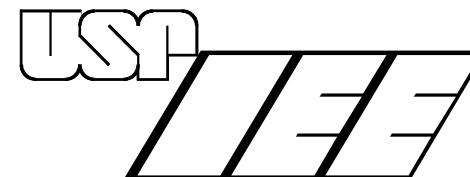




Universidade de São Paulo
B R A S I L



INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Técnicas de Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas

Dr. Hélio Eiji Sueta

Foto: Internet - Google

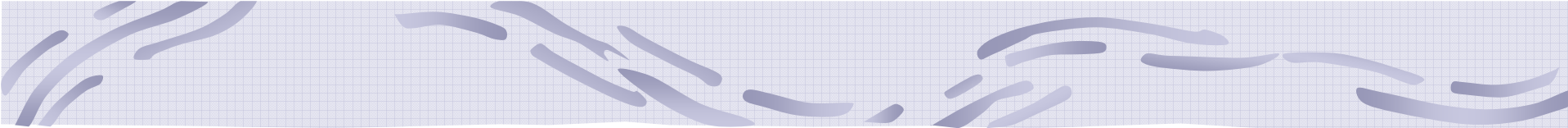


Por que devemos nos proteger contra as descargas atmosféricas ?

Tipos de falhas causadas por raios:

- Danos materiais (p.e. quebra de concreto no ponto de impacto) e pessoais
 - Início de incêndio (p.e. árvores, galpões de madeira)
 - Perfuração de materiais (p.e. telhados metálicos ou não, tanques)
 - Sobreaquecimento no ponto de impacto podendo dar início a pontos quentes (explosões, incêndio)
 - Desligamento de linhas de transmissão (~70%) e distribuição de energia (30- 40%)
 - Perda de serviços e instalações (ambientes com concentração de pessoas pode causar pânico)
-

- Falhas em equipamentos eletro-eletrônicos e sistemas instalados na estrutura (TV, computadores, equipamentos de redes, telefones, modems)
- Falha nos alarmes contra incêndios (atraso nas medidas de combate ao incêndio)
- Choques devido às tensões de toque, de passo e descargas laterais
- Perda de comunicação, falha em computadores, perda de dados (bancos, companhia de seguros, comerciais, etc)
- Perda de produção, atrasos (Indústrias, etc)
- Perda de patrimônios culturais insubstituíveis (Museus, sites arqueológicos, igrejas, etc)
- Perdas de serviços ao público inaceitáveis (telecomunicações, etc)
- Riscos secundários devido a perda de energia elétrica (UTI, perda de controles vitais, etc)
- Consequências ao meio ambiente (fogo e explosões em refinarias, indústrias químicas, usinas nucleares, fábricas de fogos de artifícios, munições, etc)



A necessidade de proteger um dado edifício contra descargas atmosféricas ou é uma exigência legal ou é uma consequência da experiência dos proprietários que desejam evitar a destruição total ou parcial de sua propriedade ou dos bens nela contido.

No Brasil é uma exigência legal fixada pelos códigos de obras municipais.



Danos materiais (p.e. quebra de concreto no ponto de impacto)



Danos materiais (p.e. quebra de concreto no ponto de impacto)





Figure 1 - Examples of roofs and facades damaged by lightning
Exemplos de coberturas e fachadas danificadas por raios

Início de incêndio (p.e. **árvores**, galpões de madeira)



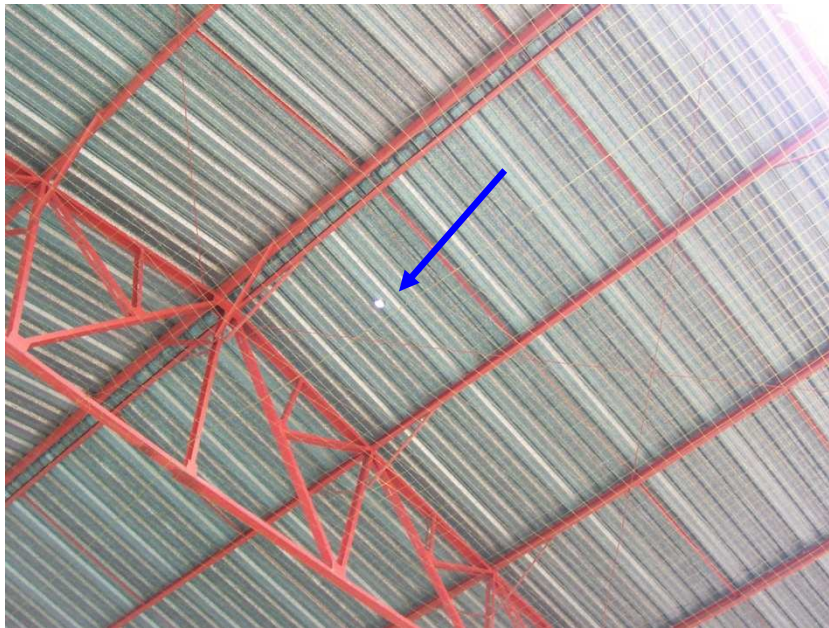
Foto: Termotécnica

Perfuração de materiais (p.e. telhados metálicos ou não, tanques)

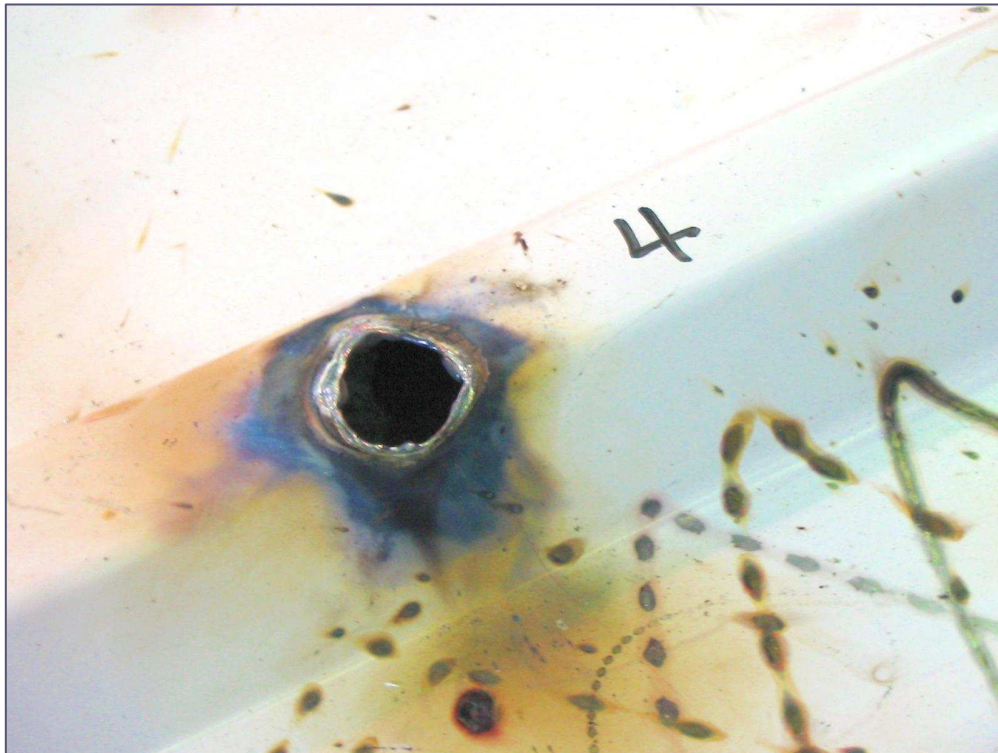


Foto: Termotécnica

Perfuração de materiais (p.e. telhados metálicos ou não, tanques)



Perfuração de materiais (p.e. telhados metálicos ou não, tanques)



Sobreaquecimento no ponto de impacto podendo dar início a pontos quentes (explosões, incêndio)



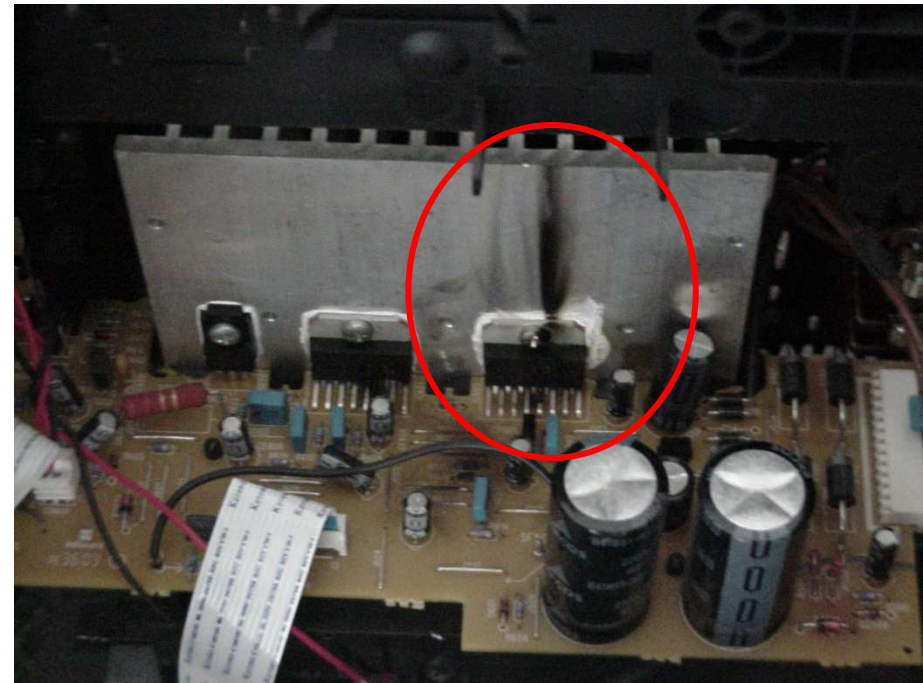
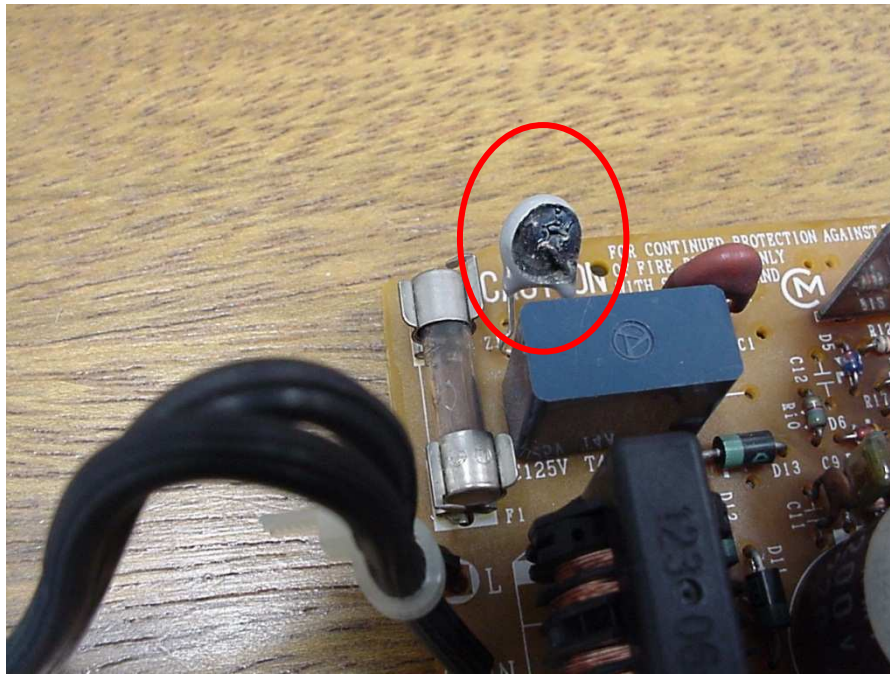


- Desligamento de linhas de transmissão e distribuição de energia



Fotos: Internet - Google

Falhas em equipamentos eletro-eletrônicos e sistemas instalados na estrutura (TV, computadores, redes, telefones, modems)



Choques em seres vivos

Title
IEC/TR 62713 ed. 1: Safety procedures for reduction of risk outside a structure

IEC/TR 62713 ed.1: Procedimentos de segurança para redução de riscos fora da estrutura



Descarga direta



Descarga lateral

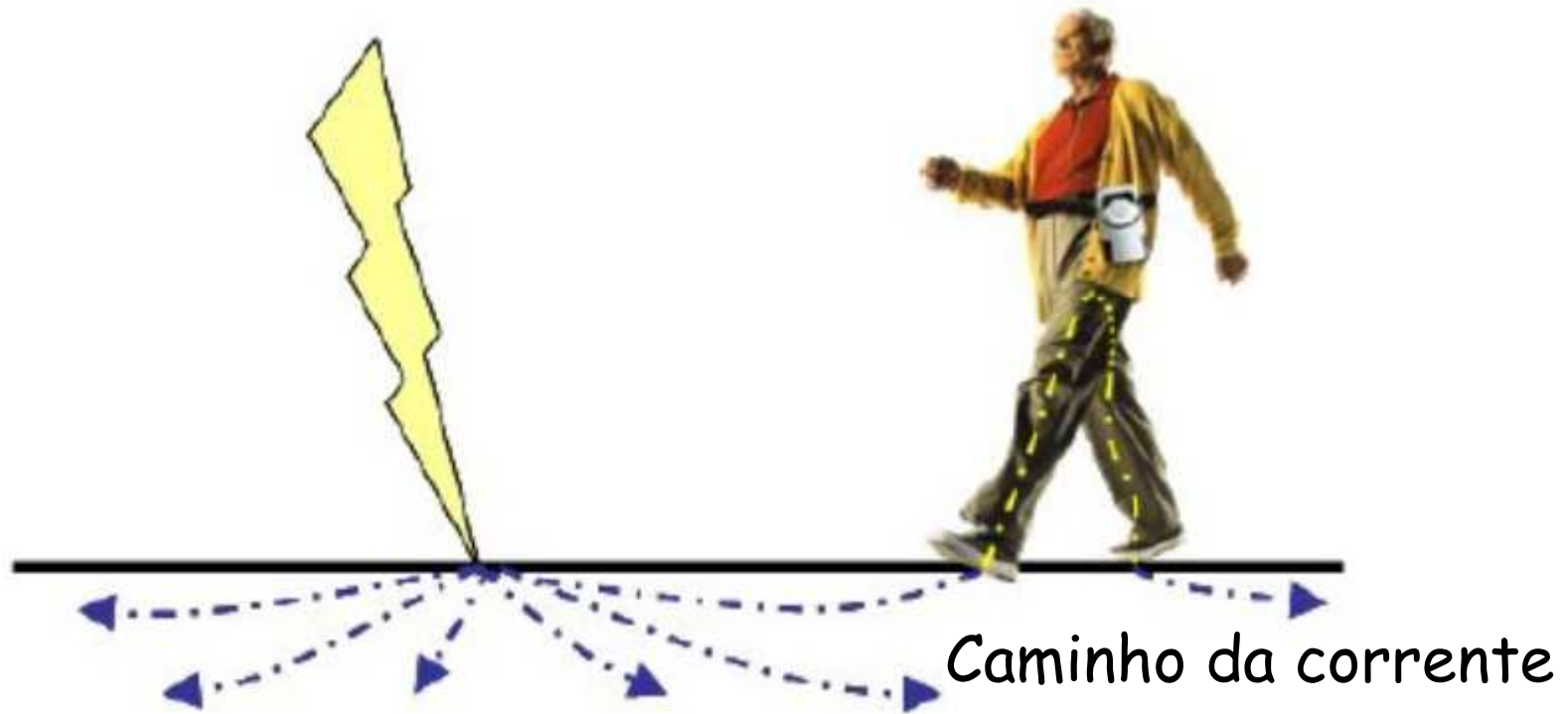
Alerta para não ficar embaixo de estruturas metálicas quando estas não estiverem aterradas.

TENSÃO DE TOQUE



Alerta para não tocar objetos metálicos durante uma tempestade

TENSÃO DE PASSO



Eletrização por tensão de passo

Desenho: IEC 62713

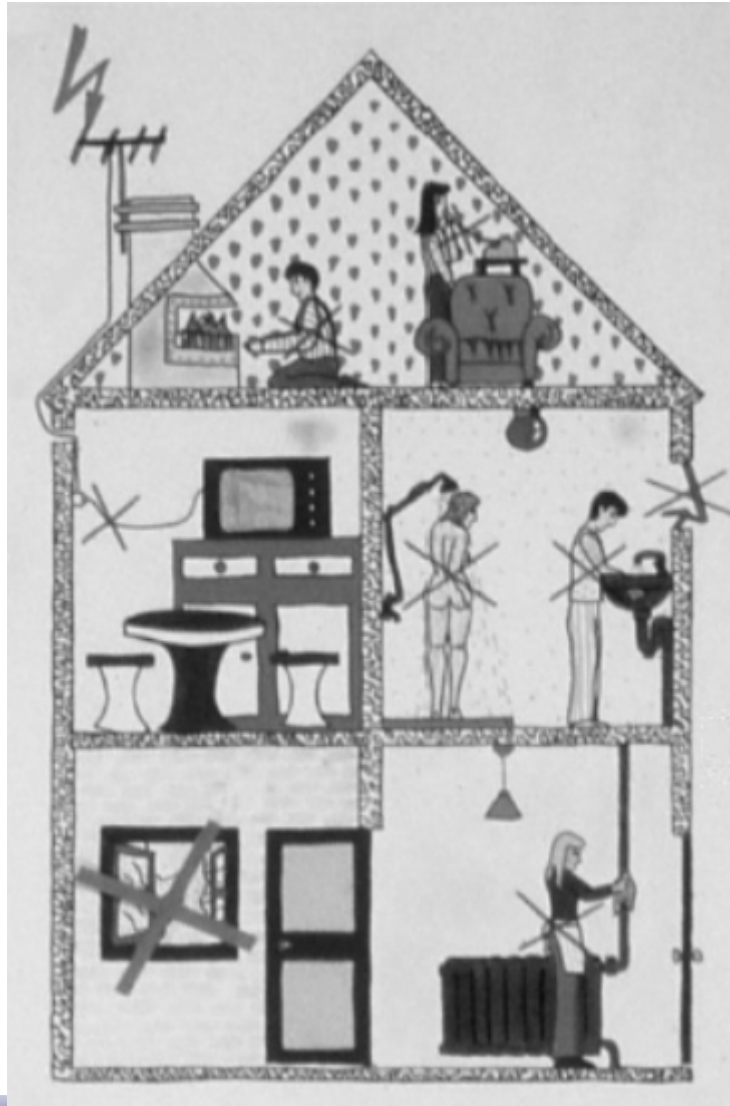
DESCARGAS EM SERES VIVOS



Figuras de Lichtenberg na pele humana

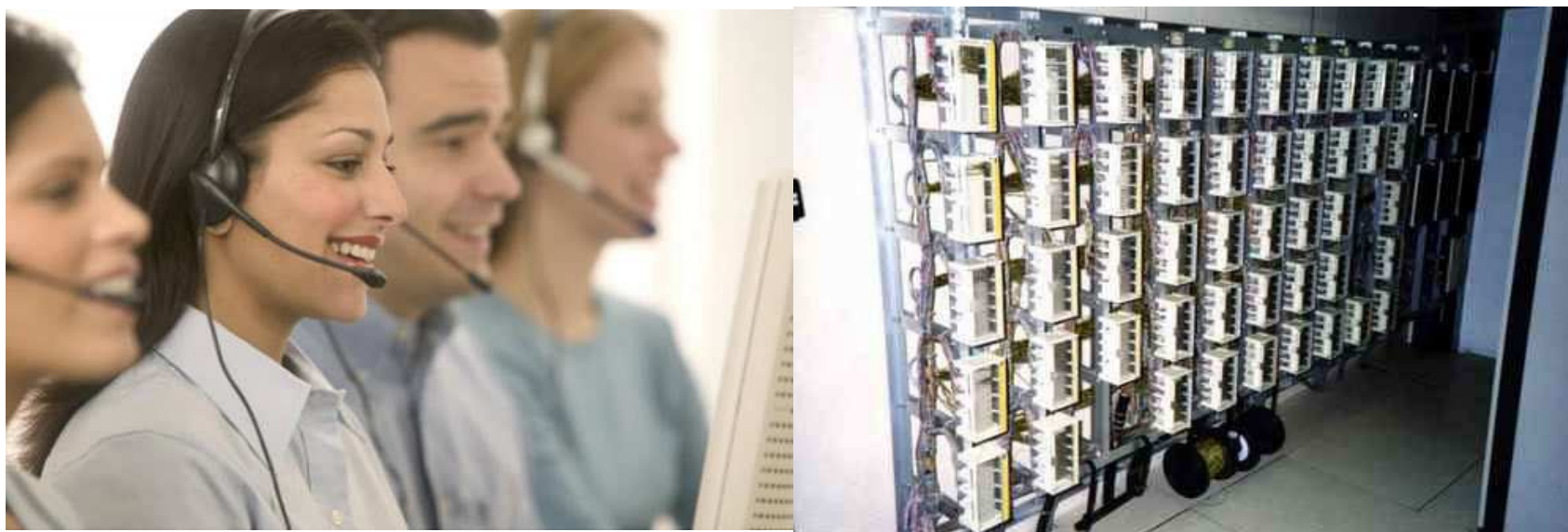
Foto: IEC 62713

DENTRO DE UMA EDIFICAÇÃO



Cuidados dentro
de uma casa

- Perda de comunicação, falha em computadores, perda de dados (bancos, companhia de seguros, comerciais, etc)



Perda de produção, atrasos (Indústrias, etc)



DESCARGA LATERAL



Fotos: Termotécnica

PERDA DE PRODUÇÃO E ATRASOS



ESTUDO PARA OBRAS EM REFINARIAS

Foto: Petrobrás

DEFINIÇÃO DOS LOCAIS ONDE A PRESENÇA DE TRABALHADORES DEVE SER EVITADA COM A APROXIMAÇÃO E DURANTE AS TEMPESTADES

- EM TODAS AS PARTES EXTERNAS DAS COBERTURAS



DEFINIÇÃO DOS LOCAIS ONDE A PRESENÇA DE TRABALHADORES DEVE SER EVITADA COM A APROXIMAÇÃO E DURANTE AS TEMPESTADES

- EM ÁREAS ABERTAS, FORA DOS VOLUMES DE PROTEÇÃO



DEFINIÇÃO DOS LOCAIS ONDE A PRESENÇA DE TRABALHADORES DEVE SER EVITADA COM A APROXIMAÇÃO E DURANTE AS TEMPESTADES

- NAS PARTES EXPOSTAS DAS ESTRUTURAS COM MAIS DE 20 METROS, TAIS COMO, JANELAS, ESCADAS EXTERNAS, PARTES ABERTAS DA ESTRUTURA, CHAMINÉS,ETC



DEFINIÇÃO DE LOCAIS ONDE A PROBABILIDADE DAS DESCARGAS ATINGIREM OS TRABALHADORES É BAIXA

- NAS PARTES INTERNAS DAS ESTRUTURAS

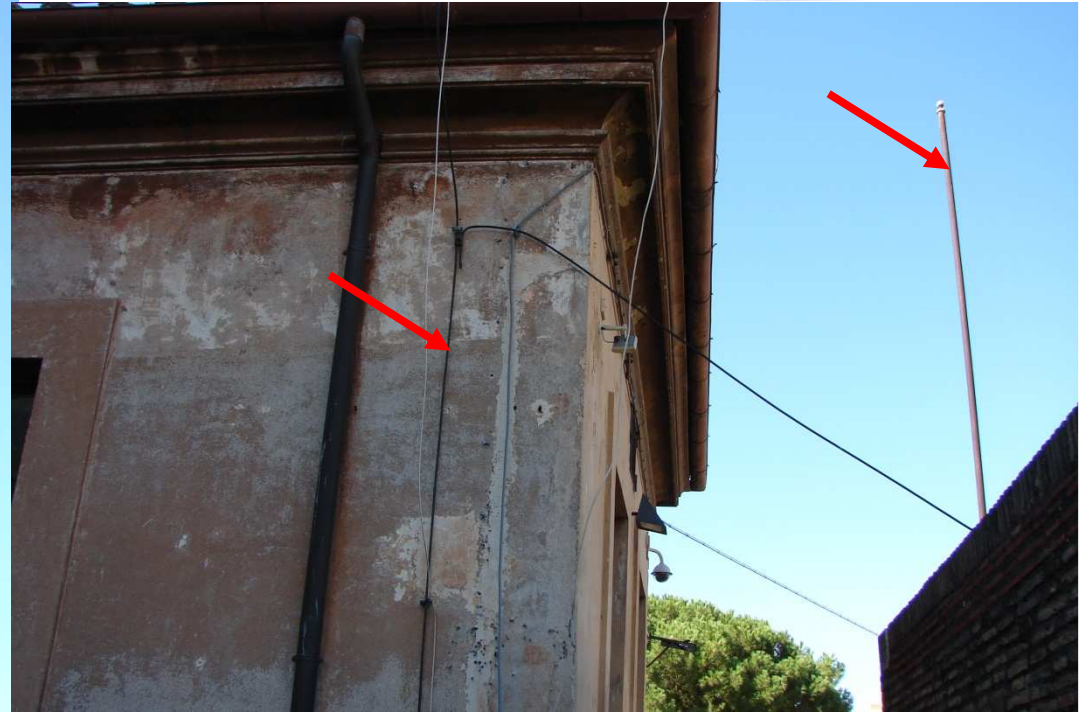


DEFINIÇÃO DE LOCAIS ONDE A PROBABILIDADE DAS DESCARGAS ATINGIREM OS TRABALHADORES É BAIXA

- NAS ÁREAS NATURALMENTE PROTEGIDAS

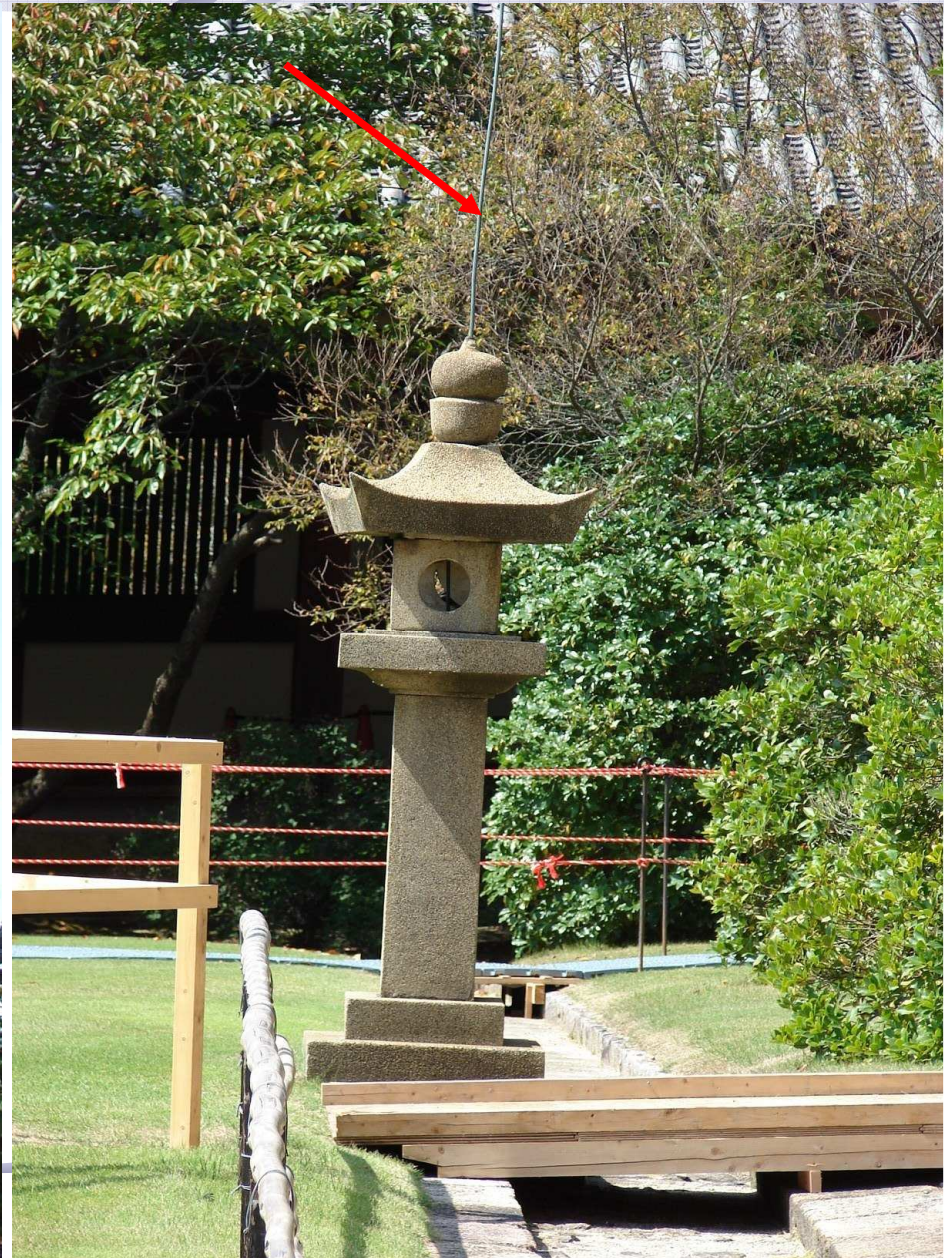


PERDAS DE PATRIMONIOS CULTURAIS INSUBSTITUÍVEIS



CASTELO SAINT' ANGELO
(PERTO DO VATICANO)

PERDAS DE PATRIMONIOS CULTURAIS INSUBSTITUÍVEIS



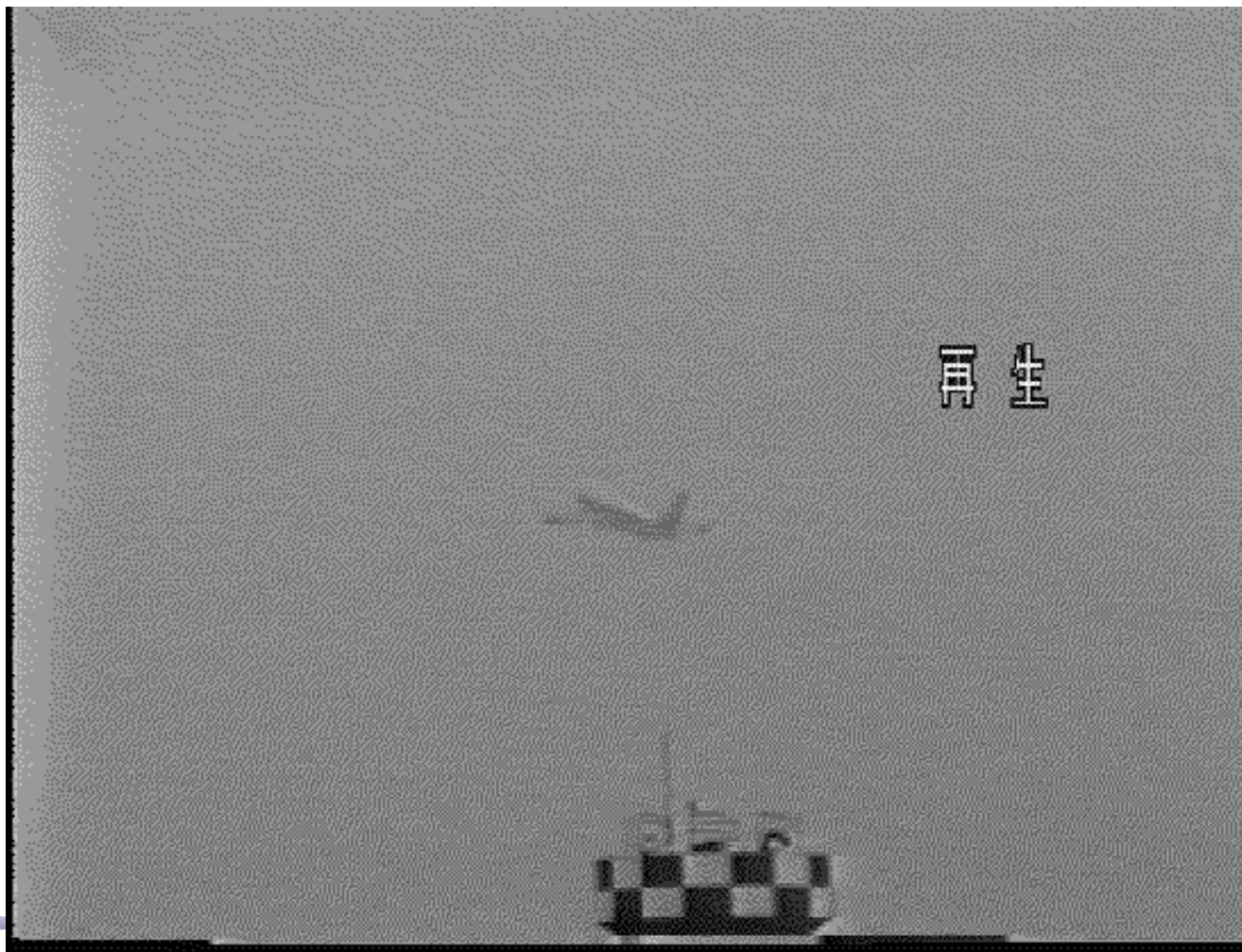
Fotos: Hélio Sueta

CONSEQUÊNCIAS AO MEIO AMBIENTE (FOGO E EXPLOSÕES EM USINAS)



USINA COMANCHE DE CANITAR (PERTO DE OURINHOS)
USINA DE ÁLCOOL

Proteção de Pessoas Contra Descargas Atmosféricas



Danos Causados por Descargas Atmosféricas em Aviões

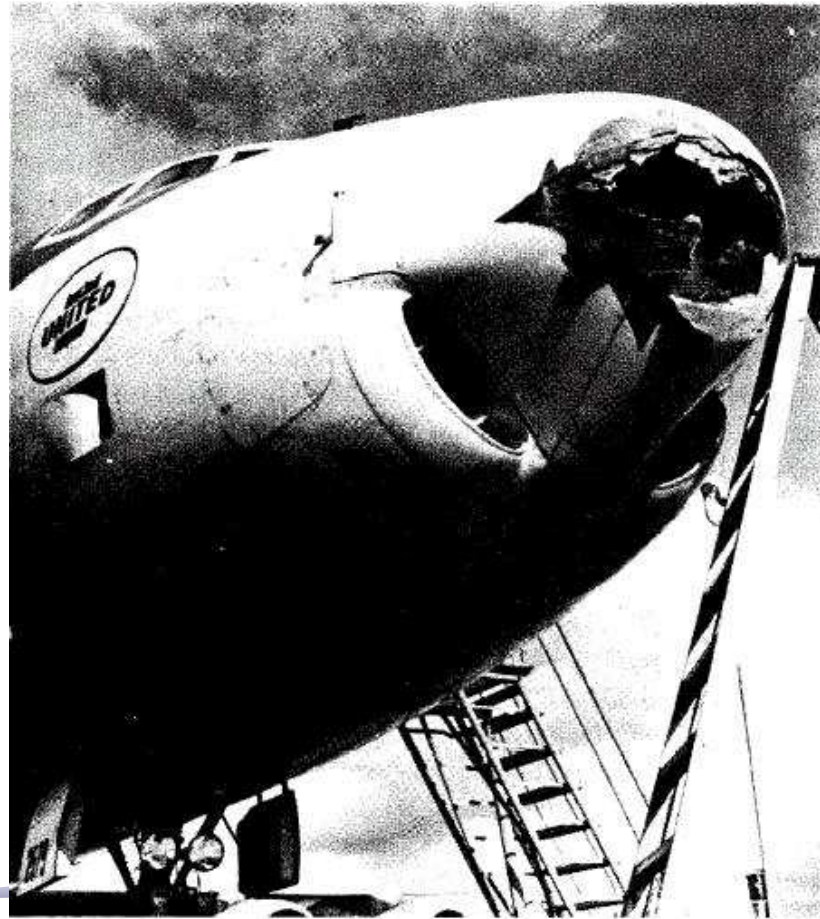


Foto: Internet - Google


PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS DIRETAS



Foto: Internet - Google



NORMALIZAÇÃO

- Evolução da NBR 5419
 - A Série IEC 62305
 - A revisão da norma brasileira
- 

A Série IEC 62305

- ☛ Proteção contra descargas atmosféricas
 - Parte 1 : Princípios Gerais
 - Parte 2: Gerenciamento de risco
 - Parte 3: Danos físicos às estruturas e perigos a vida
 - Parte 4: Sistemas Elétricos e eletrônicos dentro das estruturas
 - Parte 5: Serviços – **NÃO FOI PUBLICADA**

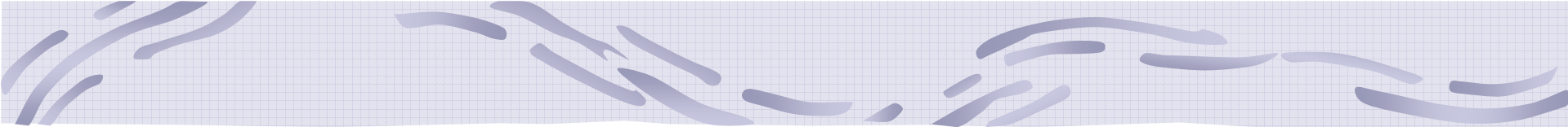
NBR 5419 - Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. 29/08/2005

Estruturas

- ▣ comerciais;
- ▣ industriais;
- ▣ agrícolas;
- ▣ administrativas;
- ▣ residenciais.


Locais evidentes

- ▣ grande afluência de público;
- ▣ prestação de serviços públicos essenciais;
- ▣ áreas com elevada densidade de DAs;
- ▣ estruturas isoladas, $h > 25\text{m}$;
- ▣ estruturas de valor histórico ou cultural;
- ▣ chaminés, tanques de combustíveis, antenas externas, guindastes.



NBR 5419 - Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. 29/08/2005

Não se aplica

- ✘ Sistemas ferroviários;
 - ✘ GTD externos às estruturas;
 - ✘ Veículos, aeronaves, navios e plataformas marítimas;
 - ✘ Proteção de equipamentos eletro-eletrônicos contra interferências eletromagnéticas devido às DAs.
- 

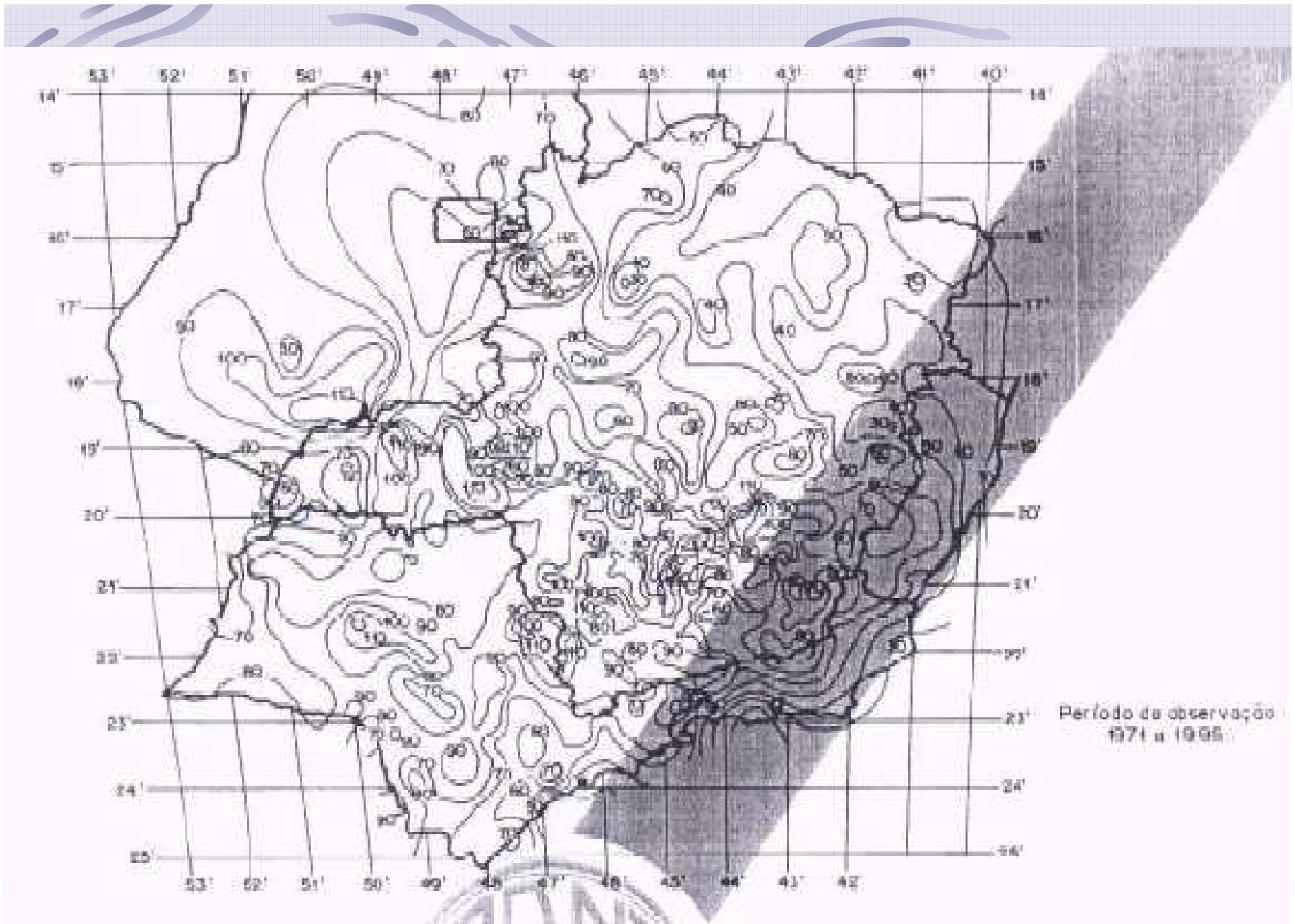
Avaliação do Risco de Exposição
Densidade de DAs para a terra

$$N_g = 0,04.T_d^{1,25} \left[\frac{\text{desc.}}{\text{km}^2 \cdot \text{ano}} \right]$$

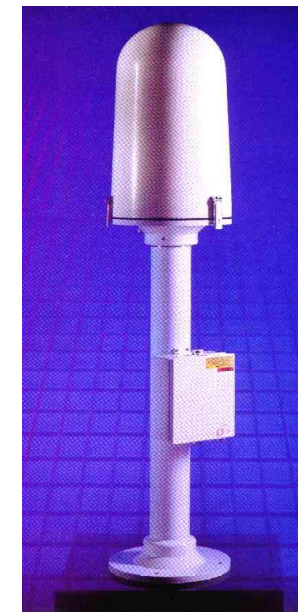
T_d = número de dias de trovoadas por ano → Mapas Isocerânicos



Número médio de dias de trovoadas por ano.
Fonte: BR 5419/2005



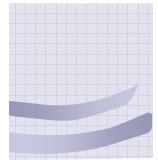
Sistemas de localização de descargas



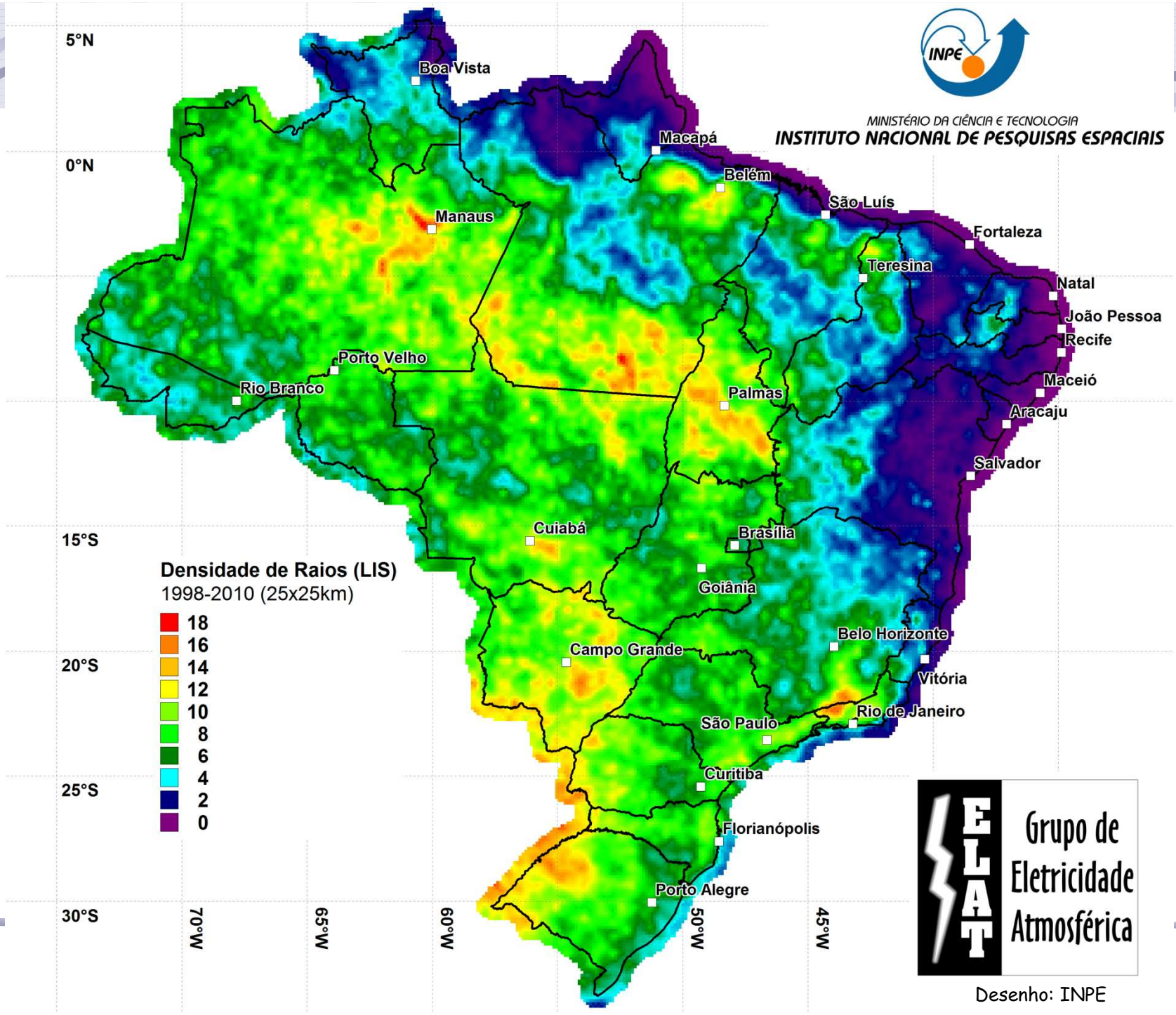
Fotos: Vaisala



Desenho: RIDAT



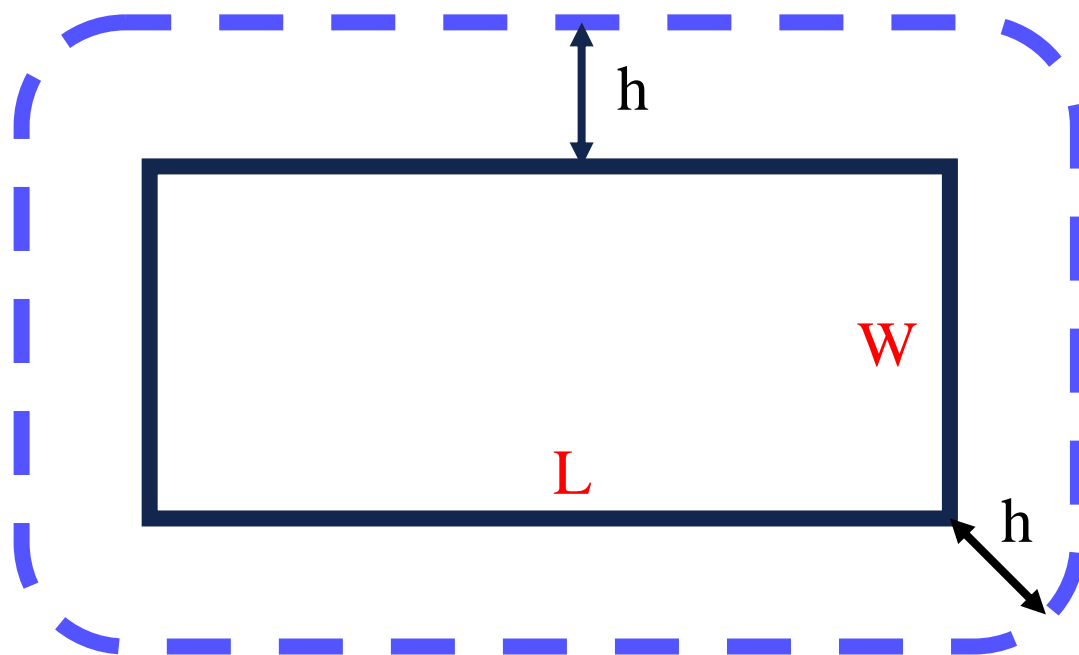
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Desenho: INPE

Avaliação do Risco de Exposição

Área de Exposição Equivalente



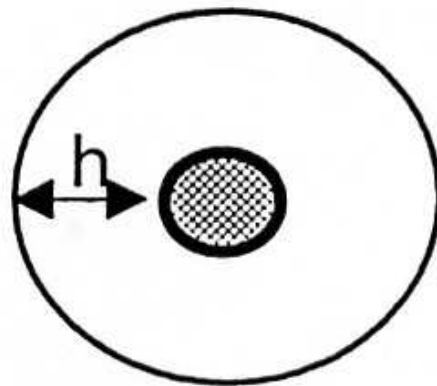
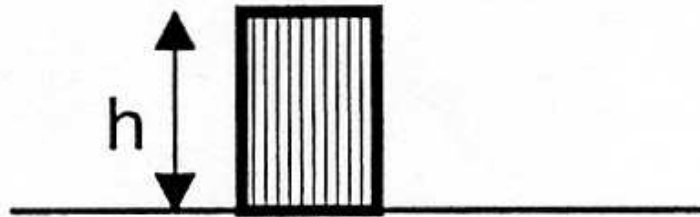
Área de exposição é obtida a partir da vista superior e da altura da estrutura.

Os limites da área de exposição são obtidos, afastando-se do perímetro da mesma o valor da altura da estrutura, no ponto considerado

$$A_e = L.W + 2.L.h + 2.W.h + \pi.h^2$$

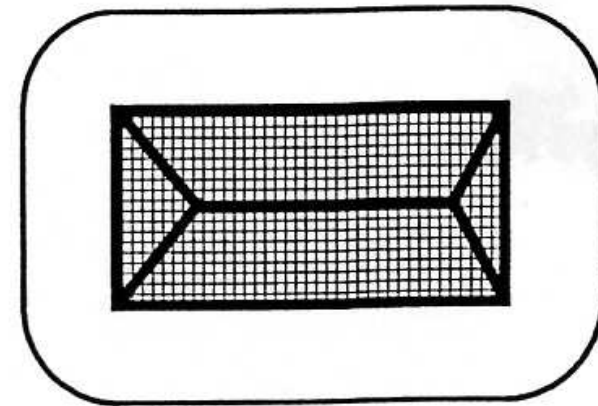
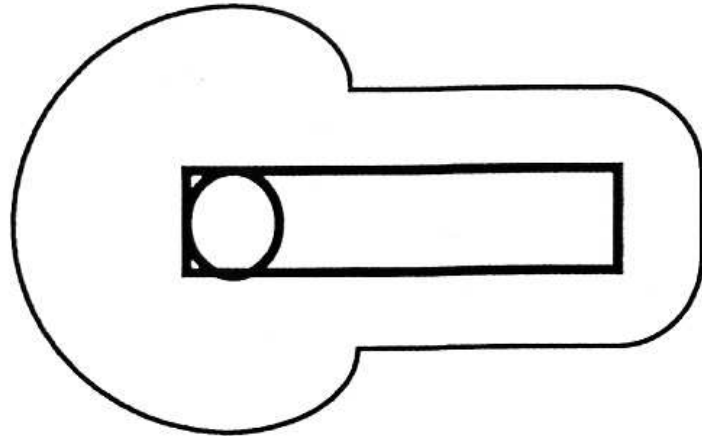
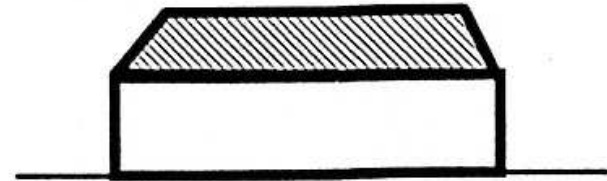
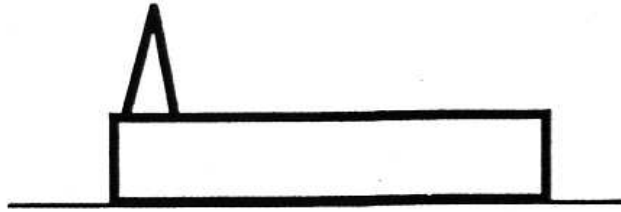
Área de Exposição Equivalente

torre de seção circular

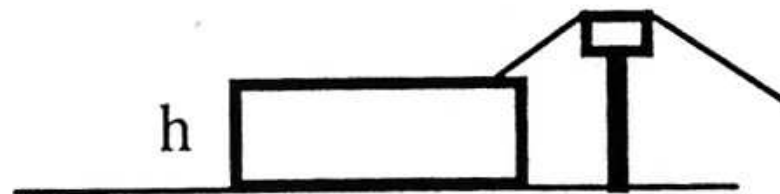


vista em planta da torre
e da área de atração

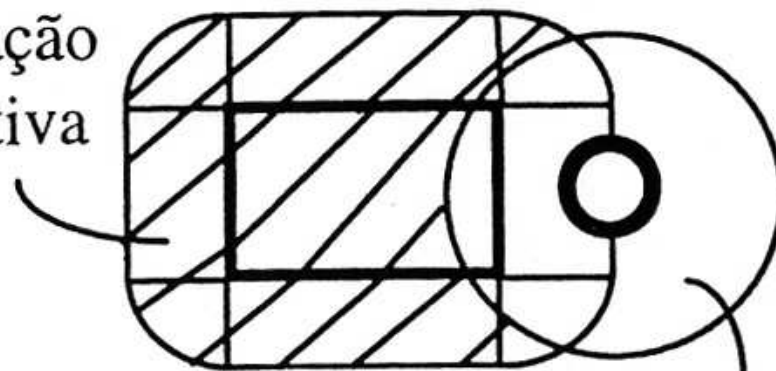
Área de Exposição Equivalente



Área de Exposição Equivalente



área de
atração
efetiva



influência da
caixa d'água

Avaliação do Risco de Exposição

Frequência média anual prevista - N_d

$$N_d = N_g \cdot Ae \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{desc.}}{\text{ano}} \right]$$

N_g = densidade de descargas atmosféricas para a terra [desc/km².ano];

Ae = área de exposição equivalente [m²].

Avaliação do Risco de Exposição

Índices de Ponderação

A - tipo de ocupação da estrutura

| TIPO DE OCUPAÇÃO | FATOR A |
|---|---------|
| Casas e outras estruturas de porte equivalente | 0,3 |
| Casas e outras estruturas de porte equivalente com antena externa (1) | 0,7 |
| Fábricas, oficinas e laboratórios | 1,0 |
| Edifícios de escritórios, hotéis e apartamentos, e outros edifícios residenciais não incluídos abaixo | 1,2 |
| Locais de afluência de público (igrejas, pavilhões, teatros, museus, exposições, lojas de departamentos, correios, estações, aeroportos, estádios esportivos) | 1,3 |
| Escolas, hospitais, creches e outras instituições, estruturas de múltiplas atividades | 1,7 |

Nota: (1) - NBR 5419 - ANEXO A - REQUISITOS DE INSTALAÇÃO.

Avaliação do Risco de Exposição

Índices de Ponderação

B - tipo de construção da estrutura

| TIPO DE CONSTRUÇÃO | FATOR B |
|---|---------|
| Estrutura de aço revestida, com cobertura não metálica (2) | 0,2 |
| Estrutura de concreto armado, com cobertura não metálica | 0,4 |
| Estrutura de aço revestida, ou de concreto armado, com cobertura metálica | 0,8 |
| Estrutura de alvenaria ou concreto simples, com qualquer cobertura, exceto metálica ou palha | 1,0 |
| Estrutura de madeira, ou revestida de madeira, com qualquer cobertura, exceto metálica ou palha | 1,4 |
| Estrutura de madeira, alvenaria ou concreto simples, com cobertura metálica | 1,7 |
| Qualquer estrutura com teto de palha | 2,0 |

Nota: (2) - ESTRUTURAS DE METAL APARENTE QUE SEJAM CONTÍNUAS ATÉ O NÍVEL DO SOLO ESTÃO EXCLUÍDAS DESTA TABELA, PORQUE REQUEREM APENAS UM SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO.

Avaliação do Risco de Exposição

Índices de Ponderação

C - conteúdo e efeitos indiretos das descargas

| CONTEÚDO E EFEITOS | FATOR C |
|--|---------|
| Residências comuns, edifícios de escritórios, fábricas e oficinas que não contenham objetos de valor ou particularmente suscetíveis a danos | 0,3 |
| Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos particularmente suscetíveis a danos (3) | 0,8 |
| Subestações de energia elétrica, usinas de gás, centrais telefônicas, estações de rádio | 1,0 |
| Indústrias estratégicas, monumentos antigos e prédios históricos, museus, galerias de arte e outras estruturas com objetos de valor especial | 1,3 |
| Escolas, hospitais, creches e outras instituições, locais de afluência de público | 1,7 |

Nota: (3) - INSTALAÇÃO DE ALTO VALOR OU MATERIAIS VULNERÁVEIS A INCÊNDIOS E ÀS SUAS CONSEQUÊNCIAS.

Avaliação do Risco de Exposição

Índices de Ponderação

D - localização da estrutura

| LOCALIZAÇÃO | FATOR D |
|---|---------|
| Estrutura localizada em uma grande área contendo estruturas ou árvores da mesma altura ou mais altas (grandes cidades ou florestas) | 0,4 |
| Estrutura localizada em uma área contendo poucas estruturas ou árvores de altura similar | 1,0 |
| Estruturas completamente isoladas, ou que ultrapassam, no mínimo, duas vezes a altura das estruturas ou árvores próximas | 2,0 |

Avaliação do Risco de Exposição

Índices de Ponderação

E - topografia da região

| TOPOGRAFIA | FATOR E |
|--------------------------------------|---------|
| Planície | 0,3 |
| Elevações moderadas, colinas | 1,0 |
| Montanhas entre 300 e 900m de altura | 1,3 |
| Montanhas acima de 900m de altura | 1,7 |

Avaliação do Risco de Exposição

Avaliação final

$$N_{dc} = N_d \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \left[\frac{\text{desc}}{\text{ano}} \right]$$

N_d = frequência média anual prevista [desc/ano]

Necessidade de SPDA

$$N_{dc} \geq 10^{-3}$$



SPDA



$$10^{-3} > N_{dc} > 10^{-5}$$



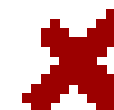
SPDA



$$N_{dc} \leq 10^{-5}$$



SPDA



SPDA - Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas



SPDA

- ✘ Não impede a ocorrência de descargas atmosféricas;
- ✘ Não assegura a proteção da estrutura, pessoas e bens;
- ✘ Aplicação da Norma reduz de forma significativa os danos devidos às DAs.



SPDA

Níveis de Proteção

NÍVEL I


Estruturas com risco confinado: estações de telecomunicações, usinas elétricas;

Estruturas com risco para os arredores: refinarias, postos de combustíveis, fábricas de fogos ou munição;

Estruturas com risco para o meio ambiente: indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios bioquímicos.

NÍVEL II

Estruturas comuns: teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas, igrejas, bancos, companhias de seguro, hospitais, casas de repouso, prisões, museus, locais arqueológicos.





SPDA


Níveis de Proteção

NÍVEL III

Estruturas comuns: residências, fazendas, estabelecimentos agropecuários, industriais em geral.

NÍVEL IV

Estruturas comuns: construídas com materiais não inflamáveis e com pouco acesso de pessoal, contendo no seu interior materiais também não inflamáveis.





SPDA

Níveis de Proteção

Eficiência

NIVEL I - 98%

NIVEL II - 95%

NIVEL III - 90%

NIVEL IV - 80%

