

**voltimum**

# **CONCEITOS DE SUBESTAÇÕES DE MUITO ALTA, ALTA E MÉDIA TENSÃO – MANUAL**



**Fascículo 2 – Equipamentos e  
Sistemas (Volume 1)**

**Autor  
Manuel Bolotinha**

# **CONCEITOS DE SUBESTAÇÕES DE MUITO ALTA, ALTA E MÉDIA TENSÃO – MANUAL**

**AUTOR: Manuel Bolotinha<sup>1</sup>, MSc – Engenheiro Electrotécnico**

**Fascículo 2 – Equipamentos e Sistemas (Volume 1)**

---

\* O Autor **não** segue o Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa

## ÍNDICE

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| LISTA DE TABELAS E FIGURAS                                   | 1  |
| SIGLAS E ACRÓNIMOS                                           | 2  |
| 1. INTRODUÇÃO                                                | 3  |
| 2. ESTRUTURAS METÁLICAS                                      | 3  |
| 3. BARRAMENTOS, ISOLADORES E LIGADORES                       | 4  |
| 3.1. BARRAMENTOS E ISOLADORES                                | 4  |
| 3.2. LIGADORES                                               | 8  |
| 4. REDE DE TERRAS                                            | 9  |
| 5. SISTEMA DE PROTECÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA) | 14 |
| BIBLIOGRAFIA                                                 | 16 |

## LISTA DE TABELAS E FIGURAS

### *Lista de tabelas*

| Descrição                                                      |
|----------------------------------------------------------------|
| <i>Capítulo 3</i>                                              |
| Tabela 1 – Valores de salinidade e linhas de fuga específicas  |
| Tabela 2 – Níveis de poluição e comprimento das linhas de fuga |

### *Lista de figuras*

| Descrição                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Capítulo 2</i>                                                                                       |
| Figura 1 – Estruturas metálicas                                                                         |
| <i>Capítulo 3</i>                                                                                       |
| Figura 2 – Barramento em tubo e coluna de isoladores                                                    |
| Figura 3 – Barramento em cabo, ligações tendidas e cadeia de isoladores                                 |
| Figura 4 – Isoladores de disco                                                                          |
| Figura 5 – Acessórios de uma cadeia de amarração dupla                                                  |
| Figura 6 – Exemplos de ligadores                                                                        |
| <i>Capítulo 4</i>                                                                                       |
| Figura 7 – Tensões de contacto e de passo                                                               |
| Figura 8 – Malha de terra                                                                               |
| Figura 9 – Exemplos de soldadura aluminotérmica (esquerda e centro) e preparação da soldadura (direita) |
| Figura 10 – Ligador em “C” e respectiva cravação                                                        |
| Figura 11 – Ligador de terra                                                                            |
| Figura 12 – Tapete equipotencial                                                                        |
| <i>Capítulo 5</i>                                                                                       |
| Figura 13 – Hastes de descarga e cabos de guarda                                                        |
| Figura 14 – Haste de descarga montada numa estrutura metálica                                           |

## **SIGLAS E ACRÓNIMOS**

*ACSR – Aluminium Cable Steel Reinforced*

*AIS – Air Insulated Substation*

*ASTM – American Society for Testing and Materials (USA)*

*AT – Alta Tensão*

*BT – Baixa Tensão*

*DGEG – Direcção-Geral de Energia e Geologia*

*EDP – Energias de Portugal*

*EN – Normas Europeias*

*E-REDES – Actual designação de EDP Distribuição*

*IEC – International Electrotechnical Commission*

*ISO – International Organization for Standardization*

*MAT – Muito Alta Tensão*

*MT – Média Tensão*

*NP – Normas Portuguesas*

*NP EN – Normas Portuguesas Harmonizadas com as Normas Europeias*

*RSLEAT – Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão*

*RSSPTS – Regulamento de Segurança de Subestações e de Postos de Transformação e Seccionamento*

*SPDA – Sistema de Protecção contra Descargas Atmosféricas*

*TS – Technical Specification (IEC)*

## 1. INTRODUÇÃO

Este **Fascículo** abordará os seguintes temas:

- *Estruturas metálicas*
- *Barramentos, isoladores e ligadores*
- *Rede de terras*
- *Sistema de protecção contra descargas atmosféricas (SPDA)*

Os **equipamentos e sistemas** abordados neste *Fascículo* devem obedecer ao *RSSPTS*.

## 2. ESTRUTURAS METÁLICAS

As **estruturas metálicas** das *SE* do tipo *AIS* são principalmente utilizadas nos **pórticos de amarração de linha** e nos *suportes dos equipamentos* de **MAT e AT**. São normalmente **treliçadas** e **galvanizadas** por *imersão a quente após fabrico*<sup>1</sup>, tendo em atenção a **corrosão** provocada pelas *condições ambientais* (principalmente **humidade e poluição salina**) do local onde as estruturas serão montadas.

Os **pórticos de amarração** devem ser **dimensionados** de acordo com o *RSLEAT*.

Os **desenhos das estruturas metálicas** devem apresentar as *alturas, espaçamentos, localização, direcção e valor das cargas aplicadas, inclusive as de origem electromagnética (esforços de curto-circuito), detalhes de montagem, configuração das estruturas e quantidade e espaçamento entre chumbadores, assim como seus diâmetros*.

Nalguns países, inclusive *Portugal*, designadamente nas *SE* da *E-REDES*, os **pés de apoio** das *estruturas de suporte dos equipamentos* são normalmente **tubulares**, onde é instalado o *cabo de ligação à terra* da estrutura e do equipamento, a fim de **evitar o roubo do cobre**.

A Figura 1 ilustra as **estruturas metálicas** das *SE*.

---

<sup>1</sup> Recomenda-se que o **tratamento da superfície** das *estruturas metálicas* seja feito de acordo com as *Normas ISO 1459, 2063 e 9223*.

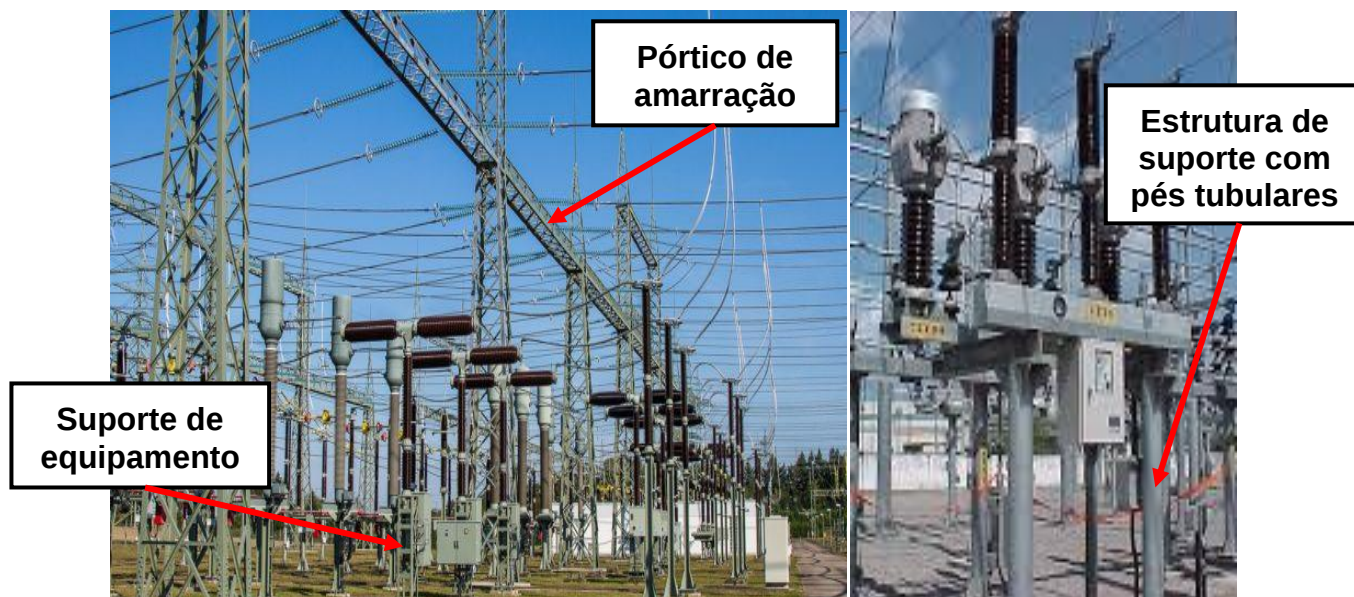


Figura 1 – Estruturas metálicas

Antes de ser iniciada a montagem das *estruturas metálicas* deve ser assegurada a **correcta implantação** dos *maciços e chumbadores*, a fim de **evitar posteriores alterações nos maciços e nas furações das estruturas metálicas**.

Caso durante o *transporte para o local e/ou montagem das estruturas* ou devido à *necessidade de pequenas alterações* haja **deterioramento da galvanização de origem**, nos *locais onde tal aconteça* deverá ser aplicado um **spray de zinco**, a fim de **restaurar a galvanização**.

### 3. BARRAMENTOS, ISOLADORES E LIGADORES

#### 3.1. BARRAMENTOS E ISOLADORES

Nas SE os **barramentos** e a **ligação entre equipamentos** podem ser realizados por:

- *Tubo de liga de alumínio*<sup>2</sup> (**ligações rígidas**), de acordo com a Norma ASTM B241 / B241M – 16.
- *Cabo nu em alumínio-aço*, do tipo **ACSR**, e do tipo **AL4** (antigo **ASTER**), em *liga de alumínio*, **mais resistente à corrosão** que o anterior (**ligações flexíveis**), de acordo com as Normas EN 50182 e 50183.

As ligações em cabo entre os *barramentos* e os *equipamentos MAT e AT* são habitualmente designadas por **ligações tendidas**.

Os *tubos* são instalados apoiados em **colunas de isoladores**. As *colunas de isoladores* são montadas em *disposição vertical* e apoiados em *estruturas metálicas* de

<sup>2</sup> Actualmente, e por questões económicas, utilizam-se preferencialmente tubos e cabos nus em liga de alumínio. Esta solução apresenta ainda a vantagem, relativamente ao cobre, de o alumínio não ser susceptível de ser roubado.

*suporte* e são habitualmente constituídas por **isoladores cerâmicos, em vidro ou em resina epoxy**.

Já os *cabos* são fixados aos *pórticos de amarração* através de **cadeias de amarração, simples ou duplas**, com isoladores **cerâmicos, em vidro ou em resina epoxy**, fazendo-se a *derivação* por meio de **pinças de amarração**.

Em casos particulares, nas *derivações para os equipamentos* podem ser utilizadas **cadeias de suspensão, simples ou duplas**, com **características idênticas** às *cadeias de amarração*, mas utilizando **outros tipos de ligadores** que não as *pinças de amarração*.

As *principais características* dos **tubos e condutores** estão indicadas no Fascículo 5, onde se apresenta o respectivo *método de cálculo*.

Os **isoladores** devem obedecer às *Normas IEC 60383, 61109 e TS 60815-1, 2 e 3*.

