

Norma Francesa

Índice de Classificação: C 17-102

Proteção de Descargas Atmosféricas

Proteção de estruturas e áreas abertas com o uso de terminais aéreos que utilizam emissão prévia de líder ascendente (ESE).

Norma Francesa aprovada por decisão do gerente geral da AFNOR em 5 de Junho de 1995 e efetivada em 5 de Julho de 1995.

Correspondência Nenhuma publicação do IEC ou CENELEC corresponde a esta norma.

Análise Esta norma descreve as principais medidas de proteção de edificações contra descargas atmosféricas usando sistemas de pára raios com emissão prévia de líder ascendente (E.S.E. - Early Streamer Emission). O princípio de proteção de edificações contra descargas atmosféricas é baseado no modelo eletro-geométrico.

Definições: Descarga atmosférica, sistema de pára-raios, condutores de descida, condutores de aterramento, sistemas de aterramento.

Alterações

Correções

Tradução: Eng. Hélio Luiz Blauth e Vitor Hugo Blauth

Dezembro de 1997

PREFÁCIO

Esta norma fornece informações sobre o projeto de um sistema satisfatório de proteção de estruturas (edificações) e áreas abertas (armazéns, áreas de lazer ou de esporte...) usando pára-raios com dispositivo de emissão prévia de líder ascendente (ESE) e fornece também instruções como os métodos a serem usados para executar esta proteção.

Assim como em qualquer assunto referente a elementos naturais, um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) projetado e instalado de acordo com esta norma, não garante proteção absoluta das estruturas, pessoas ou objetos. Entretanto, a aplicação desta norma reduzirá significativamente o risco de estruturas protegidas serem danificadas por raios.

N.T.: A Norma Brasileira NBR-5419 no item 4.2 tem a mesma informação.

A decisão de implantar numa estrutura um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) depende dos seguintes fatores: probabilidade de incidência de descargas, gravidade e quais conseqüências seriam aceitáveis. A escolha é baseada nos parâmetros contidos no guia de taxa de risco (apêndice B desta norma). O guia de taxa de risco também indica o nível de proteção apropriado.

Exemplos de estruturas que necessitam proteção contra descargas atmosféricas:

- edificações de utilidade pública,
- torres, e genericamente, estruturas elevadas (pilares, caixas d'água, faróis, etc.),
- edificações e armazéns contendo materiais perigosos (explosivos, materiais inflamáveis ou materiais tóxicos, etc.),
- edificações contendo material altamente frágil ou equipamentos de valor elevado ou documentos (assim como instalações de telecomunicações, computadores, arquivos, museus, monumentos históricos).

Para projetos de estrutura em estágio avançado e durante a instalação, deve ser dada especial atenção para:

- as empresas especializadas em proteção contra descargas atmosféricas deverão ser consultadas pelos profissionais envolvidos no setor: projetistas, construtores, instaladores, usuários, etc.
- aproveitar o uso complementar de itens condutores nas estruturas a serem protegidas.

As medidas estabelecidas nesta norma são os requisitos mínimos para uma proteção estatisticamente efetiva.

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

1.1.1 Campo de Aplicação

A presente norma trata de proteção mediante a utilização de pára-raios com dispositivos de emissão prévia de líder ascendente (ESE), contra impactos diretos de raios em estruturas comuns, de alturas inferiores a 60 metros, e áreas abertas (áreas de armazenagens, áreas de laser, etc.). Inclui também a proteção contra os efeitos da tensão de passo ocasionada pela corrente do raio no sistema de proteção.

Notas:

1. Esta norma não trata de proteção de equipamentos elétricos ou interferências eletromagnéticas causadas por surtos de origem atmosférica em redes.
2. Outras normas tratam da proteção contra raios com a utilização de ponteiros simples (Franklin), cabos de cobertura e gaiolas de Faraday.

A aplicação desta norma não dispensa a observância dos regulamentos de órgãos públicos aos quais a instalação deve satisfazer.

1.1.2 Objetivo

A presente norma regulamenta o projeto, a construção, a revisão e a manutenção de sistemas de proteção realizados com a tecnologia E.S.E. O objetivo destas instalações é o de proteger pessoas e bens materiais com a maior segurança possível.

1.2 Normas de referência:

As seguintes normas mencionadas abaixo contém complementos que podem ser utilizados ou são referenciados na presente norma. Até o momento da publicação desta norma, as edições indicadas estavam em vigor. Cada norma está sujeita a revisão e aqueles que tomam parte das decisões baseadas nestas normas estão convocados a estudar a possibilidade de aplicar edições mais recentes dos documentos citados a seguir:

NF C 15 -100 (maio de 1991):
Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Regulamentações.

NF C 90-120 (outubro de 1983): Material eletrônico e de telecomunicações -
Antenas individuais ou coletivas de radiodifusão sonora ou visual: Regulamentações.

NF C 17-100 (fevereiro de 1987):
Proteção de estruturas contra descargas - Requisitos.

1.3 DEFINIÇÕES (N.T.: seguem as mesmas definições da NBR-5419):

1.3.1 Descarga atmosférica para a terra

Descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra, consistindo em um ou mais impulsos de vários quiloampères.

1.3.2 Raio

Um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra.

1.3.3 Ponto de impacto:

Ponto onde uma descarga atmosférica atinge a terra, uma estrutura, ou um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

1.3.4 Volume a proteger

Volume de uma estrutura ou de uma região que requer proteção contra efeitos das descargas atmosféricas, pelo sistema E.S.E. conforme a presente norma.

1.3.5 Densidade de descargas N_g

É a quantidade de raios que ocorrem por ano e por km^2 .

1.3.6 Densidade de impactos N_a

É a quantidade de impactos que ocorrem por ano e por km^2 . Um impacto consiste no resultado final de várias descargas.

1.3.7 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Sistema completo destinado a proteger uma estrutura ou uma área aberta contra os efeitos das descargas atmosféricas. É composto de um sistema externo e de um sistema interno de proteção.

1.3.8 Sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas (ELPI)

Sistema que consiste em captores, condutores de descidas e sistema de aterramento.

1.3.9 Sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas (ILPI)

Conjunto de dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga atmosférica dentro do volume a proteger.

1.3.10 Pára-Raios com dispositivo gerador de impulsos de alta tensão (E.S.E.)

É um pára-raios provido de ponta(s) captora(s), equipado com dispositivo de emissão prévia de líder ascendente, proporcionando uma antecipação de tempo na captura da descarga, em relação a um pára-raios simples (Franklin).

1.3.11 Processo de captura

Fenômeno físico compreendido entre o início do efeito corona e a propagação contínua até o líder ascendente.

1.3.12 Antecipação na captura (ΔT)

Ganho de tempo no instante da iniciação do líder ascendente de um captor ESE em relação a um captor comum (Franklin) nas mesmas condições, obtido mediante ensaios. É medido em microsegundos.

1.3.13 Componente natural

Elemento condutor situado no exterior, junto a uma parede, ou situado dentro da estrutura, e que pode ser utilizado para substituir toda ou parte de uma descida, ou para complementar uma ELPI.

1.3.14 Barra de ligação equipotencial

Elemento ou dispositivo que permite conectar ao SPDA os componentes naturais, as massas metálicas e as tomadas de terra, assim como as blindagens e os condutores de proteção das redes elétricas, de telecomunicações e outros condutores.

1.3.15 União equipotencial

Conexão elétrica que coloca no mesmo potencial as massas e os elementos condutores.

1.3.16 Condutor de equipotencialidade

Condutor que permite realizar uma união equipotencial.

1.3.17 Centelhamento perigoso

Faísca elétrica produzida por uma corrente de descarga no interior de um volume a ser protegido.

1.3.18 Distância de segurança

Distância mínima requerida, entre elementos condutores, para evitar a formação de centelhamento perigoso entre eles.

1.3.19 Armações de aço interconectadas

Componentes naturais existentes no interior de uma estrutura (de concreto), que proporcionam uma continuidade elétrica melhor que 0,01 ohm podem ser utilizados como condutores de descidas.

1.3.20 Condutor de descida

Parte do SPDA externo destinado a conduzir a corrente de descarga atmosférica desde o captor ESE até o sistema de aterramento.

1.3.21 Conexão de medição

Conexão instalada de modo a facilitar os ensaios e medições elétricas dos componentes do SPDA.

1.3.22 Eletrodo de aterramento

Elemento ou conjunto de elementos do sistema de aterramento que assegura o contato elétrico com o solo e dispersa a corrente de descarga atmosférica na terra.

1.3.23 Terminal de aterramento (ou tomada de terra)

Elemento condutor ou conjunto de elementos condutores em contato direto com a terra e que asseguram uma união elétrica com esta.

1.3.24 Resistência da tomada de terra

É a resistência entre um ponto de teste e a terra. É a relação entre os valores de crista de tensão e da corrente no eletrodo de aterramento.

1.3.25 Protetor contra sobretensões (supressor de surtos)

Dispositivo destinado a limitar surtos de tensão entre dois elementos. Contém, pelo menos, um componente não linear.

1.3.26 Sobretensão transitória de origem atmosférica

Sobretensão de curta duração (que não ultrapassa a milissegundos), pulsante ou não, e geralmente com um grande amortecimento.

1.3.27 Nível de proteção

Classificação de um SPDA segundo a sua eficiência ou grau de risco.

1.3.28 Superfície de captura equivalente A_e

Superfície de solo plano submetido ao mesmo número de impactos que a estrutura considerada.

1.4 FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS E SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA RAIOS COM A UTILIZAÇÃO DE CAPTORES E.S.E.

1.4.1 Fenômenos atmosféricos e necessidade de proteção contra raios

A necessidade de proteção é determinada de acordo com a densidade de queda de raios na área considerada. A probabilidade de que uma estrutura seja atingida por um raio ao longo de um ano é o produto da densidade de impactos por sua superfície equivalente.

A densidade de descargas é determinada pela fórmula $N_g = N_a/2,2$.
 N_a é dado no mapa da densidade de raios situado no anexo B.

A necessidade de proteger uma estrutura é dada na tabela do anexo B.

Nota: outras alternativas (requisitos estabelecidos por lei ou considerações pessoais) podem levar a optar por uma proteção a margem de todas as considerações estatísticas.

1.4.2 Parâmetros característicos das descargas e seus efeitos

A descarga se caracteriza principalmente por seus parâmetros relacionados com a formação de arco elétrico entre a nuvem e a terra, considerando estes acarretam a corrente de descarga nos condutores.

Os mais importantes parâmetros são os seguintes:

- amplitude
- tempo de subida
- tempo de descida
- variação da corrente com o tempo (di / dt)
- polaridade
- carga
- energia específica
- número de raios por descarga.

Os primeiros três parâmetros são independentes em termos estatísticos. Por exemplo, pode-se encontrar qualquer valor da amplitude com qualquer valor de tempo de descida (ver os dados mundiais mostrados nas tabelas do anexo D).

Como fenômeno elétrico, o raio pode ter as mesmas conseqüências que qualquer outra corrente que circule por um condutor elétrico, ou alguma outra corrente através de um mau condutor ou isolante.

Os efeitos dos parâmetros característicos do raio são os seguintes:

- efeitos óticos
- efeitos sonoros
- efeitos eletro-químicos
- efeitos térmicos
- efeitos eletrodinâmicos
- radiação eletromagnética.

Devem ser considerados os efeitos térmicos e eletrodinâmicos ao dimensionar os diferentes componentes de um SPDA. As conseqüências da radiação eletromagnética (excitações, induções, etc.) são levadas em consideração no capítulo 3.

Os outros efeitos não têm uma influência significativa na concepção de um SPDA. Todos os efeitos mencionados estão descritos no anexo D.

1.4.3 Componentes de um sistema de proteção contra raio

Um sistema completo de proteção contra raios é composto por uma instalação exterior de proteção contra raio (ELPI), e, se necessário, por um sistema interior de proteção contra raio (ILPI).

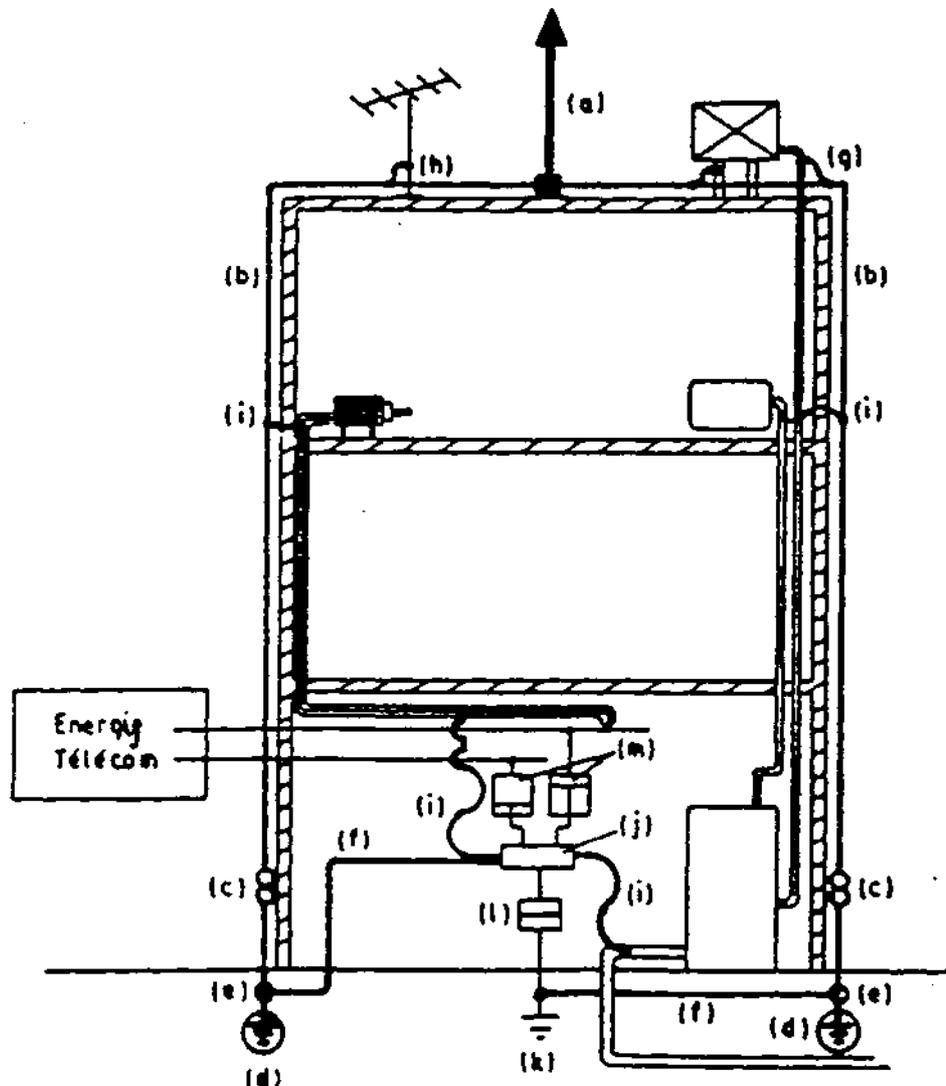


Figura 1.4.3

A instalação exterior consiste nos seguintes elementos unidos entre si:

- a) Um ou mais captores E.S.E.
- b) Um ou mais condutores de descida
- c) Uma conexão para medição para cada condutor de descida
- d) Um eletrodo de terra para cada condutor de descida
- e) conectores nos eletrodos de terra, que possam ser abertos
- f) Uma ou mais interligação entre aterramentos
- g) Uma ou mais caixas de interligação equipotencial
- h) Uma ou mais interligação equipotencial no mastro da antena.

O sistema de proteção interior consiste em:

- i) Um ou mais caixas de interligação equipotencial
- j) Uma ou mais barras para caixas de equipotencialização.

Os equipamentos para instalação elétrica:

- k) Terminal de aterramento da estrutura
- l) Borne de terra
- m) Um ou mais protetores contra surtos

2. INSTALAÇÃO EXTERIOR DE PROTEÇÃO CONTRA RAIOS (ELPI)

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Concepção

Deverá ser realizado um estudo prévio para determinar o nível de proteção necessário, a localização do(s) captor(es) ESE, o percurso do(s) condutor(es) de descida(s), a localização e os tipos dos terminais de aterramento.

