

PRINCÍPIOS GERAIS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

Manuel Bolotinha, MSc, Engenheiro Electrotécnicoⁱ

1. INTRODUÇÃO. NORMAS E REGULAMENTOS

A existência de um **plano de manutenção preventiva** das *instalações eléctricas*, com tarefas bem definidas, e o seu **cumprimento rigoroso**, designadamente dos **Postos de Transformação (PT)**, quer sejam de **serviço público** (que em *Portugal* são, na generalidade dos casos, da **E-REDES**, anterior designação da *EDP Distribuição*) quer sejam do **Cliente ou privados**, é uma **ferramenta indispensável** para os *concessionários das redes de distribuição de energia eléctrica* e para os *proprietários dos PT* para **garantir** que a **vida útil dos equipamentos** não diminua e para *minimizar falhas imprevistas nesses equipamentos*.

O problema da **manutenção dos PT** será abordado não só de **forma global**, mas também serão *analisadas as especificidades de alguns equipamentos e sistemas*, designadamente os **transformadores de potência**, e as **Normas e Regulamentos** aplicáveis, que são:

- **RTIEBT** (*Regras Técnicas das Instalações Eléctricas em Baixa Tensão*).
- **RSSPTS** (*Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento*).
- **NP e NP EN** (*Normas Portuguesas e Normas Portuguesas Harmonizadas com as Normas Europeias*).
- **EN** (*Normas Europeias*).
- **IEC** (*International Electrical Commission*).
- **ISO** (*International Organization for Standardization*)
- **NFPA** (*National Fire Protection Association [EUA]*)

De entre os diversos tipos de *normas* atrás referidas, **acentuam-se** as seguintes:

- EN/IEC 60529 – Degrees of protection provided by enclosures (**IP code**¹)
- EN/IEC 62262 – Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (**IK code**²)
- IEC 60038 – IEC standard voltages
- IEC 60071 - Insulation co-ordination
- IEC 60076 – Power transformers
- IEC 60085 – Electrical insulation
- IEC 60099 – Surge arrestors
- IEC 60137 - Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V

¹ Segundo esta **norma**, o **primeiro dígito (I)** determina o **grau de protecção contra a penetração contra corpos sólidos** e o **segundo dígito (P)** determina o **grau de protecção contra a penetração de líquidos**.

² Esta **norma** define o **valor máximo de impactos** que o **equipamento pode suportar**.

- IEC 60282 – High voltage fuses
- IEC 60296 - Mineral insulating oils for transformers and switchgear
- IEC 60726 - Dry type power transformers
- IEC 60898 – Electrical accessories - Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations
- IEC 60947 – Low-voltage switchgear and controlgear
- IEC 61000 – Electromagnetic compatibility (**EMC**)
- IEC 61439 – Low-voltage switchgear and controlgear assemblies
- IEC 61869 – Instrument transformers
- IEC 62271 - Standards for high-voltage switchgear and control gear
- IEC TR 61912 – Low-voltage switchgear and Controlgear – overcurrent protective devices

3.TIPOS CONSTRUTIVOS DE PT E CONSTITUIÇÃO SIMPLIFICADA

Os **PT** são dos seguintes **tipos construtivos**.

- *Aéreos*
- *Em cabina alta (em desuso)*
- *Em cabina baixa*
- *Pré-fabricados.*

Os **PT** podem ser **classificados** como:

- *Serviço público*
- *Cliente e/ou Privados*

Os **principais equipamentos** que constituem um **PT** são:

- *Equipamento de Média Tensão (disjuntores, seccionadores, interruptores, que podem ser associados a fusíveis, transformadores de medida e descarregadores de sobretensões – estes apenas nos PT **aéreos** (tipos AI-1, AS e A) e de **cabina alta** – ver Figuras 1 e 2), ou num PT de **cabina baixa**, num **edifício próprio**, num *edifício especificamente construído para o efeito* (Figura 3) ou numa **sala dedicada num edifício**, com equipamento com **isolamento e corte no ar** (solução em desuso) ou instalados num **Quadro de Média Tensão (QMT)** de um PT de **cabina baixa** – ver Figura 4.*

*Os tipos construtivos mais habituais dos QMT dos PT são **Metal Enclosed** e **RMU** (Ring Main Unit) – Figura 5.*

Nos PT aéreos tipo AI-1 a linha aérea MT liga ao transformador através de um interruptor MT; nos PT tipo AS essa ligação é feita através de um seccionador MT; nos PT tipo A a linha aérea MT liga ao transformador directamente.

