

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Desenvolvimento e Otimização de Seccionadores
em Redes MT**

Frederico Miguel Sousa Horta

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

27 de fevereiro de 2014

Resumo

A exigência relativa à realização de ensaios dielétricos a seccionadores em laboratórios surge, devido ao facto de se querer manter os elevados padrões de qualidade verificados nas linhas de transporte e distribuição de energia elétrica. Deste modo, as empresas de fabrico de seccionadores, como a Jayme da Costa, podem garantir aos seus clientes o correto funcionamento dos aparelhos, aliado a elevados níveis de fiabilidade. Este selo de qualidade é bastante importante, uma vez que as operadoras de redes elétricas de distribuição procuram sempre aumentar os índices de fiabilidade nas suas redes. Todos os equipamentos utilizados na exploração das redes, seccionador inclusive, contribuem para esses índices de fiabilidade.

Neste projeto será estudado todo o processo de implementação dos ensaios dielétricos para seccionadores de MT em laboratório, tendo em conta todas as normas internacionais aplicáveis, os equipamentos utilizados, os procedimentos e os respetivos parâmetros de avaliação de cada tipo de ensaio.

Posto isto, é pretendido com este estudo identificar todos os procedimentos relativos à realização dos vários tipos de ensaios a seccionadores, tendo também em vista o fornecimento de documentação de apoio a próximas realizações destes ensaios no Laboratório de Alta Tensão na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Abstract

The demand associated with the fulfilment of dielectric tests on disconnectors at laboratories, arises due to the fact of wanting to maintain the high quality standards exhibited by the electricity distribution and transportation lines. This way, the disconnector manufacturing enterprises, such as Jayme da Costa, can guarantee their costumers the correct operation of the equipment, as well as high reliability levels. This quality seal is very important, given that electrical distribution network operators strive to increase their networks' reliability rates. All the equipment used in their network exploitation, including disconnectors, contributes to those reliability indicators.

In this project, all the steps of the process of implementing the dielectric tests to medium voltage disconnectors in a laboratory will be studied, taking into account all the applicable international standards, used equipment, procedures and the respective evaluation parameters of each type of test.

In conclusion this study intends to identify all the procedures involved in executing the several types of tests on disconnectors, while simultaneously provide documentation to support further tests performed at the High Voltage Laboratory on Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Agradecimentos

Quero começar por agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor António Machado e Moura, por ter proporcionado a possibilidade de trabalhar com ele no Laboratório de Alta Tensão.

Aos técnicos responsáveis pelo LAT e também bons amigos, Nuno Soares e José Queirós, pela camaradagem dentro e fora do laboratório e por se mostrarem sempre prontos a ajudar sempre que necessitei de algo.

Ao Eng. Moreira Soares, que em nome da empresa Jayme da Costa - Mecânica e Eletricidade S.A., pela total disponibilidade e por oferecer à FEUP um seccionador à escolha do catálogo da empresa, tornando este projeto possível.

Aos meus amigos, Guilherme Campos, Gonçalo Silva, José Mourinho, Pedro Silva, Pedro Sousa, Ricardo Brito, Ricardo Oliveira, Vítor Parente com quem tive a sorte de me cruzar ao longo deste percurso que nem sempre foi fácil.

A todos os meus amigos de infância e juventude, o meu muito obrigado por me moldarem na pessoa que sou hoje, tendo especial ênfase, Diogo Raimundo, José Amaral e Luís Costa.

Aos meus pais que sempre me proporcionaram tudo o que precisei. Não tenho palavras para descrever o que o vosso apoio, amor e confiança significam para mim.

Ao meu irmão, José Horta que sempre me ajudou e ensinou em toda a minha vida.

Para concluir, quero enfatizar o meu sincero obrigado à minha namorada, Débora Monteiro por todo o amor, apoio e dedicação investidos em mim. Com ela esta etapa da minha vida tomou um novo rumo para melhor.

A todos vós, o meu profundo obrigado.

Frederico Miguel Sousa Horta

*“Research is what I’m doing,
when I don’t know what I’m doing.”*

Wernher von Braun

Índice

Capítulo 1.....	1
Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e objetivos.....	1
1.2. Estrutura da tese.....	2
Capítulo 2.....	3
Seccionadores em redes de MT.....	3
2.1. Definições gerais.....	3
2.2. Tipos de seccionadores.....	5
2.2.1. Seccionador de facas deslizantes.....	6
2.2.2. Seccionador de facas rotativas.....	6
2.2.3. Seccionador de colunas rotativas.....	7
2.2.4. Seccionador Pantógrafo.....	8
2.3. Seccionador em estudo.....	8
2.3.1. Seccionador Tripolar de Exterior ICLG.....	9
2.3.2. Seccionador Tripolar de Exterior ICMH.....	11
2.3.3. Seccionador Tripolar de Interior ICFD.....	12
2.4. Montagem do seccionador ICLG.....	13
2.5. Resumo.....	15
Capítulo 3.....	16
Outros aparelhos de manobra.....	16
3.1. Interruptor-Seccionador.....	16
3.2. Interruptor-Disjuntor.....	18
3.3. Disjuntor Religador.....	19
3.4. Resumo.....	20
Capítulo 4.....	21
Manutenção de seccionadores.....	21
4.1. Procedimentos na manutenção.....	21
4.1.1. Alinhamento de facas com as maxilas.....	21
4.1.2. Lubrificação das partes móveis.....	23
4.1.3. Afição das hastes de extinção.....	24
4.1.4. Outros procedimentos.....	25
4.2. Trabalhos de manutenção.....	25
4.2.1. Trabalhos em tensão (TET).....	26
4.2.2. Trabalhos fora de tensão (TFT).....	27
4.3. Resumo.....	27
Capítulo 5.....	29
Laboratório de Alta Tensão.....	29
5.1. Constituição.....	29
5.2. Medidas de segurança passivas.....	30
5.3. Medidas de segurança ativas.....	32
5.4. Equipamento de ensaio à frequência industrial.....	34
5.4.1. Ensaio à frequência industrial.....	37
5.5. Equipamento de ensaio ao choque.....	37
5.5.1. Ensaio ao choque.....	40
5.6. Resumo.....	42

Capítulo 6	43
Ensaio Dielétrico.....	43
6.1. Montagens realizadas	44
6.2. Procedimentos	46
6.2.1. Condições atmosféricas.....	46
6.2.2. Ensaio à frequência industrial	48
6.2.3. Ensaio ao choque atmosférico.....	49
6.2.4. Ensaio para otimização do seccionador em estudo.....	52
6.3. Resumo	55
Capítulo 7	56
Conclusão	56
7.1. Considerações finais.....	56
7.2. Trabalhos futuros	58
Anexo A	59
Ensaio up and down	59
Referências	61

Lista de figuras

Figura 2.1 - Elementos constituintes de um seccionador	4
Figura 2.2 - Exemplo de um seccionador de facas deslizantes	6
Figura 2.3 - Exemplo de um seccionador de facas rotativas	7
Figura 2.4 - Exemplo de um seccionador de colunas rotativas	7
Figura 2.5 - Exemplos de seccionadores pantógrafo.....	8
Figura 2.6 - Seccionador Tripolar de Exterior ICLG	9
Figura 2.7 - Dimensões do seccionador ICLG.....	10
Figura 2.8 - Seccionador Tripolar de Exterior ICMH	11
Figura 2.9 - Seccionador Tripolar de Interior ICFD.....	12
Figura 2.10 - Peças do seccionador em caixa de madeira utilizada para transporte	13
Figura 2.11 - Esquema para montagem dos pólos.....	14
Figura 2.12 - Esquema para montagem da alavanca de comando.....	14
Figura 2.13 - Esquemas de fixação e afinação das hastes e alinhamento das facas - maxilas .	15
Figura 3.1 - Exemplo de um interruptor-seccionador de exterior [5]	17
Figura 3.2 - Exemplo de um interruptor-disjuntor	18
Figura 3.3 - Exemplo de um disjuntor religador.....	19
Figura 4.1 - Localização dos parafusos para fixação das maxilas	22
Figura 4.2 - Desalinhamento entre a faca e a maxila	22
Figura 4.3 - Massa de lubrificação Shell Gadus S2	23
Figura 4.4 - Massa de contacto condutora - INVCONTACTO [6]	24
Figura 4.5 - Massa neutra - INVINEUTRO [6]	24
Figura 4.6 - Localização dos parafusos para fixação das hastes.....	25
Figura 4.7 - Exemplo do método à distância.....	27
Figura 5.1 - Planta do LAT e disposição do equipamento.....	30
Figura 5.2 - Terras da sala de ensaio.....	31
Figura 5.3 - Interligações ao barramento principal	31

Figura 5.4 - Ligação das partes metálicas superiores à terra através de tranças	32
Figura 5.5 - Gráfico que permite obter a distância mínima D necessária para obter os diferentes níveis de tensão.....	33
Figura 5.6 - Quadro de comando.....	34
Figura 5.7 - Transformador existente no LAT.....	35
Figura 5.8 - Divisor de tensão do transformador	35
Figura 5.9 - Regulador e aparelho de comando respetivamente	36
Figura 10 - Esferas de calibração	36
Figura 5.11 - Gerador de choque	38
Figura 5.12 - Divisor de tensão do gerador de choque	38
Figura 5.13 - Unidade de alimentação	39
Figura 5.14 - Unidade de comando e DIAS	39
Figura 5.15 - Onda de impulso completa com definição do tempo de subida (T_1), tempo de cauda (T_2) e origem virtual (O_1) [12]	40
Figura 16 - Onda de impulso cortada na frente e determinação do tempo de corte [12]	41
Figura 6.1 - Montagem para o ensaio fase-terra	45
Figura 6.2 - Montagem para os ensaios de distância de isolamento	45
Figura 6.3 - Montagem para o ensaio entre pólos.....	46
Figura 6.4 - Exemplo de uma onda completa retirado do ecrã do DIAS.....	52
Figura A.1 - Ensaio up and down:	59

