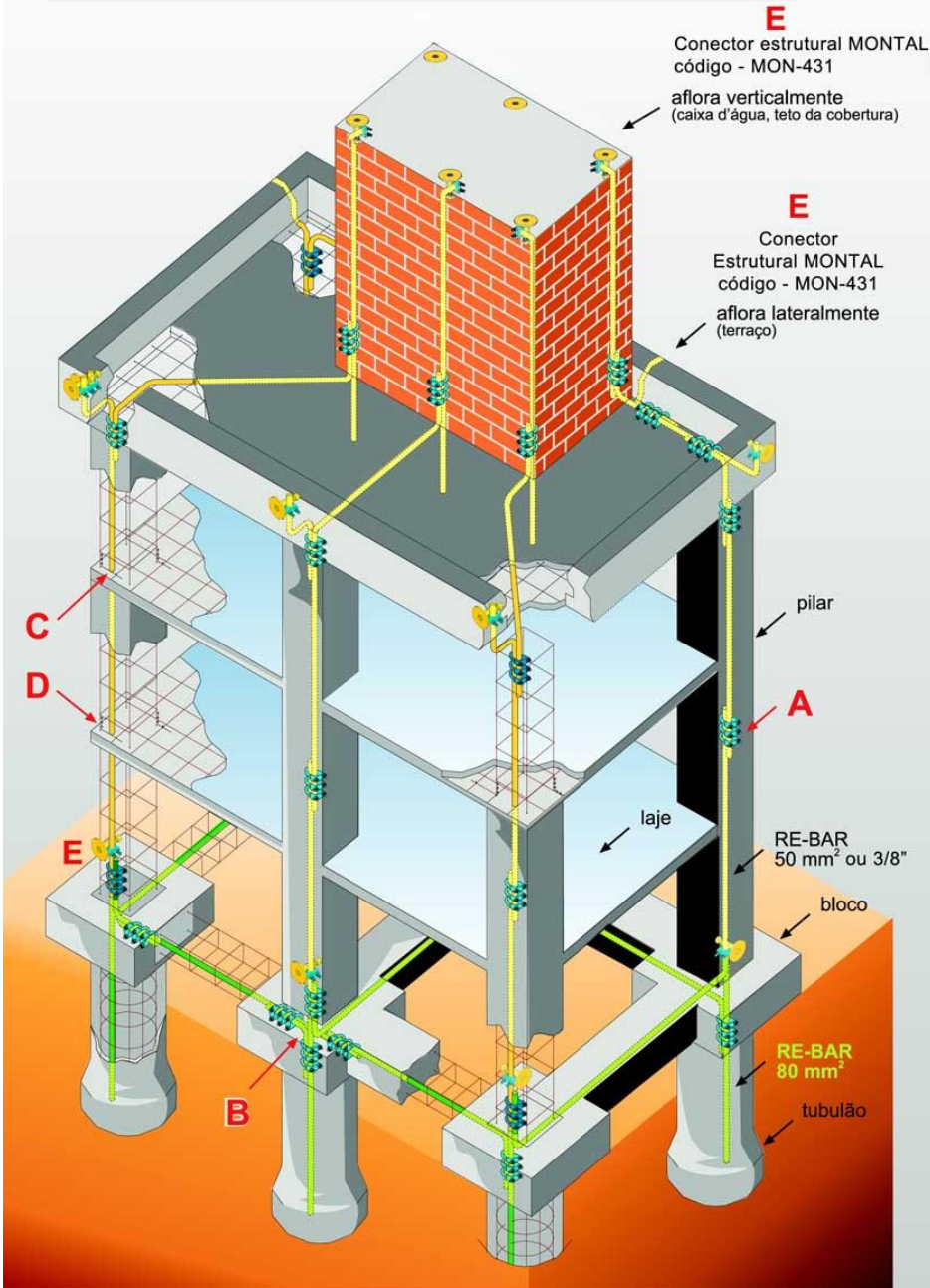
Interligação
barra vertical
c/ horizontal.

MON T A L



RE-BAR

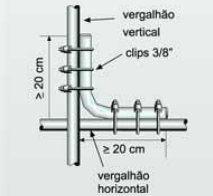




A
Conexão entre vergalhões RE-BAR:
Amarrar com arame o vergalhão
vertical à todos estribos.



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



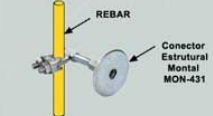
C
Conexões entre ferragens do pilar
viga/laje/bloco: Interligar 50% das
barras verticais, ou seja uma sim,
outra não ... (ver detalhe "D")



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