

voltimum

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



**Fascículo 4 – Equipamentos e
Sistemas (Volume 3)**

**Autor
Manuel Bolotinha**

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

AUTOR: Manuel Bolotinha¹, MSc – Engenheiro Electrotécnico

Fascículo 4 – Equipamentos e Sistemas (Volume 3)

¹ O Autor **não** segue o Novo Acordo da Língua Portuguesa

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS E FIGURAS	2
SIGLAS E ACRÓNIMOS	4
1. INTRODUÇÃO	6
2. CABOS E CAMINHOS DE CABOS	6
2.1. CABOS MAT, AT, MT E BT	6
2.2. CABOS DE COMANDO E CONTROLO	10
2.3. CAMINHOS DE CABOS	11
2.4. CAIXAS TERMINAIS DE CABOS	13
3. PRINCÍPIOS GERAIS DO SISTEMA DE COMANDO, CONTROLO E PROTECÇÃO	13
3.1. ASPECTOS GERAIS	13
3.2. COMANDO E CONTROLO	14
3.3. MEDIDA	15
3.4. ARQUITECTURA DO SISTEMA	16
3.5. PROTECÇÕES	19
3.6. RELIGAÇÃO	22
3.7. TELEDISPARO E TELEPROTECÇÃO	23
3.8. OSCILOPERTUBOGRAFIA	24
4. SERVIÇOS AUXILIARES	25
4.1. INTRODUÇÃO	25
4.2. SACA	25
4.3. SACC	28
5. INSTALAÇÕES TÉCNICAS DOS EDIFÍCIOS E EXTERIORES	31
5.1. EDIFÍCIOS	31
5.2. INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS EXTERIORES	31
BIBLIOGRAFIA	33

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Lista de tabelas

<i>Capítulo 2</i>
Tabela 1 – Tensões estipuladas dos cabos MAT e AT
Tabela 2 – Valores de K
<i>Capítulo 3</i>
Tabela 3 – Protecções utilizadas nas SE
Tabela 4 – Taxa de sucesso das religações

Lista de figuras

Descrição
<i>Capítulo 2</i>
Figura 1 – Constituição de um cabo isolado
Figura 2 – Instalação de cabos unipolares em esteira (esquerda) e em trevo (direita)
Figura 3 – Cabo de comando e controlo
Figura 4 – Caleira e tampas
Figura 5 – Caminho de cabos em chapa perfurada
Figura 6 – Caminho de cabos tipo escada
Figura 7 – Caminho de cabos em varão electrosoldado
Figura 8 – Tritubo
Figura 9 – Caixa terminal de cabo
<i>Capítulo 3</i>
Figura 10 – Conversor de medida
Figura 11 – Arquitectura típica simplificada do sistema de comando, controlo e protecção de uma subestação
Figura 12 – IED
Figura 13 – Utilização de protecções direccionais
Figura 14 – Actuação das protecções de distância
Figura 15 – Exemplos de registos de ocorrências e perturbações

<i>Capítulo 4</i>
Figura 16 – Transformador hermético (esquerda) e transformador seco (direita)
Figura 17 – Grupo gerador de emergência
Figura 18 – Esquema unifilar tipo da formação de polaridades
Figura 20 – Baterias em estante

SIGLAS E ACRÓNIMOS

AIS – Air Insulated Substation

ANSI – American National Standards Institute (USA)

AT – Alta Tensão

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BI – Binary input

BO – Binary output

BT – Baixa Tensão

ca – Corrente Alternada

cc – Corrente Contínua

CCR – Centro de Condução da Rede

COR – Centro de Operação de Rede

CPI – Controlador permanente de isolamento

DCS – Distributed Control System

ED – Entrada digital

EDP – Energias de Portugal

EN – Normas Europeias

E-REDES – Actual designação da EDP Distribuição

ET – Especificação Técnica

IEC – International Electrotechnical Commission

IED – Intelligent Electronic Device

IEEE – International Electrical and Electronic Engineers (USA).

IHM – Interface Homem/Máquina

ISO – International Organization for Standardization

ITED 4 – Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios, Versão 4

MAT – Muito Alta Tensão

MT – Média Tensão

NF – Normalmente fechado (contacto auxiliar)

NP – Normas Portuguesas

NP EN – Normas Portuguesas Harmonizadas com as Normas Europeias

PCL – Posto de Comando Local

PLC – Programmable Logic Controller

PTC – *Positive Temperature Coefficient*

QMT – Quadro de Média Tensão

QSACA – Quadro dos Serviços Auxiliares de Corrente Alternada

QSACC – Quadro dos Serviços Auxiliares de Corrente Contínua

RAT – Regulação automática de tensão

REN – Redes Energéticas Nacionais

RSRDEEBT – Regulamento de Segurança das Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão

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

RTIEBT – Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão

SACA – Serviços Auxiliares de Corrente Alternada

SACC – Serviços Auxiliares de Corrente Contínua

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*

SCCP – Sistema de Comando, Controlo e Protecção

SD – Saída digital

SE – Subestação

SES – Sistemas electrónicos de segurança

TI – Transformador de medida de intensidade

TSA – Transformador dos Serviços

TT – Transformador de medida de tensão

XLPE – Polietileno reticulado

1. INTRODUÇÃO

Este **Fascículo** abordará os seguintes temas:

- Cabos e caminhos de cabos
- Princípios gerais do sistema de comando, controlo e protecção
- Serviços auxiliares
- Instalações técnicas dos edifícios e exteriores

Os **equipamentos e sistemas** abordados neste *Fascículo* devem obedecer, nas **partes aplicáveis**, às *Normas* citadas no texto e aos seguintes *regulamentos*: *RSSPTS*; *RSRDEEBT*; *RTIEBT*; *ITED 4*.

2. CABOS E CAMINHOS DE CABOS

2.1. CABOS MAT, AT, MT E BT

Um **cabo** é constituído, no mínimo, pelo(s) **condutor(es)** e **respectiva isolação e a bainha exterior**.

Os cabos *MAT* e *AT* são geralmente *unipolares*, com *condutores* em **alumínio** e *isolação* em **polietileno reticulado (XLPE)**. Já os cabos *MT* podem ser *tripolares* ou *unipolares*, dependendo da secção e da tensão estipulada (ver Tabela 1), com isolação em **XLPE** e condutores geralmente em **alumínio**.

Os cabos *BT* podem ser *unipolares*, *bipolares*, *tripolares*, *tetrapolares* e *pentapolares*, conforme incluam ou não o *neutro* e o *condutor de protecção (PE)*. A isolação habitual é o **PVC** e os condutores podem ser em **cobre** ou **alumínio** ($s \geq 16 \text{ mm}^2$)

Em *Portugal*, os cabos *MT* e *BT* são normalmente designados de acordo com a *Norma NP 665*.

A Figura 1 mostra um exemplo da constituição de um cabo isolado ($U > BT$).

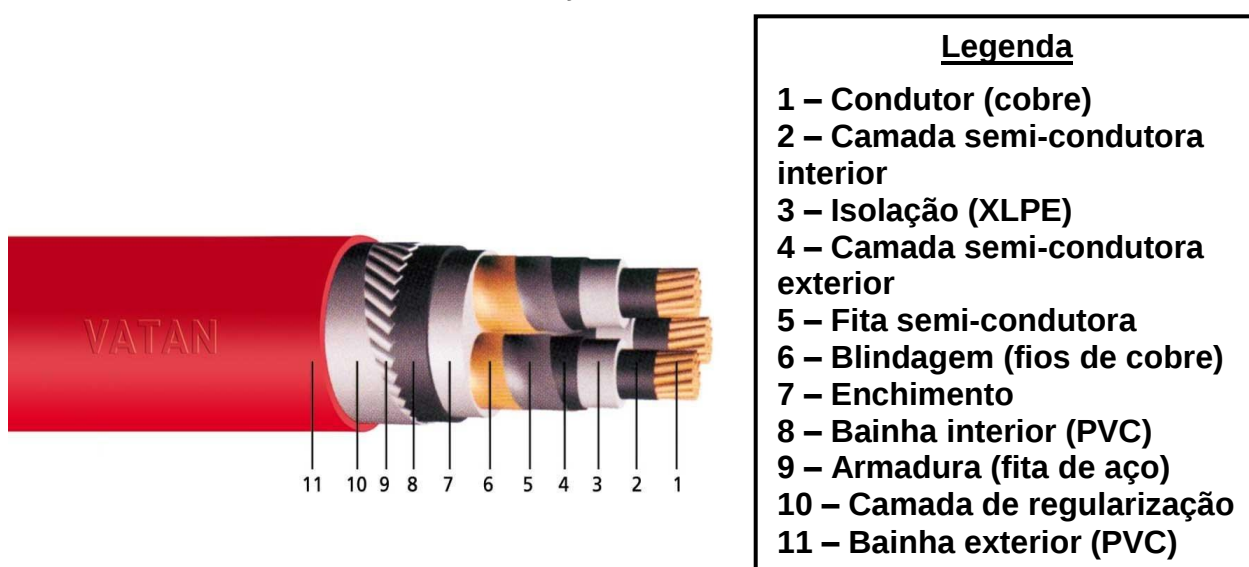


Figura 1 – Constituição de um cabo isolado

Nos cabos isolados *MAT*, *AT* e *MT* a **blindagem** tem como **objectivos** *uniformizar o campo eléctrico, escoar a corrente de defeito e conferir a protecção das pessoas contra contactos indirectos*, e também como **protecção contra interferências electromagnéticas**.