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Características técnicas do Seccionador ICLG	10
Tabela 2.2 - Valores das dimensões e peso dependendo da tensão estipulada.....	10
Tabela 3.1 - Características típicas de poder de corte para um interruptor- seccionador	17
Tabela 5.1 - Tolerâncias permitidas entre os valores especificados e valores obtidos [12]	41
Tabela 6.1 - Dados da medição das condições atmosféricas e resultados dos coeficientes para os ensaios à frequência industrial	48
Tabela 6.2 - Medições e resultados obtidos para ensaios à frequência industrial.....	49
Tabela 6.3 - Dados da medição das condições atmosféricas e resultados dos coeficientes para os ensaios ao choque atmosférico	50
Tabela 6.4 - Valores de tensão registados (U) para os ensaios realizados às diferentes zonas de isolamento e respetivas correções para as condições atmosféricas normalizadas (U ₀), em kV	50
Tabela 6.5 - Valores limite para os tempos de onda e para as tensões de teste	51
Tabela 6.6 - Dados da medição das condições atmosféricas e resultados dos coeficientes para os ensaios de otimização ao choque atmosférico	53
Tabela 6.7 - Valores de tensão obtidos com recurso aos ensaios <i>up and down</i>	54
Tabela 6.8 - Valores de tensão estipulada para ensaios ao choque atmosférico	54

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

A	ampere
C.A.	Corrente Alternada
cm	centímetro
D.I.A.S.	Sistema Digital de Análise do Impulso
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IEC	International Electrotechnical Commission
hPa	hectopascal
kA	Quilo ampere
kg	Quilograma
kV	Quilovolt
LAT	Laboratório de Alta Tensão
m	metro
m ²	metro quadrado
mF	milífarad
mm	milímetro
μs	microsegundo
MT	Média Tensão
pF	picofarad
PT	Posto de Transformação
s	segundo
TET	Trabalhos em Tensão
TFT	Trabalhos fora de Tensão

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo apresenta a temática abordada ao longo desta dissertação, assim como a motivação para a sua realização. Na parte final apresenta-se uma breve descrição da estrutura do documento.

1.1. Enquadramento e objetivos

As sociedades modernas são, atualmente, extremamente dependentes do fornecimento de energia elétrica. Para tal basta constatar que o consumidor final assume o abastecimento ininterrupto de eletricidade como algo natural no seu quotidiano, o que não se verificava há alguns anos atrás.

Posto isto, é fundamental que as empresas responsáveis pela transmissão de energia ofereçam aos seus clientes a melhor qualidade e continuidade de serviço no fornecimento de eletricidade, uma vez que a interrupção do abastecimento energético pode provocar severos prejuízos económicos tanto para o cliente, como para as empresas que exploram as linhas de transmissão de energia elétrica.

De forma a evitar estas interrupções de serviço, as empresas responsáveis pela transmissão de energia têm em especial atenção o equipamento que utilizam nas suas redes, exigindo aos fabricantes destes equipamentos garantias de qualidade nos seus produtos.

De entre esses equipamentos utilizados nas linhas de transporte e distribuição de energia elétrica surgem os seccionadores. Estes aparelhos têm a capacidade para interromper um circuito elétrico, tendo em conta algumas condicionantes, e são principalmente usados como aparelhos de proteção para que as equipas de manutenção trabalhem no circuito em segurança.

Tal como qualquer equipamento usado na transmissão de energia elétrica, o bom dimensionamento dos seccionadores é essencial para se verificar um bom índice de fiabilidade.

Para isso, estes equipamentos são sujeitos a uma cuidada construção e submetidos a ensaios dielétricos para garantir um bom funcionamento dentro da sua classe.

Esta dissertação vai então incidir num estudo cuidadoso sobre um seccionador, de forma a desenvolver valências tanto a nível pessoal, como para o Laboratório de Alta Tensão da Faculdade de Engenharia do Porto, sobre este tipo de equipamento, criando o conhecimento necessário para este tipo de ensaios, com vista a aumentar o leque de equipamentos a ensaiar neste laboratório.

1.2. Estrutura da tese

Este documento encontra-se estruturado em 7 capítulos, sendo que no presente capítulo é efetuado um enquadramento do tema e apresentada a estrutura dos capítulos seguintes.

No capítulo 2 - Seccionadores em redes MT - é efetuada uma análise geral sobre vários tipos de seccionadores utilizados em redes de Média Tensão. A análise passa por uma descrição das características técnicas, físicas destes aparelhos e será também descrito de forma mais detalhada o objeto em estudo, como se procedeu à sua escolha e à sua montagem.

No capítulo 3 - Outros aparelhos de manobra - são abordados outros aparelhos de através de breves descrições, para melhor enquadrar o seccionador na vasta família de aparelhos de manobra.

No capítulo 4 - Manutenção de seccionadores - realiza-se uma cuidada análise dos aspetos relevantes, aquando dos trabalhos de manutenção a seccionadores. São ainda descritos os diferentes procedimentos que podem ser usados para este tipo de trabalhos.

No capítulo 5 - Laboratório de Alta Tensão - é realizada uma análise detalhada da estrutura do Laboratório de Alta Tensão (LAT), enfatizando os seus aspetos de segurança. É ainda descrito o equipamento de ensaio existente, onde são apresentadas as suas características técnicas e respetivos aspetos relevantes.

No capítulo 6 - Ensaio dielétricos - é efetuada a implementação dos ensaios dielétricos no LAT. Neste capítulo apresentam-se os procedimentos necessários à correta realização dos ensaios dielétricos, de forma a respeitar as normas que os regem.

Por último, o capítulo 7 - Conclusão - termina a presente dissertação sendo apresentadas as conclusões retiradas sobre a informação apresentada no desenrolar deste trabalho, bem como são sugeridos alguns possíveis trabalhos futuros dentro deste tema.

Capítulo 2

Seccionadores em redes de MT

No presente capítulo será feita uma análise geral sobre vários tipos de seccionadores utilizados em redes de Média Tensão. A análise passa por uma descrição das características técnicas e físicas destes aparelhos.

Será também descrito de forma mais detalhada o objeto em estudo nesta dissertação, como se procedeu à sua escolha e a sua montagem.

2.1. Definições gerais

Os seccionadores de redes de média tensão são dispositivos mecânicos de manobra que asseguram, quando abertos, uma distância de isolamento que satisfaz os requisitos de segurança especificados, com vista a evitar a ocorrência de um arco elétrico, isto é, o aparecimento de uma descarga elétrica entre dois eletrodos condutores, separados por um meio isolante. Estes aparelhos eletrotécnicos têm a função de garantir a segurança e isolamento elétrico visível de zonas da rede onde é necessária a intervenção humana, seja para trabalhos de manutenção ou para trabalhos de reparação e substituição de elementos que constituem a rede a montante, permitindo uma melhor exploração da rede em determinadas áreas.

Os seccionadores são aparelhos de proteção e manobra, não possuindo poder de corte, por isso, a sua manobra, abertura ou fecho, só pode ser realizada quando a linha está em vazio, isto é, quando a corrente é desprezável e quando não há variação de tensão entre terminais de cada um dos seus pólos. Por esse motivo, a ação de abertura ou fecho de um seccionador, realizada no local por um operador, por ação mecânica do punho de comando existente, está condicionada pela abertura prévia de aparelhos com poder de corte. Não obstante, um seccionador tem de ser capaz de suportar correntes nominais, sobreintensidades e correntes de curto-circuito durante um período de tempo especificado.

No que toca à sua constituição, estes aparelhos são compostos maioritariamente por quatro elementos principais, sendo estes: facas (1) que se inserem nas maxilas (2), quando o aparelho é fechado, de forma a estabelecer a corrente na linha e isoladores e suportes (3) que se encontram entre as partes condutoras e o chassis metálico (4), como observável na Figura 2.1.

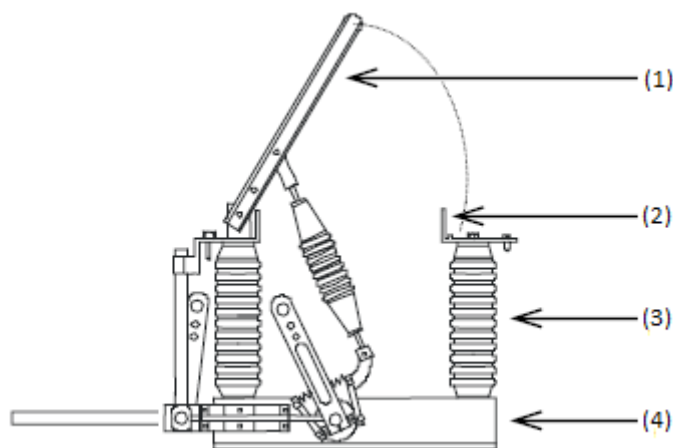


Figura 2.1 - Elementos constituintes de um seccionador

Quanto às características elétricas, a construção deste tipo de aparelhos tem de ter em conta: tensão e corrente nominais, tensão de serviço, tensão estipulada à onda de choque, tensão estipulada à frequência industrial, distância de seccionamento ou isolamento, nível de isolamento, corrente estipulada de curta duração, corrente de curto-circuito e duração máxima de curto-circuito.