Todos os equipamentos dos PT aéreos são montados num poste de betão (ver Figura 1).

- Transformadores de potência MT/BT³.
- Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), também designado por Quadro do PT (QPT).

Em Portugal o QGBT dos PT públicos em cabine baixa são normalizados, constituídos por uma estrutura aberta, onde são montados o órgão de corte geral (interruptor), os fusíveis de protecção das saídas (nestes quadros não são instalados disjuntores, com excepção dos QGPT dos PT aéreos, onde o órgão de corte geral é um disjuntor de corte tetrapolar, que é usado como a única protecção do transformador) e os contadores de energia.

No caso dos PT Cliente o QGBT é habitualmente um quadro de assentamento no solo, onde são instalados os órgãos de protecção das saídas (normalmente disjuntores), e de comando e controlo das instalações – ver Figura 6.

- Terras de serviço e de protecção.
- Cablagens.
- Acessórios regulamentares.

Em Portugal os valores das tensões utilizados são:

- MT: 6 kV (em desuso pela E-REDES; fundamentalmente utilizada em instalações industriais), 10 kV (só na região de Lisboa); 15 kV; 30 kV.
- BT: 400/230 V

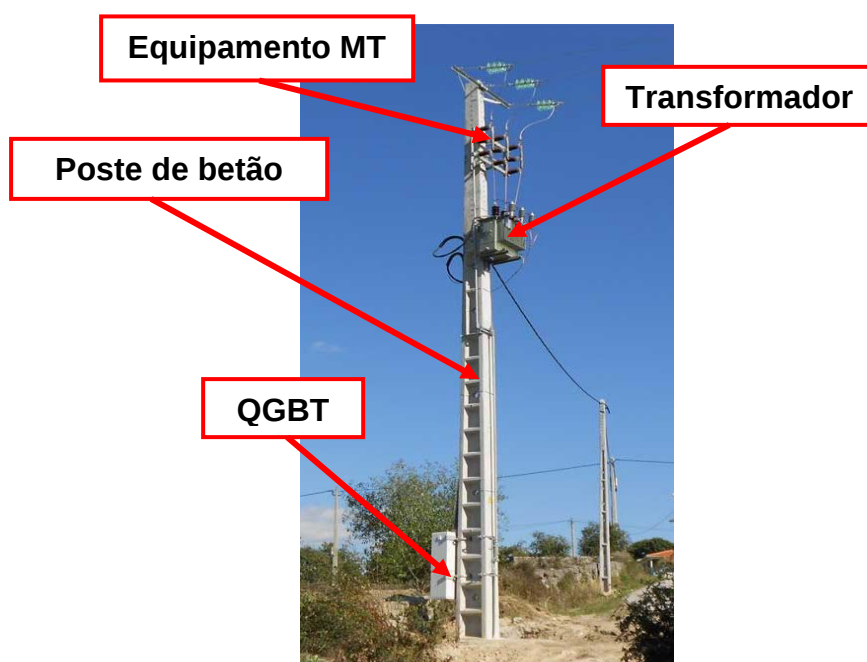


Figura 1 – PT aéreo

³ MT: Média Tensão – $1 \text{ kV} < U < 60 \text{ kV}$. BT: Baixa Tensão – $1 \text{ kV} \leq U$.