A *blindagem*, constituída por **fios, fitas ou tranças de cobre ou de estanho**, é aplicada sobre uma **camada de fita semi-condutora**, que por sua vez é aplicada sobre a **isolação**. Nos cabos *tripolares* pode ser aplicada **individualmente** em cada condutor – cabos de **campo radial** – ou no **conjunto dos três condutores** – cabos de **campo não radial**.

Neste último caso a *blindagem* causa na *isolação* do cabo um **campo eléctrico variável em amplitude e direcção**, não possibilitando a **uniformização** desse *campo eléctrico*, o que pode dar origem a **envelhecimento precoce** da *isolação*.

A *blindagem* deve ser **ligada à terra** numa só extremidade do cabo, ou em ambas.

Para a **protecção dos cabos contra acções mecânicas intensas** a que podem estar sujeitos, designadamente os *cabos enterrados directamente no solo*, e quando as *circunstâncias assim o exigem*, estes são dotados de uma **armadura**, colocada *entre a bainha exterior e a camada final de regularização sobre a blindagem*.

Esta *armadura* é habitualmente constituída por **fios, fitas ou barrinhas de aço zincado**. Contudo, no caso dos **cabos monopolares**, uma armadura em **material magnético**, devido ao **fenómeno de indução magnética** é percorrida por **correntes induzidas** (ou de *Foucault*¹) que, por **efeito de Joule**, provocam o aquecimento da armadura e o **consequente dano** na *isolação* do cabo.

Por esse motivo, as armaduras dos *cabos monopolares* são construídas **em material não magnético**, sendo o mais usado o *alumínio*.

A *armadura do cabo* deve ser **ligada à terra**.

As *tensões estipuladas* dos cabos isolados *BT* são definidas pelas tensões **U/U_0** e dos cabos *MAT*, *AT* e *MT* pelas tensões **U_0/U (U_m)**, onde:

- U_0 é a tensão estipulada à frequência industrial entre condutor e blindagem ou bainha (valor eficaz).
- U é a tensão estipulada à frequência industrial entre quaisquer dois condutores (valor eficaz).
- U_m é a tensão mais elevada à frequência industrial entre quaisquer dois condutores (valor eficaz²), para a qual o cabo e seus acessórios foram concebidos.

Na Tabela 1 indicam-se as habituais tensões estipuladas dos cabos *MAT*, *AT*, *MT* e *BT*.

¹ Definem-se **correntes de Foucault** como “as correntes induzidas em materiais condutores, quando estes se encontram sob a acção de um fluxo magnético variável”.

² O **valor eficaz** de uma *grandeza sinusoidal* **A** (*tensão ou corrente*), designado por **A_{ef}** , está relacionado com o **valor de pico** (**A_p**) pela expressão **$A_{ef} = A_p/\sqrt{2}$** .

Tabela 1 – Tensões estipuladas dos cabos MAT, AT, MT e BT

Nível de Tensão	Tensão composta da rede (kV)	Tensão estipulada do cabo $U_0/U(U_m)$	
		U_0/U (kV)	U_m (kV)
Baixa Tensão	0,4/0,23	0,6/1	N/A
Média Tensão	3	1,8/3	3,6
	6	3,6/6	7,2
	10	6/10	12
	15	8,7/15	17,5
	30	18/30	36
Alta Tensão	60	36/60	72,5
	110	64/110	123
Muito Alta Tensão	150	87/150	170
	220	130/220	245
	400	230/400	420
	500	290/500	525

A escolha das **tensões estipuladas** para os cabos MAT, AT e MT será efectuada de acordo com a especificação do cabo (principalmente tipo de isolamento e classificação quanto ao tipo de *campo* – **radial** ou **não radial**), *regime de neutro*³ e *duração admissível de um defeito à terra*.

Nas SE MAT/MAT e MAT/AT os **cabos MAT e AT** são habitualmente utilizados nas **entradas e saídas** das SE. Os **cabos MT** são utilizados na **ligação ao QMT e ao TSA e também como saídas**, nas SE AT/MT. Os **cabos BT** destinam-se à **alimentação dos diversos consumidores BT** existentes na SE – *equipamentos e edifícios*.

Os cabos unipolares MAT, AT e MT podem ser instalados em **esteira** ou em **triângulo ou trevo**, como se representa na Figura 2.

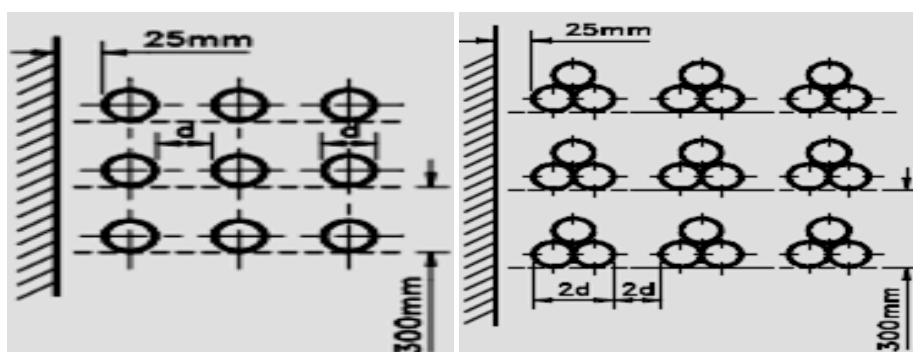


Figura 2 – Instalação de cabos unipolares em esteira (esquerda) e em trevo (direita)

³ **Regime de neutro** de um *equipamento* (gerador ou transformador) ou de uma *rede* – forma como o **neutro** desse equipamento ou **dessa rede** está ligado à terra.

Os cabos são fixados às *ferragens das caleiras* e aos *caminhos de cabos*⁴ por meio de **braçadeiras de serrilha**.

No caso dos MAT, AT e MT, que devem ser **instalados em esteiras diferentes**, refira-se que a *fixação por braçadeiras de serrilha* deve ser realizada com a **rigidez suficiente** para que, em caso de **curto-circuito**, os **cabos mantenham a sua posição, resistindo aos esforços electrodinâmicos, e não se soltem**, porque se tal acontecer o *caminho de cabos* corre o **risco de ser destruído**.

Ao longo do seu **percurso** os *cabos isolados* devem ser **identificados** por meio de **etiquetas**, onde esteja inscrita a **referência do cabo**, *estabelecida de acordo com o projecto*. Os **requisitos mínimos** dessa *identificação* são:

- De **150 m** em **150 m**.
- Mudanças de direção.
- Ambas as extremidades.

A **secção** do *cabo* deve ser calculada de acordo com os seguintes *parâmetros*:

- *Valor da corrente máxima admissível no cabo, tendo em atenção os factores correctivos devidos ao modo de instalação e à temperatura.*
- *Queda de tensão.*
- *Corrente de curto-circuito.*

A **queda de tensão** no *cabo*, nas *redes MT, AT e MAT* é calculada pela expressão:

$$\Delta U \text{ [V]} = \sqrt{3} \times I_s \times (R_x \cos \varphi + X_x \sin \varphi) \longleftrightarrow \Delta U \text{ [\%]} = (\Delta U \text{ [V]} / U \text{ [V]}) \times 100$$

Onde:

- I_s : corrente de serviço [A]
- $R = \rho \times l/s$: resistência do condutor [Ω]
- ρ : resistividade [$\Omega\text{m/mm}^2$] (**1/56** para o Cu; **1/33** para o Al)
- l : comprimento do cabo [m]
- s : secção do condutor [mm^2]
- $X = 2\pi fL$: reactância indutiva do condutor ($2\pi f = \omega$)
- f : frequência (**50 Hz ou 60 Hz**)
- L : indutância [H]⁵

A **secção mínima** do *cabo* para suportar os **esforços térmicos de curto-circuito** é calculada pela seguinte expressão:

$$s = I''_{K3} \times \sqrt{t} / K$$

⁴ Ver Capítulo 2.3.

⁵ Os fabricantes, normalmente, apresentam o valor de L em **mH/km**.

Onde:

- I''_{K3} : corrente de curto-circuito trifásico
- K é um factor que depende do material do condutor e da isolação e cujo valor se indica na Tabela 2
- t : tempo de duração do defeito (soma do tempos de actuação das protecções e de abertura do disjuntor)

Tabela 2 – Valores de K

Valores de K		
Condutor	Isolação	
	PVC	XLPE
Cobre	115	135
Alumínio	76	94

2.2. CABOS DE COMANDO E CONTROLO

Os **cabos de comando e controlo** são utilizados nas *SE* para a *ligação dos transformadores de medida aos respectivos aparelhos e protecções, ou a unidades de comunicação, às bobinas de abertura e fecho, ou outro dispositivo de actuação, de disjuntores, contactores e interruptores, e outros equipamentos de comando e controlo (interruptores de nível, pressostatos, contactos auxiliares dos equipamentos, etc.)*.

Habitualmente a *tensão estipulada* é **0,6/1 kV** ou **450/750 V**, a *alma condutora* é em *cobre*, com as secções de **1,5 mm²**, **2,5 mm²** e **4 mm²**, *isolação e bainha exterior* em *PVC*.