É aconselhável ter-se conhecimento do projeto arquitetônico desde o momento da concepção do SPDA, caso contrário sua eficácia poderá diminuir sensivelmente.

2.1.2 Ante-Projeto

O estudo prévio compreende duas partes:

- a) Estudo do risco de queda de raios e determinação do nível de proteção, com auxílio do Anexo B.
- b) Localização dos diferentes elementos do sistema.

O conjunto das informações formará um descritivo técnico que conterà:

- as dimensões da estrutura ou edificação;
- a localização geográfica relativa da estrutura: isolada, situada em cima de um morro, ou no meio de outras construções que sejam mais altas, de mesma altura ou mais baixas;
- o índice de ocupação da estrutura e se seus usuários são permanentes ou não;
- o risco de pânico;
- a dificuldade de acesso;
- a continuidade do serviço;

- o conteúdo da estrutura: presença de seres humanos, de animais, de materiais inflamáveis ou de equipamentos sensíveis como computadores, equipamentos eletrônicos de grande valor ou irreparáveis;
- forma e inclinação dos telhados;
- natureza do telhado, das paredes e da estrutura interna;
- partes metálicas do telhado e elementos metálicos exteriores importantes, como dutos de gás, ar condicionado, escadas, antenas, reservatórios de água, etc.
- calhas, canaletas e baixadas pluviais;
- partes salientes da edificação e natureza dos materiais que as constitui (metálicos ou não condutores);
- pontos mais vulneráveis da edificação;
- disposição das tubulações metálicas (água, eletricidade, gás, etc.) da edificação;
- obstáculos nas proximidades que podem influenciar no trajeto da descarga, p/ex. redes elétricas aéreas, cercas metálicas, árvores, etc.
- atmosfera do ambiente, que pode ser particularmente corrosiva (maresia, indústria petroquímica, fábrica de cimento, etc.);

Os pontos da estrutura considerados vulneráveis são as partes salientas como torres, cercas e grades, objetos pontiagudos, chaminés, calhas, arestas, cumeeiras, massas metálicas (exaustores, dispositivos de limpeza de fachada, platibandas, etc.), escadas enclausuradas, casa de máquinas.

2.2 Dispositivos de captura

2.2.1 Princípios gerais

Um pára-raios com dispositivo E.S.E. é composto por uma ou mais pontas captoras, dispositivo gerador de impulsos de alta tensão, e um eixo sobre o qual se fixa o captor ao sistema de conexão ao cabo de descida.

Para determinação da zona protegida por um captor ESE, se utiliza o modelo eletrogeométrico, tal como explicado no Anexo A, mais a antecipação da captura ΔT segundo definido em 2.2.2.

O captor ESE será instalado preferencialmente na parte mais elevada da estrutura que o suporta. Será sempre o ponto mais elevado da zona protegida.

2.2.2 Antecipação de captura

Um captor ESE se caracteriza pela emissão prévia de líder ascendente, conforme foi constatado na evolução dos testes. Nestes testes são comparados captores com dispositivo ESE com um captor comum de referência, de mesmo formato físico e nas mesmas condições de ensaio.

Esta antecipação de tempo Δt determina o cálculo dos raios de proteção. A expressão é a seguinte:

$$\Delta T = T_{SR} - T_{E.S.E} , \text{ onde:}$$

T_{SR} é o instante da iniciação por meio de um líder ascendente num captor comum.

$T_{E.S.E}$ é o instante de iniciação por meio de um líder ascendente num captor ESE.

2.2.2.1 Evolução dos testes com um captor E.S.E.

Este procedimento consiste em avaliar a antecipação do instante de iniciação de um captor ESE. As condições naturais são simuladas em laboratório de alta-tensão mediante a superposição de um campo permanente, que representa o campo existente durante a formação da descarga e um campo de impulsos , simulando a aproximação de líder descendente.

Nota: os ensaios de correlação *in situ* estão no curso da definição.

2.2.3 Posicionamento do captor E.S.E.

2.2.3.1 Área protegida

A área de proteção está delimitada por uma superfície de revolução que está definida pelos raios de proteção correspondentes às diferentes alturas h consideradas, e cujo eixo é o mesmo do captor (ver figura 2.2.3.1).

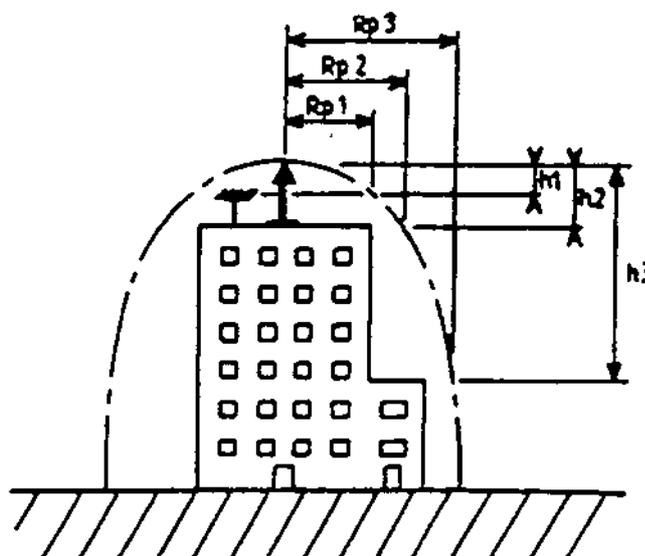


Figura 2.2.3.1. Raio de proteção

h_n é a altura do captor ESE relativa ao plano horizontal que passa pelo ponto mais alto do elemento a proteger.

R_{pn} é o raio de proteção do captor ESE, para a altura que está sendo considerada.

2.2.3.2 Raio de proteção

O raio de proteção de um captor ESE depende de sua altura (h) em relação a superfície a ser protegida, de sua antecipação no tempo de captura, e do nível de proteção estabelecido (ver Anexo A).

$$R_p = \sqrt{h \cdot (2 \cdot D) + \Delta L \cdot (2 \cdot D + \Delta L)}, \text{ com } h \geq 5m \quad (\text{Equação 1})$$

Para $h < 5m$ deve ser utilizado o método gráfico dado na figura 2.2.3.3 a, b e c.

R_p = raio de proteção

h = altura da ponta do captor ESE em relação ao plano horizontal que passa pelo vértice do volume a proteger.

D é :

- 20 m para o Nível de proteção I
- 45 m para o Nível de proteção II
- 60 m para o Nível de proteção III

$$\Delta L; \Delta L_{(m)} = v_{(m/\mu s)} \cdot \Delta T_{(\mu s)} \quad (\text{Equação 2})$$

ΔT é o tempo de antecipação obtido nos ensaios com os captores ESE (ver 2.2.2.1) como está definido no Anexo C.

2.2.3.3. Seleção e posicionamento do captor ESE

Para cada instalação de um sistema de proteção contra raio, deve ser realizado um estudo prévio para determinação do nível de proteção necessário (ver 2.1.2).

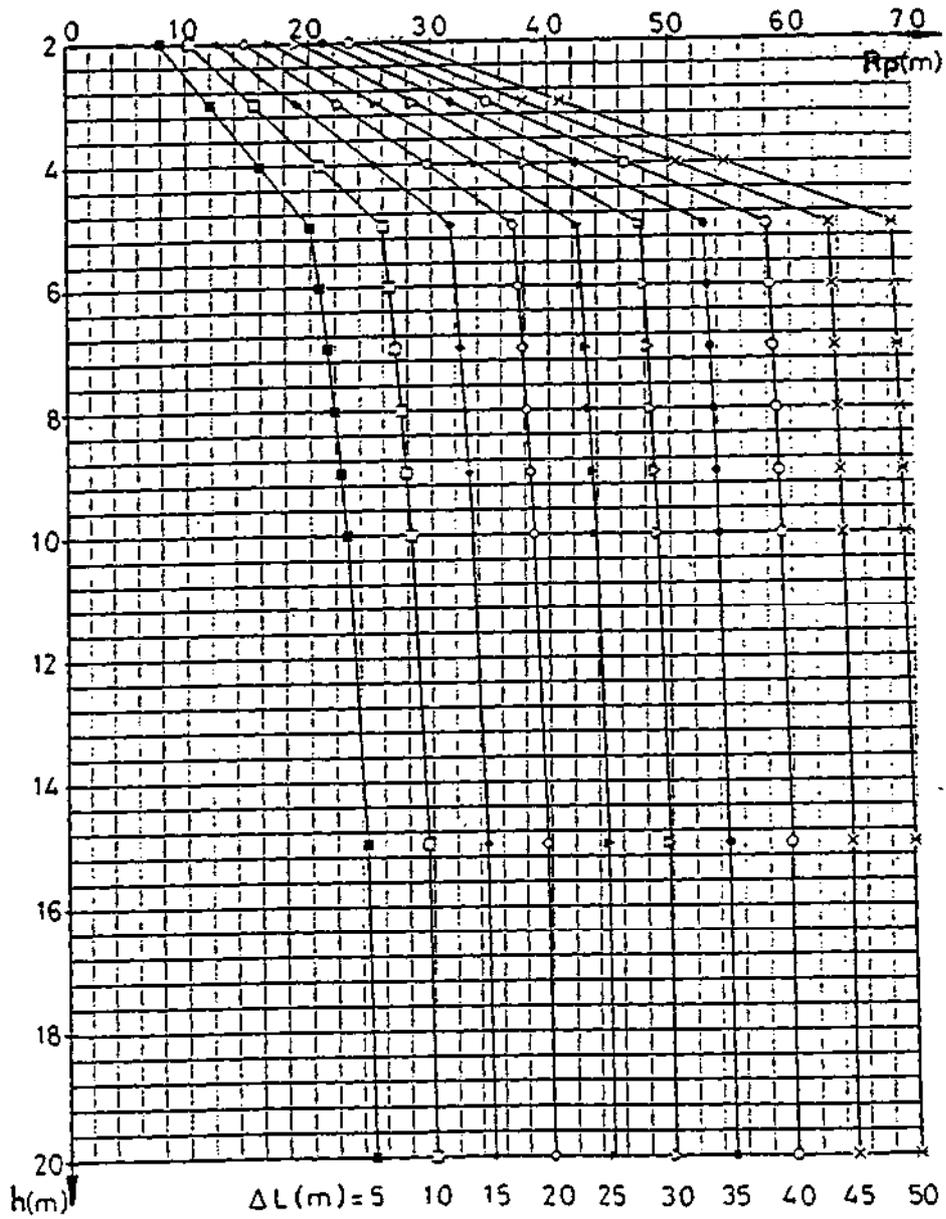
A seguir se determina o raio de proteção R_p necessário para a cobertura da estrutura, com a ajuda da equação 1 ou dos gráficos 2.2.3.3, a, b, c, para $h \geq 5m$, e com os gráficos das figuras 2.2.3.3. a), b) ou c), para $h < 5m$, para proteção de níveis 1 a 3, considerando o que segue:

- para o nível I = gráfico da figura 2.2.3.3, (a)
- para o nível II = gráfico da figura 2.2.3.3, (b)
- para o nível III = gráfico da figura 2.2.3.3, (c)

Quando o gráfico é utilizado, o raio de proteção R_p é determinado na curva selecionada, na altura h necessária, e o ΔL do captor ESE considerado.

Nota: os valores de ΔL apresentados nos gráficos são exemplos não restritivos.

D=20 m



Raio de proteção para h = 20 a 60 m

D(m)										
20										
ΔL(m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h(m)	R _p (m)									
20	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
25	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
30	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
35	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
40	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
45	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
50	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
55	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00
60	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00

$D(m)$ é a distância equivalente ou raio da esfera fictícia.

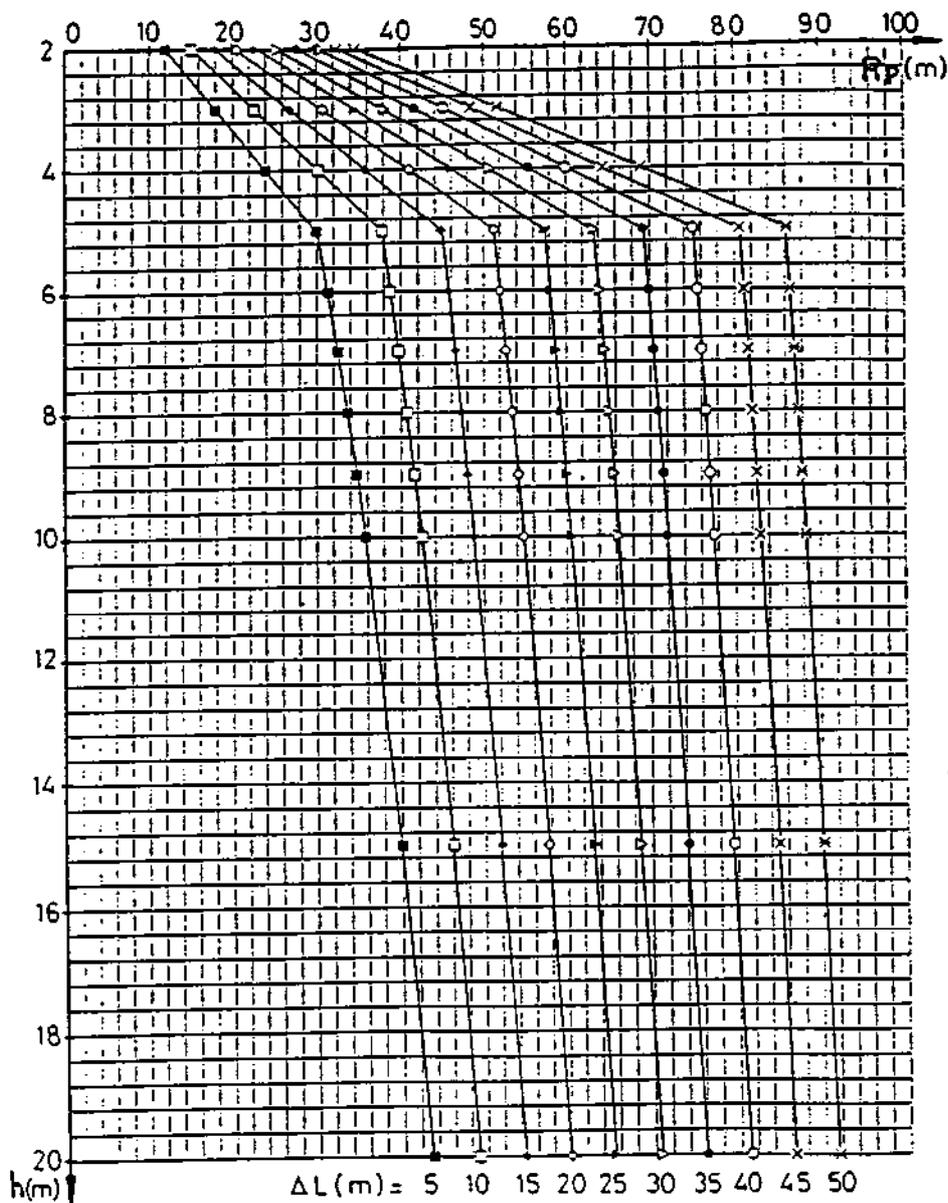
$\Delta L(m)$ é o ganho de raio virtual do captor ESE considerado.

$h(m)$ é a diferença de altura entre a ponta do captor e o plano horizontal considerado

$R_p(m)$ é o raio de proteção no nível do plano horizontal considerado.

Figura 2.2.3.3 (a)
Raio de proteção do captor ESE
Nível de proteção I ($D = 20\text{ m}$)

$D=45\text{ m}$



Raio de proteção para $h = 20$ a 60 m

$D(m)$										
45										
$\Delta L(m)$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$h(m)$	$R_p(m)$									
20	43.30	48.99	54.54	60.00	65.38	70.71	75.99	81.24	86.46	91.65
25	45.83	51.23	56.57	61.85	67.08	72.28	77.46	82.61	87.75	92.87
30	47.70	52.92	58.09	63.25	68.37	73.48	78.58	83.67	88.74	93.81
35	48.99	54.08	59.16	64.23	69.28	74.33	79.37	84.41	89.44	94.47
40	49.75	54.77	59.79	64.81	69.82	74.83	79.84	84.85	89.88	94.87
45	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
50	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
55	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00
60	50.00	55.00	60.00	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00

$D(m)$ é a distância equivalente ou raio da esfera fictícia.