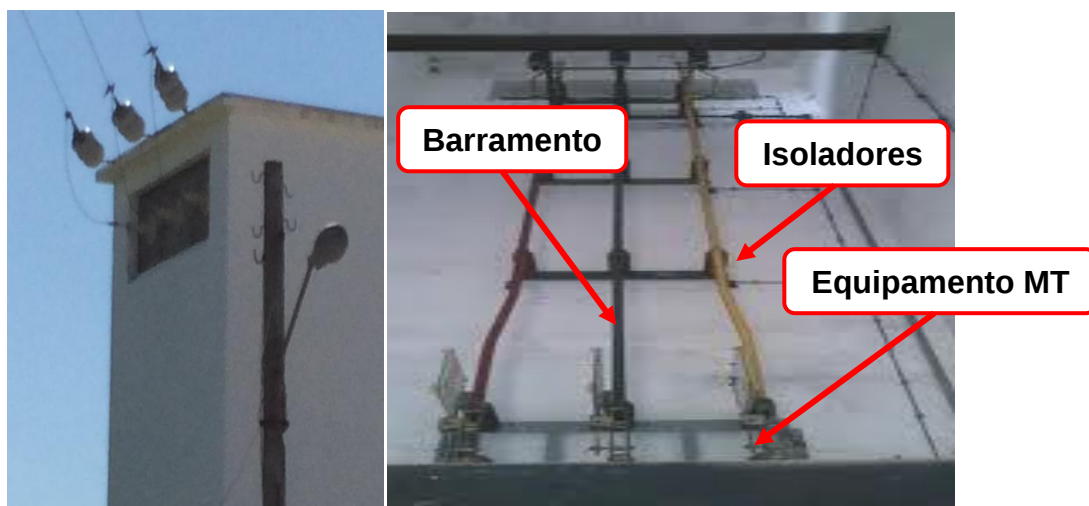


Figura 2 – PT de cabina alta



Figura 3 – Edifício para PT de cabina baixa

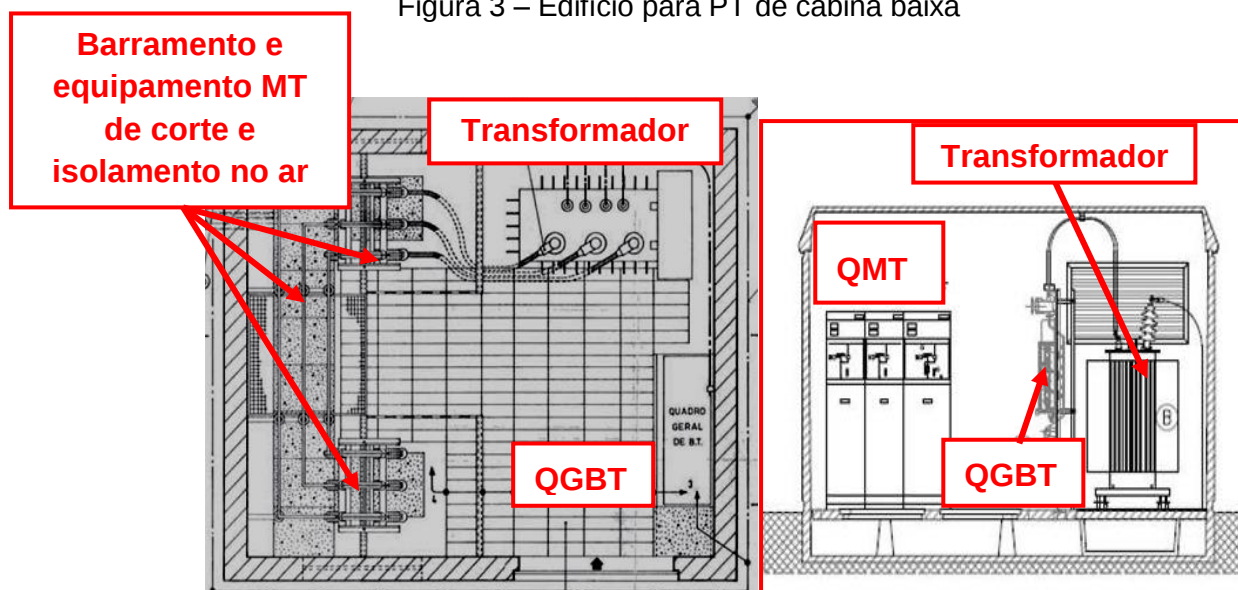


Figura 4 – Disposição do equipamento num PT de cabina baixa com equipamento de isolamento e corte no ar (esquerda) e num QMT (direita)



Figura 5 – Quadro de Média Tensão do tipo “Metal-Enclosed” (esquerda) e do tipo RMU (direita) de um PT de cabina baixa

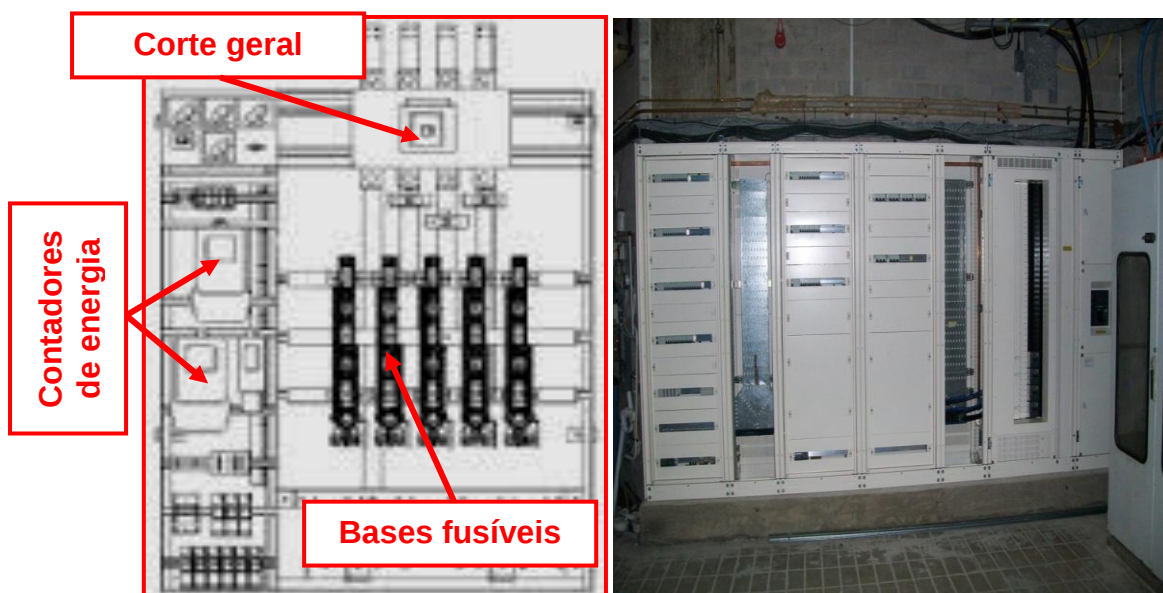


Figura 6 – QGBT de um PT público (esquerda) e de um PT Cliente (direita)

2. FREQUÊNCIA DAS OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO

Habitualmente as **empresas**, particularmente as de média e grande dimensão, dispõem de um **plano de manutenção preventiva das suas instalações**, definindo a **frequência das operações de manutenção** e as **intervenções a executar nos diversos equipamentos**.

Quando **tal não acontece** é possível estabelecer um **plano de manutenção preventiva**, de acordo com a *Norma ANSI/NETA⁴ MTS-2007*, devidamente **adaptada** para a **instalação em causa**.

⁴ ANSI: American National Standards Institute; NETA: InterNational Electrical Testing Association.
Nota: Normas dos EUA.

De acordo com o Anexo B da referida Norma, a **frequência das operações de manutenção** é determinada pelo **estado dos equipamentos** e pelos **requisitos de confiabilidade dos equipamentos**.

Na Tabela 1 representa-se o coeficiente a aplicar à *frequência standard de manutenção* **aconselhadas pela norma referida**.

Tabela 1 – Matriz de frequência de manutenção

		Condição do equipamento		
		Má	Média	Boa
Requisitos de confiabilidade	Baixa	1,0	2,0	2,5
	Média	0,5	1,0	1,5
	Alta	0,25	0,5	0,75

Na Tabela 2 indicam-se os valores *standard* da frequência de inspecção e manutenção, em meses, para os diversos equipamentos do PT.

Tabela 2 – Valores *standard* da frequência de inspecção e manutenção, em meses, dos equipamentos do PT

Equipamento	Visual	Visual e mecânica	Visual, mecânica e eléctrica
Quadros eléctricos MT e BT	12	12	24
Transformador de potência			
Secos, $S^5 \leq 1250$ kVA	2	12	36
Secos, $S > 1250$ kVA	1	12	24
Isolados a óleo	1	12	24
Recolha de amostra de óleo	12		
Seccionadores e interruptores MT	1	12	36
De isolamento no ar	1	12	24
De isolamento em SF6	--	12	24
Disjuntores			
BT	1	12	24
MT (SF6 ou vácuo)	1	12	24

⁵ S: potência nominal do transformador [kVA].

<i>Transformadores de medida</i>	12	12	36
<i>Unidades de protecção</i>	1	12	24
<i>Terras</i>	1	12	12
<i>Outros equipamentos</i>	1	12	24

Em Portugal, de acordo com o *Decreto Regulamentar nº 31/83 de 18 de Abril*, alterado pelo *Decreto-Lei nº 229/2006 de 24 de Novembro*, é **obrigatório** proceder à **vistoria das instalações eléctricas de serviço particular duas vezes por ano**.

O **Anexo III.3 (RELATÓRIO-TIPO DO TÉCNICO RESPONSÁVEL PELA EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS)** do referido *Decreto Regulamentar* define as *inspecções, ensaios e medições* que o **técnico responsável pela exploração do PT** é **obrigado a realizar**.

Deve notar-se que as *inspecções a realizar às instalações pelo técnico responsável não invalidam a necessidade de ser estabelecido um plano de manutenção preventiva*.

3. PRÁTICA CORRENTE DE MANUTENÇÃO DOS PT DE SERVIÇO PÚBLICO

A **frequência da manutenção** dos *PT de serviço público* é definida em *Portugal*, pela **E-REDES⁶** em função do **grau de criticidade** de cada *PT*, ou pela **empresa concessionária de distribuição MT**.

A concessionária considera **três graus de criticidade – A, B e C (por ordem decrescente)** – e dois tipos de intervenção – **Inspecção Geral** (*PT em cabina e aéreos*) e **Manutenção Integrada** (apenas para *PT em cabina*), que integram o que a *E-REDES* designa por **Manutenção Preventiva Sistemática (MPS)**.

Recorde-se que a construção de *PT de cabina alta* e de *cabina baixa com equipamento MT de isolamento no ar* foi **abandonada**, construindo-se actualmente apenas **PT de cabina baixa ou pré-fabricados**, com **QMT**, constituídos por **celas blindadas modulares, de fabrico normalizado**, com *isolamento no ar*, ou *isolamento integral em SF6*, dos tipos “**Metal-Enclosed**”, o mais habitualmente utilizado, e **RMU** (“**Ring Main Unit**”), sendo este tipo de **QMT** uma **unidade compacta e totalmente isolada a SF6**. Estes tipos de **QMT** encontram-se representados na Figura 4.

Conforme definido pela *E-REDES*, conjuntamente com a *DGEG⁷* e *ERSE⁸*, as **potências máximas instaladas nos PT de serviço público** são:

- *PT em cabina alta e PT em cabina baixa com equipamento MT de isolamento no ar: 1x400 kVA ou 1x630 kVA.*
- *PT em cabina baixa ou pré-fabricado: 1x630 kVA ou 2x630 kVA.*
- *PT aéreos do tipo AI-1: 1x250 kVA.*
- *PT aéreos dos tipos A e AS: 1x100 kVA.*

⁶ **E-REDES**: Actual designação da EDP Distribuição.

⁷ **DGEG**: Direcção-Geral de Energia e Geologia.

⁸ **ERSE**: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

De acordo com o exposto anteriormente, a Tabela 3 indica a **frequência recomendável das operações de manutenção preventiva** dos *PT de serviço público* da *E-REDES*, em **anos**, de acordo com o seu **grau de criticidade**.

Tabela 3 – Frequência de manutenção dos PT de serviço público (E-REDES)

Operação	Grau de criticidade		
	A	B	C
<i>Inspecção Geral</i>	1	2	3
<i>Manutenção Integrada</i>	3	6	9

Como se pode constatar esta *frequência das operações de manutenção* é **superior** à indicada na referida *Norma ANSI/NETA*.

Pode considerar-se que esta *frequência das operações de manutenção*, **sem prejuízo das vistorias obrigatórias referidas anteriormente**, pode ser utilizada para *PT Cliente e/ou Privados* com potência até **800-1250 kVA**. Para **potências superiores** é recomendável que a **manutenção geral do PT seja feita pelo menos uma vez por ano**.

A *Inspecção Geral* dos *PT* inclui **observações visuais, inspecções termográficas e medições**, que **sem recursos especiais e sem isolamento do PT**, visa identificar

A Tabela 4 resume as tarefas a realizar para a *MPS*.

Tabela 4 – Tarefas da MPS

Operação	Tarefas
<i>Inspecção Geral</i>	Observação visual do estado da instalação, incluindo os transformadores de potência
	Termovisão sobre todas as ligações eléctricas existentes
	Medição das resistências dos eléctrodos de terra de serviço e de protecção
	Verificação dos sistemas de protecção
<i>Manutenção Integrada</i>	Observação visual do estado da instalação
	Medição das resistências dos eléctrodos de terra de serviço e de protecção
	Inspecção e ensaios dos transformadores de potência (ver ponto 10 deste documento)
	Revisão (afinação, lubrificação, ensaio de funcionamento) dos dispositivos de manobra
	Verificação e ensaios dos sistemas de protecção