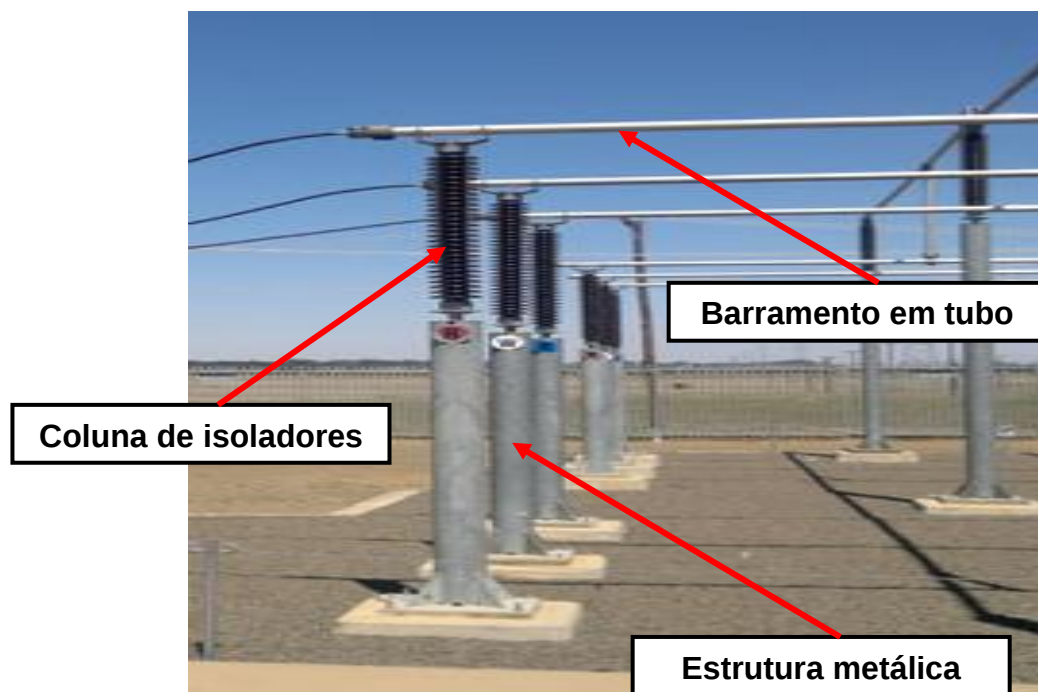


Figura 2 – Barramento em tubo e coluna de isoladores

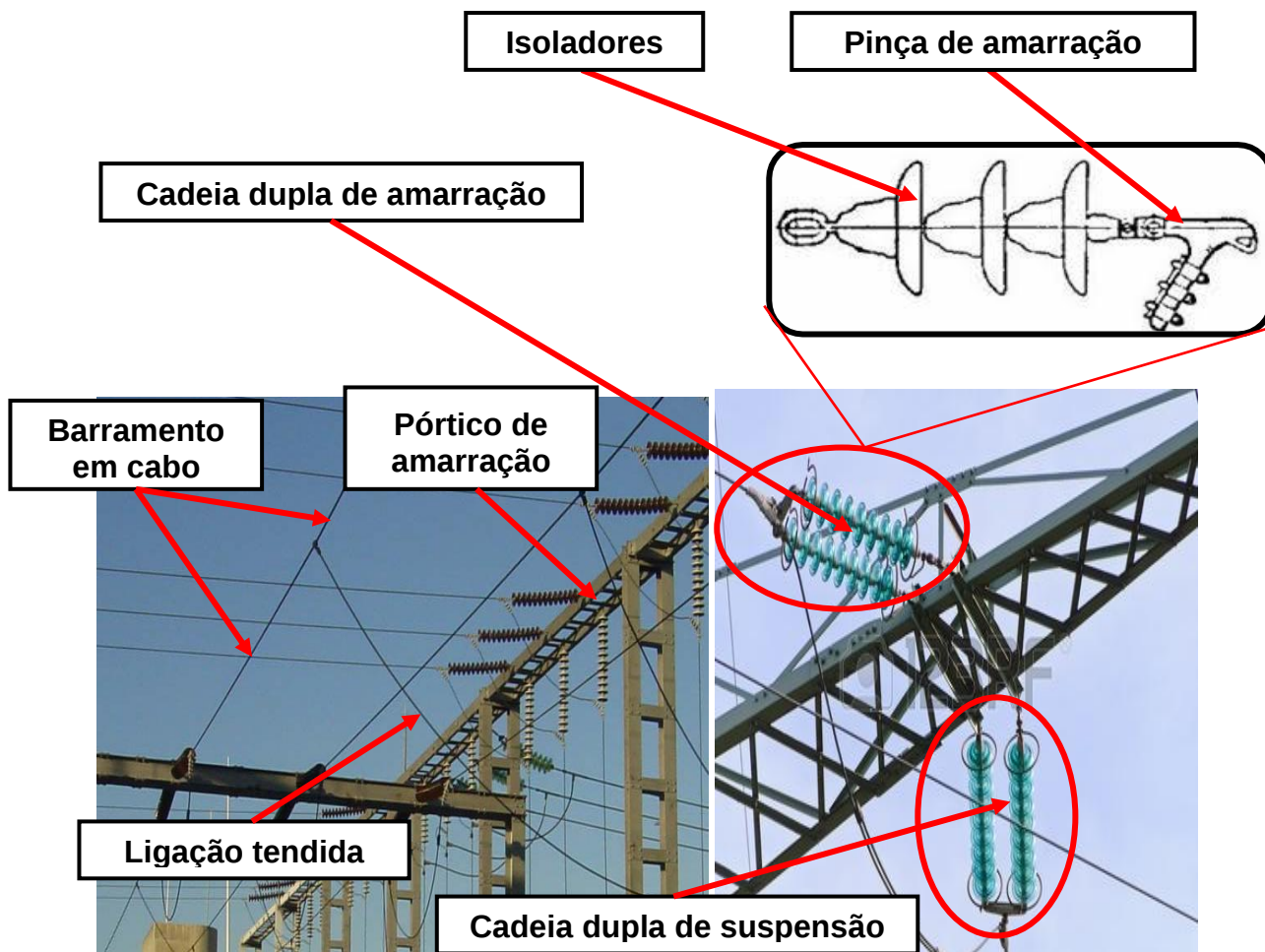


Figura 3 – Barramento em cabo, ligações tendidas e cadeias de isoladores

As **cadeias de isoladores** são constituídas por uma série de **isoladores de disco acoplados entre si** (ver Figura 4), cujo **número** depende do **nível de isolamento** desejado; este nível depende da **tensão da rede**, da **acção dos agentes atmosféricos** e do **nível de poluição** existente na zona.

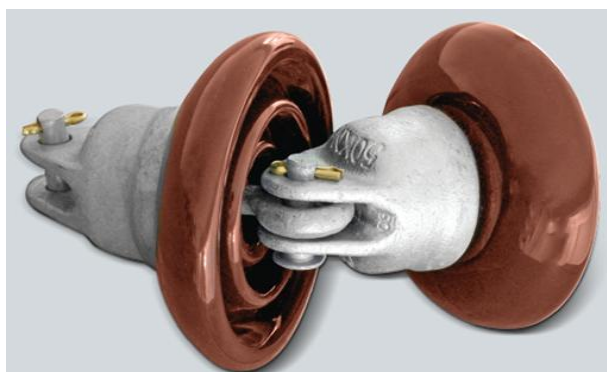


Figura 4 – Isoladores de disco

Na *montagem das cadeias de isoladores* é também necessário considerar os **acessórios de fixação das cadeias e pinças**, como se representa na Figura 5, e ainda os **anéis para protecção contra o efeito de coroa**<sup>3</sup>.

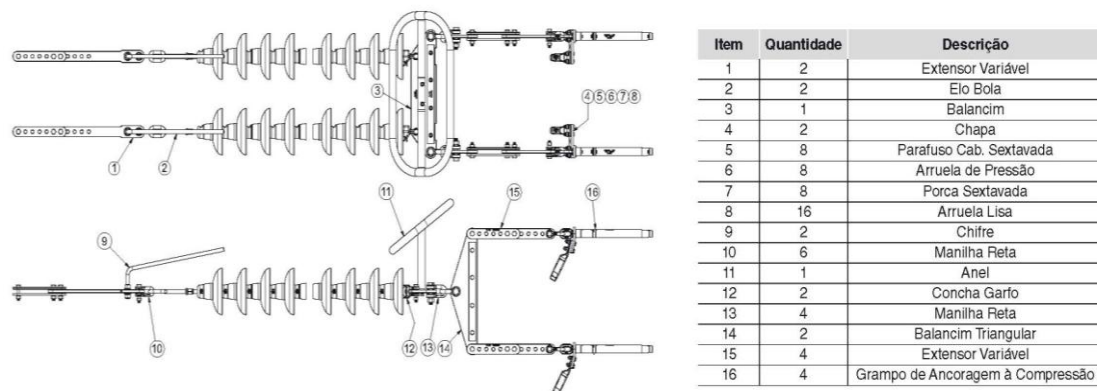


Figura 5 – Acessórios de uma cadeia de amarração dupla

Os **agentes poluidores** que se depositam sobre a superfície dos isoladores, principalmente por **acção do vento**, são *classificados em dois tipos*: **poluição salina e poluição industrial**.

A classificação da severidade poluente dos locais, de acordo com as *Normas IEC*, o valor da salinidade suportável e o comprimento da linha de fuga específica são indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de salinidade e linhas de fuga específicas

| Nível de poluição | Distância ao mar | Salinidade suportável expectável (kg/m <sup>3</sup> ) | Linha de fuga específica (mm/kV) |
|-------------------|------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Média             | >3km             | >28                                                   | 20                               |
| Forte             | 1 a 3km          | >80                                                   | 25                               |
| Muito Forte       | <1km             | >160                                                  | 31                               |

De acordo com a tabela anterior, os **comprimentos mínimos das linhas de fuga dos isoladores** são os indicados na Tabela 2.

<sup>3</sup> O **efeito de coroa** é o fenómeno que resulta de uma **descarga parcial** no ar (generalizando, em qualquer fluido) provocada pela ionização desse meio quando um condutor é percorrido pela corrente eléctrica e verifica-se quando o valor do **gradiente do campo eléctrico** é suficiente para ionizar o meio, mas não para provocar a sua *ruptura dieléctrica* ou um *arco eléctrico* entre os condutores. Este fenómeno verifica-se sobretudo quando a distância entre condutores é grande quando comparada com o seu diâmetro.

Tabela 2 – Níveis de poluição e comprimento das linhas de fuga

| Tensão de serviço (kV) | Nível de poluição | Comprimento da linha de fuga (mm) |
|------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 400                    | Média             | 8400                              |
|                        | Forte             | 10500                             |
|                        | Muito Forte       | 13020                             |
| 220                    | Média             | 4900                              |
|                        | Forte             | 6125                              |
|                        | Muito Forte       | 7595                              |
| 150                    | Média             | 3400                              |
|                        | Forte             | 4250                              |
|                        | Muito Forte       | 5270                              |
| 60                     | Média             | 1450                              |
|                        | Forte             | 1813                              |
|                        | Muito Forte       | 2248                              |

### 3.2. LIGADORES

Os **ligadores** destinam-se à ligação entre os *tubos e cabos* e os *terminais dos equipamentos* ou à execução de *derivações*.

A **escolha** de cada *ligador* é feita tendo em consideração os seguintes parâmetros:

- *Tipo de material a ligar* (**cobre-cobre**; **cobre-liga de alumínio**; **liga de alumínio-liga de alumínio**).
- *Diâmetro exterior dos tubos e cabos*.
- *Forma e dimensões dos terminais dos equipamentos* (**adequados a ligação a tubo, cabo ou barra**, habitualmente).

No caso de ser utilizado tubo no barramento, e dependendo do comprimento deste, os ligadores poderão ser **elásticos ou deslizantes**, a fim de serem *absorvidas* as **variações do comprimento do tubo**, em função da **temperatura**.

Para a ligação “**cobre-cobre**” os *ligadores* são em **bronze**, e para a ligação “**liga de alumínio-liga de alumínio**” os ligadores são em **liga de alumínio**.

No caso de ligação entre **metais diferentes**, os ligadores devem ser “**bimetálicos**”, de forma a **evitar a corrosão electrolítica**, *provocada em meio húmido, pela passagem da corrente eléctrica* em **dois metais diferentes**.

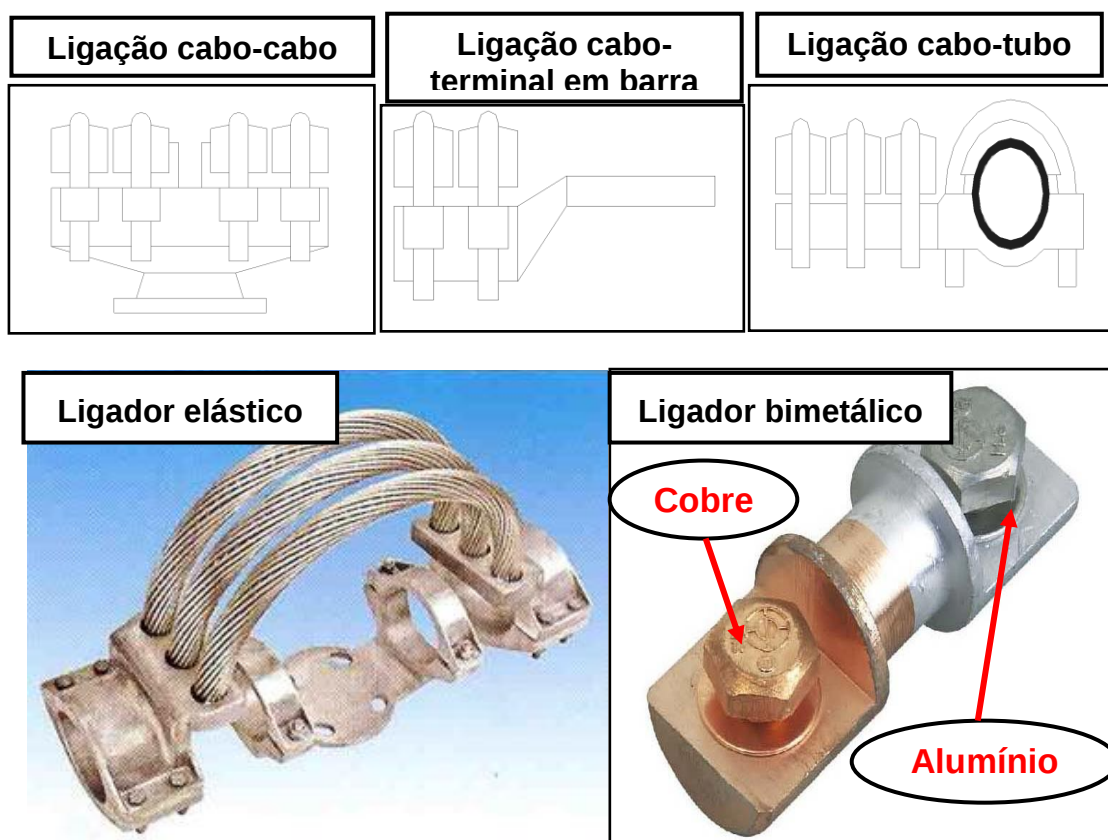


Figura 6 – Exemplos de ligadores

#### 4. REDE DE TERRAS

Nas SE do tipo AIS e híbridas o **campo electromagnético** causado pelas **cargas estáticas** nos **condutores nus** e pelas **condições atmosféricas** dão origem a **tensões induzidas** nas **partes da instalação normalmente sem tensão**, como por exemplo as estruturas metálicas, criando **diferenças de potencial**, quer *entre elas* e a terra quer *entre pontos diferentes no solo* da SE.

Situações semelhantes ocorrem a quando de um **defeito fase-terra** que envolva as já referidas **estruturas metálicas**.

Estas diferenças de potencial dão origem à **tensão de contacto** ( $U_{\text{cont}}$ ) e à **tensão de passo** ( $U_{\text{passo}}$ ), ou a uma **combinação de ambas**, que podem provocar a **circulação de uma corrente através do corpo humano**, com todas as consequências daí resultantes.

A **tensão de contacto** pode ser definida como a **diferença de potencial** entre qualquer **ponto do solo** e uma **estrutura metálica à terra** capaz de ser tocada, quando a corrente de defeito circula, sendo habitual considerar a distância de **um metro** entre a estrutura e o solo.

A *tensão de passo*, define-se como a **diferença de potencial superficial** entre os pés, quando a corrente de defeito circula, sendo habitual considerar a distância de **um metro** entre os pés.

Um caso particular da *tensão de contacto* é a **tensão transferida ( $U_{tr}$ )**, que é uma tensão que é transferida para a *SE* a partir de um ponto remoto exterior à *SE*, ou transferida para o exterior da *SE*, para um ponto remoto exterior.

Os conceitos de  $U_{cont}$  e de  $U_{passo}$  são ilustrados na Figura 7.

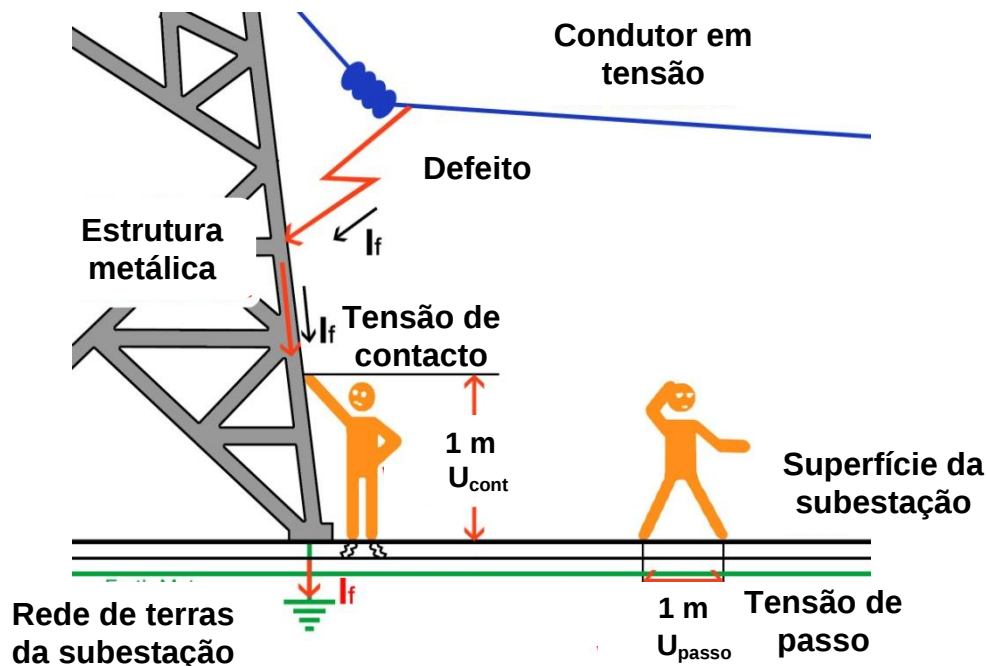


Figura 7 – Tensões de contacto e de passo

Para que  $U_{passo}$  e  $U_{cont}$  sejam limitadas **valores não perigosos** a **rede geral de terra** das *SE* é constituída por uma **malha de cabo de cobre nu**, de acordo com as *Normas EN 13602 e ASTM B48*, **enterrado no solo**, complementada por **varetas de aço revestido a cobre** (*vareta de terra*) mostrando-se na Figura 8 um exemplo.

O **método de cálculo** da *malha de terras* é apresentado no Fascículo 5.

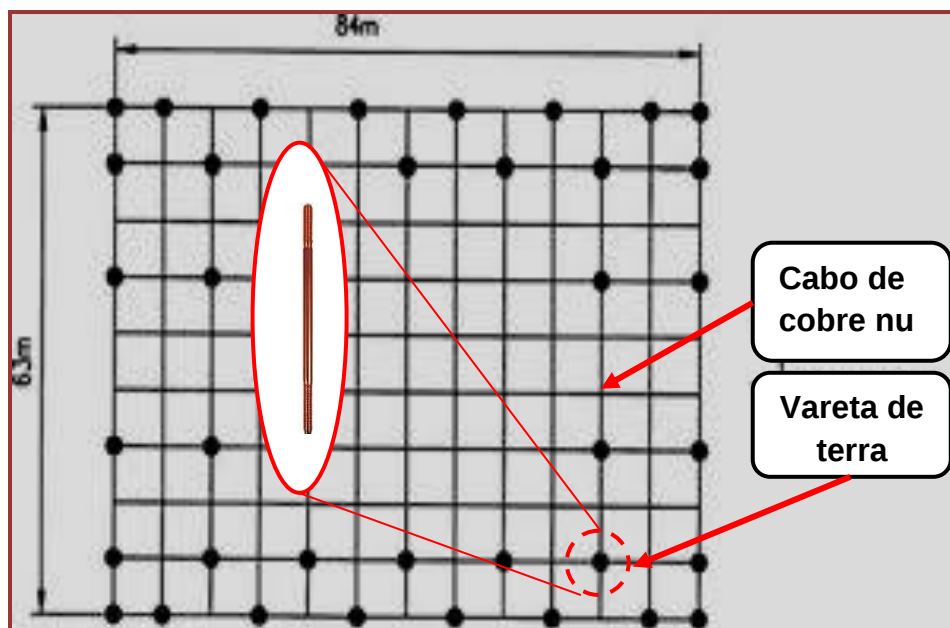


Figura 8 – Malha de terra

O **cabo de cobre** é instalado enterrado, habitualmente a uma profundidade de **0,6-0,8 m** da cota **0,00** da SE (ver Figura 11).

As **ligações e derivações** entre os condutores da *rede de terras* podem ser executadas das seguintes formas:

- **Soldadura aluminotérmica**, utilizando um *kit* apropriado.



Figura 9 – Exemplos de soldadura aluminotérmica (esquerda e centro) e preparação da soldadura (direita)

Nos casos em que sejam utilizado o método de *soldadura aluminotérmica*, o **número de ligações executado por cada molde não pode ultrapassar o indicado pelo fabricante**.

- **Ligadores em “C”**, com recurso a *prensa de cravar hidráulica calibrada e matrizes* com as **dimensões adequadas às dimensões dos ligadores**.

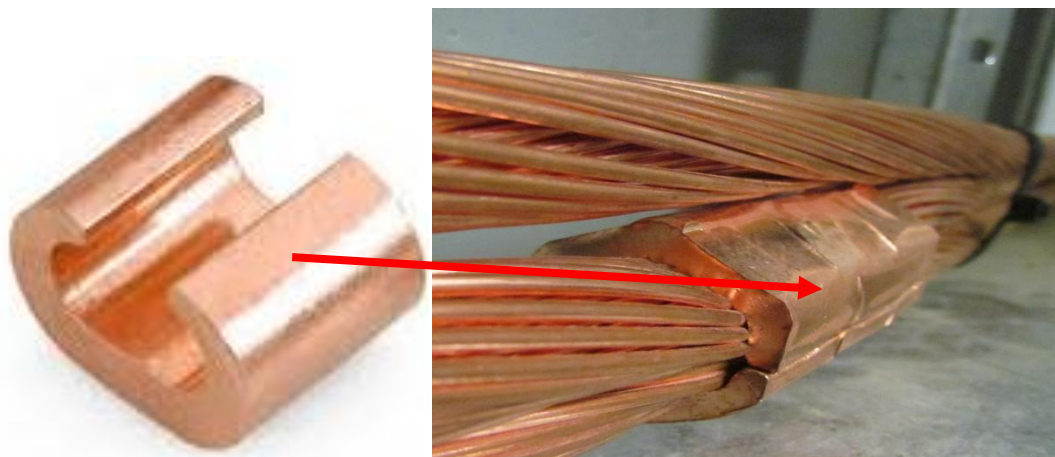


Figura 10 – Ligador em “C” e respectiva cravação

As **ligações dos cabos às estruturas metálicas** do *parque exterior da SE* fazem-se *acima do solo, sem descontinuidade da malha*, por *fixação de dois cabos sobre a estrutura* utilizando **ligadores apropriados**.

A partir deste *ligador* será derivada **uma ligação em antena**, constituída **por barra ou cabo de cobre nu**, *fixado sobre a estrutura metálica*, que permite a *ligação entre a malha de terra e a aparelhagem suportada*. No caso de os *pés da estrutura* serem **tubulares**, a *ligação à aparelhagem* será realizada através de **cabo de cobre nu**, instalado no *interior da estrutura*, pelas razões já referidas atrás.

Na Figura 11 exemplifica-se o que foi anteriormente exposto.

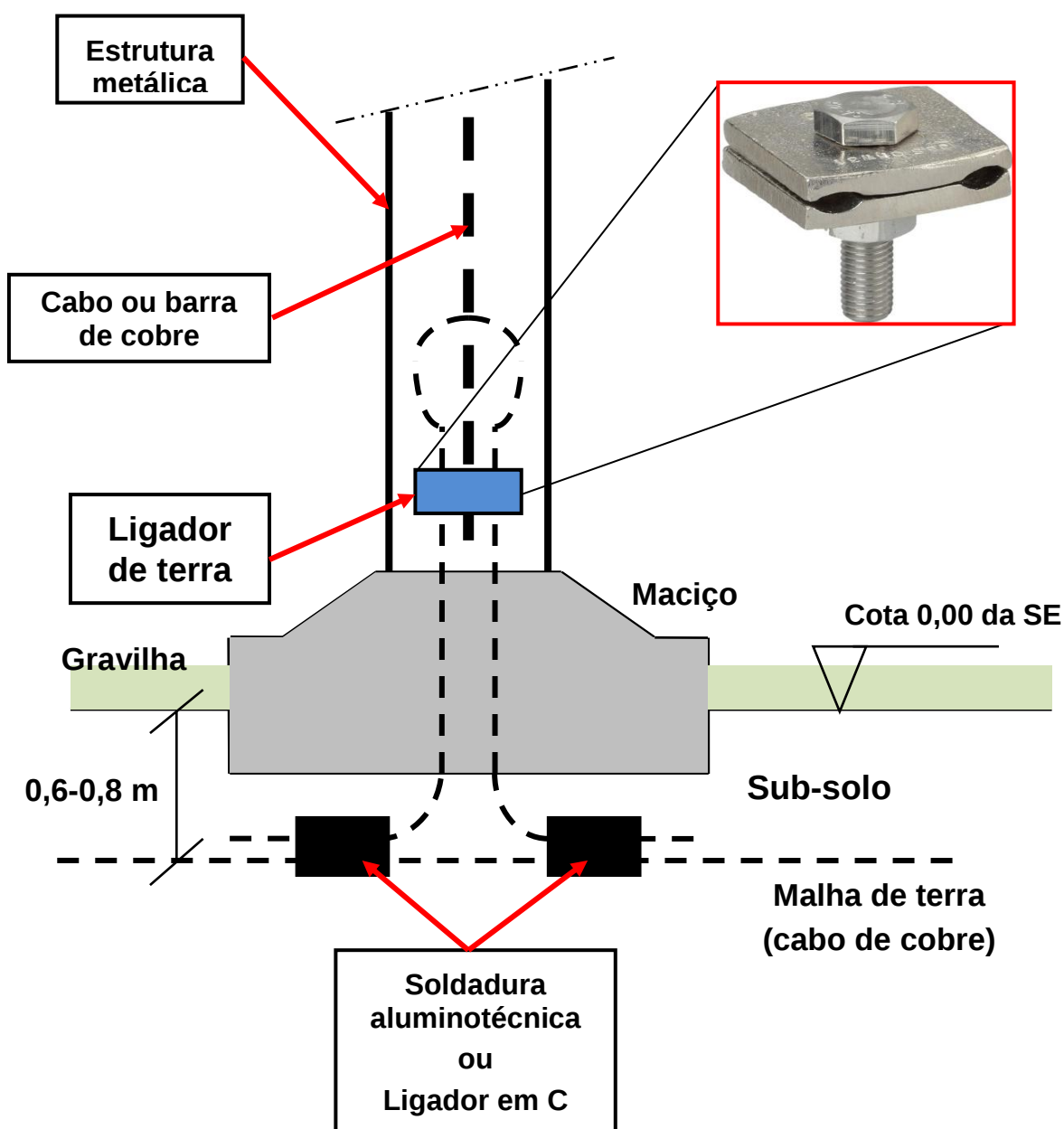


Figura 11 – Ligador de terra

As ligações aos carris de rolamento dos transformadores (caso existam) devem ser feitas preferencialmente por **soldadura**.

As várias ligações devem ser concebidas de forma que **não exista contacto entre metais diferentes susceptíveis de provocar corrosão electrolítica**.

Em Portugal, de acordo com o estabelecido no RSSPTS o **valor da resistência de terra** da SE deve ser  $\leq 1 \Omega$ .

Todas as **massas metálicas** e as **diversas ferragens** normalmente sem tensão, bem como a **rede de vedação** (no caso de ser metálica) e o **SPDA**, isto é:

- As estruturas metálicas de suporte dos equipamentos e os pórticos.

- As facas de terra dos seccionadores.
- Os carris de assentamento dos transformadores, caso existam.
- As tubagens do sistema de extinção de incêndios, caso exista.
- Os descarregadores de sobretensões e contadores de descarga.
- Todos os armários e caixas de reagrupamento e de BT, instalados no parque exterior, bem como no interior dos edifícios.
- As bases das cadeias de amarração e suspensão.
- Todo o aparelho ou parte do aparelho em que a colocação à terra é imposta pelos regulamentos em vigor e/ou indicada nos planos de montagem.
- Os cabos de guarda.
- As hastes de descarga.
- Os prumos da vedação exterior<sup>4</sup>.

Junto a cada *armário de comando dos disjuntores e seccionadores* deve ser instalado um **“tapete” metálico equipotencial**, ligado à *rede de terras da SE*.



Figura 12 – Tapete equipotencial

## 5. SISTEMA DE PROTECÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

O **SPDA** da *SE*, que deve obedecer às *Normas IEC 62305 e 62561* é constituído por **cabos de guarda**, em *aço galvanizado ou alumínio-aço*, do tipo **ACSR** apoiados nas *cabeças dos pórticos da SE*, podendo ser **complementada** com *hastes de descarga*

---

<sup>4</sup> Para evitar **roubos de cobre**, os *cabos da rede de terras* devem ser **instalados no interior dos prumos** da *rede de vedação*.

(normalmente **pára-raios do tipo Franklin**) igualmente *apoiadas nos pórticos*, se o *cálculo* assim o *justificar*.

Estas soluções são apresentadas na Figura 13.

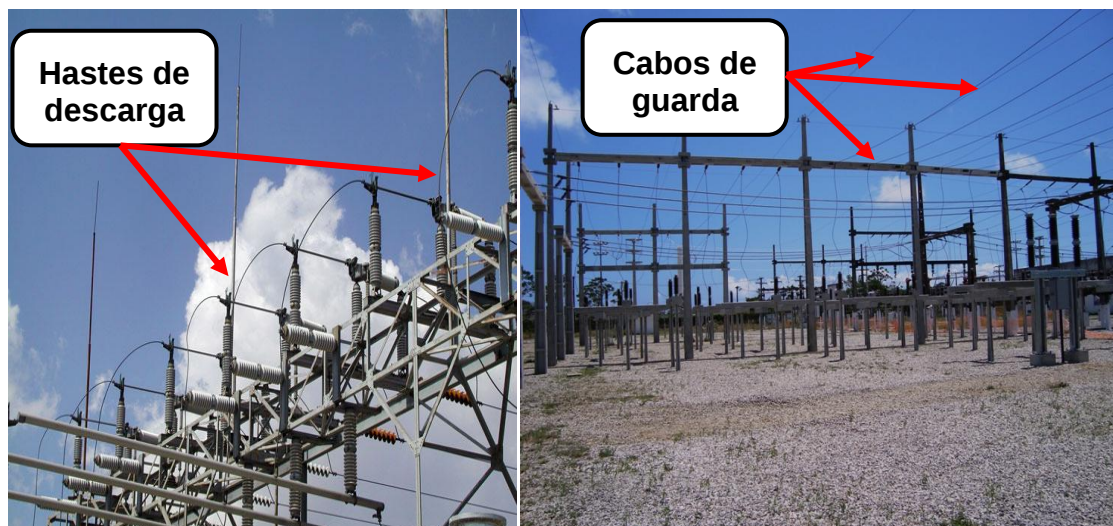


Figura 13 – Hastes de descarga e cabos de guarda

Nas SE que **não dispõem** de *pórticos de amarração*, o **SPDA** é constituído por **hastes de descarga** instaladas em *estruturas metálicas exclusivas para esse fim*, como se representa na Figura 14.

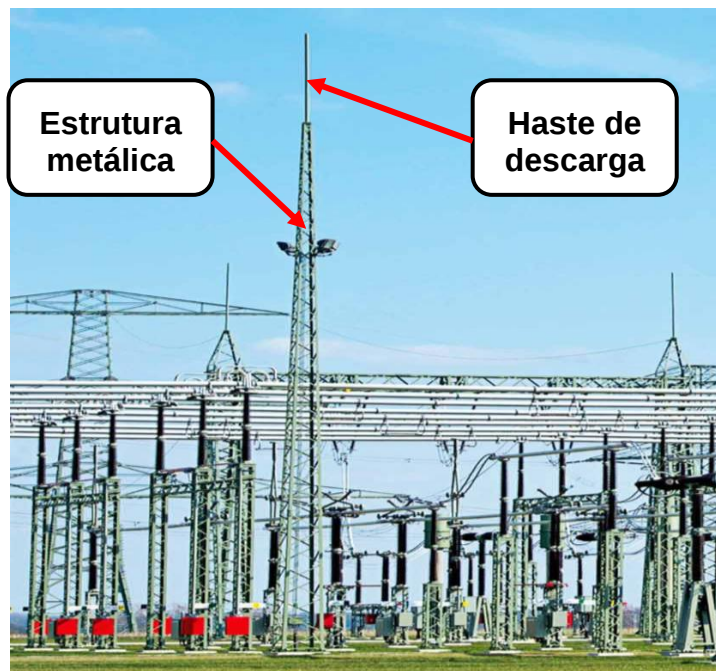


Figura 14 – Haste de descarga montada numa estrutura metálica

O **cálculo do SPDA** deve ser realizado de acordo com o *Guia Técnico de Pára-Raios* da **DGEG**.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Bolotinha, Manuel. Subestações: Projecto, Construção, Fiscalização – 2ª Edição. Quântica Editora/Engebook. Janeiro 2019.
- [2] Bolotinha, Manuel. Subestações – Montagem Electromecânica, Ensaios e Manutenção. Quântica Editora/Engebook. Janeiro 2019.
- [3] Bolotinha, Manuel. Transporte, Distribuição e Utilização de Redes Eléctricas de Muito Alta, Alta e Média Tensão. Publindústria/Engebook. Outubro 2019.
- [4] Bolotinha, Manuel. Basics of HV, MV and LV Installations. Editora Ómega. Janeiro 2017.
- [5] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. International Electrotechnical Vocabulary. IEC 60050-605. Suíça, 1983.
- [6] ELECTRIC POWER SUBSTATIONS ENGINEERING Edited by John D. McDonald CRC Press 2003
- [7] Normas, Regulamentos e Outros Documentos de Referência citados no texto.