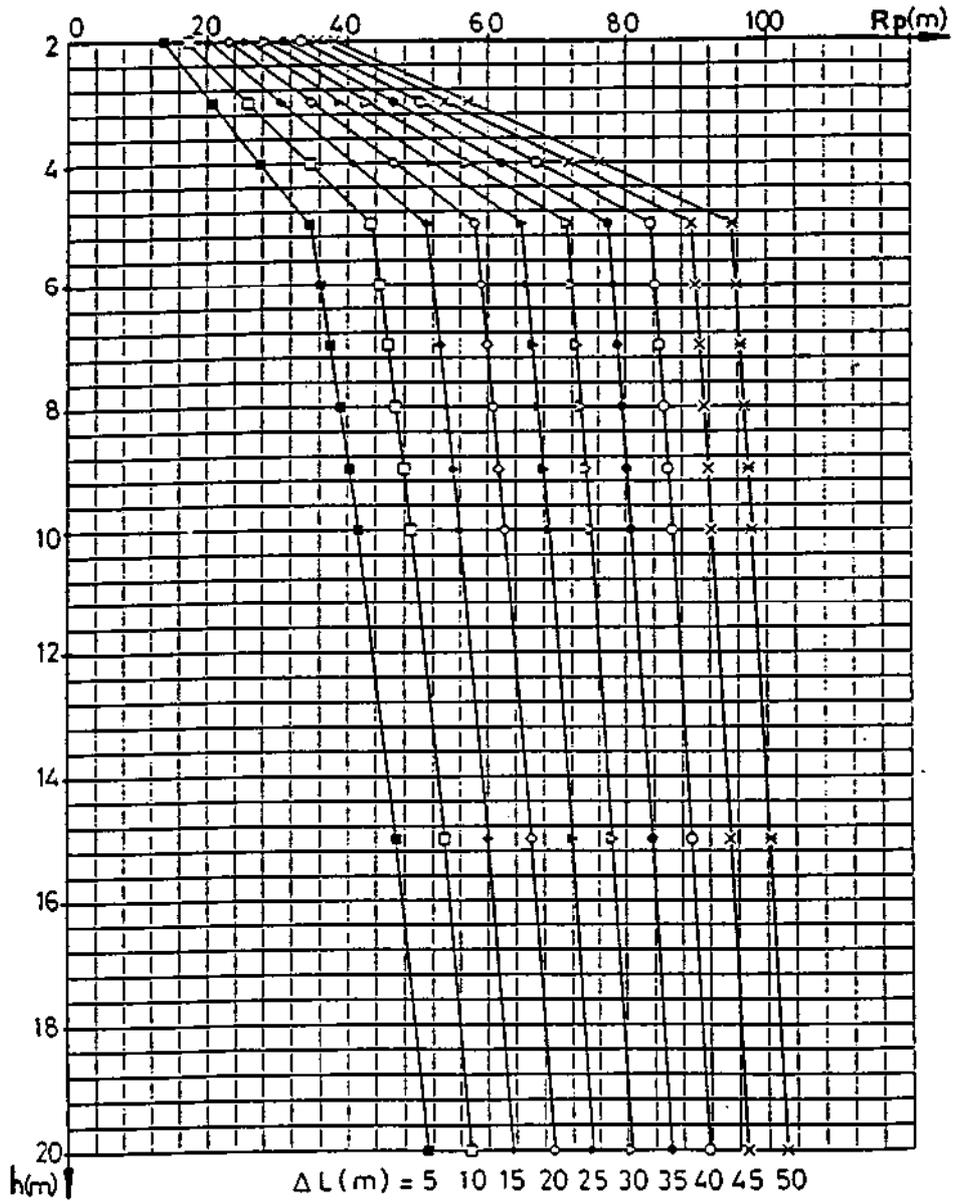
$\Delta L(m)$ é o ganho de raio virtual do captor ESE considerado.

$h(m)$ é a diferença de altura entre a ponta do captor e o plano horizontal considerado

$R_p(m)$ é o raio de proteção no nível do plano horizontal considerado.

Figura 2.2.3.3 (b)
Raio de proteção do captor ESE
Nível de proteção II ($D = 45$ m)

D=60m



Raio de proteção para h = 20 a 60 m

D(m)										
45										
ΔL(m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
h(m)	R _p (m)									
20	51.23	57.45	63.44	69.28	75.00	80.62	86.17	91.65	97.08	102.47
25	54.77	60.62	66.33	71.94	77.48	82.92	88.32	93.67	98.99	104.28
30	57.66	63.25	68.74	74.15	79.53	84.85	90.14	95.39	100.62	105.83
35	60.00	65.38	70.71	75.99	81.24	86.48	91.65	96.82	101.98	107.12
40	61.85	67.08	72.28	77.46	82.61	87.75	92.87	97.98	103.08	108.17
45	63.25	68.37	73.48	78.58	83.56	88.74	93.81	98.87	103.92	108.97
50	64.23	69.28	74.33	79.37	84.41	89.44	94.47	99.50	104.52	109.54
55	64.81	69.82	74.83	79.84	84.85	89.86	94.87	99.87	104.88	109.89
60	65.00	70.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	105.00	110.00

$D(m)$ é a distância equivalente ou raio da esfera fictícia.

$\Delta L(m)$ é o ganho de raio virtual do captor ESE considerado.

$h(m)$ é a diferença de altura entre a ponta do captor e o plano horizontal considerado

$R_p(m)$ é o raio de proteção no nível do plano horizontal considerado.

Figura 2.2.3.3 (c)
Raio de proteção do captor ESE
Nível de proteção III ($D = 60\text{ m}$)

2.2.4 Materiais e dimensões

As partes de um SPDA por onde fluirá a corrente do raio deverão ser de cobre, ligas de cobre ou aço inoxidável. A haste da ponteira deverá ter uma seção condutora superior a 120 mm^2 .

2.2.5 Instalação no local

2.2.5.1 Pára-raios com dispositivo E.S.E.

A ponteira do captor deverá estar a, pelo menos, dois metros acima do volume a ser protegido, incluindo antenas, torres de resfriamento, telhados, reservatórios, etc.

O condutor de descida será fixado ao captor por meio de um sistema de conector em contato com a base do mesmo. Este estará constituído por um dispositivo mecânico de adaptação que assegure um contato elétrico permanente.

Se a instalação externa para uma determinada estrutura abrange diversos captores ESE, estes são interconectados por um condutor de acordo com a tabela 2.3.4, exceto caso ele (condutor) passe sobre um obstáculo estrutural (cumeeira, parapeito) com uma diferença positiva ou negativa que exceda 1,5 metro (ver fig. 2.2.5.1).

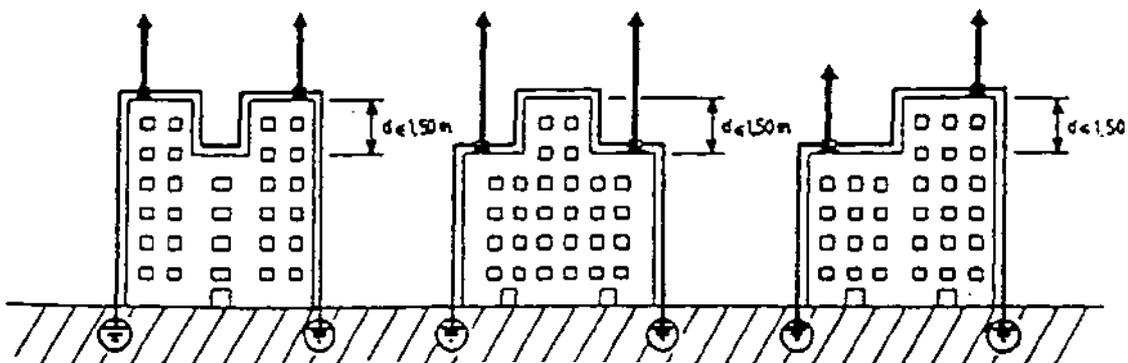


Figura 2.2.5.1

Quando se necessita proteger zonas abertas (campos de esportes, golfe, piscinas, campings, etc.), os captores ESE deverão ser instalados em suportes específicos como postes de iluminação, pilares, torres, ou outra estrutura que permite ao captor cobrir a área a proteger.

2.2.5.2 Mastros elevados

Os captosres ESE podem estar ocasionalmente instalados em mastros independentes e altos. Em caso de exposição a ventos intensos, o mastro deverá conter cabos de estaiamento de material condutor, os quais deverão ser ligados entre si e ao condutor de baixada, no solo, com a utilização de cabos condutores conforme a tabela 2.3.4.

2.2.5.3 Pontos preferenciais para a instalação do captor

Na ocasião do projeto de um sistema de proteção contra raios, deve ser levado em consideração os pontos da arquitetura mais propícios para a localização do captor ESE. Normalmente escolhe-se os pontos mais altos da estrutura, como:

- casa das máquinas, acima do telhado
- cumeeiras
- chaminés metálicos ou de alvenaria.

2.3 CONDUTORES DE DESCIDA

2.3.1 Princípios gerais

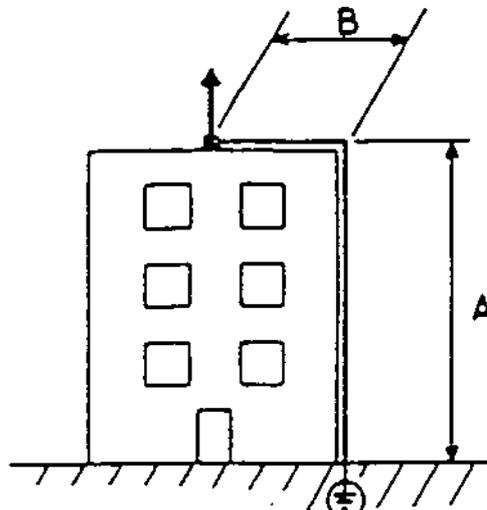
Os condutores de descida são destinados a conduzir a corrente do raio desde os dispositivos de captura até as tomadas de terra. Os condutores de descida podem ser instalados externamente à estrutura, exceto nos casos mencionados em 2.3.3.1.

2.3.2 Número de condutores de descida

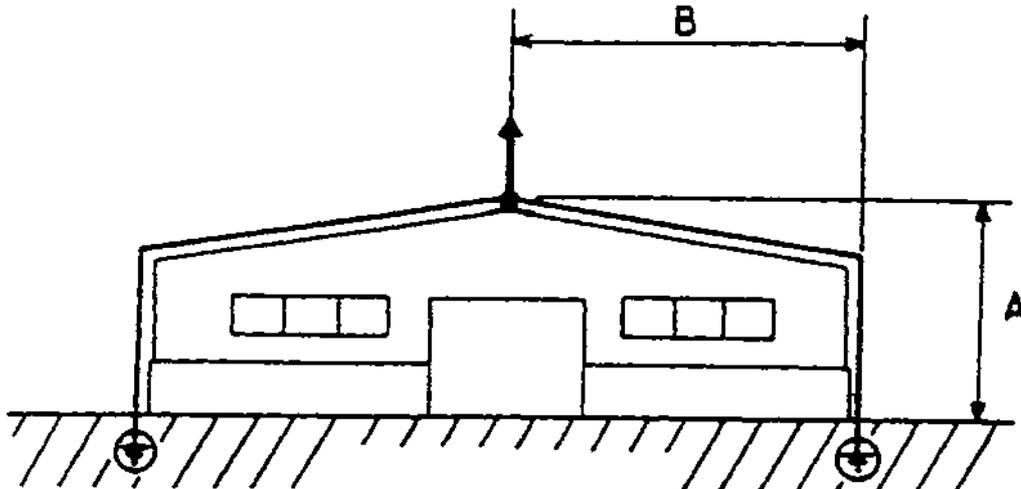
Cada captor ESE deverá ser ligado à terra em pelo menos uma descida. Dois ou mais condutores de descida serão necessários quando:

- a projeção horizontal do condutor for superior a sua projeção vertical (ver fig. 2.3.2)
- o captor for instalado numa altura superior a 28 m.

Os condutores de descida devem ser instalados em paredes diferentes.



$A > 28m$ ou $A < B$: 1 condutor de descida



$A > 28m$ ou $A < B$: 1 condutor de descida

A = Projeção vertical do condutor de descida
B = Projeção horizontal do condutor de descida

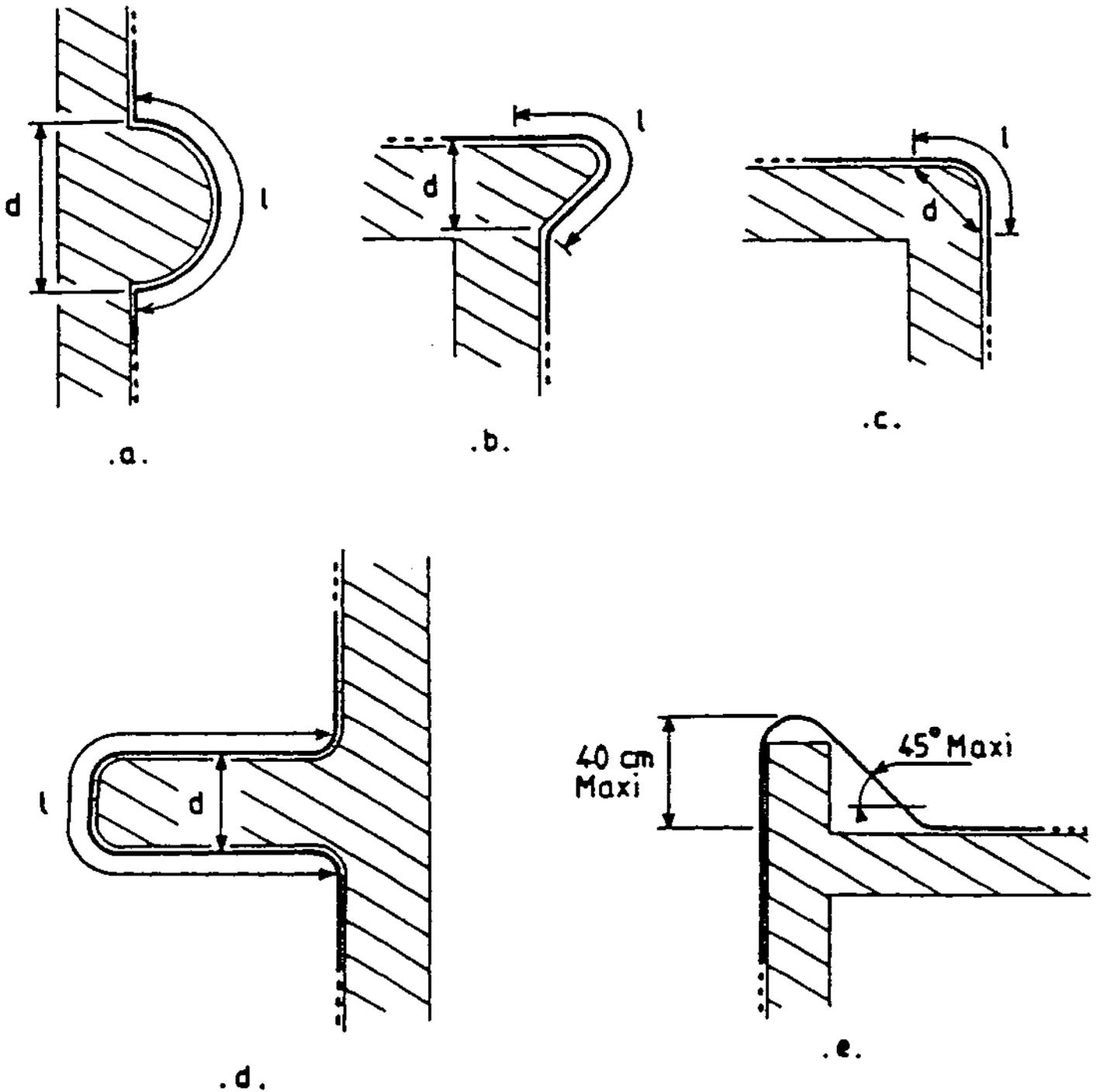
Figura 2.3.2 - Número de condutores de descida

2.3.3 Percurso

O condutor de descida será instalado de tal forma que seu percurso seja o mais direto possível. Seu traçado deverá levar em conta a localização da tomada de terra (ver 2.5.2) e deverá ser o mais retilíneo possível, seguindo o caminho mais curto, evitando qualquer mudança brusca de direção. Os raios de curvatura não deverão ser inferiores a 20 cm (ver fig. 2.3.3). Para desvio dos cabos de descida, utilizam-se preferencialmente curvas contornando os ângulos.