4. OPERAÇÕES BÁSICAS DE MANUTENÇÃO

Para além de alguns *equipamentos e sistemas*, que serão **objecto de análise mais detalhada**, consideram-se **operações básicas de manutenção**:

- *Inspecção visual de todos os equipamentos, materiais e outros componentes do PT*
- *Limpeza geral*
- *Verificação de todos os apertos, designadamente das ligações eléctricas*
- *Ensaio de isolamento e de rigidez dieléctrica dos quadros BT e MT*

A **inspecção visual** permite detectar quaisquer **danos visíveis** que um equipamento eventualmente terá sofrido, *permitindo a decisão sobre a necessidade de se efectuarem testes particulares (mecânicos e/ou eléctricos)* para uma **melhor avaliação** daqueles **danos** e das **medidas correctivas a aplicar**.

Em *instalações com equipamento com isolamento e corte no ar*, muito particularmente nos *PT aéreos*, que estão **permanentemente expostos a agentes atmosféricos e poluentes**, a falta de *limpeza e de remoção de poeiras ou outros elementos contaminantes* **pode conduzir à diminuição da distância de isolamento**.

Esta **diminuição** pode *originar um arco eléctrico entre fases ou entre uma fase e a terra*, e consequentemente um **curto-circuito**.

A **limpeza geral** do *PT* inclui **barramentos, órgãos de corte e/ou protecção, transformador de potência e quadros eléctricos MT e BT**.

A **diminuição da força do aperto** de *ligadores e outros materiais com funções semelhantes* origina um **aumento da resistência de contacto**, o que provoca **sobreaquecimento (por efeito de Joule)** nos equipamentos, **diminuindo a sua vida útil**.

5. ÓRGÃOS DE CORTE E MANOBRA

A *manutenção preventiva* dos **órgãos de corte e manobra (disjuntores, seccionadores e interruptores)** incluem as **afinações, lubrificações e ensaios de funcionamento** não só dos equipamentos, mas também dos respectivos comandos.

Nos equipamentos com *comando motorizado* o **motor** deve ser igualmente alvo de *inspecção (medida da resistência de isolamento, verificação do seu funcionamento e das ligações e confirmação do sentido de rotação)*.

As **molasses de fecho e abertura do disjuntor** devem merecer um cuidado especial, visto que **devem ter a energia suficiente** para que a **última manobra do disjuntor seja sempre uma manobra de fecho**. É necessário, por isso, **verificar o estado de carga das molasses**.

Uma *particular atenção* deve ser prestada ao **alinhamento dos contactos móveis de interruptores e seccionadores de corte e isolamento no ar**, para **garantir um contacto perfeito com os terminais fixos**. Se tal *não acontecer* haverá um **aumento da resistência de contacto**, com as consequências já referidas no ponto 4 deste documento.

6. TERRAS DE SERVIÇO E DE PROTECÇÃO

A **manutenção das terras de serviço e de protecção**, para além da *inspecção visual*, deve ser objecto de uma **verificação detalhada**, para **garantir** que todos as *partes metálicas do PT normalmente sem tensão*, incluindo as **celas de rede, as tampas das caleiras e os invólucros metálicos dos quadros eléctricos se encontram efectivamente ligados à terra de protecção**, não sendo regulamentar as situações em que a **medição da resistência de terra dos respectivos eléctrodos**, ultrapassem **20 Ω** (*terra de protecção*) e/ou **10 Ω** (*terra de serviço*) – ver RSSPTS.

Nas operações de *Inspeção Geral* essa medição deve ser realizada *com recurso a processo expedito* (**pinça para medição de terras sem necessidade de interrupção do circuito de terra e sem necessidade de montagem de eléctrodos auxiliares**).

No caso em que a *rede de terras do PT* seja **um sistema de terra único, constituída por uma malha de cabo de cobre nu enterrada e eléctrodos do tipo vareta** devem ser igualmente medidas as **tensões de passo e de contacto** e a **resistência de terra** não deve ser superior a **1 Ω** .

7. TRANSFORMADORES DE MEDIDA

A *manutenção dos transformadores de medida* compreende a *verificação da relação de transformação, polaridade, curva de magnetização e classe e erro de medida, por injeção de corrente* (*Transformadores de Intensidade – TI*) ou **tensão primária** (*Transformadores de Tensão – TT*).

8. UNIDADES DE PROTECÇÃO

A **manutenção dos relés e unidades de protecção**, *electrónicos ou microprocessados*, consiste no *ensaio para verificação da sua actuação*, por *injecção de corrente e tensão, utilizando para o efeito um equipamento adequado*.

Trata-se de uma **fonte programável de injeção de corrente** no equipamento a testar, e que *nalguns modelos permite também ensaiar as protecções magneto-térmicas e relés de protecção de motores e disjuntores BT*.

9. QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO

O QGBT dos PT Cliente e/ou Privados **não têm apenas fusíveis**, como acontece nos PT de serviço público.

Assim, para além da *inspecção visual, limpeza, verificação dos apertos e ensaios de isolamento e de rigidez dieléctrica*, a **manutenção destes QGBT** compreende a *verificação do funcionamento dos aparelhos de manobra e protecção, designadamente os aparelhos dotados de protecção diferencial*, e dos *órgãos e sistemas de comando e controlo eventualmente existentes*.

10. TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA MT/BT

Os **transformadores** dos *PT de serviço público* são isolados a óleo, do tipo hermético, ou secos, com potência nominal **não superior a 630 kVA**.

Nos *PT Cliente* os transformadores são geralmente dos mesmos tipos e a sua potência nominal usualmente **não é superior a 1250 kVA**.

Já nos *PT Cliente e/ou Privados* podem existir, designadamente em instalações industriais de grande dimensão, **transformadores MT/BT, isolados a óleo, com conservador, e potências superiores a 1250 kVA**.

A Figura 7 ilustra os transformadores **isolados a óleo (com e sem conservador, sendo estes normalmente designados por herméticos) e secos**.

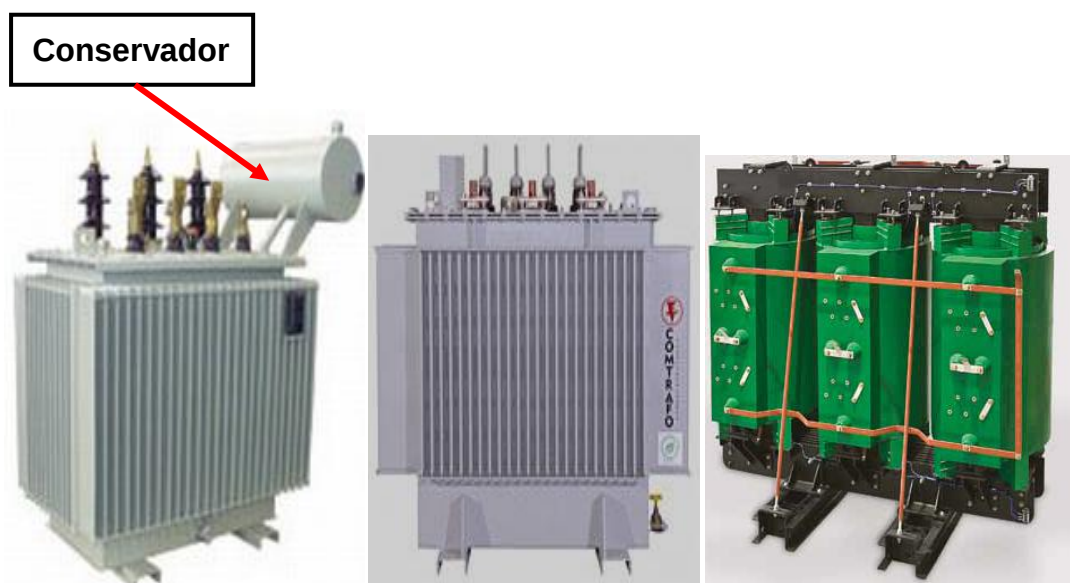


Figura 7 – Transformador isolado a óleo com conservador, transformador isolado a óleo hermético (centro) e seco (direita)

As **operações de manutenção periódica dos transformadores de potência** devem incluir:

- *Inspecção visual do conjunto do transformador e dos seus constituintes, com particular atenção as travessias, nos transformadores isolados a óleo (herméticos e com conservador).*
- *Limpeza.*
- *Verificação de **todos** os apertos.*
- *Verificação do funcionamento das protecções intrínsecas.*
- *Verificação do funcionamento do comutador de tomadas apenas manobrável em vazio.*
- *Verificação da ligação do transformador à terra de protecção.*

Nos **transformadores com isolamento a óleo** deverá ainda ser considerado.

- *Verificação do nível do óleo e eventual reposição.*
- *Verificação do funcionamento dos aparelhos indicadores de temperatura e pressão do óleo.*

- *Recolha de amostra de óleo para análise físico-química e eventual tratamento ou substituição integral.*

Nos transformadores isolados a óleo, **com conservador**, deve também ser prevista a **eventual substituição da silicagel**, um material que por simples observação permite avaliar o teor de humidade do óleo.

Um dos ensaios recomendáveis na manutenção do transformador é a realização do **exame termográfico por infravermelhos**, que é um **método não destrutivo e sem contacto com os equipamentos**, realizado por meio de um *equipamento próprio* (câmara termográfica – ver Figura 8) e que permite **detectar defeitos ou mau funcionamento nos sistemas eléctricos**, sem ser necessário **desligar a instalação**.



Figura 8 – Exemplo de uma câmara termográfica

Padrões anormais ou não expectáveis podem ser uma *indicação de problemas nos equipamentos*, que podem conduzir a **defeitos severos ou mesmo incêndio**.

Este ensaio é habitualmente realizado **cada 2 ou 3 anos**, com o equipamento em *tensão, a plena carga*.

Condições funcionamento ou ambientais severas podem requerer que este teste se realize **anualmente**.

As *partes constituintes do transformador* habitualmente sujeitas a **ensaio termográfico** são:

- *Cuba*
- *Radiadores e sistema de refrigeração*
- *Travessias*
- *Comutador de tomadas em carga*

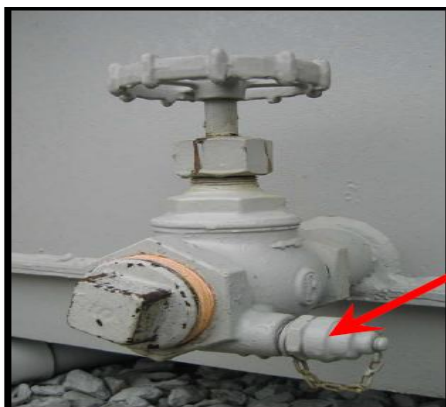
A **análise do óleo** deve obedecer ao estipulado na *Norma IEC 60296*, devendo ser realizados os **seguintes testes**:

- *Medição da tensão interfacial.*
- *Medição da acidez.*
- *Verificação da viscosidade.*
- *Determinação do ponto de ignição (habitualmente designado por flash point)*
- *Determinação do ponto de fulgor (habitualmente designado por fire point)*
- *Determinação do ponto de fluidez (habitualmente designado por pour point)*
- *Verificação do teor de água.*
- *Ensaio de rigidez dieléctrica.*

- Medição das perdas dieléctricas ($\tan \delta$).
- Cor.

A recolha das amostras do óleo deve ser feita com uma **seringa própria** e deve obedecer a um conjunto de procedimentos, que se descrevem seguidamente:

1 – Não colher a amostra na saída lateral da válvula de descarga



2 – Limpar e descarregar a válvula de drenagem, a tubagem e a seringa



3 – Não puxar o êmbolo da seringa – aplicar uma resistência ligeira e deixar que a pressão do óleo encha a seringa.



4 – Depois de cheia a seringa **não deve ter bolhas**, mas podem-se formar algumas posteriormente – **não eliminar essas bolhas**



Para os transformadores de grandes dimensões e com tensões e potências elevadas, o que **não é o caso típico** de um PT, a **análise do óleo** deve ser feita por um **laboratório independente e credenciado para o efeito**.

Conforme o *resultado das análises da amostra de óleo* este poderá ter que ser **substituído** ou **filtrado e tratado** em **equipamentos próprios para o efeito**, como o que se representa na Figura 9, que pode ser *próprio ou alugado*, conjuntamente com o *serviço*, mas realizado por um **técnico credenciado**.



Figura 9 – Equipamento de filtragem e tratamento de óleo

11. OUTRAS ACÇÕES DE MANUTENÇÃO

Para além do referido nos *pontos anteriores na manutenção* do consideram-se ainda **incluídas as seguintes acções**:

- *Verificação e lubrificação de dobradiças, fechaduras e fechos das portas de acesso à instalação.*
- *Verificação do bom estado de funcionamento da iluminação do PT, com substituição do material avariado ou danificado.*
- *Verificação e ensaios dos mecanismos mecânicos de protecção à acessibilidade das celas de MT e do transformador de potência e sequência de manobras.*

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