O **número de condutores** mais habituais é **2, 3, 4, 5, 7, 10, 12, 14, 19, 24, 30 e 37**, podendo, contudo atingir os **150**. É **boa prática** definir o número de condutores deste cabo considerando uma **reserva** de **20%** sobre o número de condutores que vai ser efectivamente utilizado.

Cada condutor é identificado por uma cor ou por um número marcado na isolação.

Para evitar **interferências electromagnéticas**, devido à presença de *cabos de potência nas proximidades*, é recomendável que os *cabos de comando e controlo* tenham uma **blindagem** (*que é comum a todos os condutores*) em **cobre** (este cabo em *Portugal*, de acordo com a *Norma NP 665*, é designado por **VHV**).

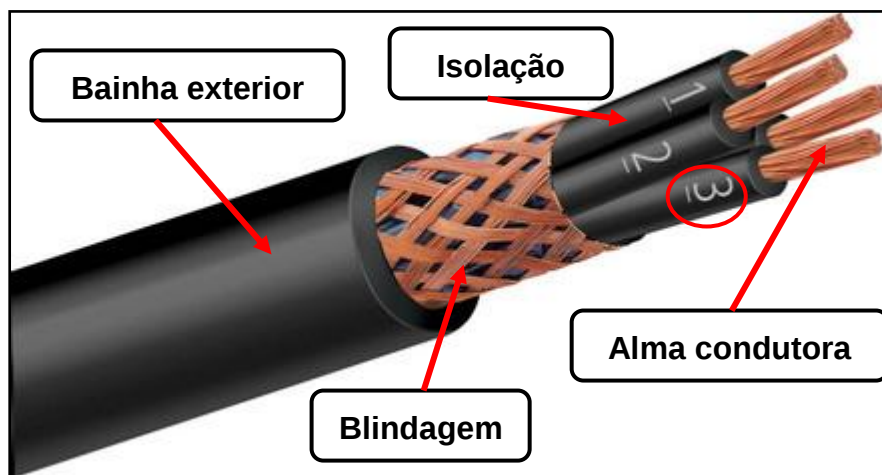


Figura 3 – Cabo de comando e controle

2.3. CAMINHOS DE CABOS

Nas SE do tipo AIS os cabos, no *parque exterior*, são instalados em **caleiras** e, nos *edifícios* em **caminhos de cabos**. Nas SE do tipo GIS são geralmente instalados em *caminhos de cabos*, numa sala própria para o efeito, designada por **sala de cabos**.

Quer sejam instalados em *caleira* quer sejam instalados em *caminhos de cabos*, os cabos devem ser **segregados** por **nível de tensão** e por **função** (*potência; comando e controle; comunicação*).

As **caleiras** das SE são em **betão** e **com tampa**, *preferencialmente pré-fabricadas*, devendo dispor de **ferragens** (*poleias*) para **suporte dos cabos**. Estas *ferragens* devem ser **galvanizadas a quente por imersão**, *após fabrico*, e **fixadas** às *paredes das caleiras* através de **buchas e parafusos**.

Devem ter **sumidouros** e uma **inclinação adequada** para **evitar que a água se acumule na caleira**.

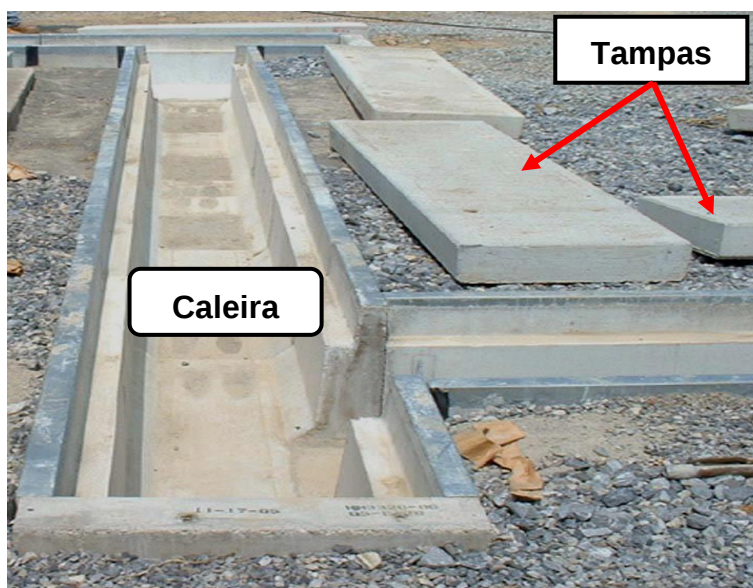


Figura 4 – Caleira e tampas

Os **caminhos de cabos** devem ser escolhidos de acordo com as *condições ambientais*, como por exemplo a *corrosão química*. Podem ser construídos em:

- Aço galvanizado.
- Aço inoxidável.
- Alumínio.
- Material plástico reforçado com fibra de vidro.

Os *caminhos de cabos* devem ser **pré-fabricados e normalizados**, podendo ser dos seguintes tipos, consoante a **utilização e a carga** (*peso dos cabos*):

- *Caminhos de cabo em chapa perfurada*, com ou sem tampa. Utilizam-se **caminhos de cabos com tampa** quando se pretende fazer uma **proteção mecânica dos cabos** instalados e contra a **penetração de roedores**.

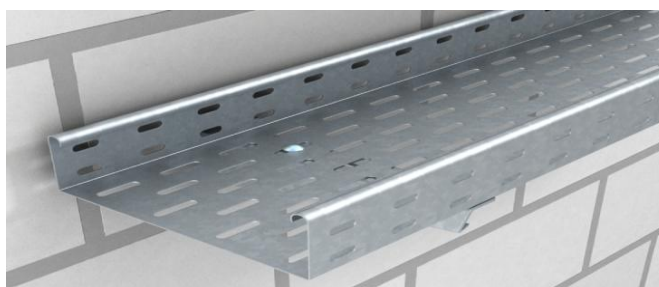


Figura 5 – Caminho de cabos em chapa perfurada

- *Caminhos de cabo tipo escada*



Figura 6 – Caminho de cabos tipo escada

- *Caminhos de cabo em varão electrosoldado*

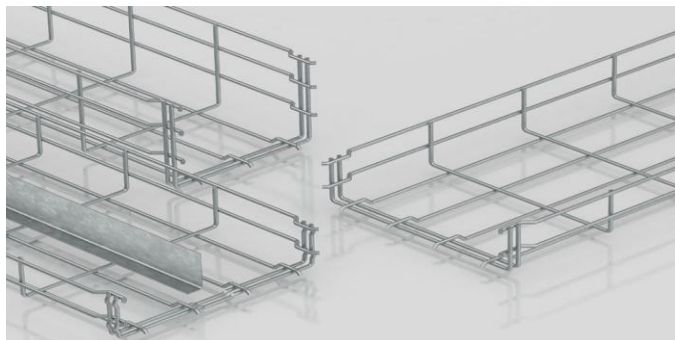


Figura 7 – Caminho de cabos em varão electrosoldado

No caso de utilização de *caminhos de cabo em varão electrosoldado*, estes devem ter as **arestas boleadas**, de forma a *não ferirem os cabos*. Os **cabos de comunicação entre sistemas de protecção da SE, entre SEs e entre a SE e/ou os CCR e COR**, normalmente de **fibra óptica**, são habitualmente enfiados em **tritubo**, instalado no fundo da caleira.



Figura 8 – Tritubo

2.4. CAIXAS TERMINAIS DE CABOS

Os **cabos MAT, AT e MT** são ligados aos equipamentos através de **caixas terminais de cabo** (Figura 9).

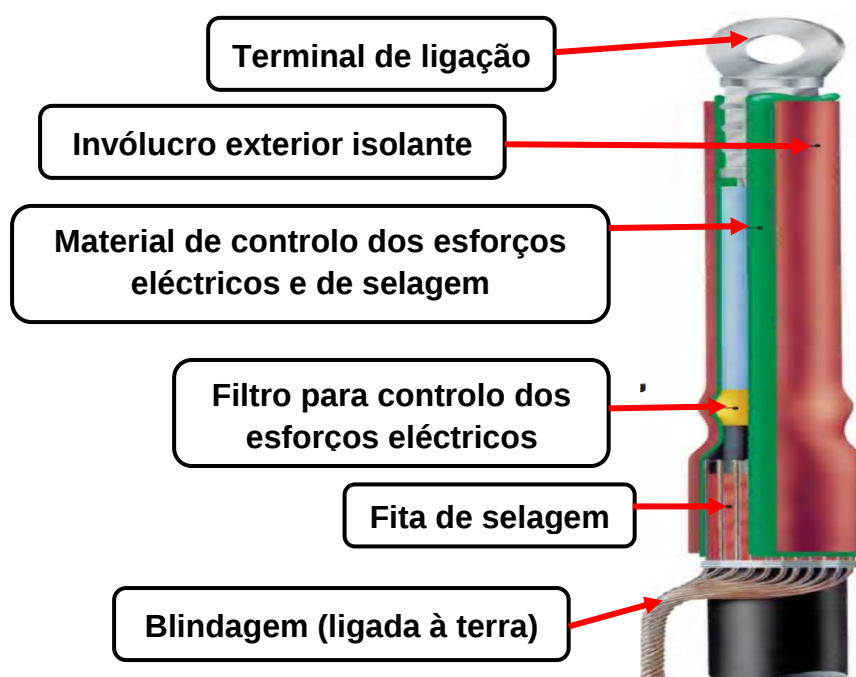


Figura 9 – Caixa terminal de cabo

As **caixas terminais de cabo** devem ser executadas por **pessoal credenciado** para este *tipo de tarefa*, devendo ser seguidas, **rigorosamente**, as *instruções do fabricante*.