O traçado dos condutores de descida devem ser determinados de forma a evitar proximidade com condutores elétricos. Entretanto quando não puder ser evitado um cruzamento, os condutores elétricos deverão ser colocados dentro de blindagem metálica de comprimento superior a 1 metro para cada lado do cruzamento. A blindagem metálica deverá ser conectada ao condutor de descida.

Deverá ser evitado o contorno a balaustradas ou elevações. Preferir-se-á percursos mais diretos possíveis para os condutores. Em qualquer caso, se admite uma volta de no máximo 40 cm de altura para contornar a um obstáculo, e formando um ângulo menor que 45 graus (ver fig. 2.2.3. e).



l = comprimento do contorno em metros
 d = largura do contorno em metros.

Não há risco de quebra de dielétrico se for respeitada a condição $d > l / 20$.

Figura 2.3.3 Formas de contornar obstáculos em condutores de descida

As fixações dos condutores de descida serão efetuadas com a base de três suportes por metro. Estes suportes ou braçadeiras deverão ser adequados e colocados de maneira a não afetar a impermeabilização do telhado. Deve haver condições para ocorrerem eventuais dilatações dos cabos.

A união entre condutores de diferentes materiais deve ser realizada por meio de conectores de pressão e de mesma natureza, por meio de remanche ou solda. Deve se evitar, na medida do possível, danificar os condutores.

Os condutores de descida devem estar protegidos contra choques mecânicos com utilização de um tubo com altura de 2 m acima do solo.

2.3.3.1 Percursos interiores

Quando o percurso exterior for inviável, o condutor de descida poderá ser colocado dentro de um tubo específico, ao longo de toda a parede ou em parte da altura da edificação.

A utilização de dutos isolantes e não inflamáveis é possível sempre que estes possuírem uma seção interior maior ou igual a 200 mm². Em qualquer caso devem ser respeitadas as condições de proximidade abordadas nos capítulos 2 e 3.

A eficácia do condutor de descida pode ser reduzida no caso da trajetória ser interior. O projetista deve estar consciente desta redução, e das dificuldades de realizar manutenção, assim como dos riscos resultantes da penetração de sobretensões no interior da edificação.

2.3.3.2 Revestimento exterior

Quando o exterior de um edifício ou estrutura possui elementos metálicos, ou parede revestida com pedra ou vidro, o condutor de descida pode ser fixado atrás do revestimento, no concreto ou na estrutura que o suporta.

Neste caso, os elementos condutores do revestimento e da estrutura que o suporta devem estar unidos ao condutor de descida, na parte superior e na parte inferior.

2.3.4 Materiais e dimensões

Os condutores de descida podem ser em tiras, cabos trançados, ou de seção redonda. A mínima seção de área deverá ser de 50 mm², conforme a tabela 2.3.4.

Condutores de descida		
Material	Recomendações	Dimensionamento
Haste de cobre ou de cobre estanhado (1)	Recomendado por sua boa condutividade e resistência a corrosão	Tiras: 30x2mm Seção circular: Ø 8mm (2) Cordoalha: 30x3.5mm
Aço inoxidável 18/10 - 304	Recomendado em certos ambientes corrosivos	Tiras: 30x2mm Seção circular: Ø 8mm (2)
Alumínio A/5L	A ser usado em superfícies de alumínio (revestimentos)	Tiras: 30x3mm Seção circular: Ø 10mm (2)

Tabela 2.3.4

A utilização de cabos coaxiais isolados como condutores de descida não é permitida.
A utilização de revestimento isolante ou cobertura envolvendo condutores de descida não é permitida, com exceção dos casos descritos em 5.2.

Notas:

(1) O cobre estanhado é recomendado por suas propriedades físicas, mecânicas e elétricas (condutividade, maleabilidade, resistência à corrosão, etc.).

(2) Dada a característica de impulso da corrente do raio, o condutor de formato plano é preferível ao redondo, pois oferece uma maior superfície exterior para uma mesma seção.

2.3.5 Conexão de medição (ou junção de teste de terra)

Cada condutor de descida deve conter uma conexão que permita desconectar a tomada de terra afim de efetuar a medição da sua resistência. Junto a esta conexão deverá estar indicado “Pára-Raios” e o símbolo .

Geralmente as junções de testes estão instaladas nas descidas, a 2 m do solo. Para as instalações com paredes metálicas, ou que não possuem baixadas específicas, as junções de testes são intercaladas entre cada tomada de terra e o elemento metálico da edificação a que estão unidas; junto à localização daquelas deverá haver um indicativo de inspeção no qual constará o símbolo .

2.3.6 Contador de impactos de raios

Quando pretende-se implantar um contador de descargas atmosféricas, este deverá ser instalado sobre o condutor de descida mais direta, por cima da conexão de medição e, em todos os casos, aproximadamente a 2 m acima do solo.

2.3.7 Componentes naturais

Entre os elementos condutores que integram uma estrutura, alguns podem substituir total ou parcialmente uma descida ou servir de complemento para esta.

2.3.7.1 Componentes naturais que podem substituir toda ou parte de uma descida

Geralmente as armaduras de aço exteriores interconectadas (estruturas metálicas) podem ser utilizadas como descidas, sempre que sejam condutoras e que sua resistência for menor ou igual a 0.01Ω .

Neste caso, os captosres estarão unidos na parte superior diretamente à estrutura metálica e esta se unirá na parte inferior às tomadas de terra.

A utilização de uma descida natural deve satisfazer as condições de equipotencialidade estipuladas no capítulo 3.

Nota: Os componentes naturais poderão eventualmente ser modificados ou suprimidos por razões alheias ao SPDA, e por esta razão é preferível que o sistema tenha condutores específicos.

2.3.7.2 Componentes naturais que podem complementar a(s) descida(s)

Os seguintes elementos podem ser utilizados como complemento do SPDA e conectados ao mesmo:

- (a) As armações de aço interconectadas eletricamente e contínuas:
- estruturas metálicas internas, armações metálicas de concreto e as estruturas metálicas embutidas nas paredes, desde que existam conexões para tal tanto na parte superior como na inferior (conectadas em pelo menos três pontos em ambas as partes);
 - estruturas metálicas externas que não atinjam toda a altura da edificação.

Nota: Quando se trata de concreto prefaciado, convém considerar o risco de efeitos mecânicos devido a passagem da corrente do raio por este meio de condução.

(b) As chapas metálicas que cobrem a área a ser protegida, considerando que:

- a continuidade elétrica entre as diferentes partes de forma duradoura;
- estas não devem estar revestidas de material isolante.

Nota: um leve revestimento de pintura protetora, de 1 mm de asfalto ou uma película de 0,5 mm de tinta PVC não é considerada isolante.

(c) As chaminés metálicas e os tanques, se construídos de chapa de 2 mm ou mais.

3. EQUIPOTENCIALIDADE DAS MASSAS METÁLICAS E INSTALAÇÃO INTERIOR DE PROTEÇÃO CONTRA RAIOS.

3.1 Generalidades

Ao passar a corrente elétrica de um raio por um condutor, aparecem as diferenças de potenciais entre estes e as massas metálicas próximas e conectadas à terra. Dessa forma podem ocorrer faíscas perigosas entre estes condutores.

Em função da distância que separa estes dois condutores (sendo o condutor de descida por um lado e a massa metálica conectada à terra por outro), deverá ser realizada uma ligação equipotencial. A distância mínima para a qual não ocorrem faíscas perigosas denomina-se *distância de segurança* (d), a qual depende do nível de proteção escolhido, do número de descidas, do material existente nos extremos do circuito aberto, e da distância desde a massa metálica considerada até tomada de terra.

Em princípio, é difícil assegurar a eficácia de um isolamento na ocasião de instalar o SPDA (faltam as informações necessárias para se tomar decisões), ou ocorreram alterações ao longo do tempo (modificações na estrutura, obras, etc.). Assim sendo, torna-se preferível realizar a ligação equipotencial.

Contudo, em certos casos não é conveniente a realização de ligações equipotenciais (dutos inflamáveis ou explosivos). Os condutores de descida devem ser instalados a uma distância maior que a distância de segurança “d” (ver 3.2.1(c)).

3.1.1 Ligação equipotencial

A ligação equipotencial é realizada por meio de condutores de equipotencialidade, centelhadores ou protetores de sobretensões, no ponto mais próximo entre o condutor de descida ou o SPDA, por onde passa a corrente do raio, e o elemento que se quer colocar no mesmo potencial situado na estrutura, nas suas paredes ou no interior das mesmas.

3.1.2 Distância de segurança

A distância de segurança é a mínima distância entre um condutor de descida no qual passa a corrente de um raio e uma massa condutora próxima e unida à terra (ver 4.5).

Para que exista isolamento contra faíscas perigosas, é necessário que a distância que separa o sistema de proteção contra raio do elemento condutor considerado, seja superior a d .

$$\text{Distância de segurança: } s_{(m)} = n \cdot \frac{k_j}{k_m} \cdot l_{(m)} \quad (\text{equação 3})$$

onde:

- n é um coeficiente que depende no número de condutores de descida para cada captor ESE, antes do ponto de contato considerado:
 - $n = 1,0$ para um condutor de descida
 - $n = 0,6$ para dois condutores de descida
 - $n = 0,4$ para três ou mais condutores de descida.
- k_j é um fator relacionado com o nível de proteção escolhido:
 - $k_j = 0,1$ para o nível I de proteção
 - $k_j = 0,075$ para o nível II de proteção
 - $k_j = 0,05$ para o nível III de proteção.
- k_m é um coeficiente relacionado com o material existente entre os dois condutores:
 - $k_m = 1,0$ para o ar
 - $k_m = 0,5$ para um material sólido que não seja metal.
- l (em metros) é a distância vertical considerada desde a tomada de terra mais próxima da massa metálica, até a união equipotencial mais próxima.

Notas:

(1) Quando a massa condutora próxima não estiver eletricamente unida à terra, não se realiza a ligação equipotencial.

(2) No caso em que o SPDA estiver conectado à estrutura de concreto com armaduras de aço interconectadas, ou à estrutura de um pavilhão metálico, as condições de proximidade normalmente são aplicadas.

3.2 EQUIPOTENCIALIDADE DAS MASSAS METÁLICAS EXTERIORES

Na maioria dos casos é possível uma ligação direta mediante condutores de equipotencialidade. Em caso em que não for possível, ou não for permitida pelos órgãos competentes, a conexão deverá ser feita por intermédio de protetores contra sobretensão ou centelhadores.

3.2.1 Ligação equipotencial por meio de condutores de equipotencialidade

Deve ser realizada uma ligação equipotencial nos seguintes casos:

(a) No nível do solo ou do subsolo.

As diferentes tomadas de terra da estrutura devem ser unidas entre si de acordo com o exposto nos itens 4.4 e 4.5.

(b) Quando não puderem ser respeitadas as condições de proximidade: $d < s$.

Neste caso, os condutores de equipotencialidade serão do mesmo tipo dos utilizados nas descidas (cf. tabela 2.3.4). Seus comprimentos deverão ser o mais curto possível.

No caso de SPDA isolado do volume a proteger, a ligação equipotencial se realizará somente no nível do solo.

(c) No caso de tubulações de gás de localização subterrânea e com revestimento isolante, $s = 3$ m.

3.2.2 Equipotencialização por ligação através de protetor contra sobretensões

Uma antena ou poste de rede elétrica deve ter seu mastro unido ao cabo de descida no ponto mais próximo, mediante um protetor contra sobretensões.

No caso de tubulações (água, gás, etc.) que possuem juntas isoladas no espaço considerado, estas devem ser curto-circuitadas por meio de um protetor de sobretensões.

3.3 EQUIPOTENCIALIZAÇÃO DE MASSAS METÁLICAS EMBUTIDAS EM PAREDES

A ligação equipotencial se realizará de acordo com os parágrafos 3.2.1(a) e (b), onde haviam sido previstos bornes de conexão para tal finalidade. Deverão ser levados em conta os problemas com a estanqueidade.

Nota: Em caso de estruturas (ou tubulações) já existentes, deverá haver parceria com profissional especializado.

3.4 EQUIPOTENCIALIZAÇÃO DE MASSAS METÁLICAS INTERIORES: Instalação de sistema interno de proteção contra raios

Os condutores de equipotencialidade são usados para ligar as massas metálicas internas a uma barra de equipotencialidade instalada de tal forma que permita uma fácil desconexão para efeitos de testes. Estes condutores devem ter seção mínima de 16 mm^2 quando feitos de cobre ou alumínio, ou de 50 mm^2 se forem de aço. A barra de equipotencialidade deverá ser instalada o mais próximo possível da tomada geral de terra da estrutura. Para grandes estruturas, devem ser instaladas várias tomadas de terra, sempre que estas estiverem interconectadas. Cada uma das barras deverá ser de cobre ou de material idêntico ao do condutor, e de uma seção mínima de 75 mm^2 .

Em casos de sistemas elétricos ou de telecomunicações, utilizando condutores blindados ou dentro de tubulações metálicas, pode ser suficiente unir a blindagem ou as tubulações metálicas à terra.

Em caso contrário, os condutores devem ser indiretamente unidos à barra de equalização por meio de protetores contra sobretensão.

4. SISTEMAS DE TOMADAS DE TERRA

4.1 Generalidades

Deve ser realizada uma tomada de terra para cada condutor de descida.

Dada a característica de impulso da corrente do raio, e para assegurar o melhor caminho até a terra, minimizando sempre o risco da ocorrência de sobretensões perigosas no interior do volume a proteger, é importante preocupar-se com a forma e dimensões da tomada de terra, bem como o valor de sua resistência.

Os sistemas de tomadas de terra devem ter os seguintes requisitos:

- O valor da resistência, medido pelos métodos convencionais, deve ser de 10 ohms ou menos. Este valor deve ser medido sobre a tomada de terra, isolada de qualquer outro elemento condutor.
- O valor de impedância de onda ou indutância deve ser o menor possível, para minimizar a força contraeletromotriz que ocorre no potencial ôhmico no momento da descarga do raio. Por esta razão, é conveniente evitar tomadas de terra constituídas por um único elemento de percurso excessivamente longo, tanto na horizontal como na vertical.

A utilização de eletrodos longos, alcançando grande profundidade em solos úmidos, somente é interessante se a resistividade da superfície é particularmente elevada.

Contudo, convém ressaltar que as tomadas de terra de profundidade apresentam uma impedância de onda elevada quando a profundidade for superior a 20 m. Neste caso deve ser aumentado o número de condutores horizontais ou hastes verticais, que devem estar sempre perfeitamente unidos eletricamente entre si. Da mesma forma, são preferidos os condutores de cobre aos de aço, já que para os últimos a seção necessária para se obter uma condutividade equivalente decorreria numa seção que teria sua instalação inviável na obra.

As tomadas de terra devem ser realizadas conforme abordado anteriormente, como também em conformidade com a norma NF C 15-100.

Salvo em casos de absoluta impossibilidade, as tomadas de terra devem estar orientadas para o exterior da edificação.

4.2 DIFERENTES TIPOS DE TOMADAS DE TERRA

As dimensões das tomadas de terra dependem da resistividade do solo no qual serão realizadas. A resistividade pode variar consideravelmente de acordo com a natureza do solo (argila, arenito, areia, rocha, etc.).

Esta resistividade pode ser estimada de acordo com a tabela seguinte, ou pode ser medida por um método apropriado com a utilização de um terrômetro.

Uma vez a resistividade é conhecida, o comprimento de cada sistema de tomada de terra pode ser determinado usando-se as seguintes e simplificadas equações:

Sistema de aterramento linear horizontal: $L = 2 \rho / R$ (equação 4)

Sistema de aterramento vertical: $L = \rho / R$ (equação 5)

Onde: R : é o comprimento (em metros) do sistema de aterramento
 ρ : é o coeficiente de resistividade do solo (em Ω)
 R : é a resistência desejada ($R = < 10 \Omega$)

Solo	Resistividade em $\Omega.m$
Terreno pantanoso	pouco abaixo de 30
Limo	20-100
Humus	10-150
Turfa úmida	5-100
Argila macia	50
Areia marinha e argila compacta	100-200
Areia de rocha magmática	30-40
Areia argilosa	50-500
Areia silicosa	200-3000
Solo pedregoso e sem vegetação	1500-3000
Solo pedregoso e coberto de grama	300-500
Calça não compactada	100-300
Calça compactada	1000-5000
Calça quebrada	500-1000
Xisto	50-300
Xisto com mica	800
Granito sem erosão	1500-10000
Granito com erosão	100-600

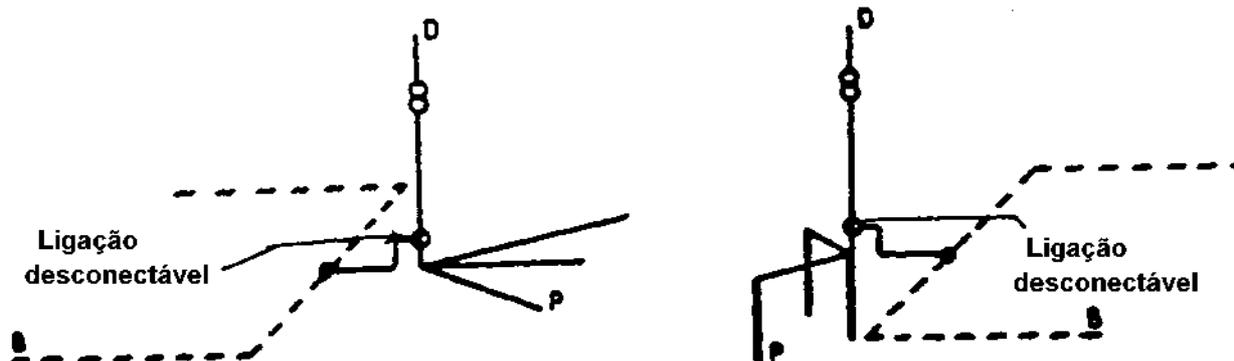
Para cada condutor de descida, o sistema de tomada de terra pode estar assim constituído:

- (a) Condutores de mesmo material e seção das descidas, salvo para o alumínio, disposto em forma de pé de galinha de grandes dimensões, e numa profundidade mínima de 50 cm.

Exemplo: três condutores de 7 a 8 metros de comprimento, dispostos horizontalmente, pelo menos, a 50 cm de profundidade.

- (b) Pela união de muitas hastes verticais, de um comprimento total mínimo de 6 m.
 - dispostas em triângulo e distanciadas entre si de, pelo menos, do comprimento da parte enterrada de uma haste.
 - unidas entre si por um condutor idêntico ou compatível as características do condutor de descida, enterradas numa vala de pelo menos 50 cm de profundidade.

Nota: A Disposição recomendada é a de um triângulo.



D: condutor de descida
 B: ferragem das fundações do prédio
 P: Tomada de terra para instalação de SPDA.

Figura 4.2 - Esquema de tipos de tomadas de terra

4.3 Disposições complementares

Quando com os procedimentos habituais acima indicados, não for possível obter resistência de terra inferior a 10 ohms, podem ser realizadas as seguintes medidas complementares:

- adicionar material de baixa resistividade por volta do condutor de terra
- adicionar mais hastes de terra em disposição de pé de galinha, e conectar com as demais
- aplicar um tratamento no solo que permita uma diminuição da impedância e produza um elevado poder de dissipação;
- quando, ao se aplicar todas as disposições acima, não for conseguido uma resistência menor que 10 ohms, pode ser considerado que a tomada de terra apresente uma tensão de passo segura, sempre que estiver constituída por um mínimo de 100 m de eletrodos enterrados, sabendo-se que o comprimento de cada elemento vertical ou horizontal não ultrapasse a 20 m.

4.4 Equipotencialidade entre os diversos aterramentos

Quando o edifício ou o volume a proteger possui tomada de terra por meio das (ferragens das) fundações para as massas das instalações elétricas, conforme o artigo 542.2 da norma NF C 15-100, as tomadas de terra das instalações de pára-raios devem ser unidas mediante um condutor normalizado (ver tabela 2.3.4 e 4.6).

Para novas instalações deve ser considerado esta situação desde o estudo inicial, e realizar as conexões com o circuito de terra no fundo das escavações, diretamente ao pé de cada descida com o auxílio de um dispositivo que permita a desconexão e que esteja identificado com um registro de inspeção no qual conta o símbolo \ominus .

Para edificações e instalações já existentes, as conexões deverão ser realizadas de preferência com as partes cobertas, e deverá existir possibilidade de desconexão para testes posteriores.

Em caso de interconexão realizada no interior da edificação, a trajetória do condutor de união deve ser de forma que evite uma eventual indução sobre cabos e materiais situados nas proximidades.

Quando outras estruturas separadas se incluem dentro do volume a proteger, a tomada de terra do SPDA deverá ser conectada à rede de equipotencialização enterrada que une as diferentes estruturas.

4.5 CONDIÇÕES DE PROXIMIDADE

Os elementos que participam das tomadas de terra dos pára-raios devem manter uma distância mínima de tubulações metálicas enterradas ou eletrodutos.

A distância mínima está indicada na tabela 4.5 a seguir:

Finalidade dos dutos	Distâncias mínimas(m) em função da resistividade do solo	
	$\leq 500 \Omega.m$	$> 500 \Omega.m$
Eletroduto HTA	0,5	0,5
Com rede B.T. e sistema de aterramento	2,0	2,0
Fonte de suprimento principal e aterramento	10	20
Tubulação de gás	2,0	5,0

Tabela 4.5

Estas distâncias são aplicadas somente nas situações onde não é realizada a ligação equipotencial dentro da edificação.

Nota: em casos de tubulações não metálicas, a concordância com as distâncias mínimas não é necessária.

4.6 MATERIAIS E DIMENSÕES

Os materiais e dimensões mínimas dos eletrodos de terra devem obedecer a tabela seguinte:

Eletrodos de terra		
Material	Observações	Dimensões mínimas
Cobre eletrolítico nu ou estanhado (1)	Recomendado por sua boa condutividade elétrica e sua resistência à corrosão	Tira de 30 x 2 mm Vergalhão: 8 mm diam. Condutores c/seção min. 10mm ² Estacas maciças: 15mm Ø x 1m Hastes tubulares 25mm Ø x 1m
Aço cobreado camada de 250 µ		Hastes: 15 mm diam. x 1 m de comprimento
Aço inoxidável 18/10 - 304	Recomendado em certos solos corrosivos	Tiras: 30 x 2 mm Vergalhão: 10 mm Ø Haste: 15 mm Ø
Aço galvanizado à quente 50 µ	Reservado para instalações provisórias e temporárias, devido a sua baixa resistência à corrosão.	Tiras: 30 x 3,5 mm Vergalhão: 10 mm Ø Haste: 19 mm Ø x1 m comprimento.

Tabela 4.6

Nota (1): Tendo em conta as propriedades físicas, mecânicas e elétricas (condutividade, maleabilidade, resistência à corrosão, etc.).

5. PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO

5.1 GENERALIDADES

A corrosão dos metais depende do tipo de metal utilizado e da natureza do ambiente. Fatores como fungos, sais solúveis (eletrólitos), grau de aeração, temperatura dos eletrólitos e alterações destas, constituem condições altamente complexas.

O efeito de contato entre materiais diferentes utilizado e do meio ambiente, unido ao efeito de reação galvânica, provocam um aumento da corrosão do metal mais anódico ou ativo, e uma diminuição da corrosão do metal mais catódico ou inerte. Deve ser evitada a corrosão do metal mais catódico. O eletrólito desta reação pode ser solo úmido, ou uma condensação retida nas fissuras.

5.2 PRECAUÇÕES E MEDIDAS A SEREM ADOTADAS

Afim de reduzir a corrosão, é necessário:

- evitar o uso de metais não adequados dentro de um ambiente agressivo,
- evitar o par galvânico produzido pela união de metais diferentes,
- utilizar a seção adequada dos condutores e fixações resistentes à corrosão,
- prever, nos casos críticos, os revestimentos protetores adequados às influências

externas

- Para satisfazer às condições citadas anteriormente, devem ser observadas as seguintes precauções como exemplos:
- a distância ou o diâmetro mínimo do elemento condutor deve cumprir as disposições desta norma.
- os condutores de alumínio não devem ser diretamente enterrados ou embutidos dentro do concreto, salvo se estiverem isolados de forma adequada para tal.
- as uniões entre cobre e alumínio devem ser evitadas dentro do possível. Em caso contrário as uniões devem ser realizadas por meio de conectores bimetálicos adequados.
- geralmente o cobre é apropriado para tomadas de terra, salvo em certas condições ácidas, em presença do oxigênio ou de sulfatos.
- os condutores de descidas necessitam de um revestimento se estiverem sujeitos à fungos de natureza sulfúrea ou amoniacal.
- Nota: é utilizada uma camada de material isolante igual ou maior que 0,5 mm.
- as fixações dos condutores são feitas aço inoxidável ou material sintético apropriado para caso de ambiente corrosivo.

6. DISPOSIÇÕES PARTICULARES

6.1 ANTENAS

A existência de uma antena no telhado de um edifício aumenta o risco de impacto de raio e se pode converter no primeiro elemento susceptível de receber descarga.

Quando se trata numa antena receptora de televisão, individual ou coletiva, o mastro que suporta a antena deve estar unido diretamente ou por meio de um centelhador aos condutores de descida da instalação do SPDA, por um condutor adequado, exceção quando a antena estiver fora da zona protegida ou sobre outro telhado.

É possível utilizar mastro comum quando são cumpridas todas as seguintes condições:

- mastro comum é constituído por tubo resistente, não necessitando de estais;
- captor ESE deve ser fixado na ponta do mastro;

- captor ESE deve estar pelo menos 2m acima da antena mais próxima;
- a conexão do condutor de descida é feita por meio de uma braçadeira (grampo) fixada diretamente na ponta da haste (captor);
- a trajetória do cabo coaxial é feita por dentro do mastro da antena;

No caso de mastro articulado, é preferível passar o cabo coaxial no interior de um tubo metálico.

6.2 TELHADOS DE PALHA (*capim Santa Fé*)

Em tais casos, o captor ESE deve preferencialmente ser instalado numa chaminé, se esta existir. O condutor de descida deverá ser de 8 mm de diâmetro, em cobre maleável, percorrendo o telhado por suportes isolantes, distanciados entre si de 20 a 25 cm, descendo pelas rampas de palha.

6.3 INDÚSTRIAS QUÍMICAS

Pela sua grande altura e a ionização do ar produzida por fumaças e gases quentes, as chaminés das fábricas são pontos preferenciais para descargas atmosféricas.

O extremo superior das chaminés deve estar provido de um pára-raios, preferencialmente de material compatível com o ambiente corrosivo e a temperatura dos gases, e localizado no lado do vento predominante.

Para chaminés de altura igual ou superior a 40 metros, devem ser utilizadas pelo menos duas descidas, eqüidistantes (ou diametralmente opostas), uma delas exposta no lado dos ventos predominantes. Estas descidas devem ser unidas entre si na parte alta, e na base da chaminé por meio de um condutor horizontal. Cada descida deverá ser ligada a uma tomada de terra.

Os elementos metálicos internos e externos devem ser unidos ao condutor de descida no ponto mais próximo e nas mesmas condições das indicadas no capítulo 3.

6.4 ÁREA DE ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS INFLAMÁVEIS E EXPLOSIVOS

Conforme as normas em vigor, os tanques que contiverem líquidos inflamáveis devem estar conectados à terra, mas só este procedimento não constitui uma proteção contra descargas atmosféricas. Para tal é necessário um estudo complementar mais aprofundado.

Os captores do sistema E.S.E. devem ser instalados em mastros, postes, pilares ou qualquer estrutura exterior ao perímetro de segurança, de forma que cubram as instalações a serem protegidas. A instalação do sistema deve levar em conta os raios de proteção de acordo com a presente norma.

As tomadas de terra se situarão na zona oposta a das instalações da armazenagem. As tomadas de terra dos SPDA e instalações a serem protegidas devem estar unidas mediante um condutor de equipotencialização.

Nota: Decreto ministerial, datado de 28 de janeiro de 1193, que trata da proteção de

descargas atmosféricas de áreas classificadas, recomenda a utilização de um contador de descargas.

6.5 PRÉDIOS RELIGIOSOS

Os campanários, torres e adornos são pontos preferenciais de impacto de descargas devido a sua saliência acentuada.

As principais saliências serão providas de captores ESE unidos ao solo por uma descida direta realizada ao longo da torre principal.

Deve ser prevista uma segunda descida num percurso horizontal pelo telhado da nave, sempre que pelo menos uma das condições é cumprida:

- a altura total da torre for superior a 40 m.
- por seu comprimento, a nave fique fora da zona de proteção do captor ESE.

Neste segundo caso, seriam adicionados um ou mais captores, conforme o disposto no item 2.2.5.1 e demais disposições da presente norma. Sua descida se conectará com a segunda descida, que inicia em cima da torre.

No caso de uma igreja com duas descidas, se houver uma cruz ou uma estátua não metálica na extremidade da nave, esta deverá ser provida de um captor tipo terminal aéreo (ver exemplo fig. 6.5).

As duas tomadas de terra do pára-raios, assim como o terra do sistema elétrico devem ser unidos preferencialmente mediante um condutor de terra.

Alguns prédios religiosos possuem campanário elétrico. A alimentação elétrica destes deverá ser protegida contra sobretensões com a utilização de um protetor específico para tal, conforme citado no artigo 3.

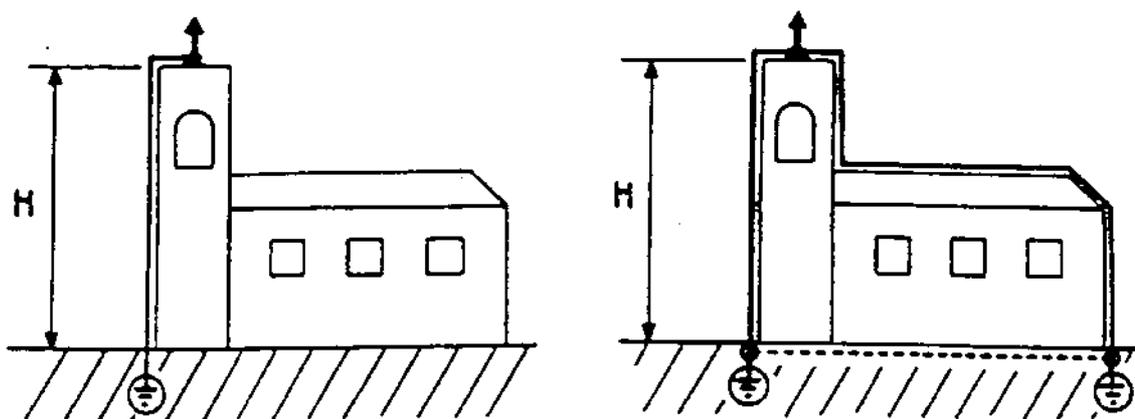


Figura 2.3.2 - Número de condutores de descida

6.6 Estruturas localizadas em pontos elevados

Os restaurantes situados em pontos elevados, os refúgios, as estações de teleféricos, etc. estão particularmente expostos a queda de raios. O sistema ESE será instalado conforme as disposições desta norma, com especial atenção para as uniões equipotenciais e as tomadas de terra.