Para linhas aéreas de MT, os seccionadores são dimensionados para suportar tensões de 12, 17.5, 24 ou 36 kV e intensidades de 200, 400 ou 630 A. Estes valores de tensão e corrente são condicionantes para os elementos que compõem os seccionadores, o que afeta: o número de fitas condutoras por faca, as dimensões do chassis do aparelho, para cumprir as distâncias de isolamento e a distância entre pólos, bem como o dimensionamento dos isoladores, devido às suas linhas de fuga.

Dependendo do nível de poluição do local de instalação do aparelho, é necessário ter em consideração o tipo de isoladores que constituem o seccionador. Conforme a norma IEC 60815 [14], os níveis de poluição são classificados por: I – fraco, II – médio, III – forte e IV – muito forte, e estabelecem o valor da linha de fuga mínima do isolador, ou seja, o valor mínimo, em milímetros, do comprimento do isolador por cada kV de tensão da linha, mediante o grau de poluição onde esta está inserida. Desta forma, o material (cerâmico ou compósito), o formato e as dimensões dos isoladores vão condicionar o tipo de ambiente onde um seccionador pode operar, de maneira a garantir nível de isolamento necessário.

No que toca ao isolamento, para além dos isoladores é preciso garantir um isolamento entre pólos e entre a faca e a respetiva maxila de cada pólo, denominado distância de isolamento.

Nos seccionadores o isolamento para ambos os casos é feito pelo ar envolvente e é maior, quanto maior for a distância entre as partes condutoras.

Quanto à instalação de um seccionador, esta pode ser exterior, em postes de betão ou postes metálicos, mas também interior, em instalações industriais ou postos de transformação. Por definição, um aparelho de exterior distingue-se por ter de suportar certas condições ambientais, sendo estas: vento, chuva, neve, depósitos de partículas anormais, condensação anormal, gelo e geada. Estes aparelhos são mais utilizados em locais de transição de cabo subterrâneo para linha aérea, em postes de seccionamento de linha e em postos de transformação com potências até 100 kVA. Tanto para instalações exteriores como para interiores, a montagem do seccionador pode ser horizontal ou vertical, dependendo das características deste, o que pode ser verificado na ficha técnica do mesmo.

Como qualquer aparelho mecânico, o seccionador está sujeito a avarias. Entre as causas de avaria pode estar a ação humana, nomeadamente: montagem incorreta do aparelho ou dos seus acessórios, excesso do número máximo de manobras ou mesmo dano causado por vandalismo. Outras causas possíveis para avarias deste equipamento devem-se a fatores ambientais, como: deposição de poluição industrial ou marítima no aparelho, ação animal, incêndios e condições atmosféricas adversas, sejam elas, chuva, vento forte, nevoeiro, trovoadas ou neve.

Face a estas condições, podem-se salientar alguns tipos de avarias comuns tais como: isoladores danificados, má resposta por parte do comando, desalinhamento das hastes de extinção ou das facas em relação às maxilas e sobreaquecimento dos terminais.

Para os seccionadores podem ser adquiridos acessórios opcionais, cada um com determinadas funções. Nesta categoria de acessórios opcionais estão incluídos:

- Comando manual local ou elétrico à distância, para manobrar o seccionador;
- Caixa de sinalização e encravamento, para sinalizar o estado em que se encontra o aparelho e impedir o acesso ao comando por pessoas não autorizadas e assim evitar manobras acidentais;
- Hastes de extinção, sendo ou não opcionais, servem para extinguir arcos elétricos provocados pela manobra de abertura ou fecho do aparelho;
- Lâminas de terra ligadas às hastes, para escorrer a corrente do arco elétrico para a terra.

2.2. Tipos de seccionadores

Dado que os projetos de linhas aéreas e de subestações, onde os seccionadores são amplamente usados, não seguiram por norma um modelo tipo, obriga a que os fabricantes destes aparelhos necessitem de oferecer várias soluções de construção para os diferentes casos.

Atendendo à forma de construção dos seccionadores e à maneira de como é executada a sua manobra, podem ser distinguidos alguns tipos de seccionadores de média e alta tensão, que

vão ser apresentados de seguida, juntamente com uma breve explicação de cada um deles. Serão abordados alguns tipos de seccionadores usuais em AT, devido às normas internacionais contemplarem, até tensões de 245 kV, as mesmas exigências em relação a seccionadores de MT.

2.2.1. Seccionador de facas deslizantes

Neste tipo de seccionador o movimento das facas é feito na longitudinal, isto é, as facas deslocam-se de baixo para cima ou vice-versa. São os seccionadores mais utilizados em postes de linhas aéreas, devido ao facto de terem dimensões mais reduzidas, quando comparados aos seccionadores de facas rotativas. Estes aparelhos tanto podem ser usados no exterior ou interior.



Figura 2.2 - Exemplo de um seccionador de facas deslizantes

2.2.2. Seccionador de facas rotativas

Como o próprio nome indica, a construção destes seccionadores permite às partes móveis, as facas, realizarem um movimento rotativo aquando da manobra do aparelho. Tal como o tipo anterior, podem ser utilizados no interior ou exterior.



Figura 2.3 - Exemplo de um seccionador de facas rotativas

2.2.3. Seccionador de colunas rotativas

O funcionamento destes seccionadores é em tudo semelhante aos de facas rotativas, a única diferença deve-se ao facto dos isoladores de suporte realizarem também o movimento rotativo das facas.

Este tipo de seccionadores podem ser compostos por duas colunas móveis, que giram em sentidos opostos, quando abertos, para as facas ficarem viradas para o mesmo lado, ou podem ser compostos por duas colunas fixas e uma móvel que desloca uma única faca, que conecta a ambas as maxilas, como ilustra a Figura 2.4. Estes são usados em subestações, normalmente, no exterior para tensões superiores a 30 kV.



Figura 2.4 - Exemplo de um seccionador de colunas rotativas

2.2.4. Seccionador Pantógrafo

Este tipo de seccionadores realiza uma dupla função, sendo a primeira a normal manobra e proteção necessária à rede e a segunda a ligação de duas linhas que se encontram a diferentes alturas. A ligação e abertura do aparelho são realizadas pela deslocação dos braços de contacto, num plano vertical.

Esta solução possui duas vertentes, em que a primeira é composta por um pantógrafo completo, com ambos os braços (Figura 2.5 a)), e a segunda é composta apenas por um único braço articulado, também denominado por seccionador semi-pantógrafo (Figura 2.5 b)). Estes só são usados em subestações, no exterior e para redes de alta tensão.

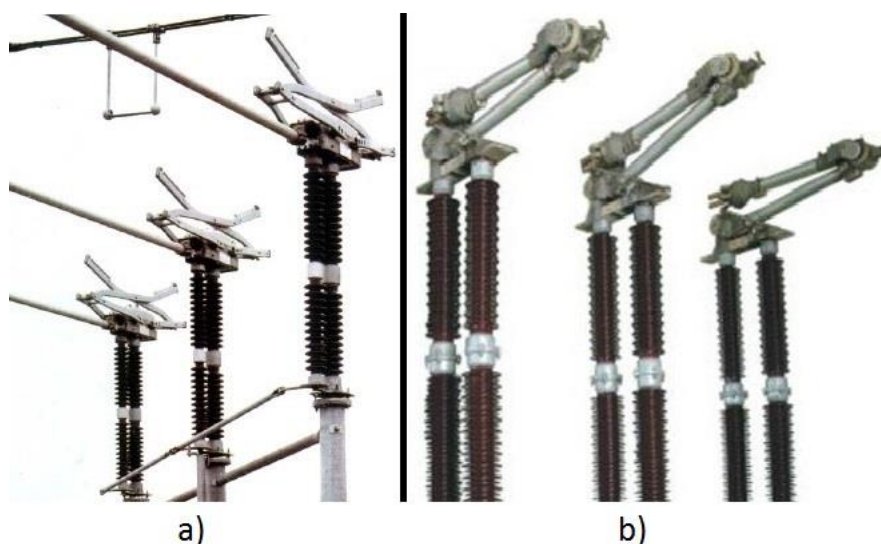


Figura 2.5 - Exemplos de seccionadores pantógrafo

2.3. Seccionador em estudo

Para ser possível a elaboração desta dissertação, a empresa Jayme da Costa - Mecânica e Eletricidade disponibilizou a escolha de um seccionador do catálogo desta.

No catálogo da Jayme da Costa existem três modelos de seccionadores, apresentados de seguida:

- Seccionador Tripolar de Exterior ICLG [1];
- Seccionador Tripolar de Exterior ICMH [2];
- Seccionador Tripolar de Interior ICFD [3].

Todos estes modelos são seccionadores de facas deslizantes para redes de MT, mas as suas construções têm diferenças estruturais entre eles, para se encontrarem de acordo com os requisitos de cada caso, como se verá de seguida nas descrições de cada um deles.

2.3.1. Seccionador Tripolar de Exterior ICLG

O Seccionador Tripolar de Exterior ICLG foi o escolhido para a realização desta dissertação e por isso mesmo será descrito com maior pormenor.



Figura 2.6 - Seccionador Tripolar de Exterior ICLG

Tem as seguintes características especiais:

- Estrutura galvanizada por imersão a quente;
- Facas em cobre com banho de prata;
- Elementos de fixação em aço inox;
- Isoladores em porcelana com ferragens exteriores em fundição galvanizada;
- Hastes de extinção incluídas;
- Suporte das facas composto por um braço articulado para evitar fecho acidental;
- Condutores na zona do braço em trança para dobrar sem danificar variando entre 1 a 4 unidades por pólo, dependendo da corrente característica do aparelho;
- Montagem horizontal, pólo a pólo (não vem montado de fábrica, o que requer a montagem dos pólos no chassis no local da instalação).

No que toca aos acessórios opcionais, estes são:

- Comando;
- Caixa de sinalização e encravamentos.

Passando para as características técnicas, este seccionador é apresentado em duas gamas de tensões diferentes como se pode verificar na Tabela 2.1, sendo que a negrito estão as características do seccionador em estudo.

Tabela 2.1 - Características técnicas do Seccionador ICLG

Tensão estipulada [kV]	17,5	36
Corrente de curto-circuito [kA]	31,5	
Corrente estipulada de curta duração [kA, 3s]	12,5	
Tensão estipulada à onda de choque:		
à terra e entre pólos [kV]	95	170
sobre distância de isolamento [kV]	110	195
Tensão estipulada à frequência industrial:		
50 Hz, 1 min. à terra e entre pólos [kV]	38	70
50 Hz, 1 min. sobre distância de isolamento [kV]	45	80
Tensão estipulada à onda de choque:		
50 Hz, 1 min. à terra e entre pólos [kV]	38	70
50 Hz, 1 min. sobre distância de isolamento [kV]	45	80
Número de manobras de abertura e fecho	1000	1000

Tendo em atenção as dimensões e o peso, este modelo é o maior dos três o que é um fator a ter em conta na altura de escolher um seccionador. Consultando a Figura 2.7 e a Tabela 2.2, é possível ter a ideia concreta das suas medidas, as quais se encontram destacadas.

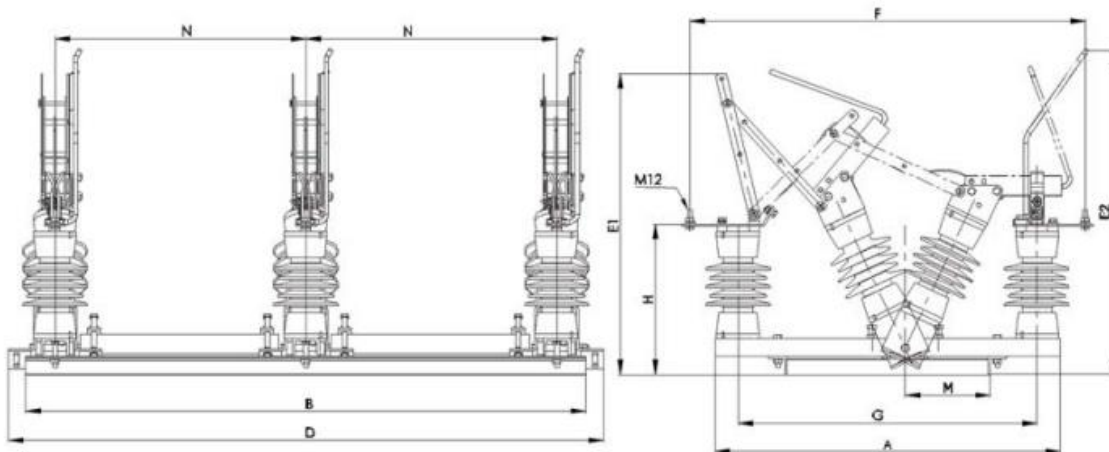


Figura 2.7 - Dimensões do seccionador ICLG

Tabela 2.2 - Valores das dimensões e peso dependendo da tensão estipulada

Tensão [kV]	Int. [A]	Cotas [mm]													Peso [kg]
		A	B	C	D	E1/2	F	G	H	L	M	N	R	S	
17,5	200 400	825	1340		1424	719/777	945	715	360		203	600	50		113
36	630	960	2140		2224	924/959	1080	850	542		250	1000	50		186

A escolha deste seccionador, de entre os três modelos, foi feita de forma a ter em conta o que se pretendia para a dissertação, mas também a adequar o aparelho ao Laboratório de Alta Tensão da FEUP. Para isso teve-se em conta três fatores:

- Ser para exterior, devido ao facto de se querer estudar um seccionador para instalação num poste de linha aérea;
- Montagem horizontal, o que facilita a sua montagem e instalação dentro do LAT;
- Tensão estipulada de 36 kV para melhor usufruir do equipamento de AT existente no laboratório.

Como se pode comprovar adiante, este modelo é o único que satisfaz todos os requisitos.

2.3.2. Seccionador Tripolar de Exterior ICMH

Este seccionador poderia ser um candidato viável, mas tinha uma característica que dificultava a sua colocação no LAT, que se prende com o facto de este ser de montagem vertical. Do ponto de vista comercial, este aparelho apresenta ligeiras vantagens sobre o modelo anterior, visto que é de dimensões mais reduzidas, o que se reflete num menor peso e vem já montado e pronto a usar de fábrica.



Figura 2.8 - Seccionador Tripolar de Exterior ICMH

Com algumas semelhanças em relação ao seccionador escolhido, este apresenta as seguintes características relevantes:

- Estrutura galvanizada por imersão a quente;
- Facas duplas em cobre com banho niquelado;
- Elementos de fixação em aço inox;
- Isoladores em porcelana com ferragens exteriores em fundição galvanizada;
- Montagem vertical.

É ainda importante referir que todos os seccionadores de montagem vertical da marca são desenhados para abrir, se inicialmente estiverem fechados, ou manterem-se abertos, se estiverem abertos, em caso de avaria no comando. Isto é possível, graças a um sistema de mola que, para atingir a sua posição de repouso, projeta o braço móvel, separando as facas das maxilas.

Em adição às duas gamas de tensão do seccionador anterior, 17.5 e 36 kV, este modelo também pode incorporar redes de 12 kV. Em contrapartida, não são fabricados modelos de 200 A, apenas modelos de 400 e 630 A.

2.3.3. Seccionador Tripolar de Interior ICFD

Dentro dos três modelos referidos, este aparelho é o que possui diferenças mais relevantes em relação aos restantes, dado que este aparelho é dimensionado para interior.



Figura 2.9 - Seccionador Tripolar de Interior ICFD

As características principais da sua construção são:

- Facas duplas de cobre duro niquelado;
- Isoladores em resina epóxida;
- Montagem horizontal ou vertical.

A maior disparidade deste aparelho em relação aos outros modelos consiste principalmente na diferença significativa das distâncias de isolamento, em parte devido ao facto de este, sendo para interior, não ser afetado pelas condições atmosféricas. Assim sendo, os isoladores de porcelana, usados nos modelos anteriores, são substituídos por isoladores de resina epóxida e a área deste aparelho é praticamente reduzida para metade em relação ao seccionador ICLG. Todas estas diferenças estruturais possibilitam que o seu peso seja menos de um terço em relação aos modelos anteriores, para as mesmas gamas de tensão.

2.4. Montagem do seccionador ICLG

Quando entregue no LAT da FEUP, o seccionador encontrava-se desmontado, como mencionado anteriormente, e encaixado em barrotes de madeira que compoñham a caixa utilizada para o transporte deste. Esta caixa (Figura 2.10) continha os três pólos, o chassis, o veio de comando, a alavanca de comando assim como as hastes de extinção, dentro de um saco de plástico, juntamente com variados parafusos, porcas, contraporcas, anilhas e uma folha com instruções de montagem.

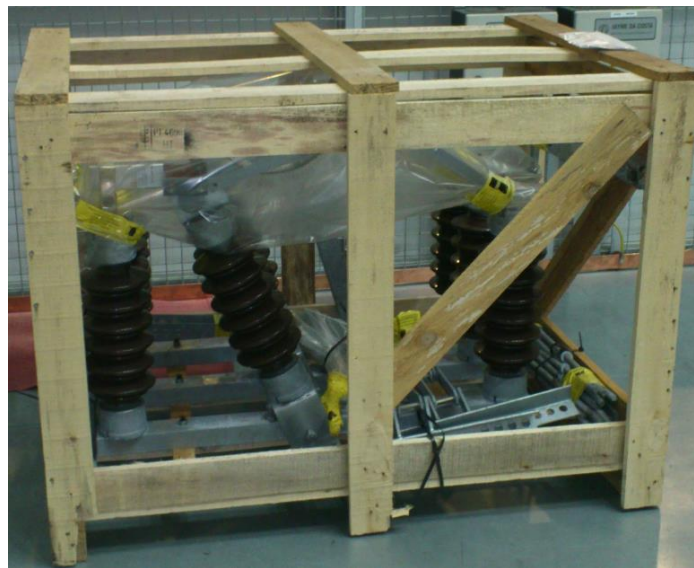


Figura 2.10 - Peças do seccionador em caixa de madeira utilizada para transporte

Com o auxílio da folha de instruções, é apresentada uma lista detalhada dos passos usados aquando da montagem do seccionador no LAT [4]:

1. Desmontar os pólos dos barrotes de madeira utilizados para transporte;
2. Desembalar cada um dos pólos e seus acessórios e verificar a ausência de danos de transporte;
3. Montar os pólos na estrutura base fornecida em separado (ver Figura 2.11) e fixar utilizando os parafusos M12x80 + porca + anilha de mola fornecidos em separado;