3. PRINCÍPIOS GERAIS DO SISTEMA DE COMANDO, CONTROLO E PROTECÇÃO

3.1. ASPECTOS GERAIS

A grande maioria das subestações é abandonada, pelo que é necessário um sistema que realize, de forma automática as funções de comando e controlo e permita a

comunicação com os **COR** indicados pelos *Concessionários da Rede Eléctrica Nacional* (transporte e distribuição).

Essa função é desempenhada pelo **SCCP**, que desempenha as seguintes funções:

- Comando e controlo
- Medida
- Protecção
- Religação
- Teleprotecção e teledisparo
- Oscilopertubografia (registo de acontecimentos e perturbações)

3.2. COMANDO E CONTROLO

As **funções de comando e controlo** utilizam **entradas e saídas binárias/digitais (0/1)**, respectivamente designadas por **BI** ou **ED** (*inputs/entradas*) e **BO** ou **SD** (*outputs/saídas*).

As **funções de comando** do **SCCP** referem-se à manobra à distância dos disjuntores e seccionadores, bem como aos encravamentos estabelecidos a fim de evitar falsas manobras.

São estabelecidos os **encravamentos** dos seccionadores, com a finalidade de impedir a operação de qualquer desses equipamentos sob carga. Estes equipamentos somente poderão ser operados se o disjuntor correspondente estiver aberto e se as respectivas facas de terra estiverem abertas, dependendo contudo da configuração da subestação.

Igualmente estão previstos os **encravamentos** das facas de terra dos seccionadores, caso tenham comando eléctrico, permitindo a sua manobra apenas se o seccionador isolador da linha respectiva estiver aberto e se a linha estiver desenergizada. Esta condição será dada pela função de subtensão.

O **fecho local dos disjuntores** somente será permitido se os **dois seccionadores isoladores do disjuntor estiverem abertos** (*condição de disjuntor em manutenção*) e o *comutador localizado no cubículo do disjuntor*, estiver **na posição “local”**, o que só pode ser **autorizado pelo operador na sala de comando**.

De igual forma será realizado o **bloqueio de fecho de outros disjuntores** que tenham **aberto para eliminar o defeito**, quando a protecção *Falha de Disjuntor* estiver **actuada**.

O sistema permite igualmente a realização de *outros automatismos*, tais como:

- Deslastres.
- Automatismos sequenciais.
- Sincronização de disjuntores.
- Comando do comutador de tomadas dos transformadores (**RAT**).

A sincronização de disjuntores é uma operação que é realizada quando quer a linha quer o barramento têm tensão (*live line – live bar*). Para o efeito são utilizadas as informações dos *TT da linha e do barramento*.

Como requisito geral de **supervisão e controlo**, serão supervisionados todos os equipamentos instalados nas *SE*.

São objecto de *controlo*:

- As medidas das grandezas eléctricas.
- O estado de *aberto* e *fechado* de seccionadores e disjuntores.
- A actuação das protecções, as tomadas dos primários dos transformadores em utilização.
- Os estados de alarme e defeito da totalidade da subestação, incluindo os referentes aos *Serviços Auxiliares*, bem como a sequência dos acontecimentos.

As informações recolhidas estarão disponíveis na **sala de comando** e poderão ser **transferidas** para os anteriormente referidos *COR*.

3.3. MEDIDA

O *SCCP* permite igualmente a medida das grandezas eléctricas – *tensões, correntes, potências, frequência, ângulo de fase, etc.*

Para melhorar a precisão das medidas e permitir uma transmissão de dados para os *PLCs* mais fácil utilizam-se **conversores de medida**, que são também ligados aos transformadores de medida.

Este equipamento, de que a Figura 10 mostra um exemplo, converte a *quantidade física medida* num **signal analógico**, habitualmente de *corrente contínua*, sendo os valores de saída do converso mais comuns **4-20 mA** (*o mais utilizado*) e **0-10 V**.



Figura 10 – Conversor de medida

3.4. ARQUITECTURA DO SISTEMA

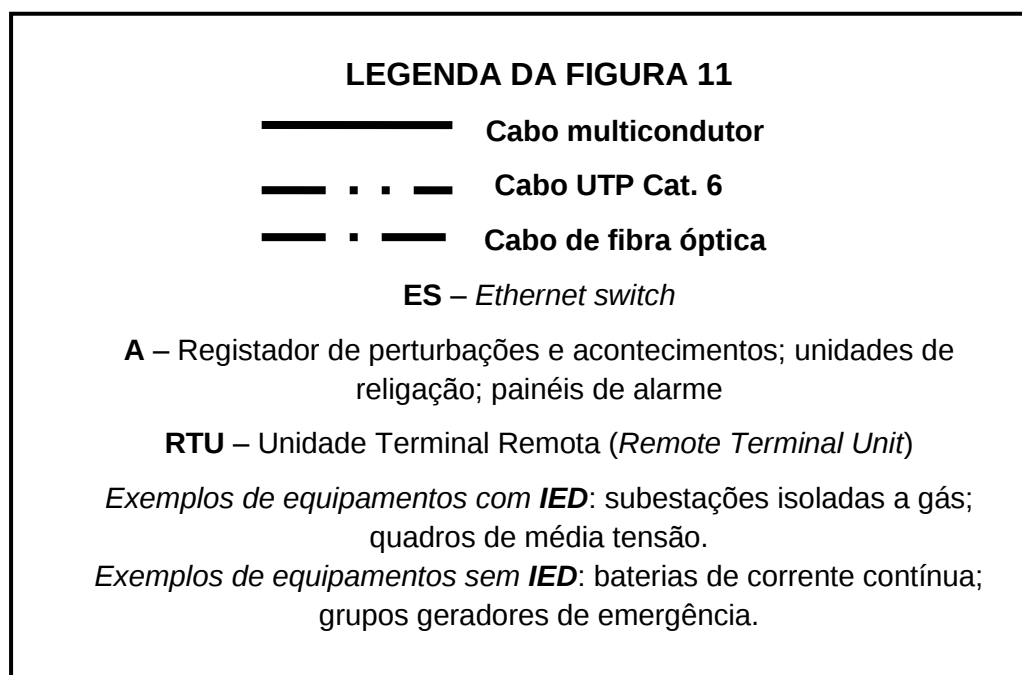
As funções de comando e controlo de uma SE são desempenhadas por um sistema designado por **DCS**, que apresenta vários níveis de arquitectura:

- **Nível 1:** equipamento de campo.
- **Nível 2:** unidades locais de comando, controlo e protecção (**IED**).
- **Nível 3:** *PCL*.
- **Nível 4:** posto remoto de comando e controlo, habitualmente designado por **SCADA**.

O conjunto dos níveis 1, 2 e 3 é usualmente designado por **SCCP**.

A comunicação entre os diversos níveis é feita através de **cabos de comando e controlo** (*multicondutores*) e **comunicação** (*cabos UTP 4x2x0,5 cat. 6⁶ e cabos de fibra óptica, monomodo ou multimodo, com tubo de protecção IP 67*).

Uma forma simplificada da arquitectura típica deste sistema de comando, controlo e protecção para uma subestação é apresentado na Figura 11



⁶ **UTP:** *Unshielded Twisted Pair/Par Trançado sem Blindagem*. O cabo deve obedecer às normas da **EIA/TIA-568** – conjunto de padrões de telecomunicações estabelecido pela *Telecommunications Industries Association/Associação das Indústrias de Telecomunicações*.

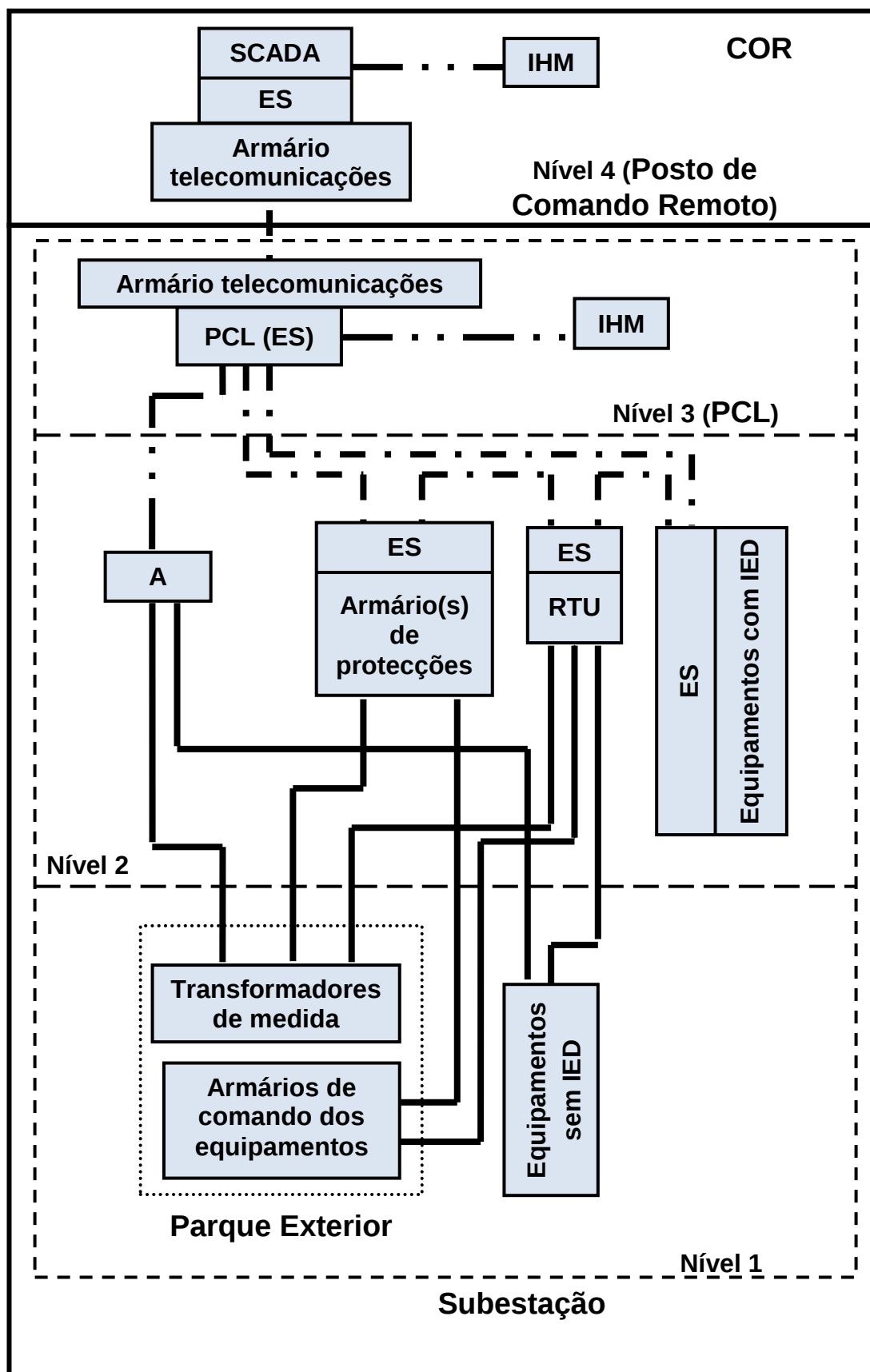


Figura 11 – Arquitectura típica simplificada do sistema de comando, controlo e protecção de uma subestação

A rede de comunicações é do tipo **Ethernet** e de alta velocidade – **LONWORKS Local Operating Network (LON)**. A Norma **IEC 61850** define os requisitos para a rede de comunicações, que deve correr em rede **TCP/IP** ou redes **LAN** de **SE**.

Os **IED**, de que mostra um exemplo na Figura 12, são **micro-processados, programáveis**, apresentam cerca de **5 a 12 funções de protecção**, **5 a 8 funções de comando e controlo**, *medidas de grandezas eléctricas*, *portas de comunicação*, *oscilopertubografia* e *registo de acontecimentos e religação*.



Figura 12 – IED

Os actuais **IED** são desenvolvidos para obedecerem ao estipulado na Norma **IEC 61850** (**especificamente dedicada a automação de subestações**), apresentando características de inter-operacionalidade e de protocolos de comunicação definidos. A maior parte dos **IED** existentes no mercado utilizam o **Protocolo 61850**.

O **PCL** é constituído por um conjunto de armários onde estão alojados as unidades de protecção e controlo, bem como os **PLC** necessários à realização das funções do sistema, cujas características e arquitectura devem ser estabelecidas de acordo com as Normas **IEC 61850** e **61968** e também pelos **IHM** (teclado, monitores, impressoras, etc.).

O sistema permite a *facilidade* de **comando remoto ou local**, sendo para tal estabelecidos **protocolos de comunicação** entre os intervenientes.

Em condições normais o *comando local* apenas é **possível com a autorização do responsável pela operação do sistema**, que o *libertará para a actuação* de um **operador designado**.

A programação dos **PLC** é feita a partir de *diagramas lógicos* ou de *equações de manobra*, estabelecidas com o recurso à *álgebra de Boole*.

3.5. PROTECÇÕES

Os tipos de **protecções** usualmente utilizados nas SE, e cujo **código**, de acordo com as *Normas IEEE/ANSI* se indica entre parêntesis, são:

- Sobretensão (59)
- Subtensão (27)
- Máximo de intensidade direccional (67)
- Máximo de intensidade homopolar direccional (67N)
- Máximo de intensidade homopolar restrita (64G)
- Máximo de intensidade instantânea (50).
- Máximo de intensidade temporizada (51).
- Máximo de intensidade homopolar instantânea (50N).
- Máximo de intensidade homopolar temporizada (51N)
- Sobrecarga (49)
- Distancia (21)
- Diferencial de linha (87L)
- Diferencial de transformador (87T)
- Diferencial de barramento (87B)
- Falha de disjuntor (50 BF)
- Weak End Infeed (21WI)

Nalguns sistemas e por uma questão de *fiabilidade e garantia de actuação das protecções*, nomeadamente em MAT, existem **2 conjuntos iguais** de protecções por painel.

A *protecção* de **Falha de Disjuntor** actua caso um **disjuntor falhe o disparo por actuação das protecções, não eliminando o defeito**. Esta *protecção*, que funciona como **back-up**, dá então **ordem de disparo** aos *disjuntores a montante e/ou adjacentes*, para **eliminar o defeito**.

A *protecção* actua através de um *senal digital 0/1* das protecções de máximo de intensidade (50/51, 50N/51N, 67/67N).

A *protecção Weak End Infeed* é um **complemento** da *protecção de distância*, que actua no caso da corrente de defeito na linha ter um valor inferior ao da regulação da referida *protecção de distância*.

Na Tabela 3 indicam-se os **tipos de protecções**, identificadas pelo código IEEE/ANSI, habitualmente utilizadas de acordo com a função do painel e/ou do equipamento da SE e onde U_s representa o valor da tensão da rede.

Tabela 3 – Protecções utilizadas nas SE

Painel ou Equipamento	U _s (kV)	Tipo de defeito	Protecção			Observações
			Principal	Back-up	Opcional	
Linha Aérea	$6 \leq U_s \leq 30$	Curto-circuito entre fases ou fase-terra	50, 51, 50N, 51N			
	$U_s = 60$		21	50, 51, 50N, 51N		Linha longa
	$U_s \geq 110$		21	50, 51, 50N, 51N	Weak End Infeed	
	$U_s \geq 60$		87L	50, 51, 50N, 51N		Linha curta
Transformador	$U_{s1} \leq 60$ $U_{s2} \leq 30$	Curto-circuito entre espiras ou entre enrolamentos	87T	50, 51, 50N, 51N		Habitualmente só em instalações industriais
			50, 51, 50N, 51N			Em SE de distribuição
	$U_{s1} \geq 110$ $U_{s2} \geq 60$		87T	50, 51, 50N, 51N		
	$U_{s1} \leq 60$ $U_{s2} \leq 30$	Defeito à terra nos enrolamentos			64G	Habitualmente só em instalações industriais
	$U_{s1} \geq 110$ $U_{s2} \geq 60$		64G			
	$U_{s1} \leq 60$ $U_{s2} \leq 30$	Sobrecarga			49	Habitualmente só em instalações industriais
	$U_{s1} \geq 110$ $U_{s2} \geq 60$					

<i>Cabo</i>	$6 \leq U_s \leq 30$	Curto-circuito entre fases ou fase-terra	50, 51, 50N, 51N			Em cabos de distribuição pode ser necessário instalar as protecções 67, 67N, nas situações em que é importante controlar a direcção da corrente de defeito, para garantir a selectividade. A configuração da rede determina a necessidade ou não de utilizar esta protecção. Ver Figura 13.
	$U_{s2} \geq 60$		87L	50, 51, 50N, 51N		
<i>Bateria de condensadores</i>	Qualquer	Curto-circuito entre fases ou fase-terra	50, 51, 50N, 51N			
		Sobretensão	59			
<i>Barramento</i>	$6 \leq U_s \leq 30$	Subtensão	27			Habitualmente só em instalações industriais
	$U_s = 60$	Curto-circuito entre fases ou fase-terra			87B	
	$U_s \geq 110$		87B			
	$U_s \geq 60$	Sobretensão			59	
		Subtensão			27	
<i>Geral</i>	$U_s \geq 60$	Falha de disjuntor	50BF			

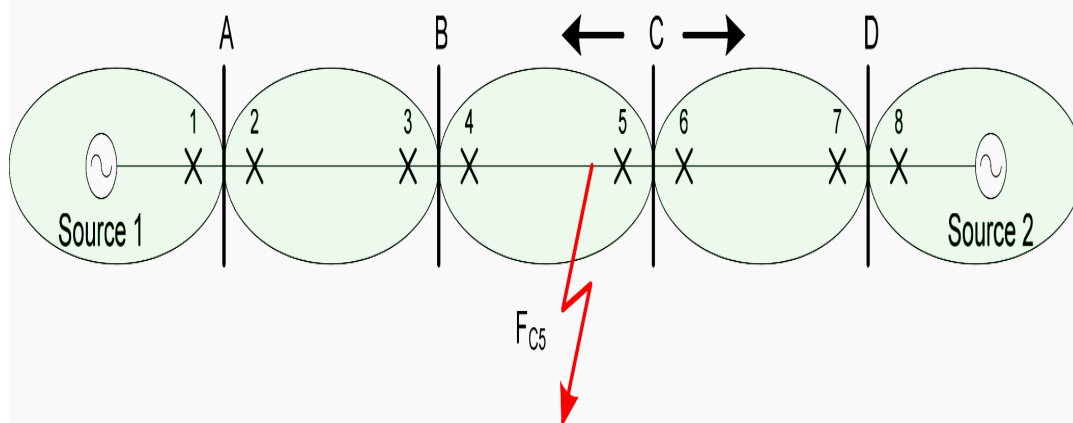


Figura 13 – Utilização de protecções direccionais

Para **eliminar** o defeito F_{C5} apenas os disjuntores (DJ) 4 e 5 devem disparar. Contudo, a corrente que passa no DJ 3 é de valor semelhante à corrente através do DJ 4. Situação idêntica se verifica com os DJ 5 e 6.

Nestas circunstâncias **não é possível garantir a selectividade** entre DJ3 e DJ4 e entre DJ5 e DJ6. A utilização de protecções **não direccionais** tem como consequência o **disparo dos DJ 3, 4, 5 e 6**, quando só deveriam disparar os DJ 4 e 5.

Por questões de segurança os sistemas de protecção actuam directamente sobre as bobinas de disparo dos disjuntores, comunicando ao sistema de controlo a sua actuação.

3.6. RELIGAÇÃO

Os defeitos nas linhas aéreas são, na sua grande maioria, **assimétricos**, envolvendo geralmente apenas uma fase (**curto-circuito fase-terra**) e **transitórios** (cerca de 90%) – quedas de árvores, contactos com animais, etc. – sendo por isso **rapidamente eliminados**.

Assim sendo é necessário prever, para além do **disparo e religações tripolares**, **disparo e religações monopolares**, permitindo **restaurar a continuidade do serviço imediatamente após o disparo do disjuntor**.

A **relição** é normalmente **bem sucedida** após uma **temporização** de alguns poucos ciclos. A Tabela 4 mostra a taxa de sucesso das religações na eliminação do defeito.

Tabela 4 – Taxa de sucesso das religações

Tentativas de relição	Taxa de sucesso (%)
1	90
2	4
3	1

Em caso de defeito numa linha de transporte, actuará **primeiro** a protecção de distância que “vir” o defeito **mais rapidamente**. A fim de **evitar que o defeito continue**

a ser alimentado até que a protecção situada no outro extremo da linha “veja” o defeito, deverá ser implementado um sistema de **teleprotecção** que provoque o disparo.

Os ciclos de religação habituais nas linhas de transporte de energia são:

- **A-F-A** (abertura-temporização-fecho-abertura) – **religação única**
- **A-F-A-F-A** (abertura-temporização-fecho-abertura-temporização-fecho-temporização) – **dupla religação**

E utilizado um *relé de bloqueio independente para cada disjuntor*, com função de **disparar os disjuntores adjacentes**. É identificada uma **condição de falha de disjuntor** se uma das protecções correspondentes a um disjuntor houver actuado e, após um tempo pré-ajustado, a protecção 50BF continuar operada, indicando a existência de *fluxo de corrente através do disjuntor*.

Uma vez detectada uma condição de *falha de disjuntor*, deverão ser **disparados todos os disjuntores adjacentes ao disjuntor faltoso**, dependendo da *configuração da SE*.

3.7. TELEDISPARO E TELEPROTECÇÃO

Em caso de defeito numa linha de transmissão, actuará primeiro a protecção de distância que “vir” o defeito mais rapidamente. A fim de evitar que o defeito continue a ser alimentado até que a protecção situada no outro extremo da linha “veja” o defeito, deverá ser implementado um sistema de **teleprotecção** que provoque o **disparo simultâneo do disjuntor do outro extremo da linha**.

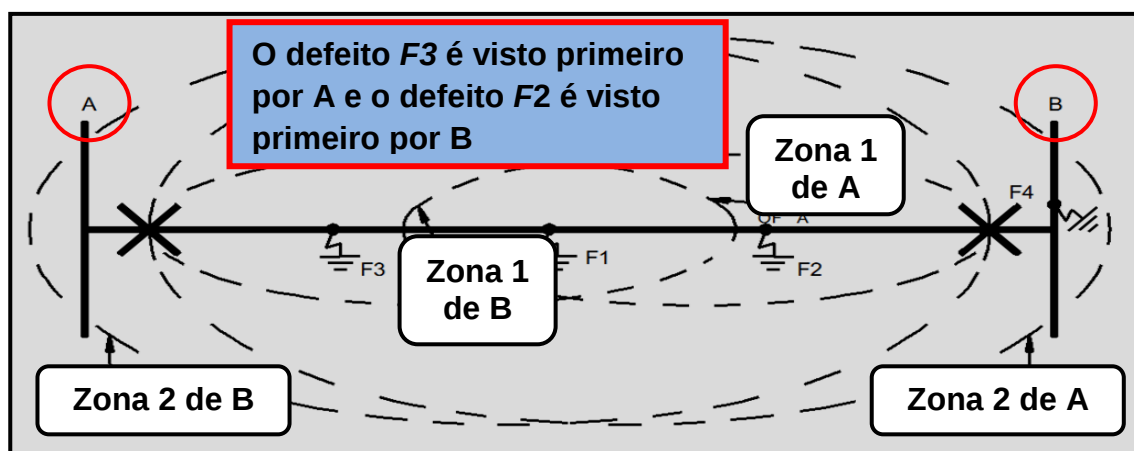


Figura 14 – Actuação das protecções de distância

Nos esquemas de *teleprotecção* devem ser utilizados equipamentos de telecomunicação independentes e redundantes para a protecção principal e alternada, preferencialmente com a utilização de meios físicos de transmissão independentes, de tal forma que a indisponibilidade de uma via de telecomunicação não comprometa a disponibilidade da outra via.

Cada equipamento de comunicação deve ter o número de canais necessários para o correcto desempenho do esquema de teleprotecção utilizado.

As opções adoptadas para a teleprotecção são através dos cabos de fibra óptica incluídos nos *cabos de guarda das linhas aéreas (OPGW)* ou através do sistema *Power Line Carrier*, já anteriormente referido.

Existe ainda uma função auxiliar, externa aos relés de protecção, denominada de **teledisparo**, que mediante a actuação do sistema de protecção de falha de disjuntor, são emitidos **2 sinais** para cada extremo envolvido no incidente, para que estes também efectuem um disparo ao disjuntor, eliminando assim o defeito de uma forma mais expedita.

3.8. OSCILOPERTUBOGRAFIA

O sistema de **oscilopertubografia** é constituído por **Registadores Digitais de Perturbações**, com as seguintes funções

- Aquisição e armazenamento de dados relativos a correntes e tensões (canais analógicos).
- Aquisição e armazenamento de sinais digitais (canais digitais).
- Localização de faltas em linhas de transporte de energia.
- Comunicação independente para o acesso remoto aos dados.

As funções atrás referidas irão permitir, quando da **ocorrência de uma falta no sistema eléctrico**, a *análise do comportamento, no tempo, das grandezas eléctricas, do desempenho da protecção, além da indicação da distância em que a falta ocorreu.*

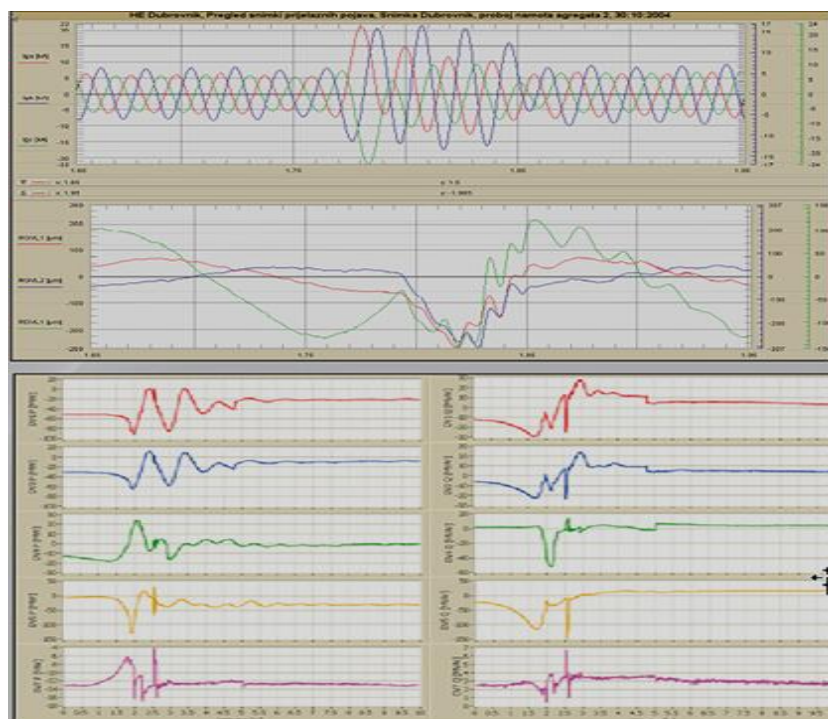


Figura 15 – Exemplos de registos de ocorrências e perturbações

4. SERVIÇOS AUXILIARES

4.1. INTRODUÇÃO

Para o seu funcionamento, as *SE* necessitam de energia em **ca BT (400/230 V)** e **cc** (habitualmente **110 V**), para alimentação dos diversos equipamentos e sistemas. Essa energia é fornecida por:

- **Serviços Auxiliares de Corrente Alternada (SACA).**
- **Serviços Auxiliares de Corrente Contínua (SACC).**

4.2. SACA

Os **SACA** destinam-se à alimentação em *ca* das seguintes instalações das *SE*:

- Serviços relativos à alimentação da aparelhagem auxiliar do equipamento de alta tensão:

- Força motriz de disjuntores e de seccionadores.
- Força motriz das bombas e ventiladores dos transformadores e auto-transformadores *MAT/MAT*, *MAT/AT* e *AT/MT*.
- Circuitos de aquecimento das caixas de reagrupamento dos transformadores de medição e dos armários de comando dos seccionadores e disjuntores.

- Serviços relativos à alimentação de equipamentos gerais:

- Equipamentos de telecomunicações.
- Rectificadores.

- Serviços relativos à alimentação dos circuitos eléctricos dos edifícios técnicos:

- Circuitos de iluminação (interior e exterior – edifícios e parque exterior – e tomadas de usos gerais (interiores e exteriores), tratamento de óleos, etc.
- Equipamento de oficinas, pontes rolantes, guinchos, etc.
- Equipamento de aquecimento, ventilação e ar condicionado (**AVAC**).

Filosofia e constituição dos SACA

No que respeita à alimentação em energia eléctrica em corrente alternada, podem definir-se os seguintes tipos de circuitos:

- Circuitos que podem admitir um tempo de corte reduzido, mas cuja falha prolongada é susceptível de provocar perturbações na exploração da instalação (designadas por **cargas ou serviços essenciais**):

- Circuitos de iluminação exterior e dos edifícios técnicos.
- Circuitos de força motriz de disjuntores e seccionadores.
- Dispositivos de carga das baterias (rectificadores).

Os circuitos de alimentação dos ventiladores e bombas dos transformadores de potência devem ser alimentados sem falhas se os respectivos transformadores de potência estiverem em serviço.

- Circuitos que admitem a falta de alimentação prolongada, não comprometendo de imediato a exploração da instalação, designados por **serviços não essenciais**:

- Circuitos de AVAC dos edifícios técnicos.
- Alimentação de aparelhos das oficinas e tratamento de óleos.
- Circuitos de aquecimento do equipamento MAT e AT e dos quadros eléctricos.

Os SACA são constituídos por:

- Transformador dos Serviços Auxiliares (**TSA**).
- Grupo Gerador de Emergência.
- **QSACA**.

Poderão ainda ser utilizadas **UPS** para **alimentação específica** das *instalações da sala de controlo*, designadamente a iluminação.

TSA

Os **TSA** (MT/BT) são alimentados, a partir do QMT, pelos *enrolamentos terciários dos transformadores ou auto-transformadores MAT/MAT ou MAT/AT*, ou através de *transformadores AT/MT* e são dimensionados para que **qualquer um** possa, **isoladamente**, *alimentar a globalidade dos consumos dos serviços auxiliares da SE*, tendo em conta eventuais ampliações, a menos que o *PE* considere a existência de **vários TSA**, associados a **partes** da SE. Tal solução depende da **dimensão** da SE.

Nalgumas situações os TSA são montados no parque exterior, ligados directamente aos enrolamentos terciários atrás referidos – nestes casos são designados por *transformadores biberon*.

Os TSA têm preferencialmente um grupo de ligações *triângulo – estrela*, com *neutro acessível e directamente ligado à terra geral da SE*, a sua potência deve ser **normalizada** e dispõem de **comutador de tomadas em vazio** (normalmente $\pm 2 \times 2,5\%$).

Os **tipos construtivos** habitualmente utilizados nos TSA são os seguintes (ver Figura 16):

- Para **instalação à intempérie**, transformadores em *banho de óleo*, *sem conservador* (**herméticos**) com refrigeração natural. A protecção intrínseca deste tipo de transformador (detecção de gás; pressão do óleo; temperatura do óleo) é constituída por um único aparelho designado por **DGPT2**.
- Para **instalação interior** os transformadores podem ser **secos** (*IP 00*). A protecção intrínseca deste tipo de transformadores (temperatura dos enrolamentos) é constituída por sondas **PT 100** (*sondas de platina*) ou por sondas **PTC** (*sondas de termístores com coeficiente de temperatura positivo*).



Figura 16 – Transformador hermético (esquerda) e transformador seco (direita)

Grupo Gerador de Emergência

Na Figura 17 apresenta-se um exemplo de um **grupo gerador de emergência**.

A **potência** de um *grupo gerador de emergência* define-se em função do seu regime de funcionamento: **stand-by** e **prime**. (Norma ISO 8528).

Em regime *stand-by* a potência disponível varia com o valor da carga durante a interrupção da fonte normal. A operação típica deste regime é de **200 h por ano**, com um máximo de **500 h por ano**.

Em regime *prime* a potência disponível varia com o valor da carga por tempo ilimitado, com capacidade de **10%** de sobrecarga durante um máximo de **1 h** em cada **12 h**, não podendo o funcionamento em sobrecarga exceder **25 h por ano**.

O valor da potência em regime stand-by é superior ao valor em regime prime.

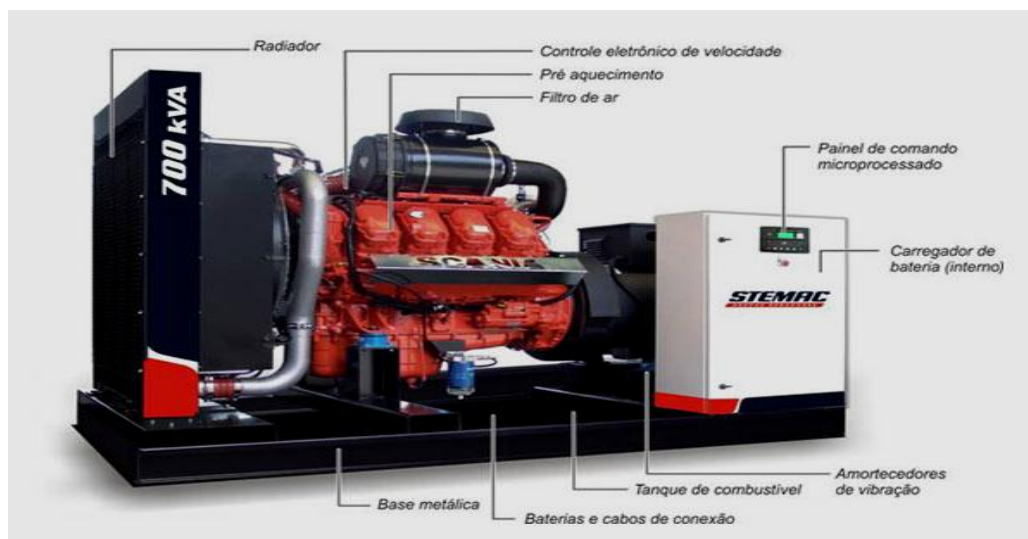


Figura 18 – Grupo gerador de emergência

O *grupo gerador de emergência* destina-se à **alimentação das cargas essenciais**, durante um período não inferior a **24 h**, pelo que a sua potência deve ser indicada para funcionamento em regime *prime* e a sua *entrada em serviço* é **automática**, em caso de *falta da tensão normal*.

O grupo dispõe de um sistema eléctrico de arranque automático, concebido para garantir um número de tentativas consecutivas de arranque (**nunca inferior a 3**) sem necessidade de recurso a fontes de energia exteriores ao sistema.

O *grupo gerador de emergência* é constituído por:

- *Motor* do tipo diesel, com regulador de velocidade electrónico (variação $\pm 0,25\%$), arranque eléctrico, volante e união elástica para acoplamento do alternador.
- *Alternador* síncrono trifásico, de *classe de isolamento H⁷*, com uma tensão nominal de **400/230 V**, sem escovas, auto-excitado, auto-regulado e auto-ventilado por turbina coaxial com o veio.
- *Base comum* de suporte do motor e do gerador (e, eventualmente, do depósito diário), com **suportes anti-vibratórios**.
- *Bateria de arranque* do tipo ácido-chumbo alimentada por um rectificador ligado à rede de serviços auxiliares essenciais, que assegurará a manutenção da carga da bateria.
- *Tubagem de escape*, incluindo silencioso, ligação flexível do colector de escape à tubagem de saída.
- *Sistema de abastecimento de combustível*, incluindo depósito/cisterna com capacidade para o funcionamento do grupo durante **pelo menos 24 h**.
- *Quadro eléctrico* de protecção, comando e controlo do grupo, interligado ao SCCP.

QSACA

O **QSACA** deve ser de fabrico normalizado e dispor de *dois barramentos distintos (cargas essenciais e cargas não essenciais)*, interligados através de um *órgão de manobra de corte em carga*.

O **inversor “rede-grupo”** é habitualmente instalado no QSACA, dispondo de um *automatismo* que permite **detectar a falta da alimentação normal** (*bem como o seu regresso*), dispondo de todos os **encravamentos** necessários para **evitar o paralelo do grupo com a rede**.

4.3. SACC

Os **SACC** destinam-se à alimentação em *corrente contínua* (normalmente **110 V**) dos circuitos que devem ficar alimentados em qualquer circunstância, de forma a assegurar as funções essenciais para a segurança da instalação:

- Equipamentos dos sistemas de comando, controlo e protecção.
- Equipamentos de telecomando e telecontrolo.
- Equipamentos de telecomunicações.

⁷ As **classes de isolamento** dos geradores, de acordo com a Norma IEC 60085, definem-se como a *temperatura máxima que o equipamento pode alcançar no seu ponto mais quente, operando com carga nominal*. **Classe H: $\theta = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$** .

Os SACC das subestações são constituídos por:

- Conjunto bateria - rectificador.
- QSACC.

Formação de polaridades de comando e controlo

Para cada um dos painéis da SE devem ser criadas, no mínimo, as **polaridades de comando e controlo**, com as seguintes funções:

- Alimentação das protecções.
- RAT.
- Comando (ordens de manobra), individualizadas, para cada um dos equipamentos susceptíveis de serem comandados à distância (disjuntor; seccionadores); no caso dos disjuntores, as polaridades de disparo serão individualizadas para cada uma das respectivas bobinas.
- Sinalização de estados de alarme, defeito e disparo.
- Alimentação dos motores dos disjuntores e seccionadores, caso se opte por fazer a sua alimentação em corrente contínua.

Devem ser igualmente criadas **polaridades de comando e controlo dos equipamentos** dos SACA e SACC, para *alarmes gerais* (também conhecidos como *Common Alarms*), para alimentação do SCCP e dos *equipamentos comuns* (oscilopertubógrafo, por exemplo) e para os *sistemas de telecomunicações, teleprotecção e teledisparo*.

A Figura 19 ilustra o **esquema unifilar tipo** do QSACC com a *formação de polaridades* de uma subestação.

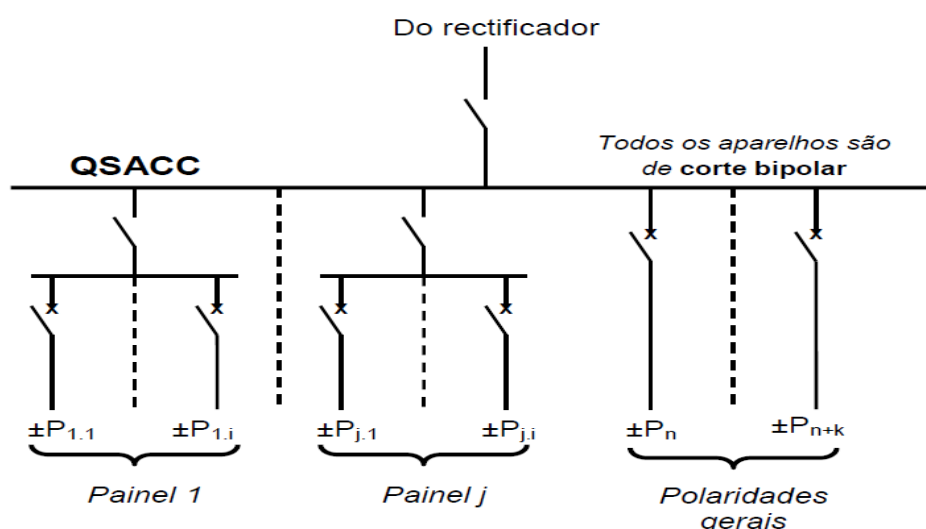


Figura 19 – Esquema unifilar tipo da formação de polaridades

Conjunto bateria-rectificador

O conjunto **bateria-rectificador** funciona em **tampão**, isto é, em *situações normais*, na *presença de corrente alternada (rede ou grupo)*, o **rectificador** alimentará os

consumidores e fará a carga de manutenção da bateria. A *bateria* servirá de **socorro** nas situações em que haja **picos de consumo**.

Na *falta de ca* a **bateria fornecerá**, no seu **período de autonomia**, a *corrente necessária manter em serviço* os **equipamentos indispensáveis**, designadamente o **SCCP**, até ao **regresso da alimentação em corrente alternada**, ou caso **tal não se verifique** para **desligar a SE em segurança**.

A **bateria** é do tipo *estacionário*, **ácida (chumbo)** e **selada** ou **alcalina (níquel-cádmio)**.

As *baterias* são constituídas por **vários elementos**, associados **em série e paralelo**. A *associação série* dos elementos define a **tensão da bateria** e a *associação paralelo* define a sua **capacidade**.

A *bateria* é caracterizada por:

- Tensão
- Número de elementos
- Tensão por elemento (considera-se como *tensões nominais por elemento*: **2,0 V** para a *bateria chumbo-ácida* e **1,2 V** para a *bateria alcalina*)
- Capacidade – **C** (expressa em **Ah** – *ampère hora*) – definida para **10 horas** para as baterias ácidas e **5 horas** para as baterias alcalinas.

As *baterias* são instaladas em **estantes** (ver Figura 20), que deverão ser **isoladas do solo**; os *isoladores (vidro ou porcelana)* utilizados deverão assegurar **alta resistência de isolamento** entre a *bateria* e o *solo*.



Figura 20 – Baterias em estante

O **rectificador**, alimentado em *ca* (**400 V** ou **231 V**), será concebido para suportar as variações de tensão, frequência e de carga impostas, sem causar qualquer dano à *bateria*.

Para evitar qualquer avaria resultante de aquecimentos excessivos a corrente de saída do rectificador será limitada desde que ultrapasse um determinado valor.

QSACC

No **QSACC** serão instalados disjuntores de **corte omnipolar**, para formação das diversas **polaridades** (*alimentação de protecções, comandos, sinalizações, etc.*).

No caso de a *bateria* funcionar **isolada da terra** (*caso mais habitual*), no QSACC deve ser instalado um **CPI**, destinado a dar um alarme quando se verificar o primeiro defeito à terra.

5. INSTALAÇÕES TÉCNICAS DOS EDIFÍCIOS E EXTERIORES

5.1. EDIFÍCIOS

As **instalações técnicas** dos edifícios da SE são as seguintes⁸:

Instalações Eléctricas Gerais (IEG)

- Iluminação normal e de emergência.
- Tomadas.
- Quadros Eléctricos.
- Ligação à terra e protecção *SPDA*.

Os **níveis de iluminância** a considerar, de acordo com a *Norma EN 12464-1* são os seguintes:

- Sala de comando e controlo: **500 lux**.
- Salas de quadros: **200 lux**.
- Gabinetes: **500 lux**.
- Restantes zonas: **100 – 150 lux**.

As tomadas a instalar devem ser não só **monofásicas** (tipo *Schuko*), mas também **industriais, trifásicas**, tipo **CEE 3P+T e 3P+N+T**, para permitirem as operações de manutenção.

AVAC

As instalações de **AVAC** devem considerar não só as **situações de conforto**, mas também os **níveis de temperatura e humidade aconselhados pelos fabricantes** para o **correcto funcionamento dos equipamentos**, e ainda o *caudal de ar novo* necessário para a **dissipação da energia térmica libertada pelo normal funcionamento dos referidos equipamentos**.

SES – detecção de incêndios, detecção de intrusão, controlo de acessos, etc.

Devem também ser considerados:

- Extintores portáteis de incêndio.
- Pictogramas.

5.2. INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS EXTERIORES

As instalações **eléctricas exteriores** das SE do tipo *AIS* são as seguintes:

- Iluminação.

⁸ Não se consideraram as *instalações de águas e drenagem (esgotos e águas pluviais)*, por pertencerem à especialidade de construção civil.

- Caixas exteriores de tomadas.

Os **níveis de iluminância** a considerar, de acordo com a *Norma EN 12464-2* são os seguintes:

- Iluminação geral: **20 lux**.
- Iluminação junto aos armários de comando de disjuntores, seccionadores e transformadores: **100 lux**.

A iluminação do **Parque Exterior** será realizada por meio de **projectores** montados em **colunas metálicas**, *galvanizadas a quente por imersão após fabrico*, e **reforçada** por **armaduras do tipo “iluminação pública”** ou **projectores**, instalados nas *estruturas metálicas e nas paredes corta-fogo dos transformadores*.

As tomadas a instalar nas **caixas exteriores**, devem ser não só **monofásicas** (tipo *Schuko*), mas também **industriais**, **trifásicas**, tipo **CEE**, **3P+T** e **3P+N+T**, para permitirem as operações de manutenção.

O **índice de protecção** dos equipamentos não deve ser inferior a **IP 54 – IK 10**.

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 2017.
- [4] Bolotinha, Manuel. Basics of HV, MV and LV Installations. Editora Ómega. Janeiro 2017.
- [5] Relay Selection Guide. GE Power Management. GET-8048A
- [6] Practical Power Systems Protection. L. G. Hewitson; Mark Brown; Ramesh Balakrishnan. IDC Technologies.
- [7] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. International Electrotechnical Vocabulary. IEC 60050-605. Suíça, 1983.
- [8] ELECTRIC POWER SUBSTATIONS ENGINEERING Edited by John D. McDonald CRC Press 2003
- [9] Guia Técnico Solidal.
- [10] Normas, Regulamentos e Outros Documentos de Referência citados no texto.