6.7 Áreas abertas, áreas de lazer ou esportes

Campos de esportes, campings e locais de caravanas, piscinas, hipódromos, pistas de corridas, parques de diversões, etc.

Os captores ESE serão instalados sobre mastros de bandeiras, postes de alambrados, pilares ou qualquer outra estrutura existente. Sua quantificação e localização deverá atender às disposições desta norma.

6.8 Árvores

Certas árvores isoladas constituem grandes pontos preferenciais de impacto de raio, devido a sua altura e sua forma.

Naqueles locais onde existe risco de segurança nas circunvizinhanças (p/ex. perto de um edifício), ou quando a árvore for de interesse estético ou histórico, pode ser protegida de forma efetiva com a instalação de um captor ESE num ponto mais elevado da mesma, conforme as disposições desta norma.

Para a instalação do condutor de descida de modo a não comprometer o crescimento da árvore e evitar danos, o condutor deverá ser fixado de forma flexível, com a utilização de suportes adequados, ao longo do tronco da árvore, numa trajetória mais direta possível.

7. INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

A manutenção de qualquer SPDA é indispensável. Alguns componentes podem perder sua eficácia ao longo do tempo, devido à corrosão, poluição atmosférica, danos mecânicos ou impactos de raios. As características mecânicas e elétricas de um sistema de proteção contra raios devem ser mantidas durante toda sua existência, com o objetivo de continuar a atender aos requisitos estipulados pelas normas.

7.1 Inspeção inicial

Desde a realização da instalação de um sistema ESE, devem ser efetuadas inspeções destinadas a assegurar que o mesmo está corretamente instalado conforme a presente norma.

Esta inspeção está baseada nos seguintes pontos:

- assegurar que o captor ESE está, pelo menos, a 2 m acima de qualquer elemento do volume a proteger;
- natureza e seção dos materiais utilizados para os condutores de descida;

- trajetória, disposição e continuidade elétrica do condutor de descida;
- fixação mecânica dos diferentes elementos da instalação;
- distância(s) de segurança e /ou presença de uniões equipotenciais;
- os valores da resistência das tomadas de terra estão corretos;
- todas as tomadas de terra estão conectadas.

Entretanto, quando parte ou totalidade de um condutor não é visível, é aconselhável realizar uma medida de sua continuidade elétrica. Este procedimento está descrito no capítulo 6 da norma NF C 15-100.

7.2 INSPEÇÕES PERIÓDICAS

A periodicidade das inspeções são recomendadas de acordo com o nível de proteção:

	Intervalo Normal	Intervalo intensificado
NÍVEL I	2 anos	1 ano
NÍVEL II	3 anos	2 anos
NÍVEL III	3 anos	2 anos

Nota: em caso de atmosferas corrosivas é aconselhável aplicar o intervalo intensificado.

Um SPDA deve também ser reavaliado sempre que a estrutura protegida for modificada, ou quando for constatada a ocorrência de impacto de um raio na estrutura.

Nota: Tal registro pode ser obtido com a instalação de um contador de impactos de raio instalado numa das descidas.

7.2.1 Procedimentos de inspeção

Deve ser realizada uma inspeção visual para se assegurar de que:

- nenhuma extensão ou modificação sobre a estrutura protegida predomine sobre a instalação das disposições complementares de proteção;
- a continuidade elétrica dos condutores visíveis está em condições;
- a fixação dos diferentes componentes e das proteções mecânicas estão em boas condições;
- nenhuma parte está afetada pela corrosão;
- as distâncias de segurança estão respeitadas e as uniões equipotenciais são suficientes e estão em bom estado.

Devem ser efetuadas medições para verificar:

- a continuidade elétrica dos condutores não visíveis;
- a resistência das tomadas de terra (deve ser analisada cada variação).

7.2.2 Laudos sobre as inspeções

Cada verificação periódica deve ser objeto de um laudo detalhado que descreve o conjunto de constatações e indica os procedimentos corretivos a serem adotados.

7.3 Manutenção

Quando uma vistoria mostra que existem deficiências ou anomalias no SPDA, é conveniente realizar a correção o mais rápido possível afim de manter a eficácia ideal do sistema.

ANEXO A

(Normativo)

MODELO DE PROTEÇÃO

A 1 DESCRIÇÃO DA FASE DE APROXIMAÇÃO

A 1.1 Determinação do ponto de impacto

A formação ou chegada da nuvem de tormenta provoca a criação de um campo elétrico (ambiente) entre a nuvem e a terra. Este campo elétrico pode superar ao solo a uma grandeza de 5 kV/m, iniciando assim a criação de descargas corona a partir dos pontos mais altos do solo ou de massas metálicas.

O raio inicia com a formação de um líder descendente desde a nuvem carregada e se propaga em impulsos até o solo. O líder descendente transporta cargas elétricas, provocando um incremento do campo próximo ao solo.

Um líder ascendente se desenvolve a partir de uma estrutura ou de um objeto elevado do solo e propaga até encontrar o líder descendente. E como decorrência disso, a corrente do raio flui por este canal então criado. Outros líderes ascendentes podem ser emitidos a partir de diferentes estruturas. O primeiro deles que encontrar o líder descendente determinará o ponto de impacto da descarga (Fig. A1).

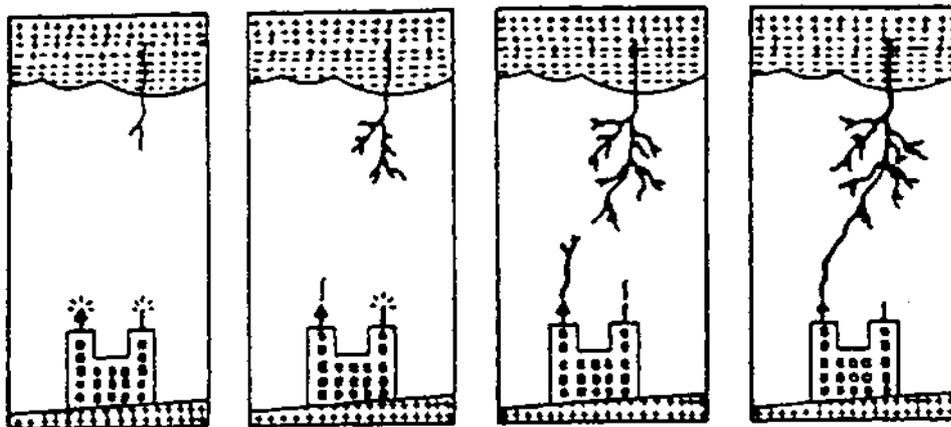


Figura A 1

Nota: Esta descrição é válida somente em caso de raio descendente negativo, único caso em que se aplica o modelo eletrogeométrico. Este tipo de raio é o que ocorre com maior frequência.

A 1.2 Velocidade de propagação dos líderes

Dados obtidos experimentalmente da natureza mostram que as velocidades médias dos líderes ascendentes e descendentes são comparáveis durante a fase de aproximação, e a razão destas velocidades é de aproximadamente = 1 (entre 0,9 e 1,1).

Assumindo que $v = v_{up} = v_{down} = 1m/\mu s$ (média das velocidades dos líderes), onde:

v_{up} é a velocidade do líder ascendente,

v_{down} é a velocidade do líder descendente,

v é a velocidade média.

A 2 VANTAGEM DE PROTEÇÃO COM UM CAPTOR E.S.E.

A 2.1 Antecipação no tempo de captura

Um captor ESE foi projetado para reduzir o tempo médio estatístico associado a emissão prévia do líder ascendente. Um captor ESE apresenta um ganho de tempo de captura em relação a um captor de referência instalado nas mesmas condições. Este ganho é determinado em laboratórios de alta tensão segundo-se as recomendações do parágrafo 2.2.2.1 e do Anexo C da presente norma.

A 2.2 Ganho em distância do líder ascendente

O ganho em distância do líder ascendente (delta L) é definido por: $DL(m) = v(m/us).Dt(us)$

A volume protegido é determinado baseado nos mesmos moldes do modelo eletrogeométrico.

A 3 MODELO DE PROTEÇÃO

A 3.1 Raio de proteção de um captor de referência

No caso de um captor de referência, segundo o modelo eletrogeométrico, o ponto de impacto da descarga é determinado pelo objeto sobre o solo que primeiro encontrar a distância “d” do líder descendente, mesmo que este for o próprio solo. A distância “d” que determina o ponto de encontro dos líderes descendentes e ascendentes se denomina “distância de captura”: isto é também a distância desenvolvida pelo líder ascendente.

Por tanto, tudo se passa como se o extremo do líder descendente fosse o centro de uma esfera fictícia de raio “d”, e como se esta esfera acompanhasse rigidamente o extremo do líder ascendente na sua trajetória.

No caso de um captor de referência de altura “h” com referência ao volume protegido (edifício, telhado, solo, etc.), existem três possibilidades (ver fig. A 2):

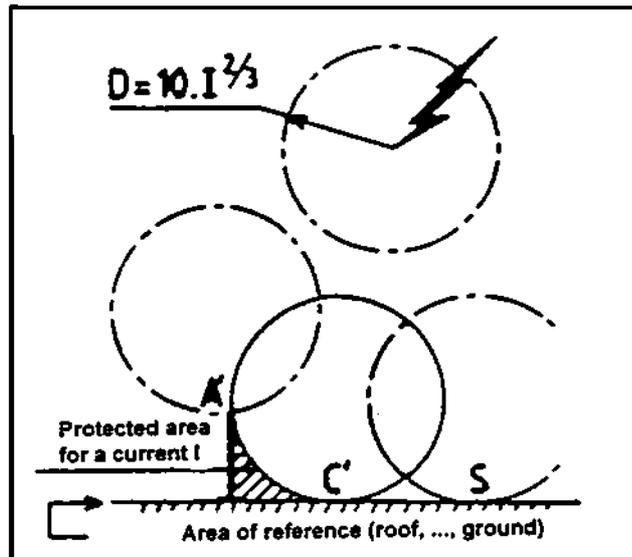


Figura A 2 - Método da esfera rolante

- se a esfera entrar em contato unicamente com ponta vertical (A'), esta continuará o ponto de impacto da descarga.
- se a esfera entrar em contato com a superfície de referência sem tocar a ponta, o raio tocará unicamente o solo em S.

se a esfera entrar em contato com o captor de referência e à superfície de referência simultaneamente, haverá dois pontos possíveis de impacto: A'e C', mas o impacto jamais poderá ocorrer dentro da zona sombreada (ver fig. A3).

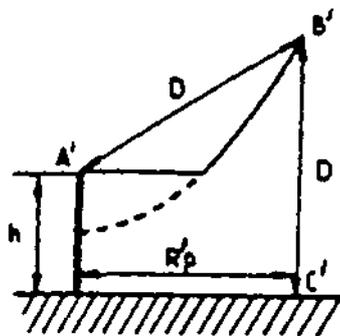


Figura A 3

A distância de captura "d" é geralmente dada pela seguinte expressão:

$$D(m) = 10 \cdot I^{2/3} , \text{ onde}$$

I é o pico de corrente do primeiro arco de retorno em kA.

A 3.2 Raio de proteção de um captor E.S.E.

No caso de um protetor ESE, existe um ganho no instante da captura do raio Δt , com $\Delta L = v \cdot \Delta t$, e os pontos possíveis de impacto são A e C (fig. A4) com um raio de proteção R_p tal que:

ANEXO B

(Normativo)

GUIA PARA DETERMINAÇÃO DO RISCO DE IMPACTO DO RAIO E ESCOLHA DO NÍVEL DE PROTEÇÃO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SPDA ESE

B 1 GENERALIDADES

O guia para determinação do risco de impacto tem por objetivo ajudar ao responsável pelo projeto na análise dos diferentes critérios que permitam avaliar o risco de danos causados pela descarga, determinar a proteção necessária e o nível de proteção requerido. Serão tratados aqui unicamente os danos causados pelo impacto direto de raio sobre a estrutura a proteger e a tensão de passo causada pela corrente do raio.

Em muitos casos, a necessidade de proteção é óbvia. Citaremos alguns exemplos:

- locais de grande concentração de pessoas;
- serviços essenciais que não podem ser interrompidos;
- zonas de grandes incidências de raios;
- estruturas muito altas ou isoladas;
- edificações que contêm materiais explosivos ou inflamáveis ou patrimônio cultural irreparável.

Algumas conseqüências típicas de incidências de raios em estruturas comuns estão listadas na tabela B1 a título de informação.

Classificação da estrutura	Tipo de estrutura	Conseqüências de uma descarga elétrica
Estruturas comuns (ver nota)	Residências	Perfuração das instalações elétricas, incêndio e danos em equipamentos normalmente próximos do ponto do raio ou caminho deste
	Fazendas	Risco de incêndio e centelhas perigosas. Risco provenientes da falta de energia: morte de rebanho como resultado de pane no controle de ventilação e distribuição de ração. Risco de tensão de passo.
	Teatros, escolas, áreas de esportes, supermercados,	Risco de pânico e falha no alarme de incêndio resultando na demora do combate ao fogo.
	Bancos	O mesmo que acima mais problemas relacionados com perda de informação e mal funcionamento dos computadores.
	Hospitais, enfermarias, penitenciárias	O mesmo que acima mais problemas relacionados com pacientes em tratamento intensivo.
	Indústria	Efeitos adicionais dependendo do material, indo até limites inaceitáveis de perda de produção.
	Museus e sítios arqueológicos	Perdas irreparáveis na herança cultural.

Tabela B 1

Nota: Equipamentos eletrônicos sensíveis podem estar instalados dentro de qualquer estrutura e podem facilmente serem danificados por sobretensões provenientes de descargas.

Em todos os casos existe risco para as pessoas que se encontrarem no interior ou nos arredores da estrutura.

Este guia tem a finalidade de apresentar uma avaliação dos riscos tendo em conta o risco de impacto e os seguintes fatores:

1. Arredores da edificação,
2. Natureza da construção,
3. Conteúdo da estrutura,
4. Ocupação humana e risco de pânico,
5. Conseqüências que haveriam com a descarga do raio.

A localização do edifício em função das cercanias, e sua altura serão consideradas para a determinação do risco de exposição.

Em alguns casos, certos parâmetros não podem ser avaliados e podem prevalecer sobre outra consideração. Por exemplo, o desejo de se evitar riscos de vida ou de proporcionar aos ocupantes de um edifício uma proteção garantida, mesmo que seu índice de risco não indicasse a necessidade da proteção. Então se podem tomar medidas de proteção mais rigorosas do que as resultantes da aplicação deste guia.

A seleção de um nível de proteção adequado para a instalação de um SPDA ESE num determinado lugar se baseia na frequência de impactos de raio N_d prevista sobre a estrutura ou zona a proteger, e a frequência anual aceitável de raios N_c , estabelecida para esta zona.

B 2 Determinação do N_d e do N_c

B 2.1 Densidade de impactos de raios de uma região N_g

A densidade de impactos de raio é expressa pelo número de raios por km² e por ano, e pode ser determinada por:

- utilizando o mapa da densidade de descargas N_a da Fig. B4. Neste caso $N_g = N_a / 2.2$
 - consultando os levantamentos efetuados no local
 - utilizando o índice isocerâunico do local N_k : $N_k (max.) = 0,04 N_k$, $1,25$ aprox. = $N_k / 10$
- } com $N_g \text{ max} = 2N_g$

O valor N_g máx é tomado no ponto máximo da densidade da descarga e precisão de detecção.

N_k	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$N_g \text{ max}$	0.3	0.7	1.2	1.7	2.2	2.8	3.4	4.0	4.7

Nota: o mapa da figura B4 mostra a densidade dos impactos. A constante 2.2 é a relação média entre o número de impactos e o número de relâmpagos.

B 2.2 Freqüência estimada de impactos diretos de raios N_d sobre uma estrutura

A freqüência anual medida N_d de impactos diretos sobre uma estrutura é avaliada a partir da expressão:

$$N_d = N_g \cdot \max \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} / year, \text{ onde: (Equação 6)}$$

N_g é a densidade anual média de impactos de raios na região onde está situada a estrutura (número de impactos/ano/km).

A_e superfície de captura equivalente da estrutura isolada (m^2).

C_1 é o coeficiente relacionado com as circunvizinhanças da estrutura.

A superfície de captura equivalente é definida como a área do solo que tem a mesma probabilidade anual de receber um impacto direto de um raio, que a estrutura considerada.

Para as superfícies isoladas segundo a tabela B2, a superfície de captura equivalente A_e é a superfície compreendida entre as linhas obtidas pela interseção entre a superfície do solo e uma linha de inclinação 1:3 que passa pelo ponto mais alto da estrutura e contorna a mesma.

Para uma estrutura retangular de comprimento L , largura W e altura H , a superfície de captura é igual a:

$$A_e = LW + 6H \cdot (L + W) + 9\pi H^2 \text{ (Equação 7).}$$

A topografia do lugar e dos objetos situados até uma distância de $3H$ da estrutura afetam significativamente na superfície de captura. Este fator é levado em conta através do coeficiente C_1 (tabela B2).

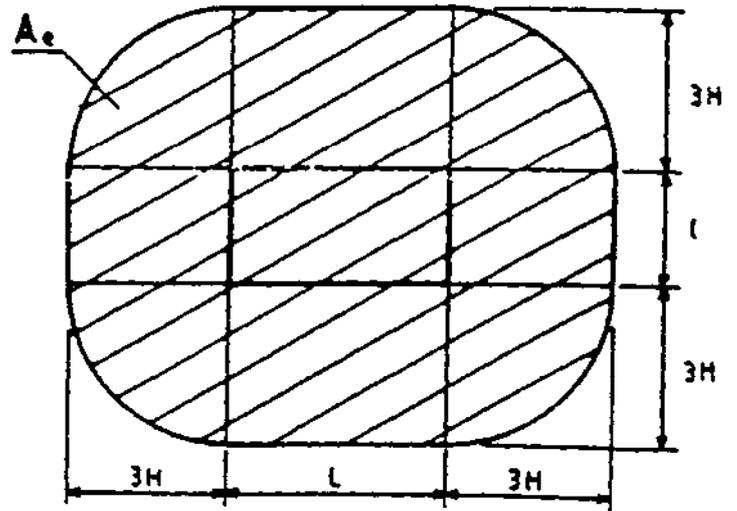
Localização relativa da estrutura	C_1
Estrutura localizada dentro de um espaço contendo estruturas ou árvores de mesma altura ou maiores	0.25
Estrutura rodeada por estruturas menores	0.5
Estrutura isolada	1
Estrutura isolada no topo de colina	2

Tabela B2 - Determinação do coeficiente ambiental C_1

- Quando a superfície de captura equivalente de uma estrutura cobre completamente outra estrutura, esta última não será considerada.
- Quando é coberta a superfície de captura de várias estruturas, a superfície de captura comum correspondente é considerada como uma única superfície de captura. Na figura B3 estão representados três exemplos característicos.

Nota: podem ser utilizados outros métodos mais sofisticados para uma avaliação mais precisa da superfície de captura equivalente.

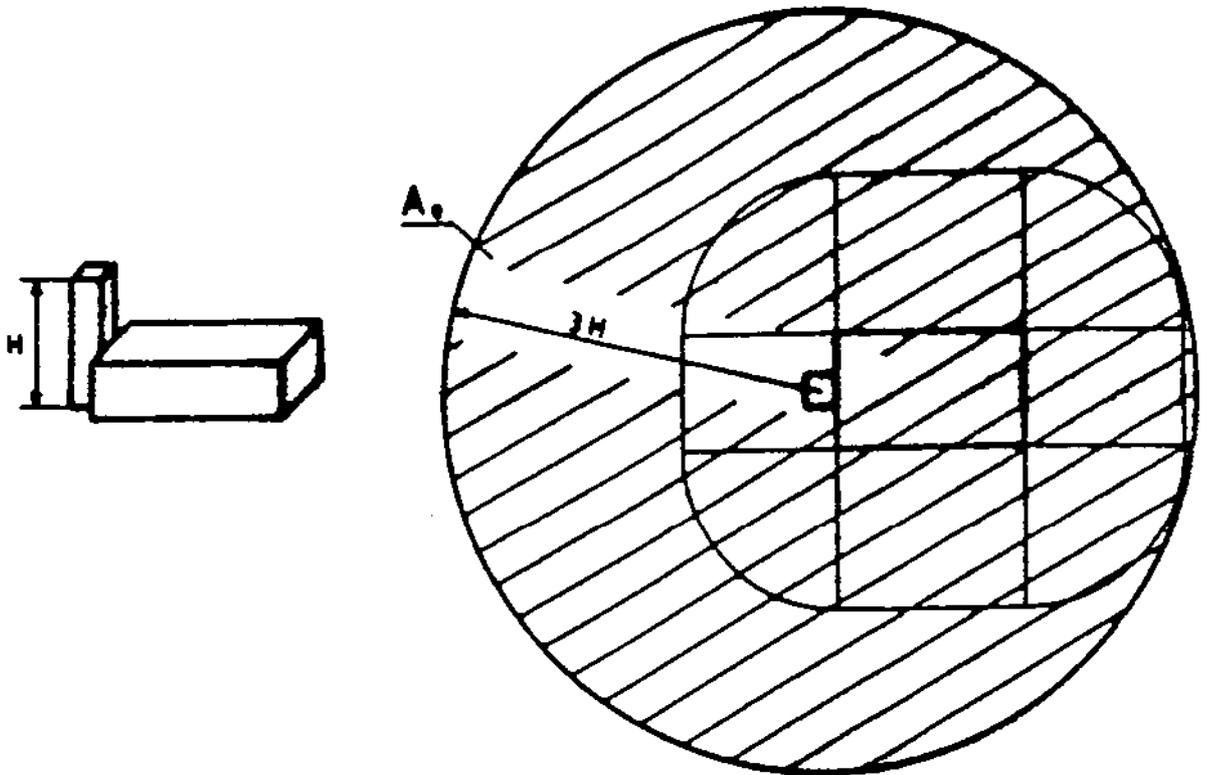
1º) Para um prédio retangular, a superfície de captura é: $A_e = LW + 6H \cdot (L + W) + 9\pi H^2$



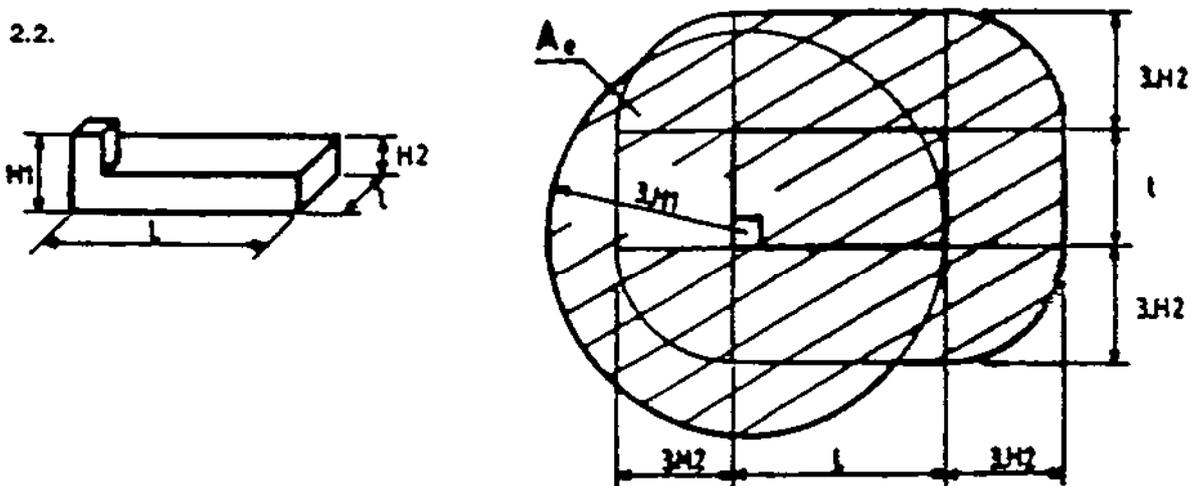
2º) Prédio com parte proeminente

A área equivalente da parte proeminente circunda toda ou parte da menor parte :

2.1. $A_e = 9\pi H^2$



2.2.



B 2.3 Frequência tolerável de raios (Nc) sobre uma estrutura

B 2.3.1 Generalidades

Os valores de Nc são estimados através de análises de risco de danos tendo-se em conta os fatores convenientes tais como:

- tipo de construção
- conteúdo no interior da estrutura
- ocupação da estrutura
- conseqüências de impacto de raios.

B 2.3.2 Determinação do Nc

Abaixo estão indicadas quatro situações, simbolizadas pelos coeficientes C₂, C₃, C₄ e C₅, que devem ser avaliados com auxílio das tabelas B5 a B8.

Sendo: $C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$

N_c é expresso por $N = 5.5 \cdot 10^{-3} / C$

Tabela B5

C ₂ , coeficiente estrutural			
Estrutura/Telhado	Metal	Comum	Inflamável
Metal	0.5	1	2
Comum	1	1	2.5
Inflamável	2	2.5	3

Tabela B6

C ₃ , conteúdo da estrutura	
Sem valor e não inflamável	0.5
Valor baixo ou pouco inflamável	1
Valor elevado ou particularmente inflamável	2
Valor excepcional, irreparável ou altamente inflamável, explosivo	3

Tabela B7

C ₄ , ocupação da estrutura	
Desocupada	0.5
Normalmente ocupada	1
Difícil evacuação ou risco de pânico	3

Tabela B8

C ₅ , conseqüências de uma descarga elétrica	
Continuidade de serviço não necessária, sem conseqüências ambientais	1
Continuidade de serviço necessária, sem conseqüências ambientais	5
Conseqüências ao ambiente	10

Nota: Regulamentações específicas podem impor outros valores para N_c em alguns casos.

B 3 MÉTODO DE SELEÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO

O valor da frequência aceitável de raios N_c deverá ser comparado com o valor da frequência esperada de raios N_v sobre a estrutura.

Esta comparação permite decidir se é necessário um sistema de proteção contra raio, e, no caso afirmativo, qual o nível de proteção requerido.

- Se $N_d \leq N_c$, um SPDA não será obrigatório.
- Se $N_d > N_c$, deve ser instalado um SPDA de eficiência $E \geq 1 - N_c / N_d$ e o nível de proteção correspondente será determinado segundo a tabela B 10.

O projeto de um SPDA deverá respeitar as especificações dadas na norma para os níveis de proteção selecionados.

Se for instalado um sistema de proteção contra raio de eficiência E' menor que E determinado, as medidas complementares deverão ser efetuadas em obra. As medidas adicionais de proteção são:

- as dimensões que limitam a tensão de passo ou de toque.
- as medidas que limitam a propagação do fogo.
- as medidas que podem reduzir os efeitos das sobretensões induzidas pela descarga sobre equipamentos sensíveis.

Na figura B9 é mostrado um método prático para escolher o nível de proteção.

A tabela B10 mostra os valores críticos efetivos E_c correspondentes aos limites entre os diferentes níveis de proteção e os níveis de proteção correspondentes às eficiências calculadas E .

Tabela B9 - Determinação dos requisitos de proteção e nível de proteção

Equações de entrada de dados	Cálculo	Resultado
Área de cobertura equivalente: $A_e = LW + 6H \cdot (L + W) + 9\pi H^2$ (para um volume retangular)	L= W= H= H ² =	A _e =
Freqüência de raios diretos sobre a estrutura esperada: $N_d = N_g \max \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-3} / C$, onde	N _g max= A _e = C ₁ =	N _d =
Freqüência de raios diretos sobre a estrutura aceita: $N_c = 5.5 \cdot 10^{-3} / C$, onde $C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$	C ₂ = C ₃ = C ₄ = C ₅ = C=	N _c =
Se $N_d \leq N_c$: A PROTEÇÃO É OPCIONAL. Se $N_d > N_c$: A PROTEÇÃO É NECESSÁRIA: <ul style="list-style-type: none"> • Determine o nível de proteção necessário calculando a eficiência $E \geq 1 - N_c / N_d$. • Instale um SPDA com um nível de proteção correspondente ao calculado E usando a tabela B10 abaixo. 		

Tabela B10

Eficiência calculada E	Nível de proteção associado	Corrente de pico I (kA)	Distância inicial D (m)
$E > 0.98$	Nível I + medidas adicionais	-	-
$0.95 < E \leq 0.98$	Nível I	2.8	20
$0.80 < E \leq 0.95$	Nível II	9.5	45
$0 < E \leq 0.80$	Nível III	14.7	60

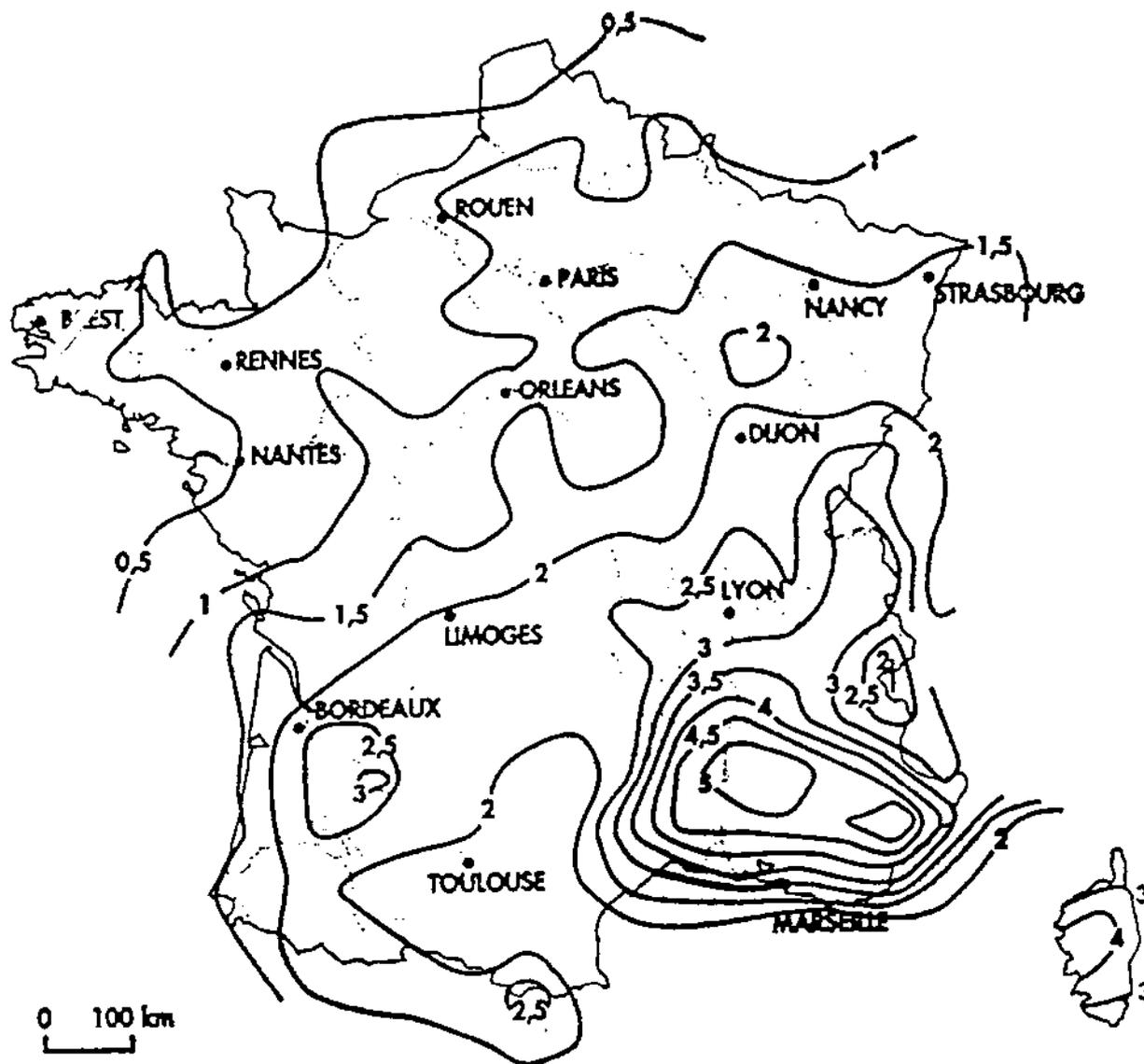


Figura B4: Mapa da densidade de descargas de raios N_a na França

Este mapa está baseado em dados estatísticos tomados em verificações efetuadas desde 1987 pelo National Network of Lightning Detection.

ANEXO C

(Normativo)

PROCEDIMENTOS DE APOIO AOS CAPTORES E.S.E.

C 1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Se avalia a eficácia de um captor ESE comparando, em laboratório de alta tensão, o tempo de antecipação da captura do líder ascendente realizado pelo captor ESE em relação a um captor comum de mesmo tamanho.

Assim sendo, o captor comum e o captor ESE devem ser ensaiados nas mesmas condições elétricas e geométricas, simulando nos ensaios em laboratório as condições naturais de iniciação da descarga de captura (líder positivo ascendente).

C 1.1 Simulação do campo ao nível do solo

O campo de terra natural existente antes de uma descarga tem conseqüências sobre as condições de formação do efeito corona e das cargas espaciais existentes. Por isso é necessário simula-lo: seu valor deverá estar compreendido entre 10 kV/m e 25 kV/m.

C 1.2 Simulação do impulso de campo

Para reproduzir o fenômeno natural da maneira mais próxima possível, o campo de terra reconstruído é simulado por uma forma de onda com tempo de subida variando de 100 μ s a 1000 μ s. A inclinação do impulso dentro da região do líder ascendente deve ser entre 2.10⁸ V/m/s e 2.10⁹ V/m/s.

C 2 MONTAGEM EXPERIMENTAL

C 2.1 Posicionamento dos captores a serem comparados

A distância entre a placa superior e a ponta do captor deve ser suficiente para que a propagação da descarga ascendente se efetue no espaço livre, e, em qualquer caso, superior a 1m ($d \geq 1m$). É necessário garantir que os dois captores comparados estejam em condições elétricas idênticas e independentes de sua localização: é testado um e depois o outro, colocados no centro da placa de terra e à mesma altura.

C 2.2 Dimensionamento da montagem experimental

A distância entre a placa superior e a placa de terra (H) deve ser superior a 2 m. A relação h/H da ponta do captor e a placa de terra deve estar compreendida entre 0,25 e 0,5. A dimensão horizontal mínima da placa superior é o mesmo valor H da

distância entre esta placa e o solo.

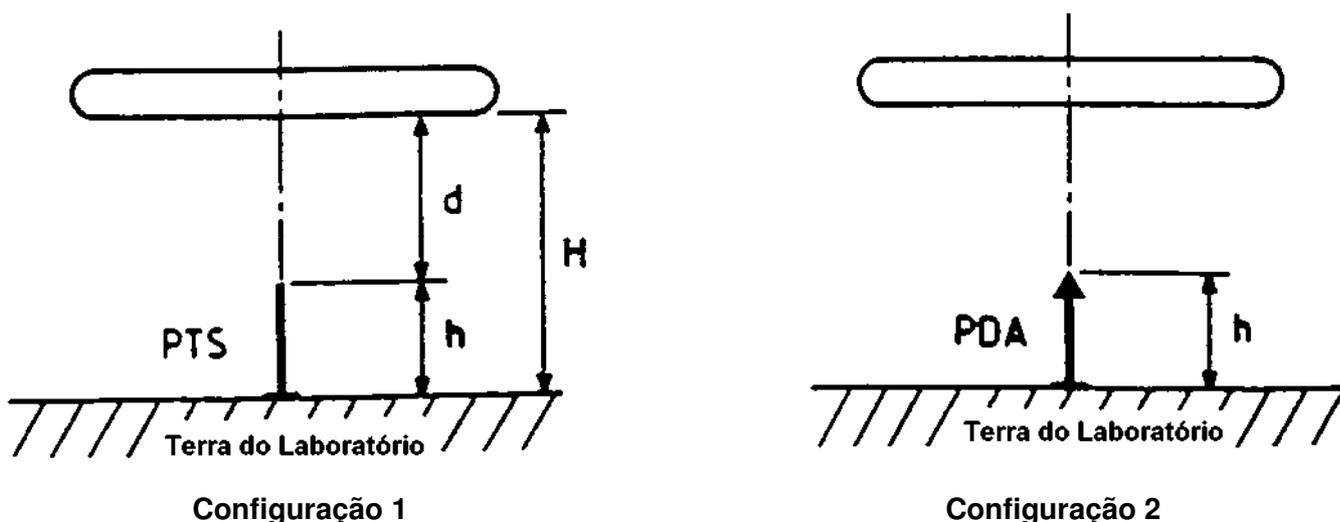


Figura C 1

C 3 PARÂMETROS A SEREM CHECADOS - MEDIDAS A TOMAR

C 3.1 Parâmetros elétricos

- Forma e amplitude das tensões aplicadas (calibrado no campo ambiental, forma de onda pulsada e corrente associada, etc.);
- Ajuste da polarização contínua;
- Ajuste inicial no captor de referência (captor comum): a probabilidade do início da captura deve ser igual a 1.

C 3.2 Condições geométricas

A distância " d " deve ser exatamente a mesma em cada configuração: deverá ser verificada antes de cada configuração.

C 3.3 Parâmetros climáticos

É necessário anotar as condições climáticas no início e no fim de cada ensaio para cada configuração (pressão, temperatura e umidade absoluta).

C 3.4 Número de impactos por configuração

É necessário que seja dado em cada configuração um número de impactos estatisticamente suficiente: por exemplo cem descargas para cada configuração.

C 3.5 Ganho no tempo de antecipação:

O critério adotado para avaliar a eficiência de um captor ESE é sua capacidade de iniciar um líder ascendente antes de um captor comum, situado sob mesmas condições. O tempo médio de captura de um líder ascendente T é medido para

cada impacto que incide no captor comum e no captor ESE.

C 4 EFICÁCIA DE UM CAPTOR E.S.E.

C 4.1 Determinação experimental da média do tempo de disparo

A partir das medidas do tempo de antecipação de captura dos líderes ascendentes para o captor comum de referência e para o captor ESE, são calculados os tempos de captura T_{PR} e T_{PDC} , a partir dos impulsos impactados, em relação aos parâmetros da curva experimental escolhida.

C 4.2 Forma de onda de referência

A forma de onda de referência é definida pela relação do tempo de subida T_R de $650\mu\text{s}$ e um ponto mostrado no gráfico da figura C2.

Reference waveform

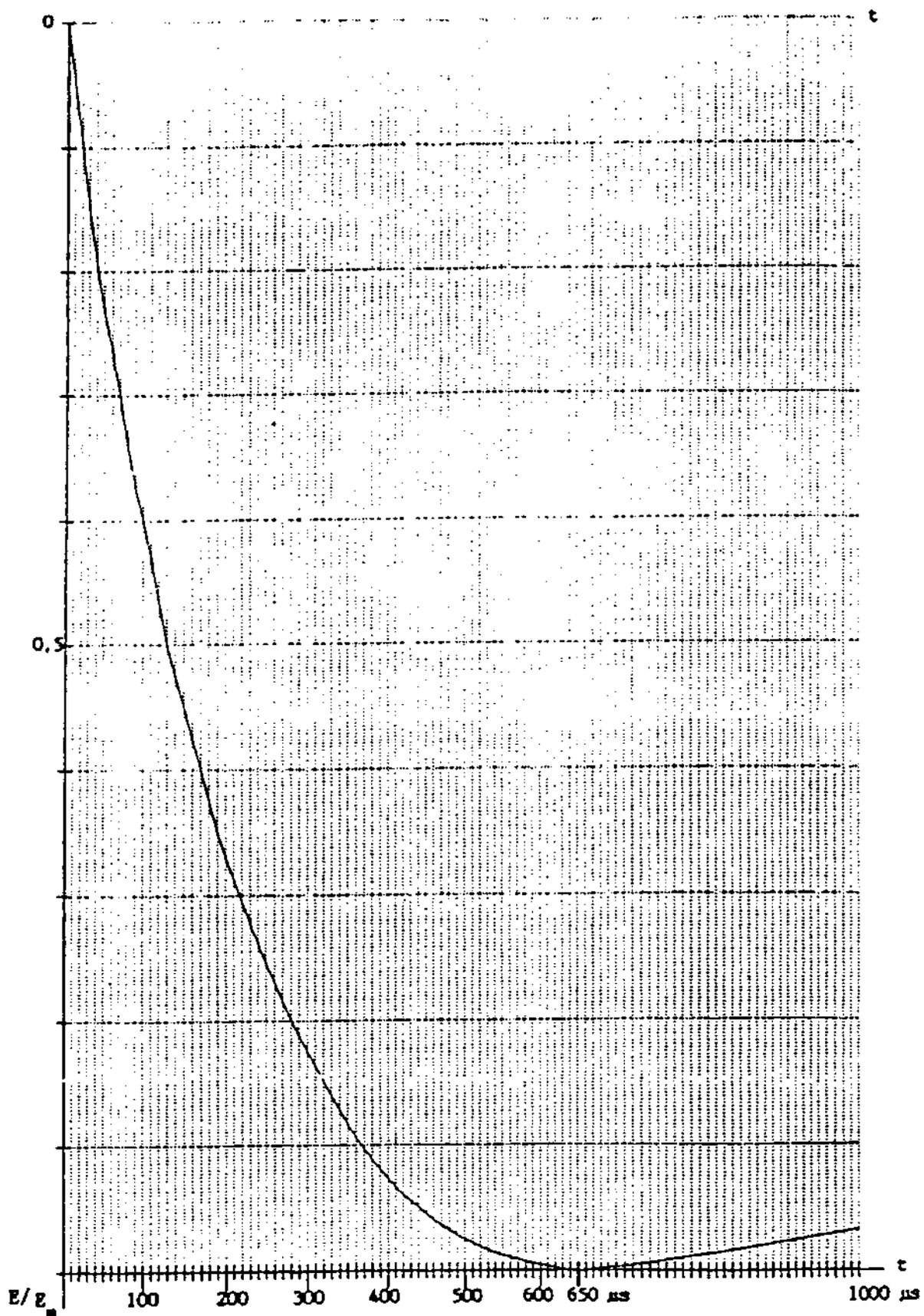


Figura C 2

C 4.2 Determinação do avanço de captura de um captor ESE

A curva experimental é plotada sobre o mesmo gráfico que a forma de onda de referência à qual é atribuído o mesmo valor de campo E_M que o campo experimental E_{Mexp} .

As linhas são traçadas de $\overline{T'_{SRLC}}$ e $\overline{T'_{ESEL C}}$ na curva de referência e as coordenadas dos pontos de intercessão fornecem os valores do campo E . Estes tempos de disparos são obtidos projetando as linhas dos valores de E para os pontos onde eles interseccionam a curva de referência; os valores associados no eixo x fornecem a antecipação no tempo de disparo ΔT (μs) = $\overline{T'_{SRLC}}$ e $\overline{T'_{ESEL C}}$.

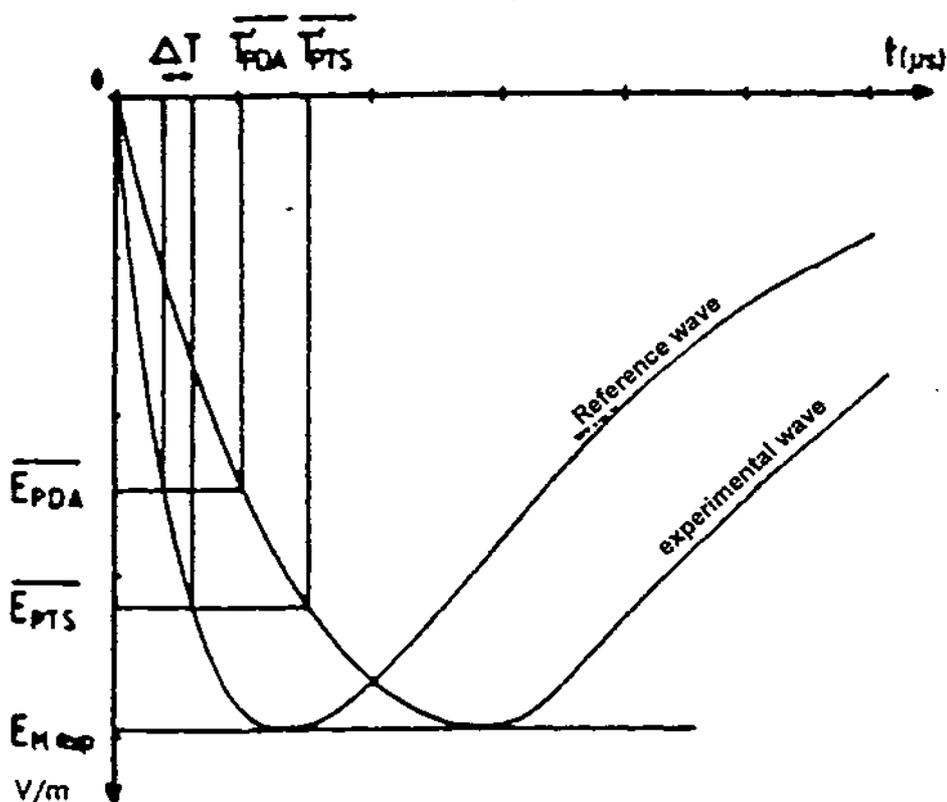


Figura C 3

Nota: O método proposto acima pode ser usado para determinar o valor ΔT em um laboratório. Usando campos de iniciação de líder ascendente que só dependem da altura h do captor um valor ΔT , independente de d , pode ser determinado. O modelo do campo de limiar de iniciação de líder contínuo, desenvolvido por Rizk e Berger, permite esta transposição.

D 1.2 Distribuição dos diferentes parâmetros do raio

Os parâmetros utilizados para descrever o impulso do raio (ou *impulsos*, em caso de impactos

de descarga negativa múltipla) são numerosos. Podem ser citados em particular: amplitude da corrente.

tempo de subida, tempo de descida, carga e energia específica.

Estes parâmetros referem-se às formas de impactos de raios reais tais como tem sido dimensionados para estabelecer as estatísticas de distribuição. Pode-se, numa primeira avaliação, considerar que a amplitude, em tempo de descida e tempo de subida, estão definidos

como em laboratório. A carga, como tal, corresponde a $\int i dt$ e a energia específica a $\int i^2 dt$. A

utilização destes parâmetros será estudada mais adiante.

A rapidez da subida (incremento de corrente de declive em kA/us) é também algumas vezes um dado interessante para caracterizar um impulso ainda que a ela estão ligados outros parâmetros já definidos: tempo de subida e amplitude.

O impacto de um raio completo, que compreende o(s) impulso(s) e a corrente remanescente que circula entre dois impulsos, é caracterizado essencialmente por sua duração total.

D 2 - EFEITOS DOS PARÂMETROS DA DESCARGA

Os diferentes parâmetros citados anteriormente não conduzem aos mesmos efeitos, e nem, em geral, às mesmas necessidades dos diferentes materiais.

A amplitude de corrente se utiliza para tratar dos problemas de sobretensões e dos problemas de choques mecânicos gerados pelo impacto do raio.

O tempo de subida, isoladamente, é considerado para tratar de problema das sobretensões.

O tempo de descida está ligado aos efeitos mecânicos e se utiliza, entretanto, para determinar o tempo de aplicação da força eletromagnética. Este tempo de descida é principalmente representativo da energia do raio juntamente com a amplitude. Para representar esta energia, o binômio amplitude/tempo de descida pode ser definido por: