



UFPR



TE243

Eletricidade Aplicada II

Capítulo 7 – Aterramento e Proteção contra descargas atmosféricas

1. O que é o aterramento elétrico?

Aterramento

Ligação intencional de parte eletricamente condutiva à terra, através de um condutor elétrico.

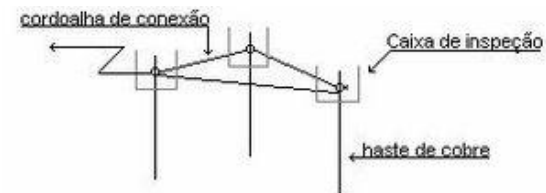
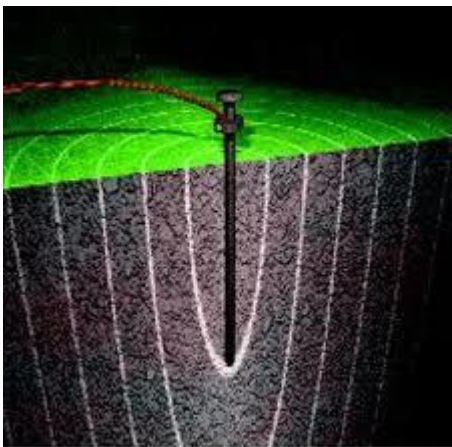
Condutor de aterramento

Condutor ou elemento metálico que, não estando em contato com o solo, faz a ligação elétrica entre uma parte de uma instalação que deve ser aterrada e o eletrodo de aterramento.

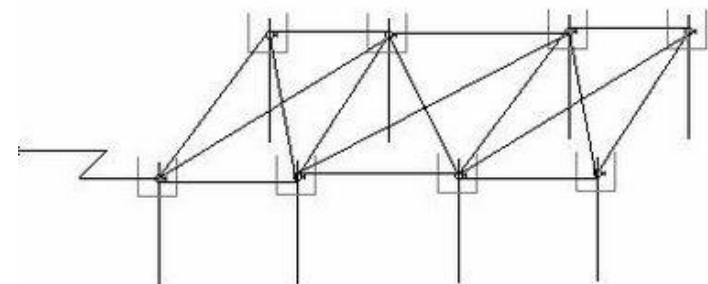
Eletrodo de aterramento

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

(ABNT NBR 15749 de 2009: Medição de sistema de aterramento e de potenciais de superfície do solo em sistemas de aterramento)



Formato Triangular



Malha de Aterramento

Malha de aterramento

Conjunto de condutores nus, interligados e enterrados no solo

Sistema de aterramento

Conjunto de todos os eletrodos e condutores de aterramento, interligados ou não entre si, assim como partes metálicas que atuam direta ou indiretamente com a função de aterramento, tais como: torres e pórticos, armaduras de edificações, capas metálicas de cabos, tubulações e similares.

(ABNT NBR 15749 de 2009: Medição de sistema de aterramento e de potenciais de superfície do solo em sistemas de aterramento)

Por que o aterramento elétrico?

Segurança de pessoas:

Garantir que **pessoas** nas proximidades de serviços de fornecimento aterrados não sofram **choque elétrico**.

Desempenho do sistema:

Prover um caminho para as correntes na terra em condições normais de operação e de falta, sem ultrapassar os limites que afetem a **continuidade do serviço**

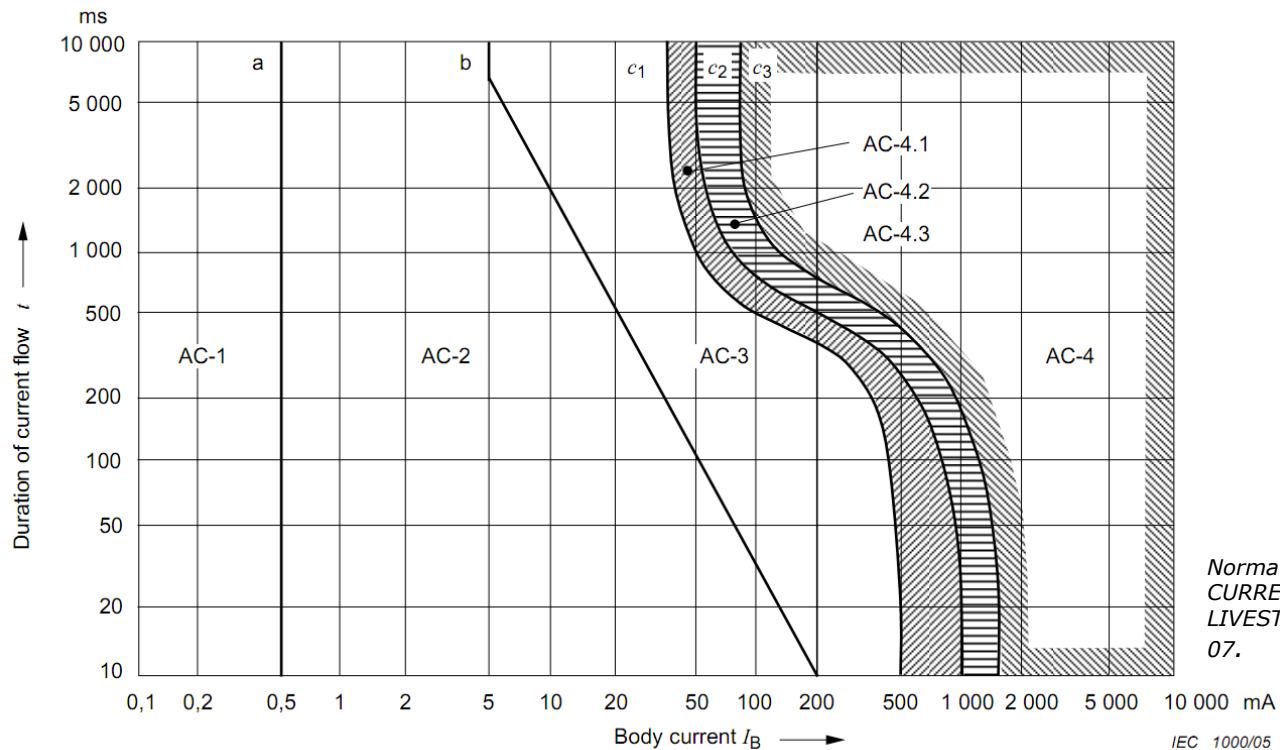
Efeitos da corrente alternada no corpo humano

Zona	Limite	Efeitos Fisiológicos
AC-1	Até 0,5 mA, curva a	Possível percepção, mas usualmente não causa reação para o corpo
AC-2	De 0,5 mA até o limite estabelecido pela curva b	Percepção e contrações musculares involuntárias, porém usualmente não causam efeitos fisiológicos nocivos.
AC-3	Acima da curva b	Fortes contrações musculares involuntárias. Dificuldade de respirar. Distúrbios reversíveis das funções do coração. Pode acontecer imobilização. Os efeitos são incrementados com a magnitude de corrente. Usualmente não são esperados danos orgânicos.
AC-4 ¹	Acima da curva c1	Efeitos fisiológicos e patológicos podem acontecer tais como paradas cardíacas e respiratórias, queimas ou outros danos celulares. Probabilidade de fibrilação ventricular, incrementando com a magnitude de corrente e o tempo.
	C ₁ – C ₂	AC-4.1 Probabilidade de fibrilação ventricular aumentada até 5%
	C ₂ – C ₃	AC-4.2 Probabilidade de fibrilação ventricular até aproximadamente 5%
	Acima da curva c ₃	AC-4.3 Probabilidade de fibrilação ventricular acima de 50%

¹ Para uma duração do fluxo de corrente menor a 200 ms, a fibrilação ventricular somente é inicializada dentro do período de vulnerabilidade se os limiares relevantes são superados. Relativo à fibrilação ventricular, a Figura 1 relaciona os efeitos da corrente quando a corrente circula da mão esquerda aos pés. Para outros caminhos de corrente, o fator coração-corrente deve ser considerado.

Norma IEC 60479: EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK, FOURTH EDITION 2005-07.

Efeitos da corrente alternada no corpo humano

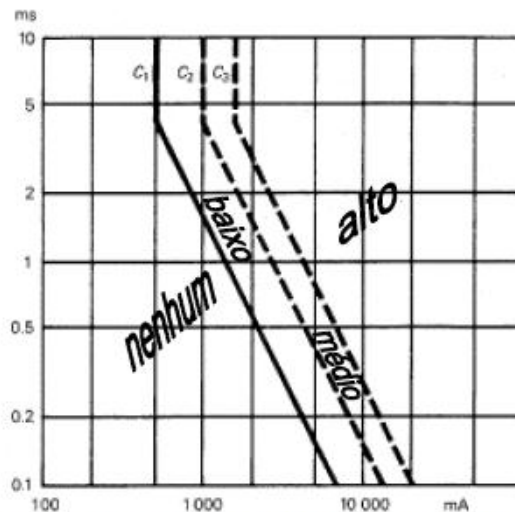


Norma IEC 60479: EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK, FOURTH EDITION 2005-07.

Zonas tempo/corrente convencionais dos efeitos da corrente alternada (15 Hz a 100 Hz) no corpo humano correspondentes ao caminho mão esquerda aos pés

Efeitos da corrente alternada no corpo humano

- Eventos rápidos



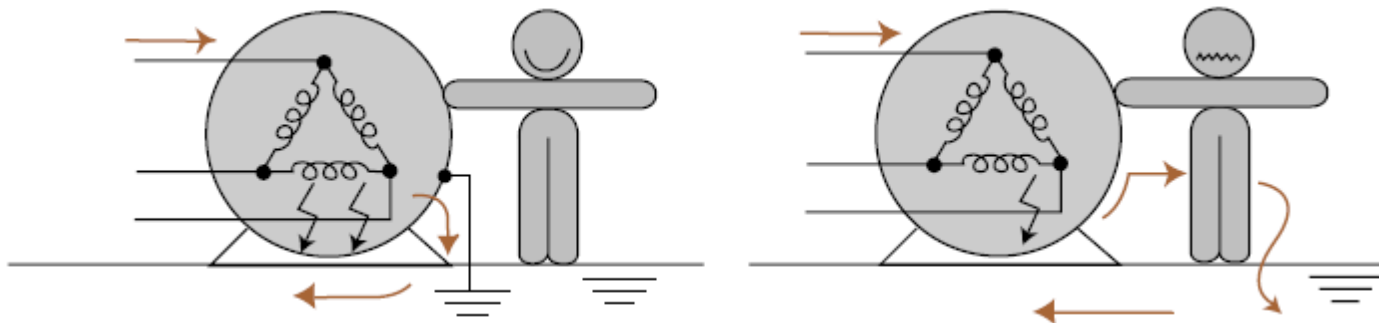
Riscos de fibrilação para impulsos entre 100 μ s e 10 ms

Para impulsos com duração entre 100 μ s e 10 ms. As curvas C1, C2 e C3 delimitam áreas de riscos de fibrilação. Nenhum \rightarrow Baixo \rightarrow Médio \rightarrow Alto

2. Funções dos Aterramentos Elétricos

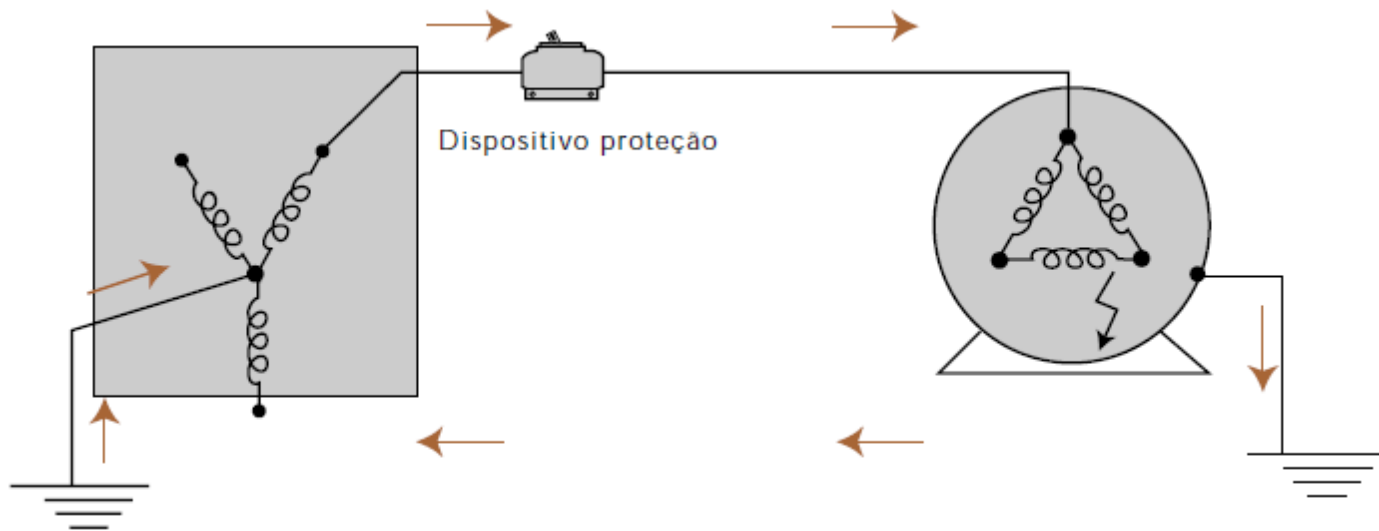
○ Segurança pessoal

- Uma falha na isolação dos equipamentos, a corrente de falta passe através do condutor de aterramento ao invés de percorrer o corpo de uma pessoa que eventualmente esteja tocando o equipamento.



○ Desligamento automático

- O sistema de aterramento deve oferecer um percurso de baixa impedância de retorno para a terra da corrente de falta, permitindo, assim, que haja a operação automática, rápida e segura do sistema de proteção.



○ Controle de tensões

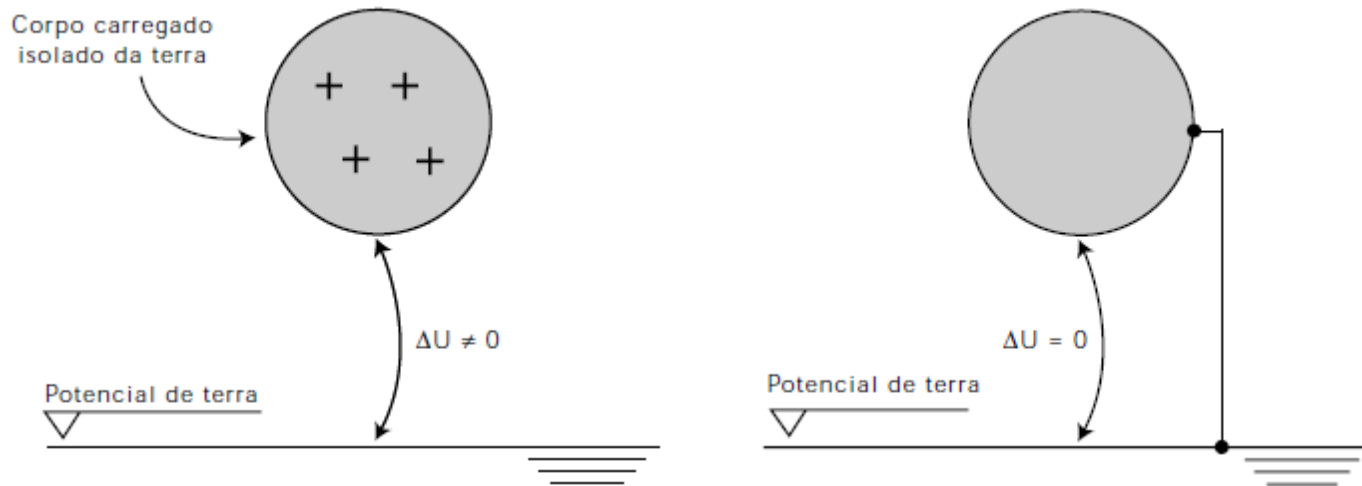
- Permitir controle das tensões desenvolvidas no solo (passo, toque e transferida) quando um curto-circuito fase-terra retorna pela terra para a fonte próxima ou quando da ocorrência de uma descarga atmosférica no local;

○ Transitórios

- Estabilizar a tensão durante transitórios no sistema elétrico provocados por faltas para a terra, chaveamentos, etc;

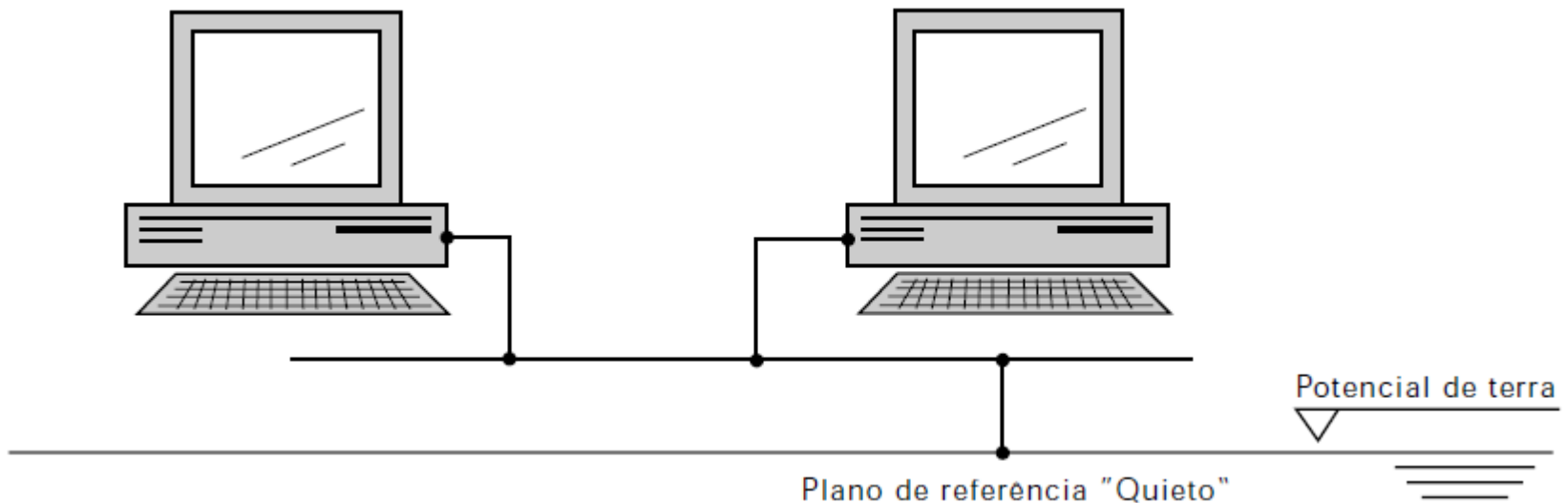
○ Cargas estáticas

- O aterramento deve escoar cargas estáticas acumuladas em estruturas, suportes e carcaças dos equipamentos em geral.



○ Equipamentos eletrônicos

- Especificamente para os sistemas eletrônicos, o aterramento deve fornecer um plano de referência quieto, sem perturbações, de tal modo que eles possam operar satisfatoriamente tanto em altas quanto em baixas frequências.

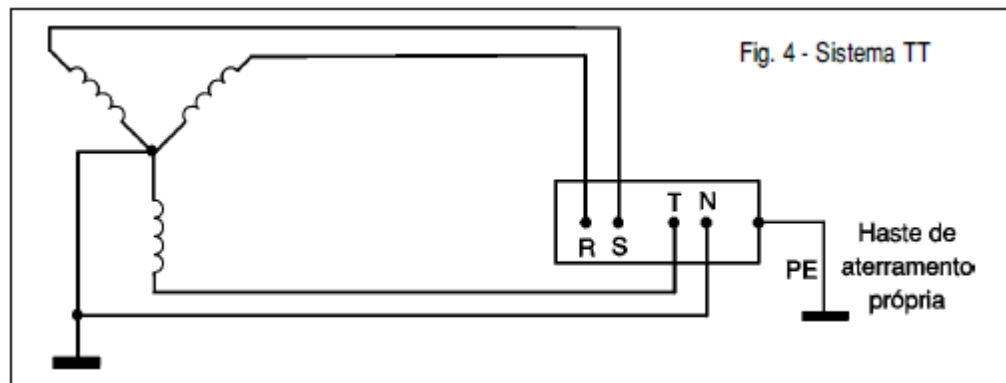


3. Tipos Aterramentos

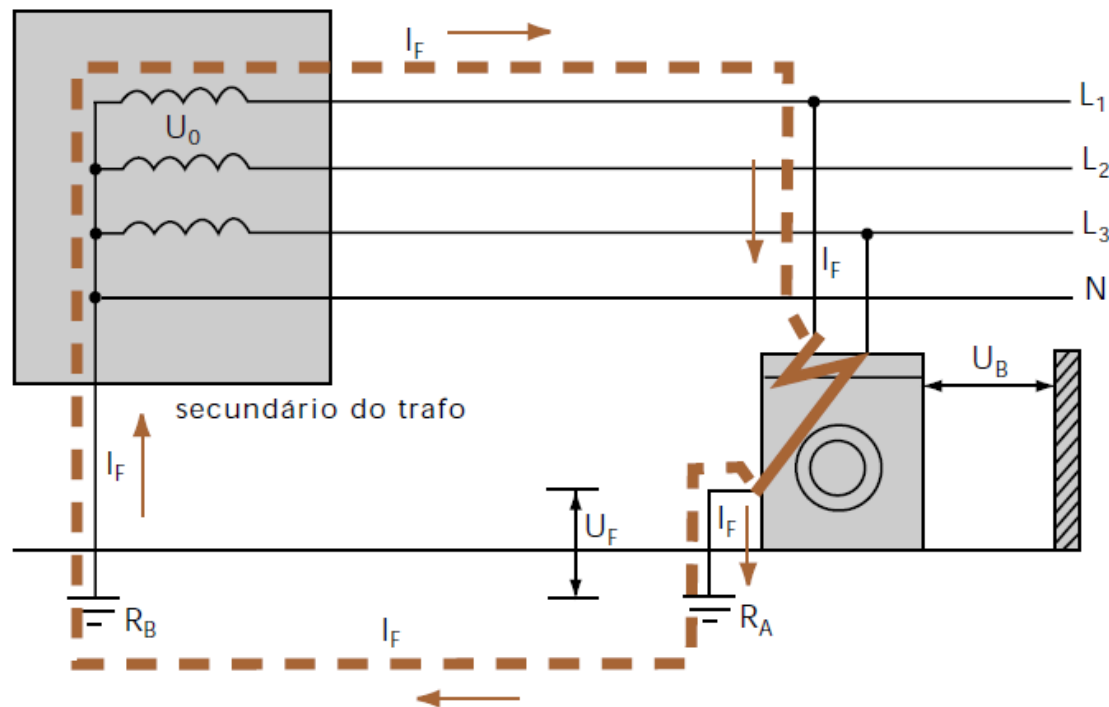
- A ABNT NBR 5410 possui as subseções : 6.3.3.1.1, 6.3.3.1.2, e 6.3.3.1.3 referem-se aos possíveis sistemas de aterramento que podem ser feitos na indústria;
- Os três sistemas da NBR 5410 mais utilizados na indústria são:
 - Esquema TT
 - Esquema TN
 - Esquema IT

Esquema TT

- O neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação ligadas a um eletrodo de aterramento independente do eletrodo da fonte.
- Nesse caso, o percurso de uma corrente fase-massa inclui a terra, o que limita em muito o valor da corrente devido ao elevado valor da resistência de terra.

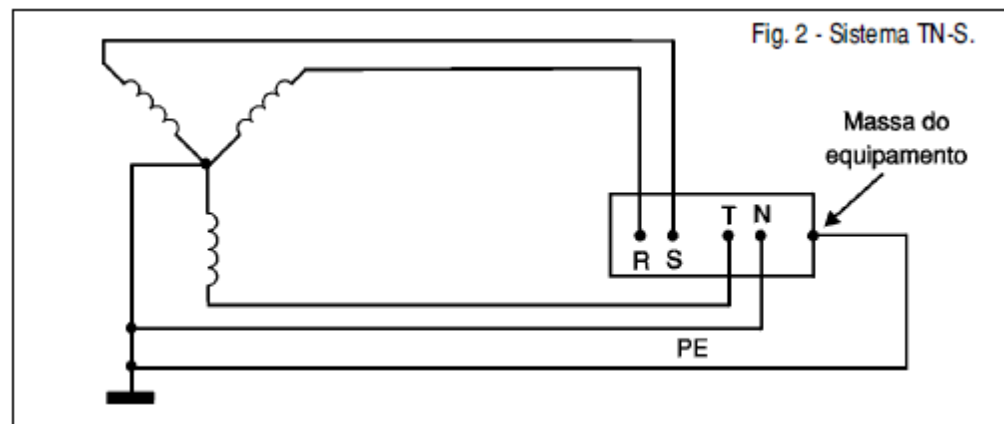


- Essa corrente é insuficiente para acionar disjuntores ou fusíveis, mas suficiente para colocar em perigo uma pessoa. Portanto, ela deve ser detectada e eliminada por dispositivos mais sensíveis, geralmente chamados de interruptores diferenciais residuais (DRs)..

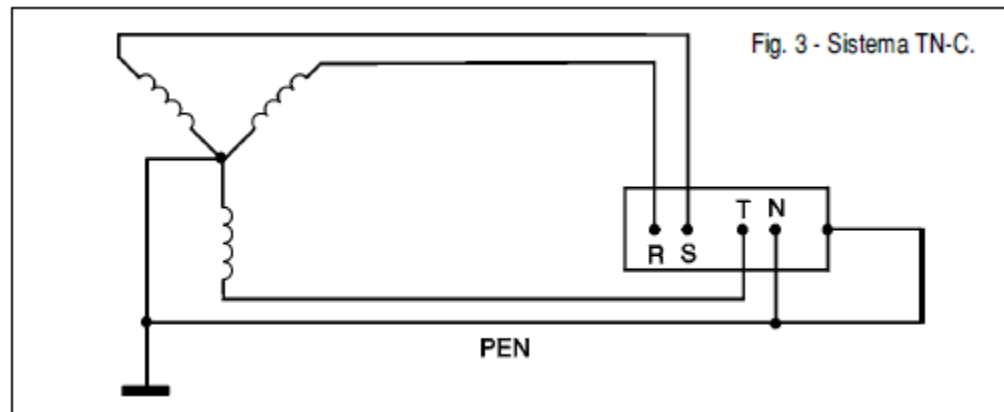


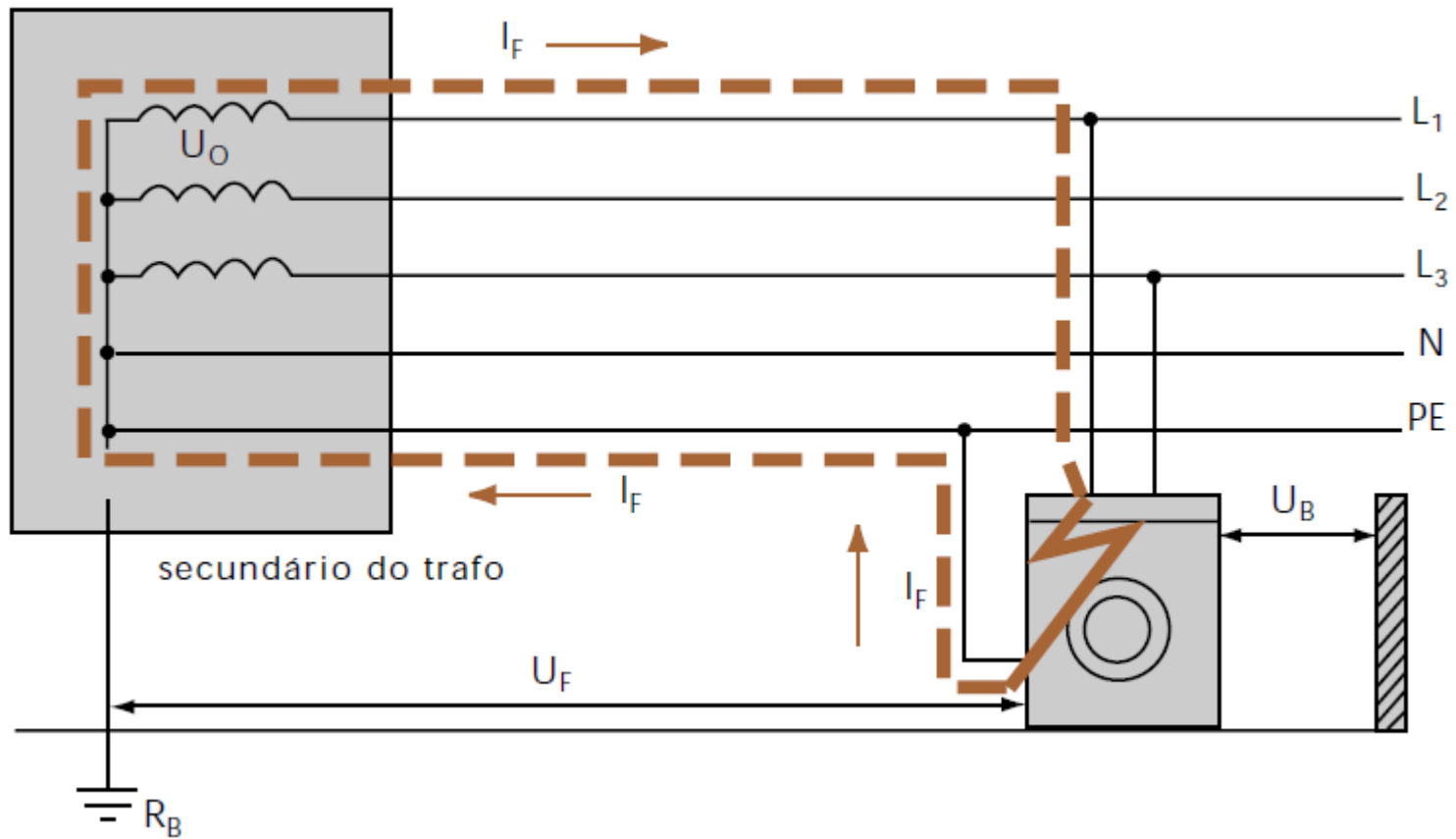
Esquema TN

- O neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação ligadas a esses ponto por meio de condutores metálicos (condutor de proteção).
- Nesse caso, o percurso de uma corrente fase-massa é de baixíssima impedância (cobre) e a corrente pode atingir valores elevados, suficientes para serem detectados e interrompidos por disjuntores ou fusíveis.



- O esquema pode ser do tipo TN-S, quando as funções de neutro e proteção forem realizadas por condutores separados (N = neutro e PE = proteção), ou TN-C, quando essas funções forem realizadas pelo mesmo condutor (PEN).

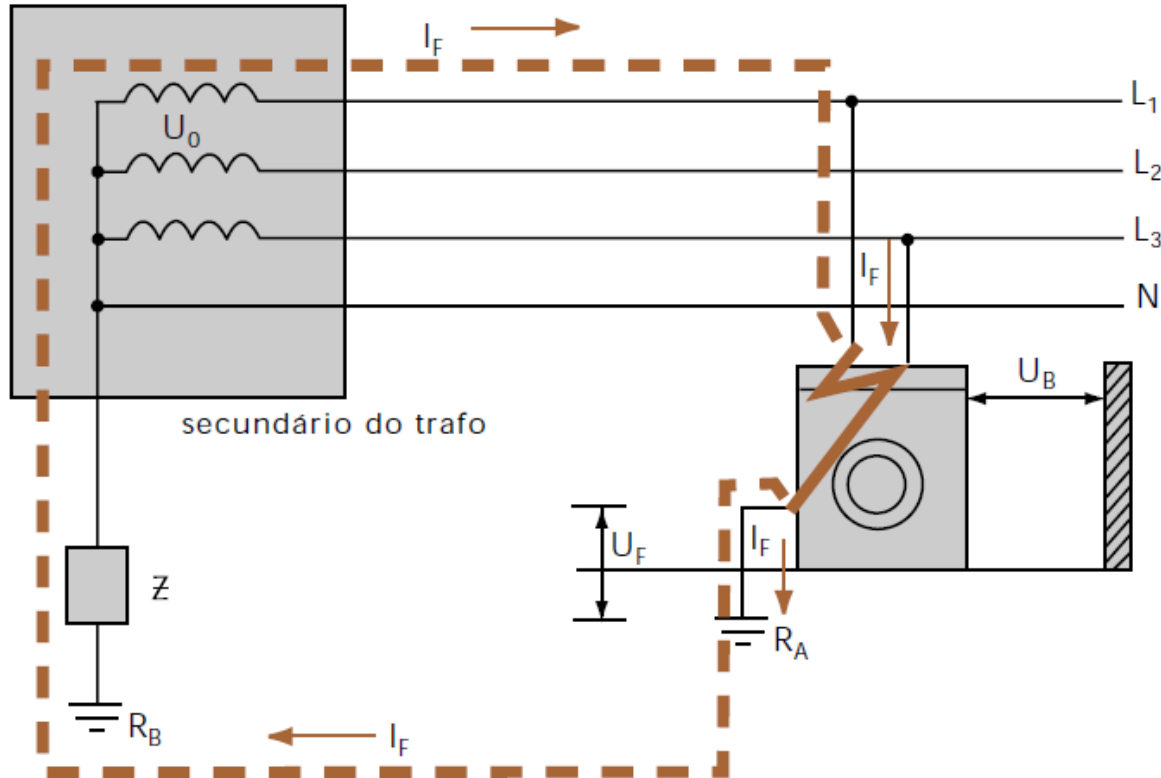




○ Esquema IT

- É um esquema parecido com o TT, porém o aterramento da fonte é realizado através da inserção de uma impedância de valor elevado (resistência ou indutância);
- Com isso, limita-se a corrente de falta a um valor desejado, de forma a não permitir que uma primeira falta desligue o sistema;
- Geralmente, essa corrente não é perigosa para as pessoas, mas como a instalação estará operando em condição de falta, devem ser utilizados dispositivos que monitorem a isolação dos condutores, evitando a excessiva degradação dos componentes da instalação.

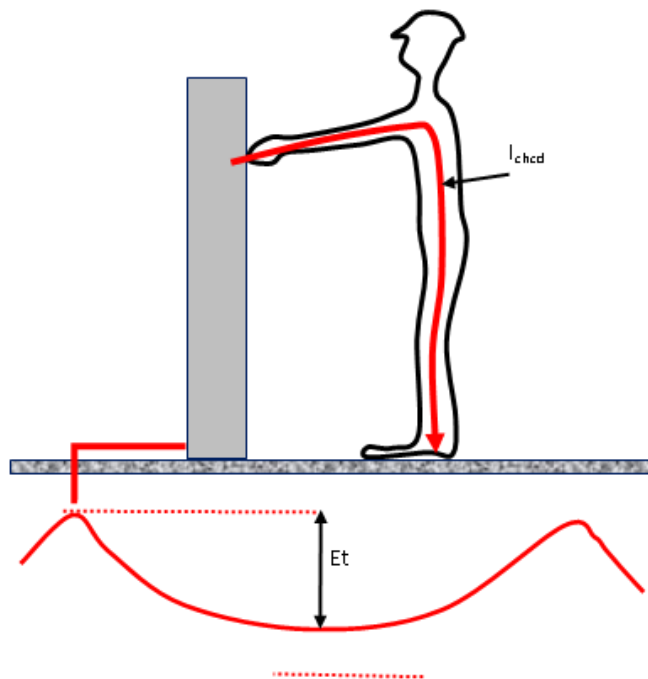
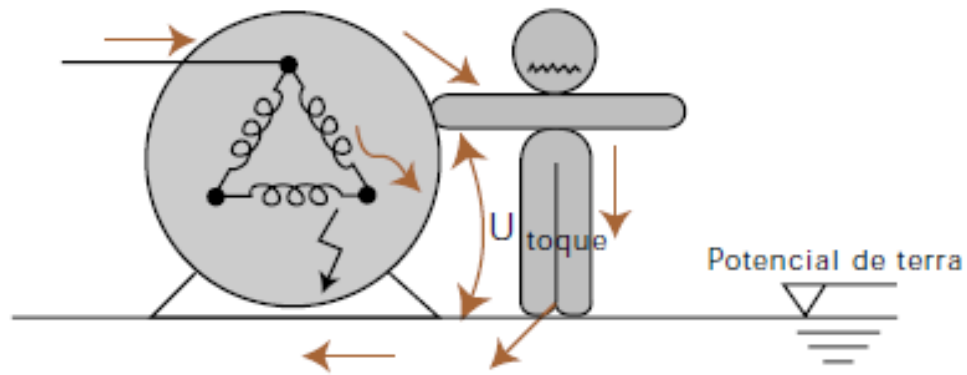
- O uso dos sistemas IT é restrito aos casos onde uma primeira falha não pode desligar imediatamente a alimentação, interrompendo processos importantes (como em salas cirúrgicas, certos processos metalúrgicos, etc.).



4. Conceitos Importantes

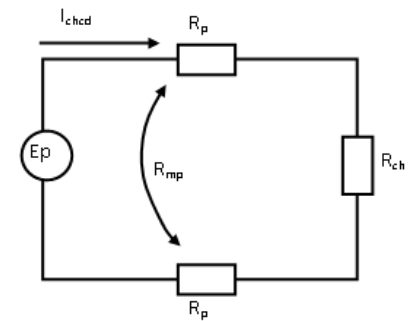
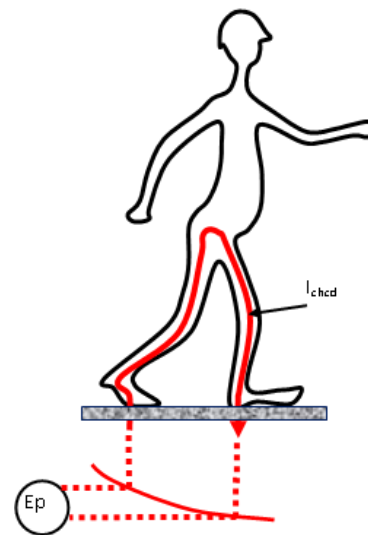
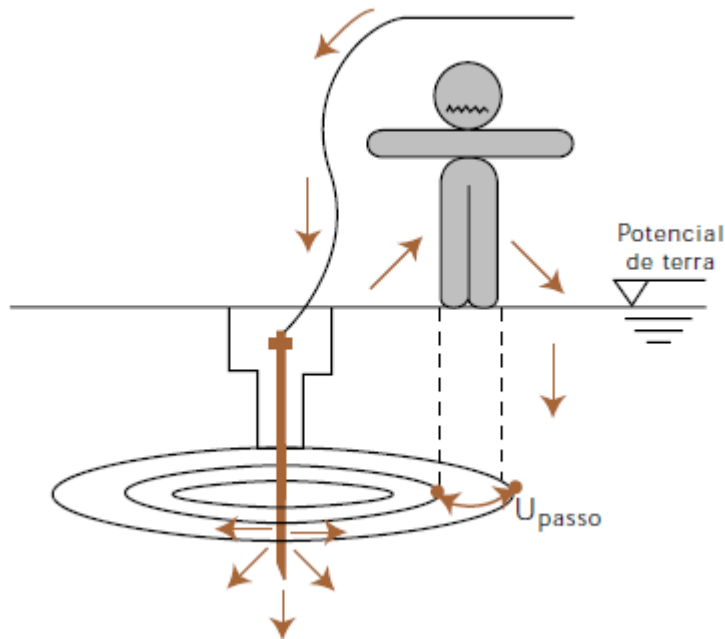
○ Tensão de Toque

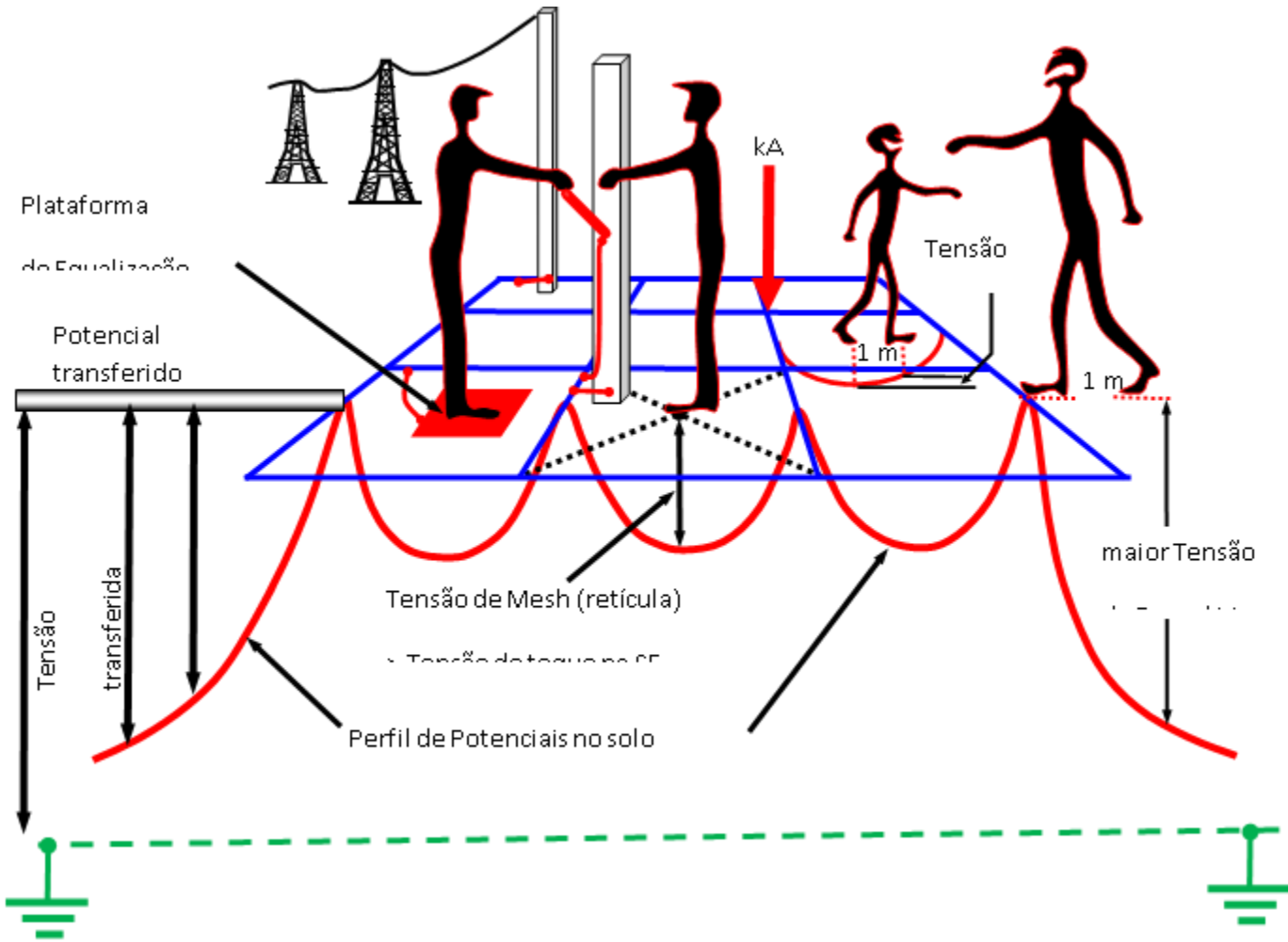
- Tensão que uma pessoa possa ser submetida ao tocar simultaneamente, em um objeto sob tensão e em outro elemento que se encontra num potencial diferente.
- Em consequência, poderemos ter a passagem de uma corrente elétrica pelo braço, tronco e pernas, cuja duração e intensidade poderão provocar fibrilação cardíaca, queimaduras ou outras lesões graves ao organismo.



○ Tensão de Passo

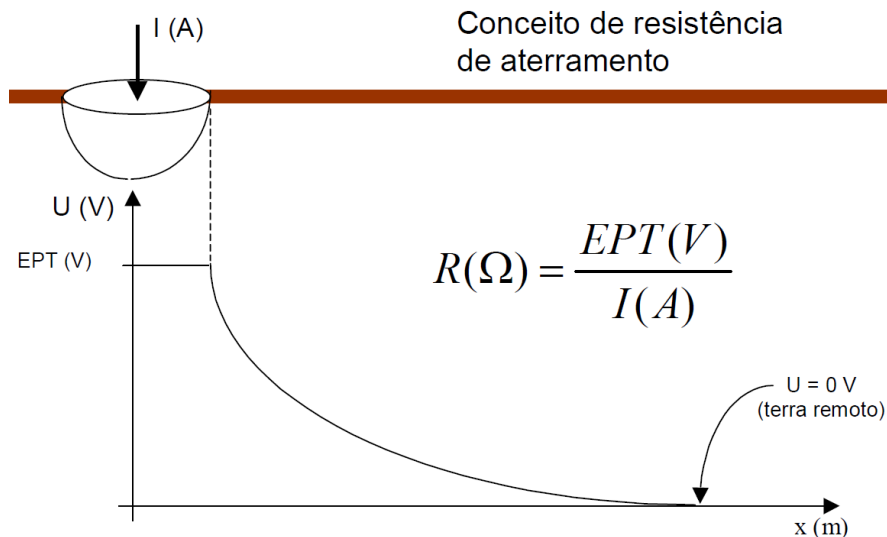
- Parte da tensão de um eletrodo de aterramento à qual poderá ser submetida uma pessoa nas proximidades do eletrodo, cujos pés estejam separados pela distância equivalente a um passo.





○ Resistência de aterramento

- A composição do solo, o teor de umidade e a temperatura são fatores que afetam a resistividade;
- Raramente o solo é homogêneo; a resistividade varia geograficamente e conforme a profundidade nos diversos tipos de solos;



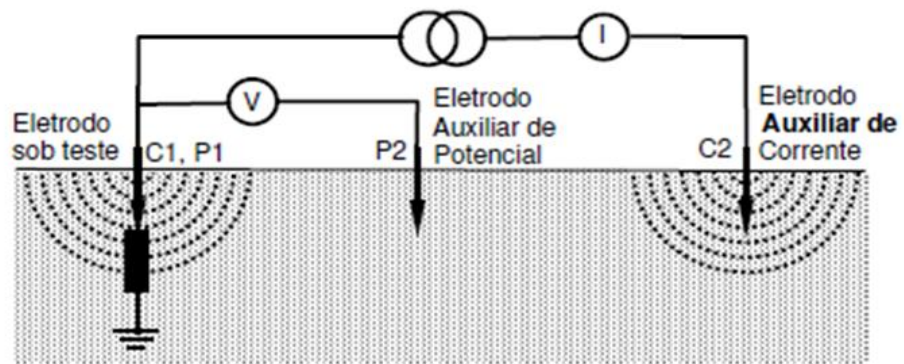
5. Procedimentos

- Os cálculos e variáveis para dimensionar um aterramento podem ser considerados assuntos para “pós-graduação em Engenharia Elétrica”.
- A resistividade e tipo do solo, geometria e constituição da haste de aterramento, formato em que as hastes são distribuídas, são alguns dos fatores que influenciam o valor da resistência do aterramento.

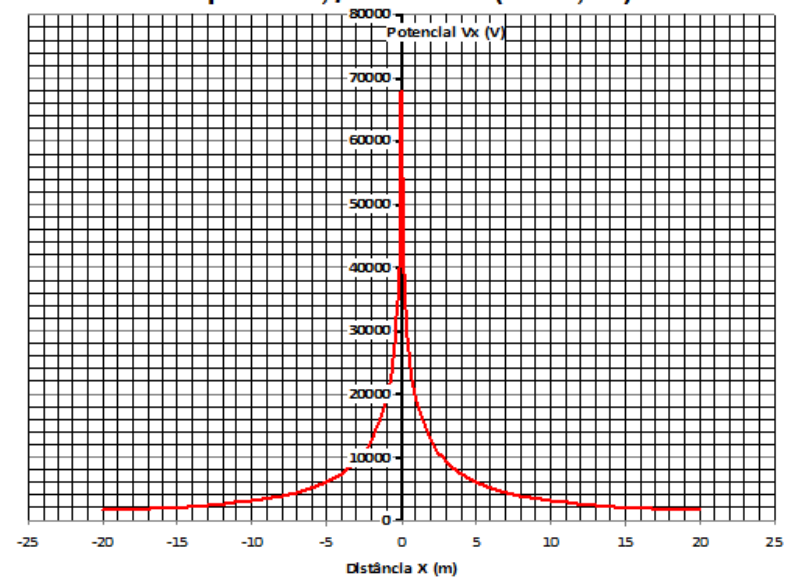
5.1 – Medição da resistividade do solo e simulação computacional

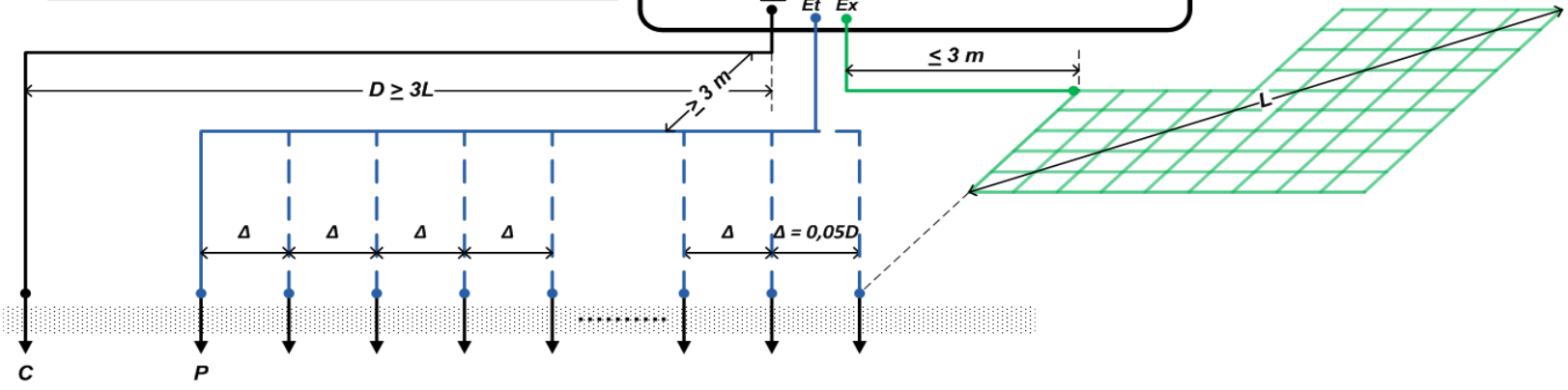
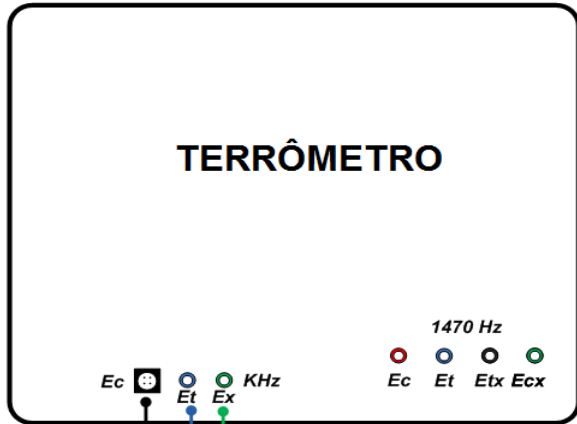
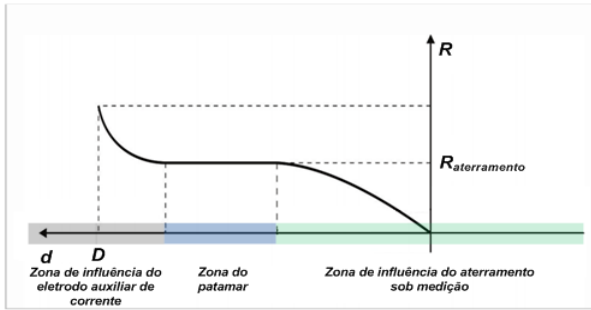
- A resistividade do solo é muito importante na hora de projetar o sistema de aterramento de novas instalações para atender os requisitos referentes à resistência do solo. Idealmente, se procuraria o local com a resistência mais baixa.
- Conforme mencionamos anteriormente, as condições inadequadas do solo podem superar mesmo os sistemas de aterramento mais sofisticados.

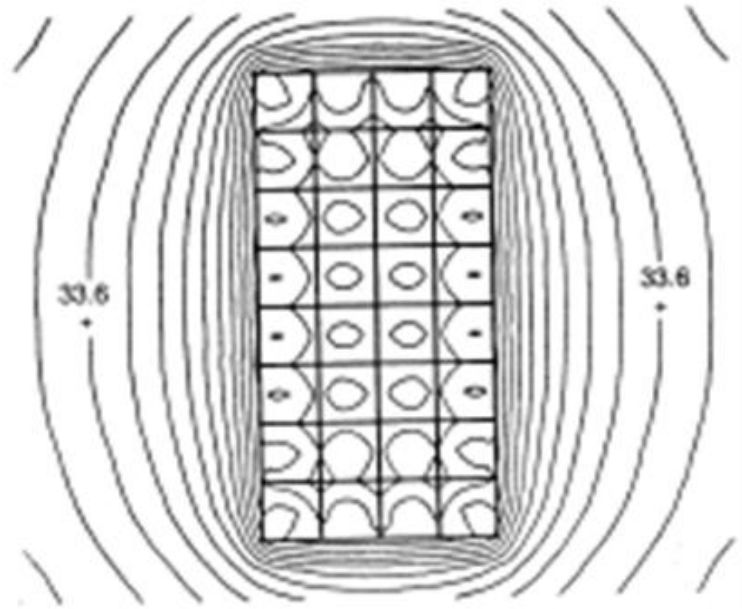
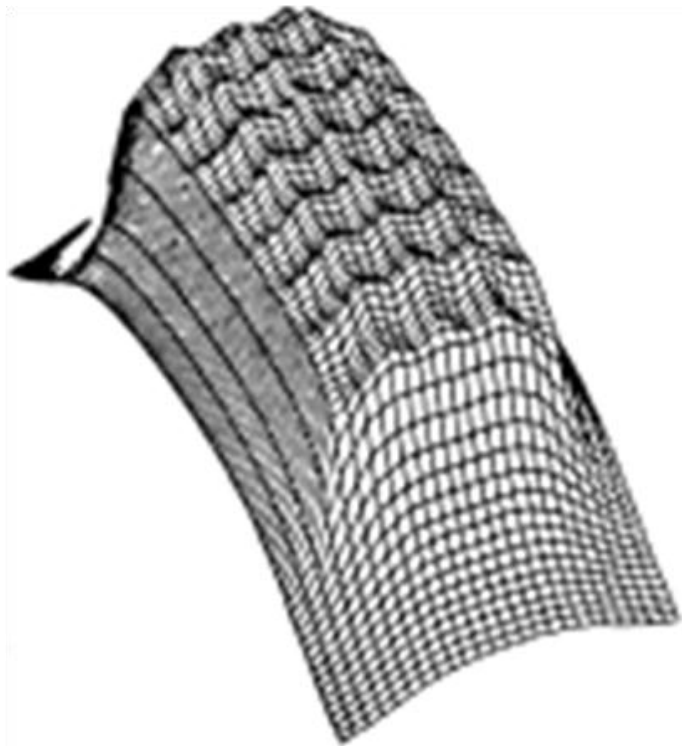
Tipo de solo	Resistividade do solo R_r	Resistência de aterramento					
		Profundidade do eletrodo de aterramento (metros)			Barra de aterramento (metros)		
	ΩM	3	6	10	5	10	20
Solo muito úmido, pantanoso	30	10	5	3	12	6	3
Solo de cultivo, solo margoso, argiloso	100	33	17	10	40	20	10
Solo de argila arenosa	150	50	25	15	60	30	15
Solo arenoso úmido	300	66	33	20	80	40	20
Concreto 1:5	400	-	-	-	160	80	40
Cascalho molhado	500	160	80	48	200	100	50
Solo arenoso seco	1000	330	165	100	400	200	100
Cascalho seco	1000	330	165	100	400	200	100
Solo pedregulhoso	30.000	1000	500	300	1200	600	300
Pedra	10^7	-	-	-	-	-	-

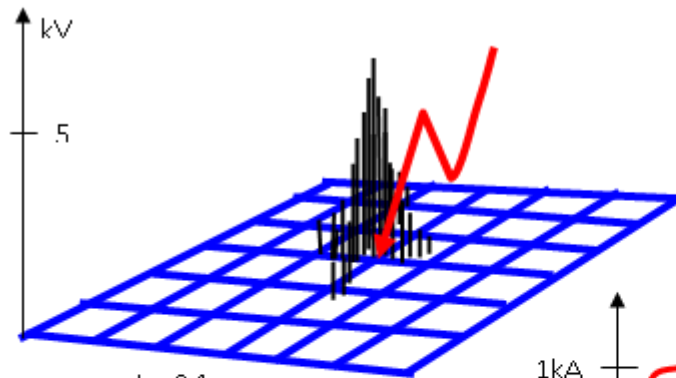


Potenciais no solo em haste de $L = 3 \text{ m}$, $5/8''$, cravada a partir da superfície para 1 kA ; $\rho = 200 \Omega\text{m}$ ($R = 68,4 \Omega$)





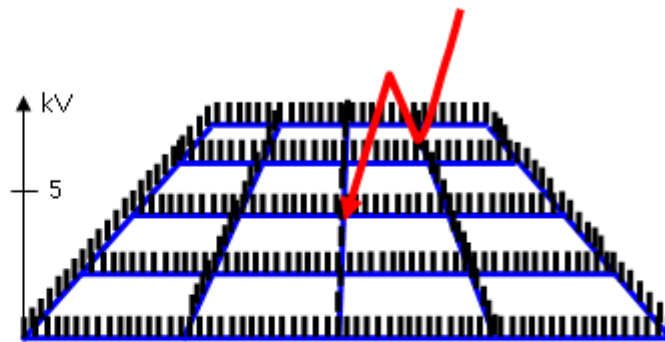




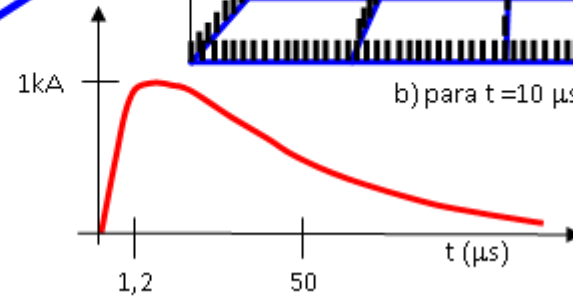
para $t = 0,1 \mu\text{s}$

$I \sim 80 \text{ A}$; $V \sim 5 \text{ kV}$

$Z \sim 62 \Omega$



b) para $t = 10 \mu\text{s}$



5.2 – Haste de aterramento

- A haste de aterramento normalmente, é feita de uma alma de aço revestida de cobre. Seu comprimento pode variar de 1,5 a 4,0m. As de 2,5m são as mais utilizadas, pois diminuem o risco de atingirem dutos subterrâneos em sua instalação;
- O valor ideal para um bom aterramento deve ser menor ou igual a 5Ω . Dependendo da química do solo (quantidade de água, salinidade, alcalinidade, etc.), mais de uma haste pode se fazer necessária para nos aproximarmos desse valor. Caso isso ocorra, existem duas possibilidades:
 - tratamento químico do solo (que será analisado mais adiante);
 - Agrupamento de barras em paralelo.

- Uma boa regra para agruparem-se barras é a da formação de polígonos. Notem que, quanto maior o número de barras, mais próximo a um círculo ficamos;
- Outra regra no agrupamento de barras é manter sempre a distância entre elas, o mais próximo possível do comprimento de uma barra.

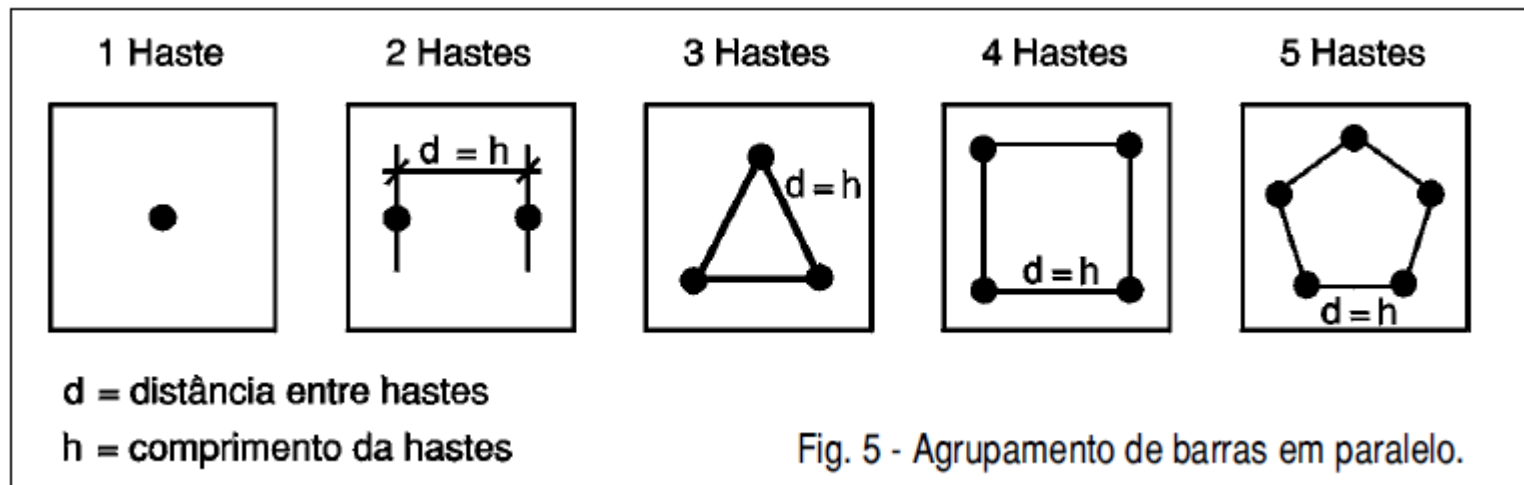

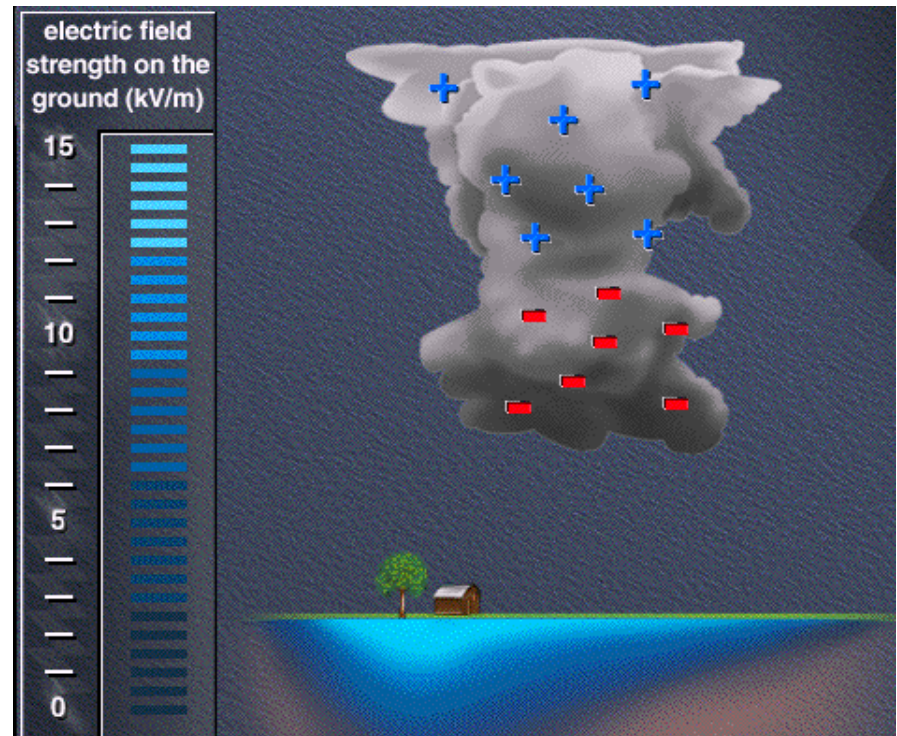
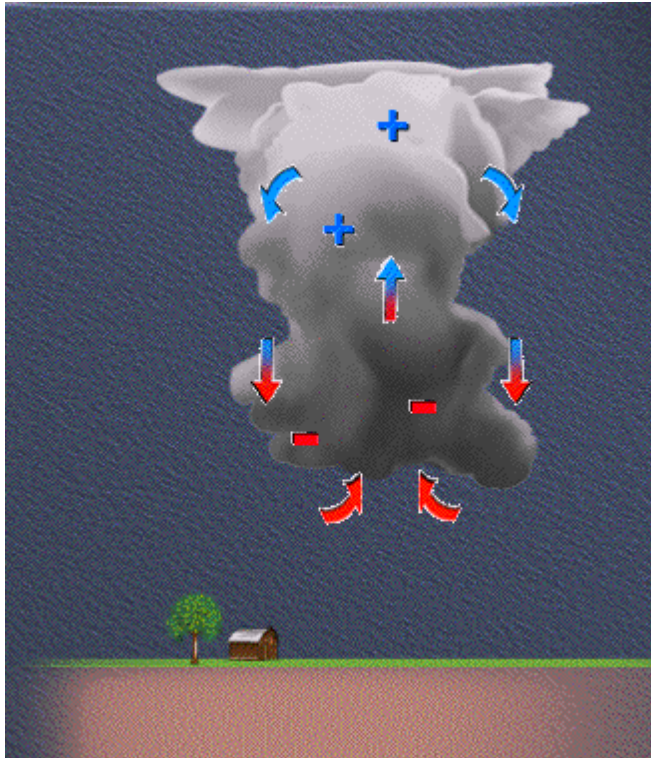


Fig. 5 - Agrupamento de barras em paralelo.

- 
- Uma boa regra para agruparem-se barras é a da formação de polígonos. Notem que, quanto maior o número de barras, mais próximo a um círculo ficamos;
 - Outra regra no agrupamento de barras é manter sempre a distância entre elas, o mais próximo possível do comprimento de uma barra.

6. Proteção contra descargas atmosféricas

- O termo descarga atmosférica designa genericamente as descargas que ocorrem dentro das nuvens (as intra-nuvens) entre duas nuvens próximas (as internuvens), e as entre nuvens e terra.
- A nuvem seria representada por um enorme bipolo com as cargas positivas na parte superior e as negativas na inferior. Esse bipolo teria uma altura de 10 a 15 km e extensão de alguns km².

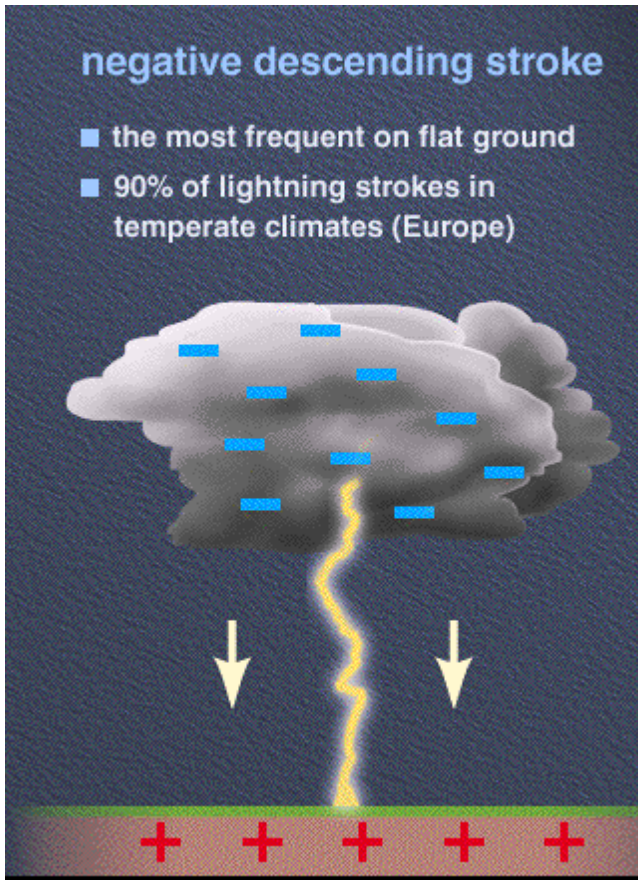


- A existência de uma base carregada negativamente induz a separação das cargas na terra, formando-se uma área com cargas positivas sob a nuvem e com cargas negativas em regiões afastadas.

- Quando há uma descarga terra - nuvem que neutraliza a base da nuvem, as cargas positivas do topo da nuvem vão neutralizar as cargas negativas da terra fechando o circuito elétrico.
- A descarga ascendente tem uma secção muito pequena e alta densidade (alguns kA/cm^2) e a corrente descendente ocupa uma secção muito grande e a densidade é muito baixa (fração de A/m^2).
- Os raios negativos terra - nuvem, pela sua maior frequência, são os mais estudados e os modelos existentes para proteção de estruturas ou linhas de transmissão consideram somente essas descargas.

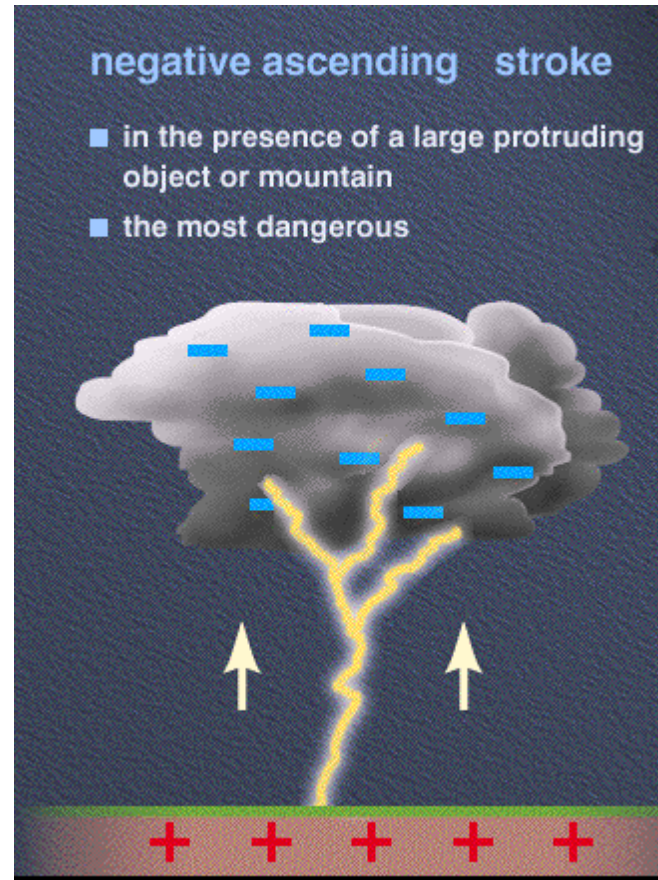
negative descending stroke

- the most frequent on flat ground
- 90% of lightning strokes in temperate climates (Europe)



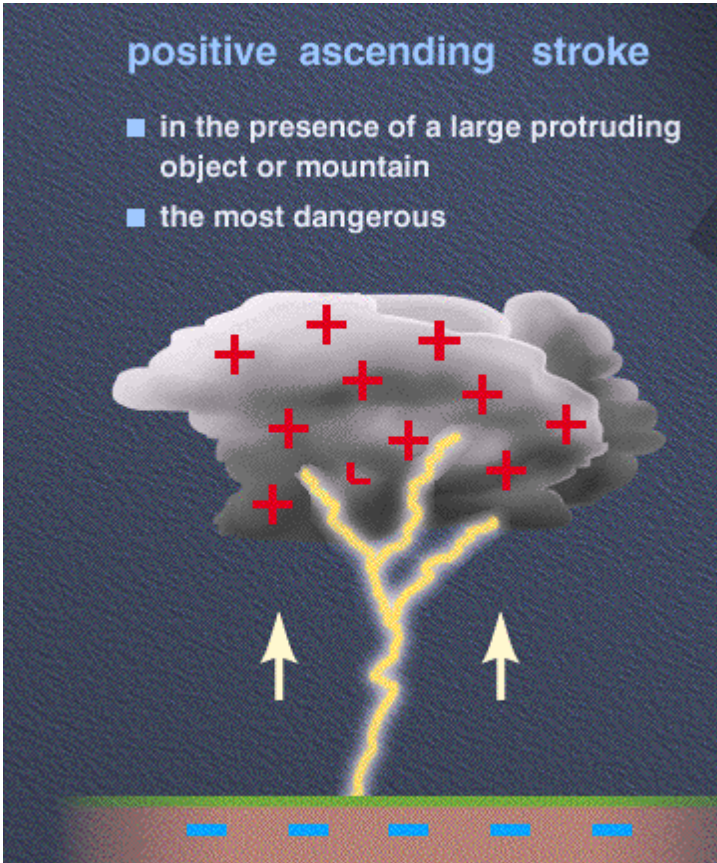
negative ascending stroke

- in the presence of a large protruding object or mountain
- the most dangerous



positive ascending stroke

- in the presence of a large protruding object or mountain
- the most dangerous



positive descending stroke

- the most frequent on flat ground



Os parâmetros dos raios

- Para o dimensionamento dos componentes dos SPDA assim como das alturas e afastamentos de captores verticais e horizontais devem ser consideradas diversos parâmetros que o SPDA deve receber e conduzir para terra.
- Para a ABNT foram adotados os seguintes valores para os parâmetros do primeiro *stroke*:

a) Corrente (valor de crista)

- Para o Nível I: 200 kA
- Para o Nível II: 150 kA
- Para os Níveis III e IV: 100 kA

b) Tempos de frente t_1 e de cauda t_2 válidos para todos os níveis

- $t_1 = 10$ ms
- $t_2 = 350$ ms

c) Carga em Coulombs de um "stroke " de curta duração

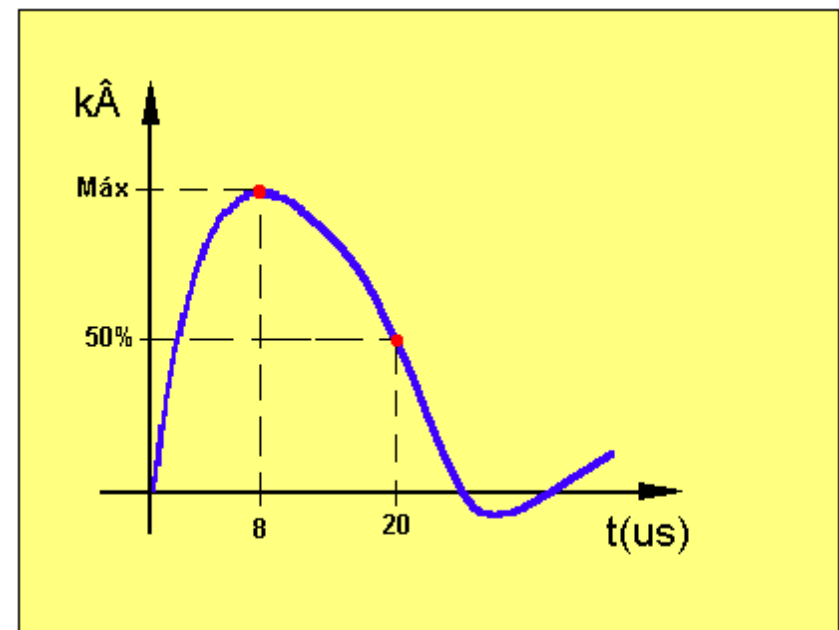
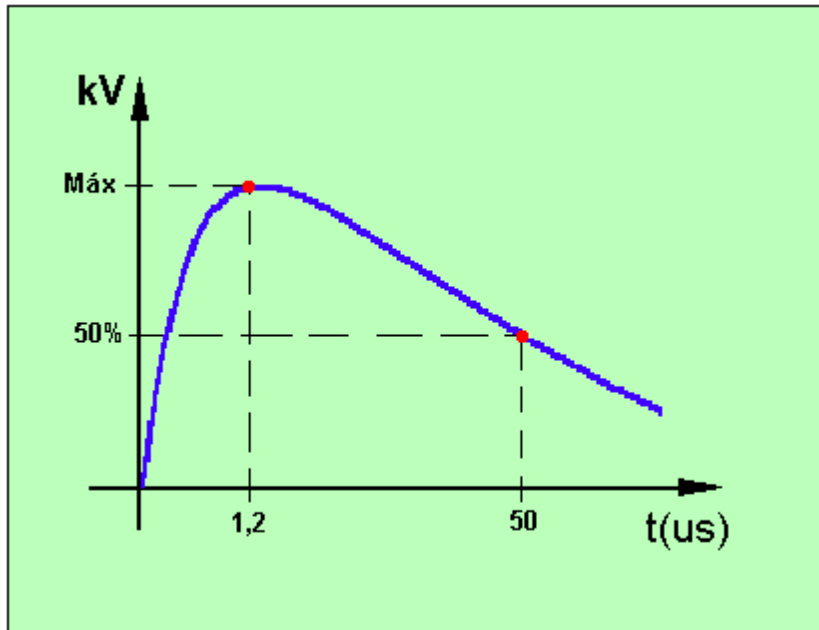
- Para o nível I = 100 C
- Para o nível II = 75 C
- Para os níveis III e IV = 50 C

d) Para a energia específica W/R total (do flash) dada em MJ/W

- Para o nível I = 10 MJ/W
- Para o nível II = 5,6 MJ/W
- Para os níveis III e IV = 2,5 MJ/W

○ **Classificação das Instalações.**

- Os ambientes das instalações em que podem estar os equipamentos são divididos em Categorias de Localização: A, B e C com solicitações crescentes de A para C.
- Basicamente o ambiente A é dos ramais, o B é dos quadros de distribuição e C é das entradas.
- Além de localização é considerada também a exposição aos surtos: baixa, média e alta e as categorias passam a ser denominadas com um índice adicional. Exemplo: A1, A2, A3.
- Para cada situação, com base em levantamentos estatísticos, são dadas estimativas das tensões e correntes com formas de onda padronizadas.



- **Onda amortecida (ring wave) 0,5 ms - 100 kHz:** É uma onda senoidal exponencialmente amortecida que atinge o valor de crista em 0,5ms e depois oscila com a frequência de 100 kHz.
- **Onda combinada (combo wave): 1,2/50 ms - 8/20 ms:** É a onda produzida por um gerador de impulso que em vazio fornece um impulso de tensão com a forma 1,2/50 e em curto circuito fornece uma onda de corrente da forma 8/20.

Local	Exposição	Tensão (kV)	Corrente (kA)	Impedância (ohms)
A1	Baixa	2	0,07	30
A2	Média	4	0,13	30
A3	Alta	6	0,2	30
B1	Baixa	2	0,17	12
B2	Média	4	0,33	12
B3	Alta	6	0,5	12

Tabela 1- Valores usuais para onda amortecida.

Local	Exposição	Tensão (kV)	Corrente (kA)	Impedância (ohms)
B1	Baixa	2	1	2
B2	Média	4	2	2
B3	Alta	6	3	2
C1	Baixa	6	3	2
C2	Média	10	5	2
C3	ALTA	20	10	2

Tabela 2- Valores usuais para onda combinada.

○ Níveis de proteção e eficiência da proteção

- O nível de proteção não está relacionado com a probabilidade de queda do raio na edificação, mas com a eficiência que o sistema tem de captar e conduzir o raio à terra;
- Há quatro níveis de proteção que o projetista pode adotar, conforme a tabela.

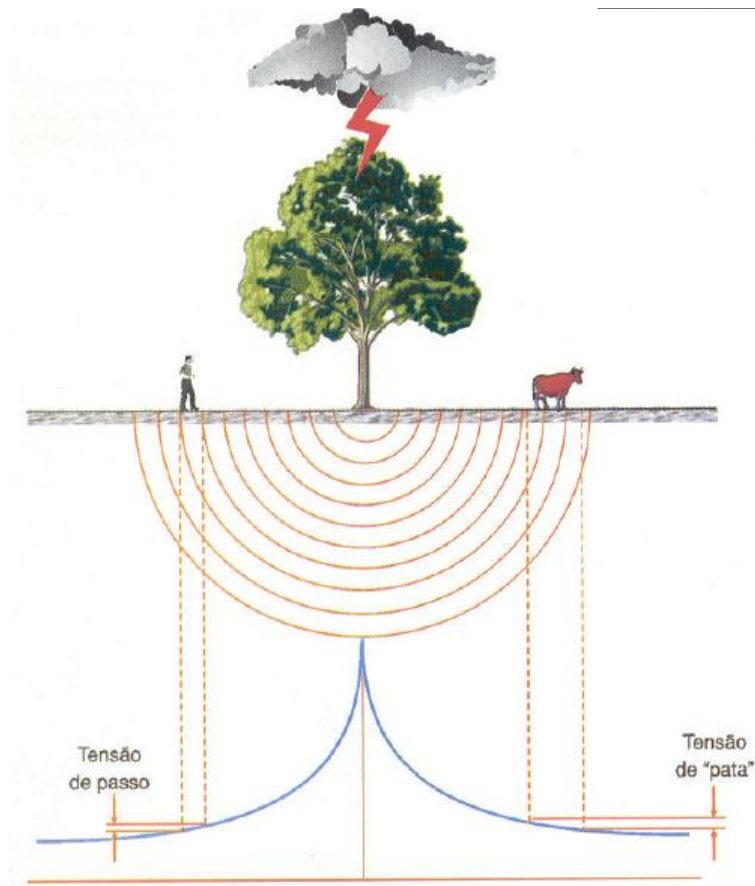
PROTEÇÃO E EFICIÊNCIA CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS		
Nível de Proteção	Características da Proteção	Eficiência da Proteção
I	Nível máximo de proteção	98%
II	Nível médio de proteção	95%
III	Nível moderado de proteção	90%
IV	Nível normal de proteção	80%

○ Classificação das edificações e níveis de proteção segundo a NBR 5419/93

- De acordo com os efeitos e danos causados pelos raios, as estruturas podem ser classificadas em:

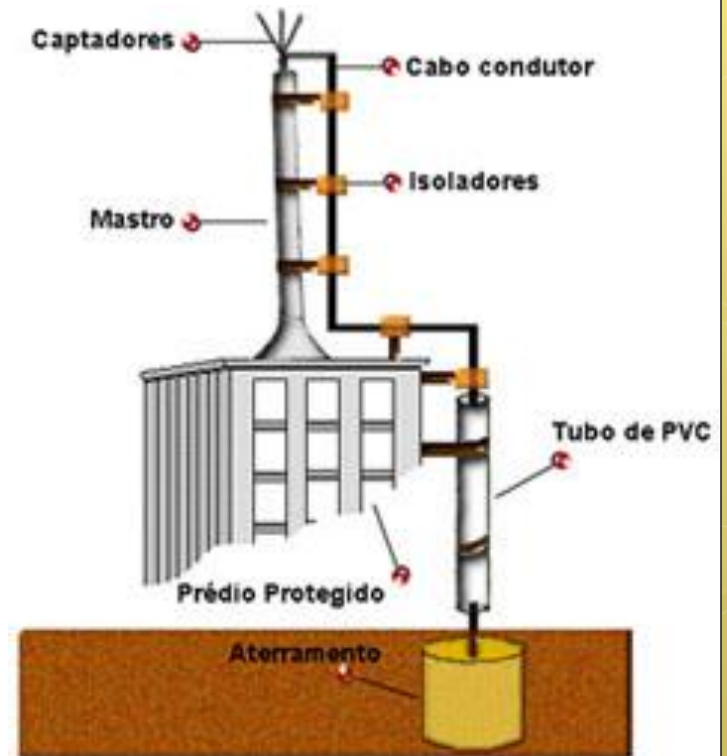
CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS	ESTRUTURAS TÍPICAS	EFEITOS DOS RAIOS	NÍVEL DE PROTEÇÃO
1º ESTRUTURAS COMUNS: as preocupações devem ser com os efeitos na própria estrutura.	Residências	Perfuração da isolação de instalação elétrica, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio.	III
	Fazendas	Risco primário de incêndio e tensões de passo perigosas. Risco secundário devido à interrupção de energia, e risco de vida a animais devido à perda de controle eletrônico de ventilação, suprimento de alimento etc.	III ou IV
	Teatros, escolas, igrejas, lojas de departamentos, áreas esportivas.	Danos às instalações elétricas, possibilidade de pânico, falha do sistema de alarme contra incêndio.	II
	Bancos, companhia de seguro, companhia comercial, etc.	Consequências adicionais na ligação com a perda de comunicação, falha dos computadores e perda de dados.	II
	Hospitais, casas de repouso e prisões	Efeitos adicionais às pessoas em tratamento intensivo, dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas.	II
	Indústrias	Efeitos adicionais na fabricação, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda da produção.	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de tesouros insubstituíveis	II

○ Efeitos sobre os seres vivos:



- O SPDA (Para-Raios) é composto por basicamente 03 subsistemas:
 - Sistema de captação
 - Sistema de descidas.
 - Sistema de aterramento.

A eficiência do SPDA implantado deve estar de acordo com a análise de risco a ser desenvolvida tendo por referência a Norma Brasileira sobre Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas (NBR 5419).



- O índice de risco depende da combinação da vários fatores:

$$R = \frac{A + B + C + D + E}{F}$$

FATOR A: Leva em consideração o tipo de estrutura, área construída e altura:

FATOR A	Tipo de estrutura e área construída
1	Residência com $A \leq 465\text{m}^2$
2	Residência com $A > 465\text{m}^2$
3	Residências, escritórios ou fábricas com $A \leq 2325\text{m}^2$ e $h \leq 15\text{m}$
4	Residências, escritórios ou fábricas com $15\text{m} \leq h \leq 23\text{m}$
5	Residências, escritórios ou fábricas com $A > 2325\text{m}^2$ ou $23\text{m} \leq h \leq 46\text{m}$
7	Serviços públicos de água, bombeiros, polícia, hangares
8	Usinas geradoras, centrais telefônicas, biblioteca, museus, estruturas históricas, ou prédios com $h \leq 46\text{m}$
9	Construções de fazendas, abrigos em área aberta, escolas, igrejas, teatros, estádios.
10	Chaminés, torres, hospitais, armazéns de materiais perigosos.

FATOR B: Considera o material de construção utilizado:

FATOR B	Material utilizado
1	Qualquer estrutura, salvo madeira, com telhado metálico elétricamente contínuo.
2	Estrutura de madeira, com telhado metálico elétricamente contínuo
3	Qualquer estrutura com telhado composto ou não contínuo
4	Estrutura de aço, concreto ou madeira com telhado metálico não contínuo
5	Estrutura não metálica com telhado de madeira ou barro.

FATOR C: Considera a área ocupada e a altura das edificações vizinhas:

FATOR C	Área ocupada e altura das edificações vizinhas
1	Área ocupada $\leq 929\text{m}^2$ e estruturas vizinhas mais altas.
2	Área ocupada $> 929\text{m}^2$ e estruturas vizinhas mais altas.
4	Área ocupada $\leq 929\text{m}^2$ e estruturas vizinhas mais baixas.
5	Área ocupada $> 929\text{m}^2$ e estruturas vizinhas mais baixas.
7	Altura maior que as da vizinhança, mas não as ultrapassando de 15m.
10	Altura maior que 15m em relação aos prédios vizinhos.

FATOR D: Considera a topografia:

FATOR D	Relevo
1	Planície
2	Encosta de colinas
4	Topo de colinas
5	Topo de montanha

FATOR E: Leva em consideração a ocupação da edificação:

FATOR E	Tipo de ocupação
1	Materiais não combustíveis
2	Móveis residenciais ou similares
3	Animais ou gado bovino
4	Local de reunião com menos de 50 pessoas
5	Material combustível
6	Local de reunião com 50 pessoas, ou mais
7	Equipamentos ou material de alto valor
8	Serviços de gás, gasolina, telefonia, bombeiros, pessoas imobilizadas ou leitos
9	Equipamento de operação crítica
10	Conteúdo histórico ou explosivo.

FATOR F: Depende do índice cerâmico:

FATOR F	Índice cerâmico
1	> 70
2	61 a 70
3	51 a 60
4	41 a 50
5	31 a 40
6	21 a 30
7	11 a 20
8	06 a 10
9	< 6

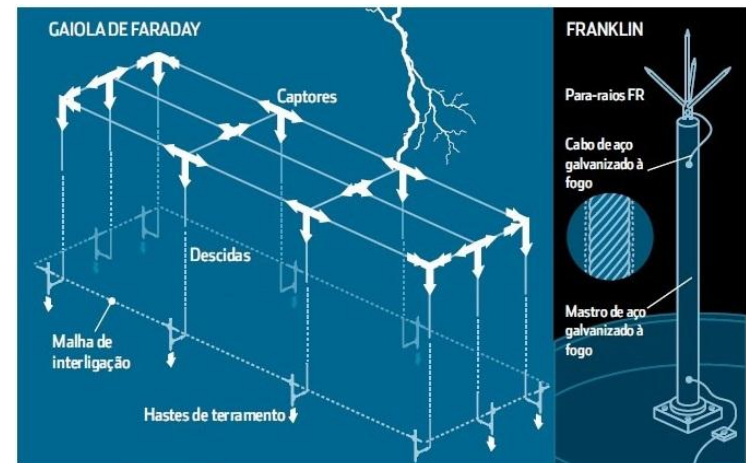
NÍVEL DE RISCO DA EDIFICAÇÃO:

Índice de Risco - R	Nível de Risco
0 a 2	Leve
2 a 3	Leve a moderado
3 a 4	Moderado
4 a 7	Moderado a severo
> 7	Severo



- Sistema de capttores:

- Tem a função de receber os raios, reduzindo ao máximo a probabilidade da estrutura ser atingida diretamente por eles e deve ter a capacidade térmica e mecânica suficiente para suportar o calor gerado no ponto de impacto, bem como os esforços eletromecânicos resultantes.
- Os sistemas que utilizam o efeito das pontas são mais econômicos, mas para edifícios longos, como fábricas, o princípio da “gaiola” pode se tornar mais econômico. E no caso de edifícios destinados a equipamentos eletrônicos torna-se indispensável. Podendo ser pontas ou hastes ou gaiola.



○ As Descidas:

- A descarga atmosférica ter sido recebida pelo sistema de captadores, as correntes deverão ser conduzidas ao sistema de aterramento por um conjunto de condutores denominados condutores de descida.
- Os condutores suportem térmica e mecanicamente as correntes e os respectivos esforços dinâmicos.
- Não hajam descargas laterais.
- Os campos eletromagnéticos internos sejam mínimos.
- Não haja risco para as pessoas próximas .
- Suportem o impacto dos raios .
- Não haja danos as paredes.
- Os materiais usados resistam as intempéries e a corrosão.



○ Generalidades sobre as Descidas:

- Os condutores de descida devem ser espaçados regularmente em todo o perímetro . Sempre que possível , instalar descidas em cada canto da estrutura.
- No mínimo são necessários dois condutores de descida em qualquer caso.
- O comprimento destes trajetos devera ser o menor possível. Se a parede for de material não combustível , os condutores de descida podem ser instalados na superfície ou embutidos na parede.
- Os condutores de descida devem ser retilíneos e verticais , de modo a prover o caminho mais curto e direto para a terra. Curvas fechadas devem ser evitadas.
- Os condutores de descida devem ser instalados a uma distancia mínima de 0,5 m de portas, janelas e outras aberturas.
- Os condutores de descidas não devem ser instalados dentro de calhas ou tubos de águas pluviais, para evitar corrosão.
- Os cabos de descida devem ser protegidos contra danos mecânicos ate, no mínimo 2,5 m do solo.
- Evitar a proximidade e o paralelismo das descidas do SPDA com os circuitos das instalações elétricas, comunicações , gás.



- Generalidades sobre as Descidas:

- Elementos da estrutura podem ser considerados como condutores de descida naturais se atender os quesitos previstos na norma principalmente quanto a continuidade elétrica ao longo do tempo. Podem ser:
 - As instalações metálicas.
 - Os pilares metálicos da estrutura.
 - As armações de aço interligadas das estruturas de concreto armado.
 - Os elementos da fachada , tais como perfis e suportes das fachadas metálicas.

Seções mínimas dos materiais do SPDA

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

Materiais do SPDA e condições de aplicação

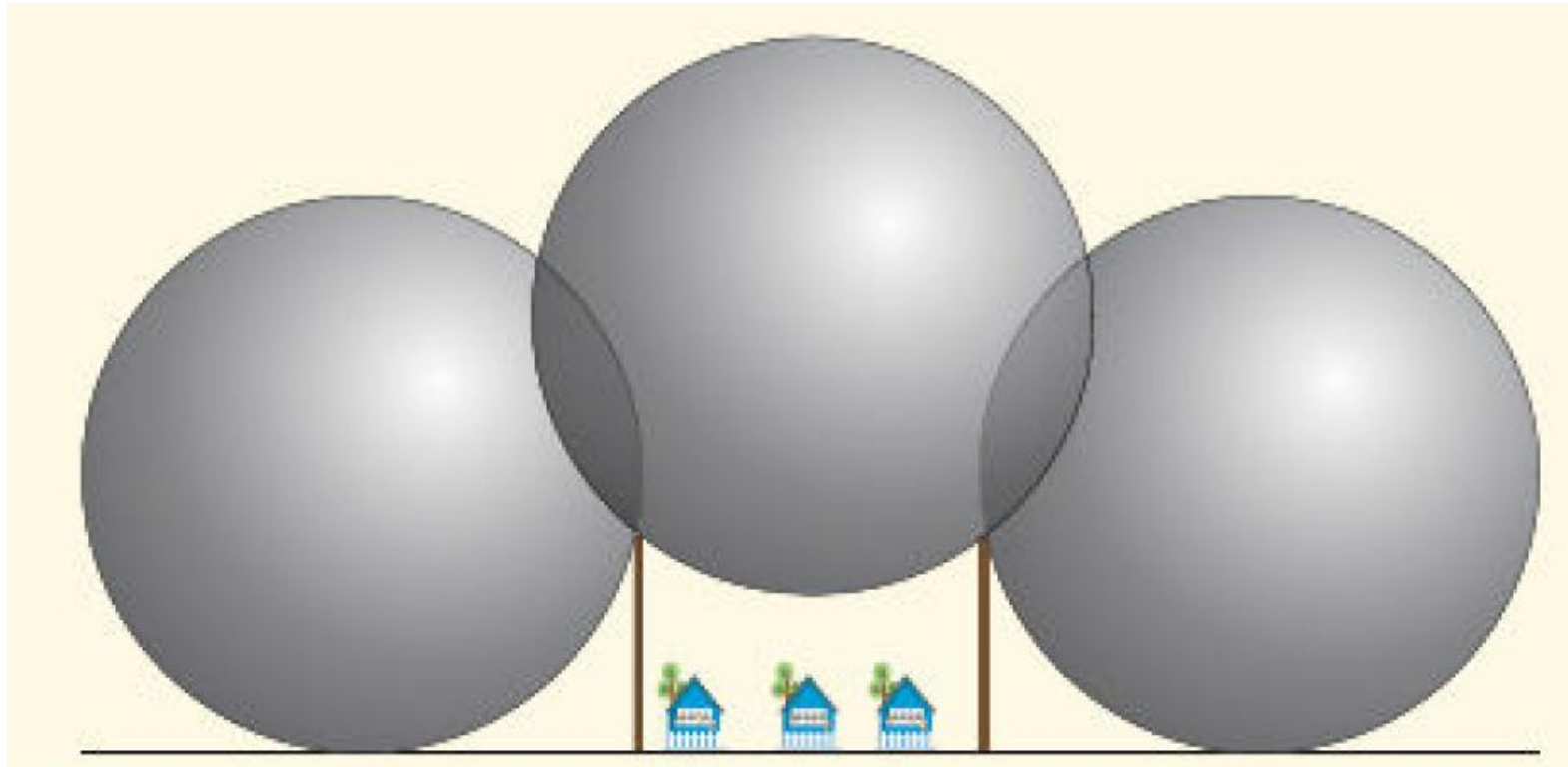
Material	Aplicação				Corrosão		
	Ao ar livre	Enterrado	Embutido no concreto	Embutido no reboco	Resistência	Risco agravado	Eletrolítica
Cobre	Maciço, encordoadado ou como revestimento de haste de aço		-	Maciço ou encordoadado	A mais substâncias	Cloretos altamente concentrados; compostos sulfúricos; materiais orgânicos	-
Aço de construção comum ou galvanizado a quente	Maciço ou encordoadado	Maciço ou encordoadado	Maciço ou encordoadado	-	Boa, mesmo em solos ácidos	-	Com o cobre
Aço inoxidável	Maciço ou encordoadado	Maciço ou encordoadado	-	Maciço ou encordoadado	A muitas substâncias	Água com cloretos dissolvidos	-
Alumínio	Maciço ou encordoadado	-	-	-	-	Agentes básicos	Com o cobre
Chumbo	Como revestimento		-	-	Altas concentrações de sulfatos	Solos ácidos	-

○ Método Franklin

- Este método é baseado na proposta inicial feita por Benjamim Franklin e tem por base uma haste elevada. Esta haste na forma de ponta produz , sob a nuvem carregada, uma alta concentração de cargas elétricas, juntamente com um campo elétrico intenso;
- Isto produz a ionização do ar , diminuindo a altura efetiva da nuvem carregada, o que propicia o raio através do rompimento da rigidez dielétrica do ar.

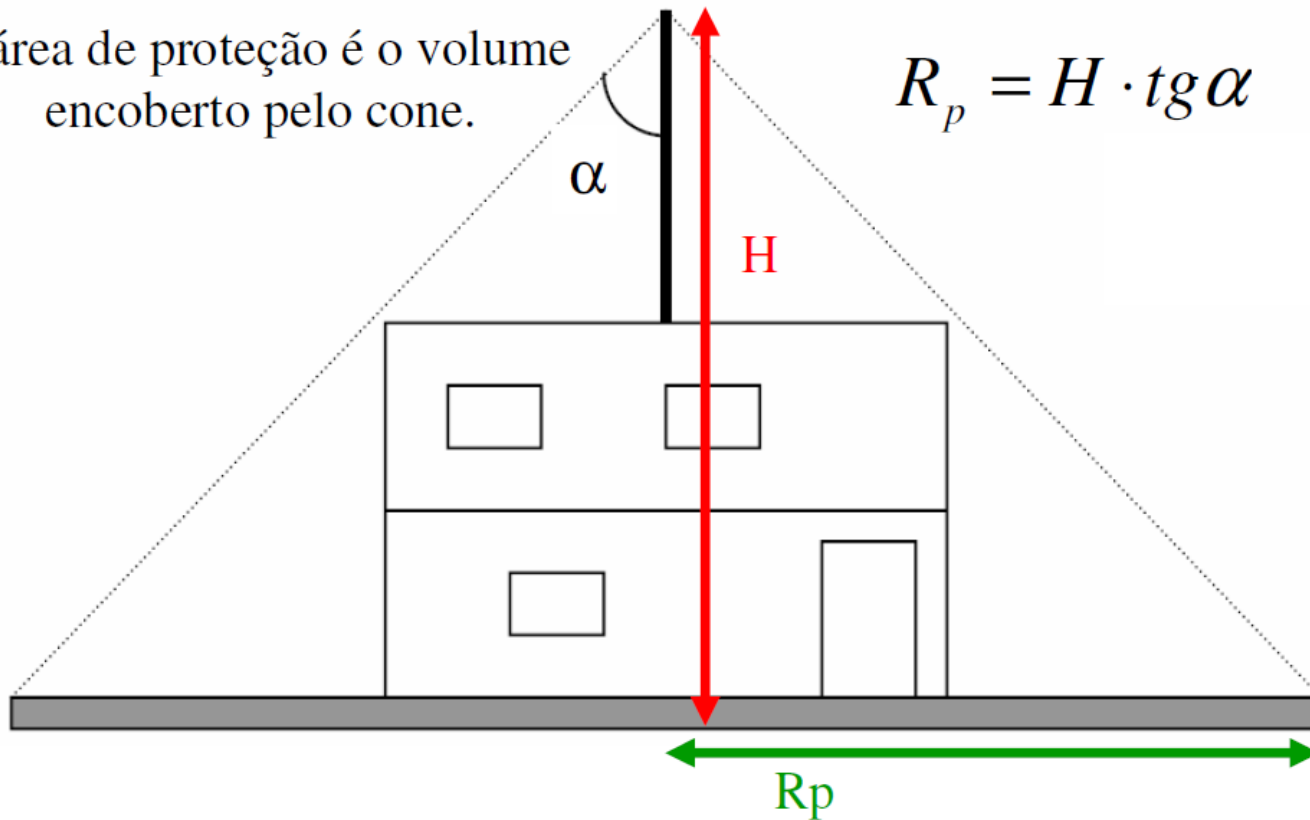
Método Eletrogeométrico (esfera rolante)





- Modelo Eletrogeometrico

A área de proteção é o volume encoberto pelo cone.



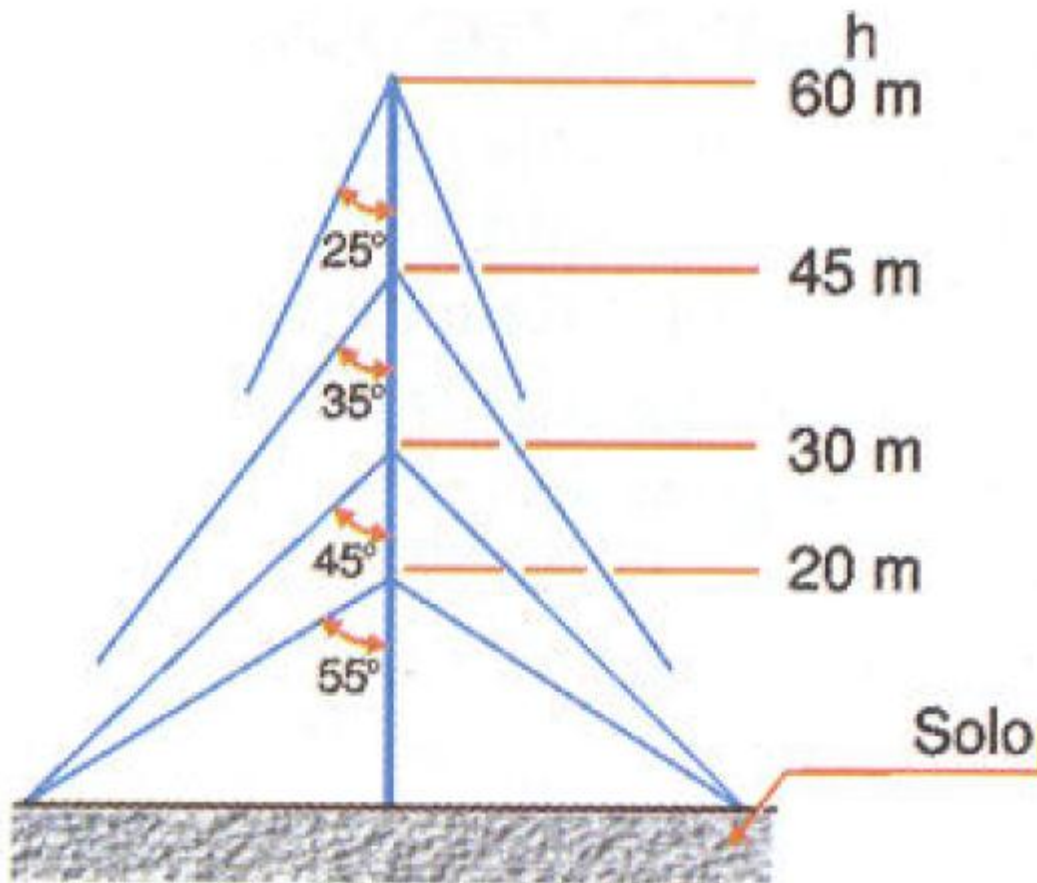
$$R_p = H \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Ângulo de proteção α em função da altura do captor (h)					
Nível	0-20m	21-30m	31-45m	46-60m	>60m
I	25°	a	a	a	b
II	35°	25°	a	a	b
III	45°	35°	25°	a	b
IV	55°	45°	35°	25°	b

a – Aplicam-se somente os métodos eltrogeométrico e Faraday.

b – Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

Quando há mais de um captor o ângulo entre eles pode ser acrescido de 10°.



		Ângulo de proteção (α) - método Franklin, em função da altura do captor (h) (ver Nota 1) e do nível de proteção					Largura do módulo da malha (ver Nota 2) m
Nível de proteção		0 - 20 m	21 m - 30 m	31 m - 45 m	46 m - 60 m	> 60 m	
I	20	25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30	35°	25°	1)	1)	2)	10
III	45	45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	2)	20

R = raio da esfera rolante.

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

2) Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

NOTAS

1 Para escolha do nível de proteção, a altura é em relação ao solo e, para verificação da área protegida, é em relação ao plano horizontal a ser protegido.

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