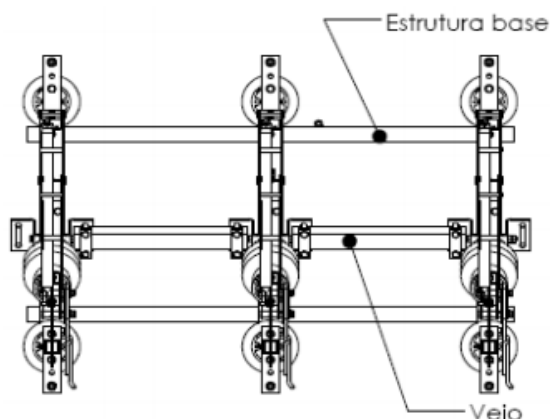


Figura 2.11 - Esquema para montagem dos pólos

4. Montar os veios de comando (ver Figura 2.12) e fixar utilizando as barras e os parafusos M12x80 + porca + anilha de mola fornecidos em separado;
5. Montar a alavanca de comando (ver Figura 2.12) e fixar utilizando a barra e os parafusos M12x90 + porca e contraporca fornecidas em separado;

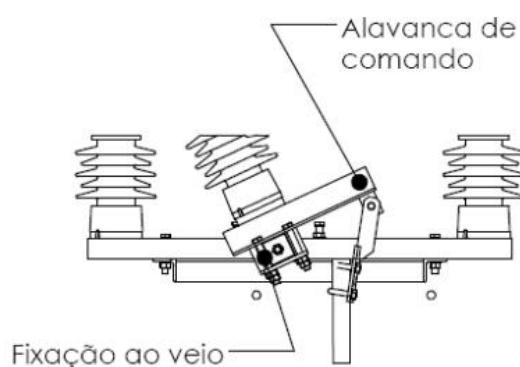


Figura 2.12 - Esquema para montagem da alavanca de comando

6. Montar as hastes de extinção (ver Figura 2.13 a)):
 - Montar as hastes para que as hastes fixa e móvel se toquem suavemente e com ligeira pressão durante a abertura/fecho do pólo (as chapas de fixação encontram-se previamente montadas nos pólos);
 - Aliviar porcas e parafusos a reapertar depois de ajustadas as posições das hastes);
 - Verificar o correto alinhamento das facas e maxilas de cada pólo (ver Figura 2.13 b));
 - Corrigir, se necessário, utilizando o parafuso indicado;

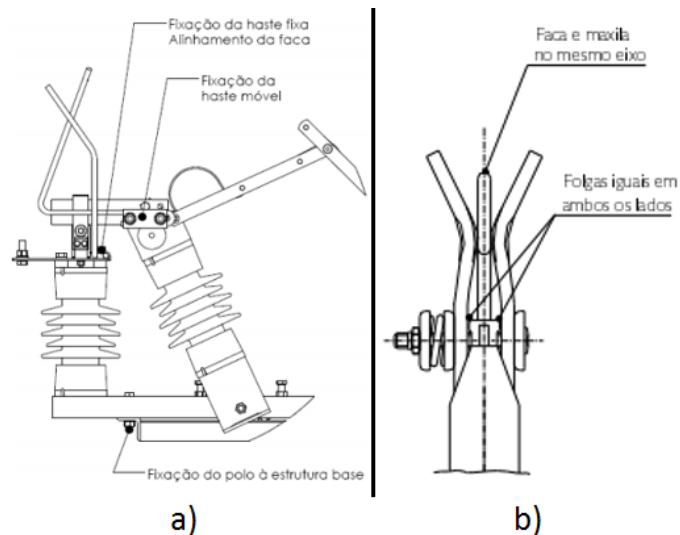


Figura 2.13 - Esquemas de fixação e afinação das hastes e alinhamento das facas - maxilas

7. Verificar o correto funcionamento, manobrando o aparelho manualmente pelos isoladores móveis;

2.5. Resumo

Neste capítulo foram descritas as características gerais de um seccionador e também os vários tipos de seccionadores que se pode encontrar redes elétricas. São estes:

- Seccionador de facas deslizantes;
- Seccionador de facas rotativas;
- Seccionador de colunas rotativas;
- Seccionador pantógrafo.

Foram ainda salientadas as razões para a escolha do seccionador tripolar de exterior ICLG em detrimento dos outros seccionadores existentes no catálogo da empresa Jayme da Costa, assim como os passos para a sua montagem.

Capítulo 3

Outros aparelhos de manobra

Em redes de MT, para além dos seccionadores, existem outros aparelhos de manobra que são pertinentes referir. Estes dispositivos presentes em linhas aéreas de distribuição de média tensão são, maioritariamente, utilizados para localizar, isolar e extinguir defeitos, fazer o despiste de defeitos fugitivos e isolar ramais da rede.

Há exceção de alguns, como é o caso do seccionador, o modo de funcionamento da maioria destes aparelhos consiste na abertura dos seus contactos num meio isolante, que permita extinguir o arco elétrico, originado pela manobra.

Todos estes aparelhos de manobra diferenciam-se consoante as suas características mecânicas e elétricas, que consequentemente influenciam bastante os seus aspetos construtivos. Existe uma panóplia de designações para os diferentes dispositivos de manobra de média tensão, mas neste capítulo, foram definidos três tipos destes aparelhos, de modo a enquadrar melhor os seccionadores na extensa família de aparelhos de manobra de redes de média tensão. Estes são: interruptor-seccionador, interruptor-disjuntor e disjuntor religador.

3.1. Interruptor-Seccionador

O interruptor-seccionador (I-S) distingue-se do seccionador pelo facto de ser um aparelho com poder de corte, o que lhe confere a capacidade de ser manobrado em carga e em tensão.

Este tipo de aparelhos pode ser utilizado no exterior em postos de transformação aéreos, sendo a sua montagem vertical, ou em transições de cabo subterrâneo para linha aérea, sendo neste caso, de montagem horizontal. Tal como o seccionador, o interruptor-seccionador pode ainda ser instalado no interior de instalações elétricas, tanto de montagem vertical como horizontal.

Na Figura 3.1, está apresentado um exemplo de um interruptor-seccionador de exterior, neste caso, da marca Jayme da Costa.

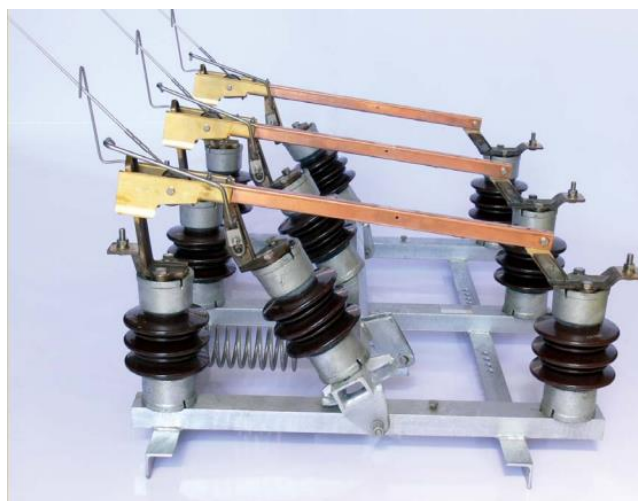


Figura 3.1 - Exemplo de um interruptor-seccionador de exterior [5]

Os interruptores-seccionadores têm a função de cortar o fornecimento de energia, quando ocorre uma avaria num qualquer elemento do PT, seja este, o quadro elétrico ou transformador, ou até mesmo quando esta ocorre na linha de baixa tensão a jusante, de forma a se poder proceder à assistência técnica respetiva. É em tudo semelhante à função de um seccionador, com a particularidade de que não é necessário a abertura prévia de um interruptor a montante, visto que os interruptores-seccionadores possuem poder de corte.

Este tipo de dispositivos apresentam valores característicos idênticos aos dos seccionadores, mas são dotados também de valores de poder de corte, como se pode constatar na Tabela 3.1. [5]

Tabela 3.1 - Características típicas de poder de corte para um interruptor-seccionador

Tensão estipulada [kV]	17,5	36
Poder de corte		
Carga ativa [A]	90	70
Carga em anel fechado [A]	200/400	200/400
Cabos em vazio [A]	10	10
Transformador em vazio [A]	4	2,5
Poder de fecho sob curto-circuito [kA]	25	20

No que se refere ao aspeto construtivo, estes aparelhos apresentam semelhanças aos seccionadores ao nível do suporte de isoladores e do chassis, no entanto, apresentam diferenças nas hastes, facas e maxilas.

As diferenças encontradas nas hastes têm o intuito de proporcionar a projeção repentina e brusca destas, quando o aparelho é manobrado, para que os arcos elétricos formados sejam extintos rapidamente. Por esta razão, a haste fixa tem o formato de um gancho de modo a provocar uma tensão sobre a haste móvel, permitindo assim, um efeito mola no momento da abertura.

O manuseamento destes aparelhos é feito por um comando igual ao dos seccionadores, mas a sua manobra têm uma particularidade, que se prende com o facto da velocidade de corte ser independente da velocidade de manobra, característica importante no corte do circuito. Isto só é possível graças à ação de uma mola helicoidal que se encontra em cada pólo, entre o isolador fixo que suporta a maxila e o isolador móvel central.

É ainda importante referir que o meio de isolamento dos interruptores-seccionadores pode ser o ar ou o hexafluoreto de enxofre (SF_6), que proporciona um melhor isolamento, mas confere um custo extra ao aparelho.

3.2. Interruptor-Disjuntor

No interruptor-disjuntor (I-D) a principal característica é a presença de um disjuntor, o que confere uma grande facilidade de manobra, tanto na abertura como no fecho dos contactos.

Normalmente, são também dotados de uma elevada capacidade de fechar sobre correntes de defeito. Não obstante, é habitual estes dispositivos não possuírem poder de corte de correntes de curto-circuito.

Na Figura 3.2, é possível visualizar um exemplo deste tipo de dispositivos.



Figura 3.2 - Exemplo de um interruptor-disjuntor

No que diz respeito à abertura dos contactos neste tipo de aparelhos de corte aéreo, esta pode ser executada a partir de energia armazenada em molas ou recorrendo a um atuador magnético.

Neste tipo de aparelhos, a extinção do arco elétrico, em consequência da abertura dos seus contactos, pode ser conseguida recorrendo a vários meios de isolamento. Entre estes destacam-se os seguintes: óleo, devido ao seu baixo custo e simplicidade; vácuo, que possui a vantagem de necessitar de pouca manutenção; e a solução mais usual, o SF₆, visto que apresenta excelentes características de extinção do arco.

Ao contrário dos aparelhos anteriores, estes são comandados por atuação elétrica, o que lhes permite serem comandados remota ou localmente. Os interruptores-disjuntores são utilizados também para funções de automatismo, graças ao modo de funcionamento do disjuntor, que proporciona uma grande capacidade e facilidade de comutação entre estados. No entanto, não são dotados de distância de seccionamento, o que leva normalmente a ser associado um seccionador à montagem.

3.3. Disjuntor Religador

À semelhança do que se verifica no caso do interruptor-seccionador, este dispositivo também possui um disjuntor. Desta forma, são também aplicáveis aos disjuntores religadores todas as características referidas para os tipos de disjuntores utilizados no caso anterior. Não obstante, para estes aparelhos é obrigatório o disjuntor possuir poder de corte para eliminar as correntes de curto-circuito. Este tipo de dispositivos deve o seu nome ao facto de possuir um automatismo de religação.

Na Figura 3.3, está representado um exemplo de um disjuntor religador montado num apoio de uma linha aérea de média tensão.



Figura 3.3 - Exemplo de um disjuntor religador

Outra característica construtiva a salientar é o facto de possuir um dispositivo para detetar curto-circuitos à terra e entre fases. Para tal, este dispositivo pode ser controlado hidraulicamente ou ter um relé digital.

Para este tipo de aparelhos é normal o comando ser telecontrolado, sendo também possível a abertura manual. Tal como no caso anterior, este aparelho pode estar associado a funções de automatismo.

Os disjuntores religadores também não são dotados de uma distância de seccionamento, sendo necessário o acoplamento de um seccionador à montagem, para se poder proceder a trabalhos de manutenção da linha.

3.4. Resumo

Neste capítulo foram descritas as características especiais inerentes a alguns tipos de aparelhagem de manobra.

Existem aparelhos de manobra que podem ser usados em vez dos seccionadores, cumprindo as mesmas funções, como é o caso do interruptor-seccionador, bem como existem aparelhos de manobra que devem ser instalados em conjunto com seccionadores, visto que carecem de distância de seccionamento, sendo normalmente aparelhos constituídos por disjuntores.

Capítulo 4

Manutenção de seccionadores

O presente capítulo contempla a temática de manutenção a seccionadores em redes MT.

Depois de um seccionador estar montado e a operar, a sua manutenção é imprescindível para a sua preservação, o que se reflete na garantia de um bom desempenho por parte deste.

Neste capítulo, serão abordadas vários procedimentos essenciais para uma manutenção eficiente, assim como serão explicadas as duas formas para realização destes trabalhos de manutenção.

4.1. Procedimentos na manutenção

Para uma manutenção cuidada é necessário efetuar inspeções periódicas ao seccionador e ter em conta determinados procedimentos [10], nomeadamente:

- Alinhamento dos eixos das facas e maxilas;
- Aperto das maxilas;
- Lubrificação das partes móveis;
- Afinação das hastes;
- Outros procedimentos.

Seguidamente, serão detalhados estes procedimentos.

4.1.1. Alinhamento de facas com as maxilas

Em semelhança ao que é efetuado na montagem, quando se realiza a manutenção do seccionador, se for verificado o desalinhamento entre os conjuntos faca - maxila, será necessário proceder a movimentos longitudinais e transversais por parte das maxilas, ao atuar

nos seus parafusos de suporte na base, P1 e P2 (ver Figura 4.1), de forma a restabelecer o alinhamento adequado.

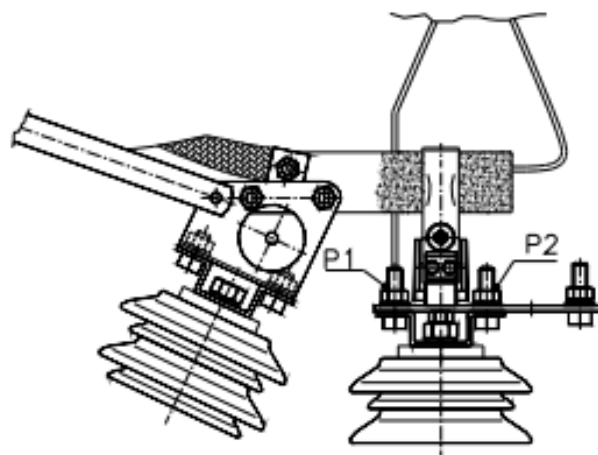


Figura 4.1 - Localização dos parafusos para fixação das maxilas

O desgaste das facas, provocado por esforços dielétricos, também tem de ser verificado, visto que pode ser uma causa para o desalinhamento destas. Com a ocorrência de sobrecargas, descargas elétricas ou curto-circuitos são originadas sobreintensidades e sobretensões que danificam a constituição das facas ao alterarem as propriedades do cobre, sendo visível uma coloração avermelhada nestas.

Escutar um ruído característico, provocado pelo contacto incorreto entre as facas e as maxilas, será outro indício de que existe desalinhamento das facas. A progressiva degradação das facas, devido a este mau contacto, pode chegar a tal estado, que causa a amarração destas nas maxilas, impossibilitando a sua abertura.

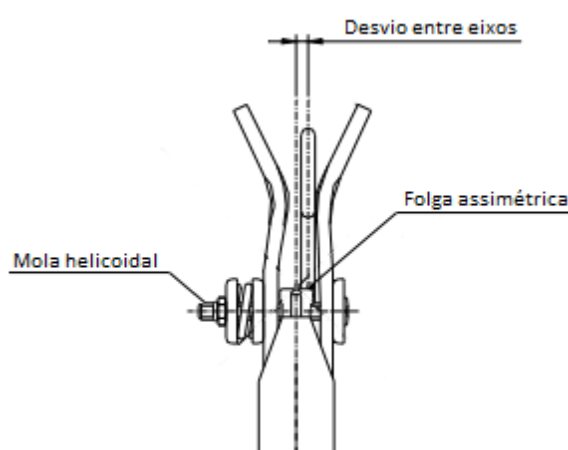


Figura 4.2 - Desalinhamento entre a faca e a maxila

Outro aspeto a ter em conta passa pela verificação do aperto das maxilas por parte das molas helicoidais (ver Figura 4.2), para que as maxilas mantenham uma pressão adequada sobre

as facas. Ao longo da sua vida útil, estas molas vão perdendo a sua eficácia, provocando uma maior folga entre o par faca - maxila. Na origem desta perda de eficácia pode estar uma possível exploração das linhas no seu limite ou outra qualquer sobreintensidade, que resulta em um aquecimento prolongado, que altera as propriedades da mola.

Como consequência das facas ficarem mais soltas, a queda de tensão aumenta no pólo em que se inserem, podendo dar lugar à formação de carvão, ou até mesmo, originar a soldagem destas. Mais uma vez, esta anomalia pode ser detetada através do ruído característico que esta provoca.

4.1.2. Lubrificação das partes móveis

Para uma correta manutenção dos seccionadores, todas as partes metálicas móveis devem ser lubrificadas, visto que estão sujeitas a corrosão, provocada pelo meio ambiente onde se inserem, e a desgaste, causado pelas manobras de operação e esforços dielétricos.

O tipo de lubrificante varia consoante as peças, sendo que no caso de se tratar de guias articuladas, eixo móvel do chassis e reenvios a lubrificação é feita com massa de lubrificação, como é exemplo Shell Gadus S2 (ver Figura 4.3).



Figura 4.3 - Massa de lubrificação Shell Gadus S2

No que toca à lubrificação de facas, maxilas e contactos de cada pólo a lubrificação deve ser realizada com outros tipos de lubrificantes, de forma a melhorar a condutividade destes. Alguns exemplos desses lubrificantes são:

Massa de contacto condutora:

- Massa lubrificante antiaderente.
- Condutora de altas prestações para fins elétricos.



Figura 4.4 - Massa de contacto condutora - INVICONTACTO [6]

Massa Neutra:

- Massa neutra para uso elétrico e proteção anticorrosiva.
- Especialmente recomendada para evitar fenómenos de eletrólise.



Figura 4.5 - Massa neutra - INVINEUTRO [6]

4.1.3. Afinação das hastes de extinção

Assim como se verifica na montagem, a afinação das hastes de extinção é um procedimento importante na manutenção de seccionadores que possuem estas peças, com é o caso do objeto de estudo.

Com esta afinação é suposto, sempre que o aparelho se encontre na posição de fechado, que ambas as hastes mantenham constante o contacto entre si, caso isso já não se verifique.

No entanto, é no momento em que se efetua uma manobra que as hastes atuam ao extinguir o arco elétrico, caso ocorra devido a correntes vestigiais, de maneira a que este não danifique outras peças, como as facas e as maxilas. Posto isto, é essencial que as hastes estejam corretamente afinadas para deslizarem sobre si e apenas se separarem depois da abertura ou antes do fecho das facas e maxilas.

Em caso de afinação, as hastes devem ser desaparafusadas, reorientadas para a sua posição correta e novamente fixadas, apertando os parafusos P3, P4 e P5 (Figura 4.6)

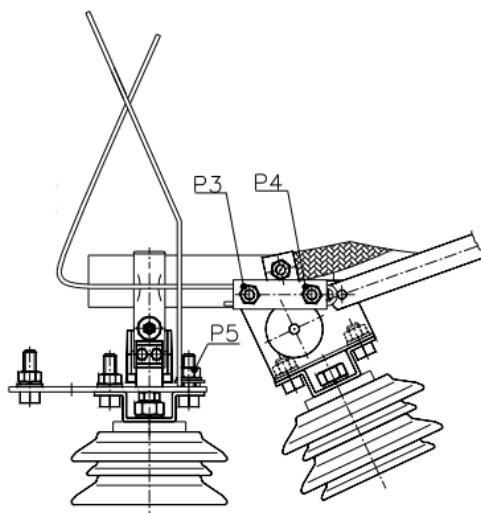


Figura 4.6 - Localização dos parafusos para fixação das hastes

É de realçar que as hastes de extinção são os únicos elementos do seccionador suscetíveis de serem substituídas no local pelos prestadores de serviço, e por isso estas devem ser substituídas, caso apresentem um nível de desgaste elevado.

4.1.4. Outros procedimentos

Um procedimento importante da manutenção a ter em conta consiste na lavagem das saias dos isoladores, visto que estas são propícias a acumular sujidade e poluição, o que provoca uma diminuição na sua capacidade de isolamento.

Dever-se-á também lixar as facas, maxilas e hastes de extinção, com o intuito de remover a oxidação e, consequentemente aumentar a condutividade destas peças. Simultaneamente, dever-se-á fazer uma inspeção visual a estas.

De igual modo, deverá ser efetuada uma inspeção visual dos isoladores existentes no seccionador de forma a verificar alguma anomalia destes, ou seja, se é visível algum tipo de fissura ou defeito.

Por fim, outra ação importante consiste na verificação da ligação do condutor de terra de proteção aos elementos metálicos aos quais deverá estar ligado, assim como na verificação da ligação da terra de serviço ao barramento neutro do quadro elétrico.

4.2. Trabalhos de manutenção

Hoje em dia, quando se trata de trabalhos de manutenção é possível executá-los de duas metodologias diferentes:

- Trabalhos em tensão (TET);
- Trabalhos fora de tensão (TFT).

No sentido de compreender melhor estas duas metodologias, serão feitas, de seguida, breves explicações de cada uma delas.

4.2.1. Trabalhos em tensão (TET)

Atualmente, devido à crescente dependência de energia elétrica por parte dos consumidores, é bastante valorizada a continuidade de serviço de abastecimento energético. Posto isto e dado que os trabalhos em tensão permitem a execução de serviços de manutenção de linhas aéreas, sem recorrer ao corte de abastecimento elétrico, é compreensível a importância deste tipo de trabalhos.

Para a realização destes, é necessário que os trabalhadores sejam habilitados para o efeito, que tenham recebido formação específica e que utilizem ferramentas homologadas para trabalhar em tensão. Essas ferramentas estão dimensionadas para proteger os trabalhadores dos elementos que se encontram em tensão e são sujeitas a inspeções periódicas, de forma a garantir a segurança no local de trabalho.

Tanto as ferramentas, como a formação especializada para as equipas de trabalho são dispendiosas, no entanto, a capitalização da energia não fornecida na interrupção associada a trabalhos fora de tensão, torna a prática dos TET economicamente viável.

Para a execução dos TET existem vários métodos, nomeadamente: método à distância, método por contacto, método ao potencial e método global, sendo que, o último consiste na execução dos outros três métodos durante o mesmo trabalho. Visto que o primeiro método é praticado com maior frequência, vai ser descrito o seu procedimento.

Para este método são usados curto-circuitadores em cabo seco, para garantir a continuidade de abastecimento, após a interrupção de serviço do seccionador. Deste modo, o seccionador fica livre de tensão, podendo, a partir daí, proceder-se à sua manutenção.

Para garantir a segurança dos trabalhadores, são envolvidos os condutores e respetivas cadeias de isoladores com protetores, com o intuito de os proteger de contactos diretos com a linha, assim como, de arcos elétricos que possam surgir entre as linhas aéreas e o apoio.

Como o próprio nome indica, este método é executado à distância, com o auxílio de varas isolantes, para que os trabalhadores possam manobrar e estabelecer contacto com as partes que se encontram a um nível de tensão diferente.

Por fim, é apresentado um exemplo de manutenção a um seccionador, a partir do método descrito, a cargo de uma equipa especializada, onde se pode visualizar algum equipamento TET mencionado anteriormente (ver Figura 4.7).

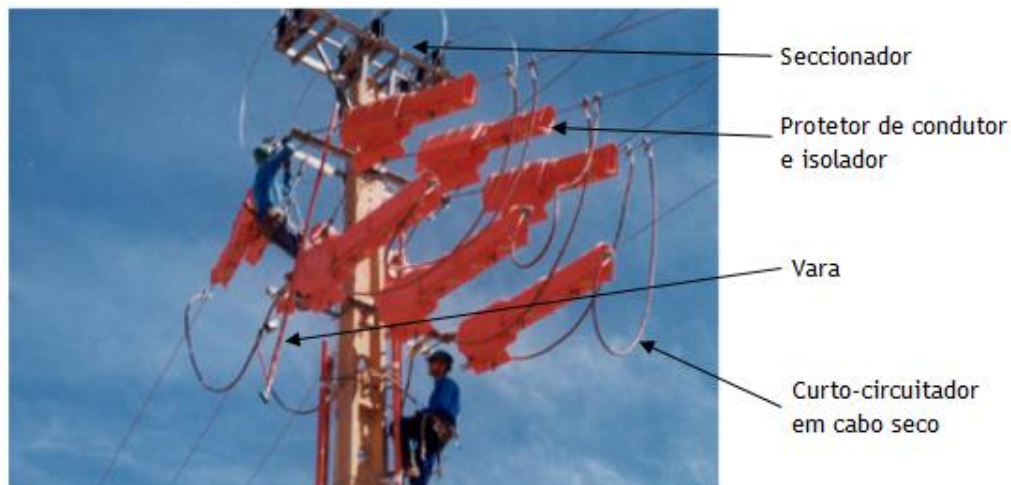


Figura 4.7 - Exemplo do método à distância

4.2.2. Trabalhos fora de tensão (TFT)

Não obstante ao facto de, cada vez mais, se fazerem trabalhos em tensão, existem situações onde não é compensatório monetariamente ou não é possível realizar trabalhos em tensão, exigindo assim a execução de trabalhos fora de tensão.

Estes trabalhos, assim como os TET, são dotados de medidas de segurança essenciais, para garantir a proteção tanto de trabalhadores como dos equipamentos nas proximidades da zona de trabalho. Também só são postos em prática por pessoas qualificadas e devidamente equipadas, respeitando certas regras [7]:

- Isolar eletricamente o aparelho em causa de todas as possíveis fontes de tensão;
- Impossibilitar a religação de todos os equipamentos de corte ou seccionamento, bloqueando-os na sua posição de abertura, ou adotar medidas preventivas, quando isso não é possível;
- Certificar que o aparelho não se encontra em tensão, depois de ser colocado fora de tensão;
- Ligar o seccionador à terra e em curto-circuito.

Ao respeitar estas regras, é quase totalmente garantida a proteção dos trabalhadores ao risco elétrico e às suas consequências.

4.3. Resumo

Este capítulo inicia-se demonstrando como se deve proceder à manutenção minuciosa de um seccionador e dos seus acessórios. Depois é explicada a forma como esta manutenção pode ser efetuada recorrendo aos TET ou aos TFT, sendo que ambos necessitam de pessoal qualificado e devidamente equipado.

Ainda se pode salientar que os TET podem ser executados por vários métodos diferentes, nomeadamente método à distância, método por contacto, método ao potencial e método global.

Capítulo 5

Laboratório de Alta Tensão

Neste capítulo é pretendido realizar uma descrição do Laboratório de Alta Tensão. Serão apresentadas a sua constituição, as características de segurança e o equipamento existente no LAT. Este capítulo é importante, visto que um dos objetivos desta dissertação passou pela realização de ensaios dielétricos nestas instalações.

Na estrutura do LAT serão analisados os seguintes parâmetros:

- Constituição;
- Medidas de segurança passivas;
- Medidas de segurança ativas.

Em relação aos equipamentos existentes no LAT estes serão divididos em dois grupos:

- Equipamento utilizado para ensaios à frequência industrial;
- Equipamento utilizado para ensaios ao choque.

5.1. Constituição

O Laboratório de Alta Tensão é composto por uma área aproximada de 147 m² com pé direito de 11 m de altura para disposição dos equipamentos e uma sala de operação onde estes são comandados. O pé direito útil da sala de ensaios foi aumentado de forma a garantir as distâncias de segurança para as tensões máximas de saída dos equipamentos. Este processo consistiu na colocação de vigas metálicas devidamente interligadas com a estrutura de betão e revestimento para a formação de telhado através de chapas metálicas.

A sala de ensaios pode ser subdividida em 4 partes principais, como observável na Figura 5.1:

- Quadrante de sistema de choque;

- Quadrante de sistema de frequência industrial;
- Entrada, onde se encontra o equipamento de ensaios à chuva e as esferas de calibração;
- Material de TET, reserva, armazenamento.

Possui ainda uma sala de comando com acesso à sala de ensaios, e uma sala de observação colocada diretamente por cima da primeira. A sala de comando dispõe dos equipamentos de controlo e medição para os sistemas presentes na sala de ensaio, bem como o quadro elétrico com os mecanismos de acionamento e proteção.

O acesso à sala de ensaios do LAT é feita através de um portão com 5 m.



Figura 5.1 - Planta do LAT e disposição do equipamento

5.2. Medidas de segurança passivas

Para garantir a segurança necessária durante a realização dos ensaios foi necessário realizar um revestimento parcial da estrutura do LAT. As suas paredes têm uma altura de aproximadamente 11 m e são constituídas por betão até aos 8 m, sendo a restante parte constituída por uma estrutura metálica.

A construção da gaiola de Faraday, em particular, consistiu na colocação de chapas metálicas zincadas com espessura de 1.5 mm em todas as paredes do edifício e no pavimento (espessura de 2.5 mm), as quais se encontram todas eletricamente interligadas, quer por soldadura, quer por tranças metálicas, de forma a escoar as cargas elétricas que se formam durante os ensaios [8]. Para garantir a equipotencialização de todas as partes, existe um barramento em anel de cobre de secção de 5x50 mm em torno do edifício, o qual se encontra ligado à terra através de 3 pontos:

- Ligação às fundações metálicas do edifício, com uma impedância de aproximadamente 0.7 ohms (medição em mês de Verão) (Figura 5.2 a));

- Ligação exclusiva à terra exterior ao edifício com eletrodo simples (Figura 5.2 b));
- Ligação à terra do posto de transformação que alimenta o laboratório (Figura 5.2 c)).

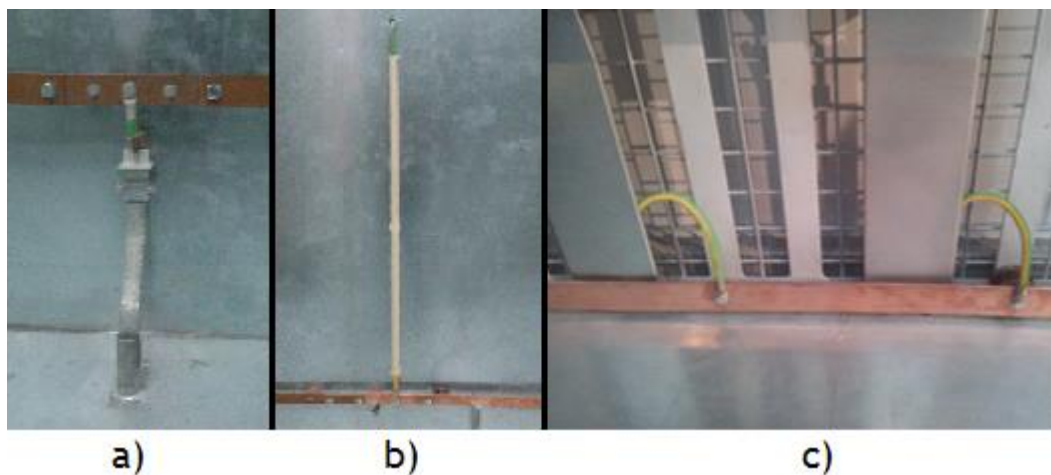


Figura 5.2 - Terras da sala de ensaio

A interligação das chapas metálicas ao anel de cobre é garantida por várias tranças metálicas equidistantes e centradas com cada coluna de chapas. Além disso, garante-se uma interligação de todas as partes metálicas pela parte superior da gaiola por um outro anel em fio de cobre de 10 mm², o qual está conectado ao anel principal por 4 baixadas (Figura 5.3 a)). O anel principal encontra-se a uma altura de 20 cm do pavimento, fixado às chapas metálicas por isoladores orgânicos, exceto na travessa da porta para a sala de comando, onde o mesmo assenta no pavimento e é isolado por uma tinta especial para o efeito (Figura 5.3 b)) [8]. Outro aspeto a ter em conta é a existência de locais devidamente concebidos na estrutura, para permitir a ligação de terras dos diferentes equipamentos e das estruturas para implementar os diferentes esquemas de ensaio [9].



Figura 5.3 - Interligações ao barramento principal

Por sua vez, a estrutura metálica superior do LAT foi conectada ao anel superior em vários pontos da sala de ensaios, de forma a garantir que as cargas elétricas induzidas pelo campo elétrico durante o ensaio, ou durante a descarga disruptiva, sejam devidamente escoadas [9].



Figura 5.4 - Ligação das partes metálicas superiores à terra através de tranças

A continuidade da gaiola de Faraday da entrada para a sala de comando é assegurada através do uso de uma malha metálica com espaçamentos de 5x5 cm, e é diretamente ligada ao barramento de cobre através de trança metálica. Da mesma forma, o portão para acesso ao exterior é igualmente revestido por essa malha e as ligações à terra são asseguradas pelos rolamentos. Portanto, há um isolamento elétrico da sala de ensaios para o exterior assegurado pelo revestimento metálico de todo o perímetro. Estas medidas de segurança são aspetos passivos, mas fundamentais para a realização de ensaios. Além disso, é necessário garantir distâncias de segurança entre pontos com diferentes potenciais para evitar descargas disruptivas indesejadas. As dimensões do laboratório não permitem manter as distâncias de segurança se os equipamentos de ambos os ensaios forem mantidos no local onde são colocados aquando da sua utilização para realização de ensaios. Assim sendo, quando um sistema é usado, o outro é recolhido o máximo possível ao respetivo canto e curto-circuitado. Por exemplo, o ensaio à capacidade máxima do transformador, 600 kV, requer a sua movimentação para o centro do laboratório a uma distância mínima de 2.4 m de qualquer objeto com outro potencial e recolha do gerador de choque. O transformador, gerador de choque e divisor de frequência requerem uma distância mínima de pelo menos 2.4 m de qualquer objeto com diferente potencial [8].

5.3. Medidas de segurança ativas

As medidas de segurança ativas surgem essencialmente para impossibilitar que os utilizadores possam tomar ações que os coloquem em perigo, como por exemplo, a entrada destes na sala de ensaios no decurso de um teste. Outra razão para a existência destas medidas,

deve-se à limitação física do LAT que apenas permite a ocorrência de um tipo de ensaio de cada vez. Caso seja realizado um ensaio à frequência industrial ou o ensaio ao choque, existem distâncias mínimas de proteção entre equipamentos que não permitem que sejam realizados em simultâneo. Na Figura 5.5, apresenta-se o gráfico que relaciona a tensão de pico aplicada com a distância mínima, permitindo obter as distâncias necessárias entre o objeto e as estruturas energizadas ou ligadas à terra. A distância ao solo depende dos diferentes objetos a ensaiar, sendo descritas nos documentos normativos correspondentes. [12]

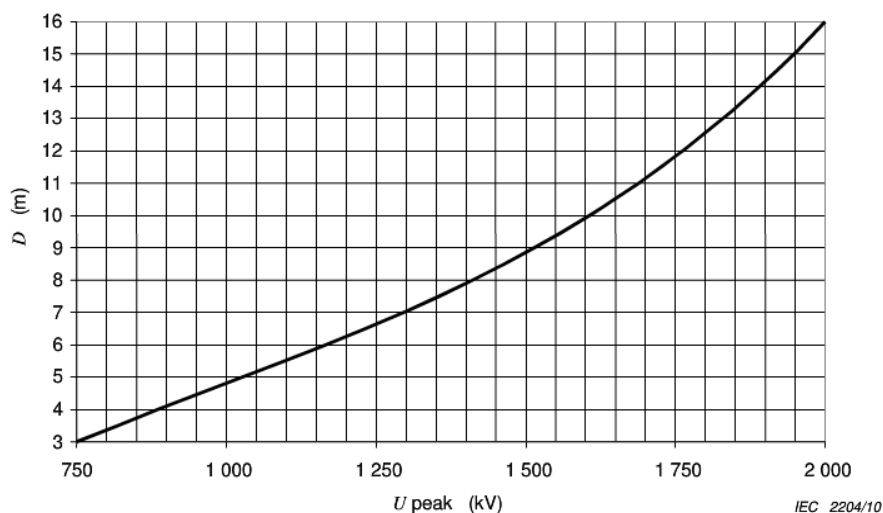


Figura 5.5 - Gráfico que permite obter a distância mínima D necessária para obter os diferentes níveis de tensão

Para aplicar a capacidade máxima do transformador seria necessário um espaçamento em redor deste, de pelo menos 2.4 m em torno do seu divisor de tensão e em relação a qualquer parede. