

# SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA SUBESTAÇÕES

**Luis Henrique Pinheiro<sup>1</sup>, Marcio Soares de Oliveira<sup>2</sup>, Landulfo Silveira Jr.<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>FEAU/UNIVAP - Av. Shishima Hifumi, 2911 – Urbanova – São José dos Campos – SP,  
<sup>1</sup>lh.pinheiro@gmail.com, <sup>2</sup>marcio.s.oliveira@globo.com, <sup>3</sup>landulfo@univap.br

**Resumo:** Para se pensar em proteção de subestações, inicialmente, torna-se necessário um pouco de conhecimento a respeito das funções do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e das partes que o compõem, bem como os níveis de proteção provenientes das normas. O presente trabalho tem o objetivo de orientar através de estudos sobre a importância do correto e eficaz aterramento em subestações elétricas. Descrever os tipos de aterramento existentes e definir qual o melhor aterramento com relação às condições de campo, de estrutura e da área a ser protegida. Neste trabalho é proposto um estudo de caso de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) aplicado a uma subestação elétrica.

**Palavras-chave:** Aterramento, SPDA, Nível de Proteção, Descargas Atmosféricas, Subestação.  
**Área do Conhecimento:** III – Engenharias

## Introdução

A decisão de proteger uma estrutura contra os raios pode ser uma exigência legal (no Brasil, são os códigos de obras municipais), uma preocupação do proprietário para evitar prejuízos ou ainda uma exigência das companhias de seguro, já que os raios são causas de danos físicos e incêndios (LEITE, D. M.; LEITE, C. M., 2001).

A instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas tem duas funções: 1) neutralizar, pelo poder de atração das pontas, o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens, através do permanente escoamento de cargas elétricas do meio ambiente para a terra; 2) oferecer à descarga elétrica que for cair em suas proximidades um caminho preferencial, reduzindo os riscos de sua incidência sobre as estruturas.

A instalação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas não impede a ocorrência de raios, nem tão pouco atrai raios. É preferível não ter pára-raio algum do que ter um pára-raio mal instalado. Um pára-raio corretamente instalado reduz significativamente os perigos e os riscos de danos, pois captará os raios que iriam cair nas proximidades de sua instalação.

### *Proteção por Pára-raios.*

Desde a criação do pára-raios há 200 anos, por Benjamin Franklin, não se avançou muito nesta área, usando-se o mesmo dispositivo até hoje. Este dispositivo (pára-raios) consiste na combinação de três elementos básicos:

- Subsistema de captadores, que é a parte destinada a interceptar as descargas atmosféricas;
- Subsistema de condutores de descida, que é a parte destinada a conduzir a corrente de descarga

atmosférica desde o subsistema captador até o subsistema de aterramento;

- Subsistema de aterramento, que é a parte destinada a conduzir e a dispersar a corrente de descarga atmosférica na terra.

### *Região Espacial de Proteção.*

É a zona espacial protegida pelo pára-raios, sendo que se o raio cair nesta zona, ele preferirá o caminho através do pára-raios. A maior evolução, desde a descoberta do pára-raios, ocorreu na definição da área protegida (zona espacial protegida). Há três métodos de definição da área protegida:

- Método da haste vertical de Franklin;
- Método da malha ou gaiola de Faraday;
- Método eletromagnético ou das esferas rolantes.

### **Definições Preliminares**

Índice Ceraúnico - IC: é, por definição, o número de dias de trovoadas, em determinado lugar, por ano.

Isoceraúnicas: são linhas (curvas) que ligam pontos (localidades) que têm o mesmo índice ceraúnico.

Densidade de Raios – DR: DR é a quantidade de raios que caem por ano em 1 Km<sup>2</sup> de área, e é calculado pela expressão:  $DR = 0,04 \cdot IC^{1,25}$ .

Níveis de Proteção e Eficiência de 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 (ABNT NBR 5419 / 2005). Há quatro níveis de proteção que o projetista pode adotar, conforme a Tabela 1:

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%

Tabela 1: Níveis de proteção e eficiência contra Descargas Atmosféricas, para captação e condução do o raio à terra.

### Sistemas de Proteção

#### Método de Franklin.

É composto por um ou mais captadores de quatro pontas, montado sobre o mastro cuja altura deve ser calculada conforme as dimensões da edificação, podendo haver vários em um sistema de pára-raios. Este método é baseado na proposta inicial de Franklin, tendo várias propostas de alteração quanto ao ângulo de proteção, conforme Tabela 2. A sua abrangência de proteção é dada pelo cone formado em torno do eixo vertical de um triângulo com a hipotenusa, conforme mostrado na Figura 1:

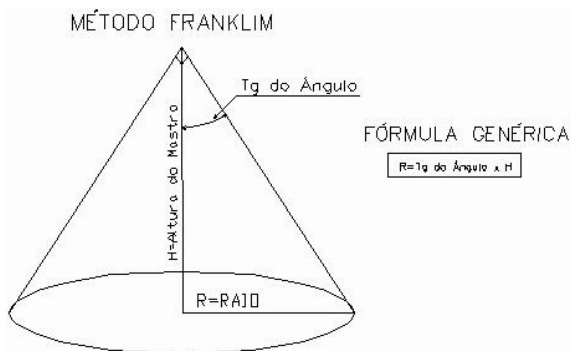


Figura 1: Cone de proteção pelo método de Franklin.

Nível de Proteção	Altura da estrutura a ser protegida			
	0 a 20m	21 a 30m	31 a 45m	46 a 60m
I	25°	***	***	***
II	35°	25°	***	***
III	45°	35°	25°	***
IV	55°	45°	35°	25°

Tabela 2: Ângulo de proteção pelo método de Franklin. \*\*\*Não se aplica.

#### Método Eletrogeométrico ou Esfera Rolante.

É baseado em estudos feitos a partir de registros fotográficos da medição de parâmetros dos raios, dos ensaios em laboratórios de alta tensão, do emprego das técnicas de simulação e modelagem matemática. Surgiu inicialmente para linhas de transmissão e foi depois simplificado para aplicação em estruturas.

No modelo eletrogeométrico, supõe-se que o líder descendente caminha na direção vertical em direção a terra em degraus dentro de uma esfera cujo raio depende da carga da nuvem ou da corrente do raio e será desviado de uma trajetória

por algum objeto aterrado. A descarga se dará no ponto em que a esfera tocar este objeto ou na terra, aquele que ocorrer primeiro.

O raio da esfera é denominado distância de atração ou distância de ruptura. Para aplicação às estruturas são admitidas algumas hipóteses simplificadoras relacionadas a seguir:

- Somente são consideradas as descargas negativas iniciadas nas nuvens;
- O líder descendente é vertical e sem ramificações;
- As descargas se dão em uma esfera de raio igual a distância de atração;
- A descarga final se dá para o objeto aterrado mais próximo, independente de sua massa ou condições de aterramento;
- As hastes verticais e os condutores horizontais tem o mesmo poder de atração;
- A probabilidade de ser atingida a terra ou uma estrutura aterrada é a mesma.

Embora estas hipóteses se afastem um pouco da realidade, o modelo continua válido se seguidos às orientações da norma.

A NBR 5419/2005 fixa os seguintes valores para os raios de atração em correspondência aos níveis de proteção (Tabela 3):

Nível de proteção	I	II	III	IV
Raio da esfera (m)	20	30	45	60

Tabela 3: Raio de proteção do modelo eletrogeométrico.

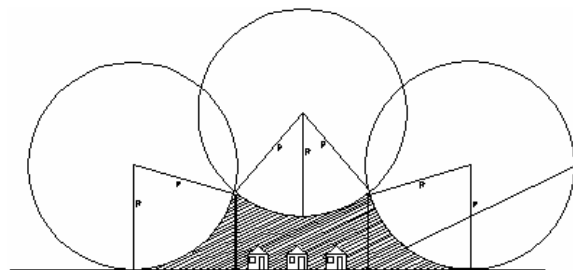


Figura 2: Modelo da esfera rolante.

#### Método da Gaiola de Faraday.

Este método é o mais usado na Europa, sendo baseado na teoria de Faraday, segundo a qual o campo no interior de uma gaiola é nulo, mesmo quando passa por seus condutores uma corrente de valor elevado.

Para que o campo seja nulo, na verdade, é preciso que a corrente se distribua uniformemente por toda a superfície. O campo será nulo, na realidade, no centro da gaiola, mas nas proximidades dos condutores haverá sempre um campo que poderá gerar tensões induzidas em condutores das instalações elétricas que estejam paralelos aos condutores da malha.

A proteção máxima no caso do método de Faraday é obtida quando a estrutura é envolvida por uma caixa metálica de paredes soldadas e de espessura suficiente para suportar o efeito térmico



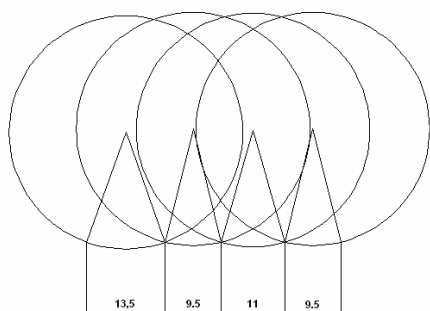


Figura 5: Método eletrogeométrico.

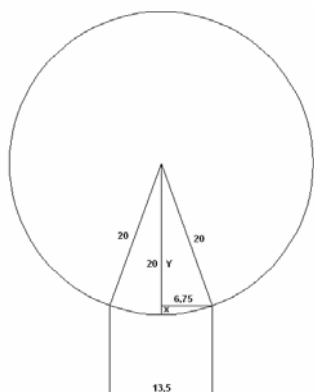


Figura 6: Cálculo da barriga da esfera "x" para o caso extremo.

$$\begin{aligned}
 20 &= Y + x \\
 x &= 20 - Y \\
 Y &= (20^2 - 6,75^2)^{0,5} \\
 Y &= 18,82 \\
 x &= 20 - 18,82 \\
 x &= 1,18\text{m}
 \end{aligned}$$

Como a estrutura tem 12m de altura, a altura máxima dos equipamentos é 9m e temos apenas 1,18m de barriga, pode-se comprovar que o modelo eletrogeométrico é capaz de proteger todos os equipamentos:

$$\begin{aligned}
 12 - x &\text{ tem que ser maior que } 9\text{m} \\
 12 - 1,18 &= 10,82\text{m} \\
 10,82 - 9 &= 1,82\text{m}
 \end{aligned}$$

Tem-se uma margem de segurança nesta proteção de 1,82m entre os equipamentos e o final da barriga da esfera.

Como a Subestação é uma área essencial para a realização dos trabalhos da GMB e trata-se de uma área de risco, para ter uma proteção mais eficiente foram instalados cabos guarda interligando todas as estruturas, tendo assim uma área maior para captação dos raios.

#### *Subsistema de condutores de descida.*

Como trata-se de uma subestação com estruturas, as mesmas serão aterradas e farão o papel de condutores de descida.

#### *Subsistema de aterramento.*

Será composto por uma malha a uma profundidade de 600mm do nível do solo. Toda a

malha de terra, derivação da malha, bases e equipamentos serão executadas com cabo de cobre nu 95mm<sup>2</sup> de 19 fios. Toda conexão da malha de terra será executada com conectores soldados. Toda estrutura deve ser aterrada.

#### **Discussão**

Ao receber um projeto para análise, deve-se, primeiramente identificar o tipo de área a ser protegida (prédio, galpão, área livre, etc.). A segunda etapa é verificar o uso e o tipo de construção, pois estas características indicam o tipo de proteção a ser adotado.

É interessante calcular a probabilidade de incidência de raios e de falha na proteção, mas deve-se notar que, num país com muita chuva como o Brasil, somente uma estrutura muito pequena terá uma probabilidade suficientemente baixa para dispensar a proteção. Isso deve-se à procedência européia dos estudos de risco. Em uma área tropical, a existência de um limite não faz muito sentido na prática (LEITE, D. M.; LEITE, C. M., 2001). O passo seguinte é adotar um método de proteção apropriado.

#### **Conclusão**

Na comparação entre os três métodos levando em conta o nível de proteção, eficiência e custo, verificou-se que o método de Faraday leva vantagens em pequenas construções já em edificações de grande porte o método eletromagnético é o de melhor relação custo-benefício e que o método Franklin seria o mais apropriado e econômico para proteger com eficiência um volume menor, do tipo caixa d'água.

A implantação de um SPDA para uma subestação elétrica de 88KV é de suma importância para proteção de sua estrutura, equipamentos, bem como a proteção de pessoas que ali se encontram.

#### **Referências**

- ABNT NBR 5419 / 2005
- LEITE, D. M.; LEITE, C. M. Proteção Contra Descargas Atmosféricas. 5. ed. Oficina de Mydia, 2001. 306p.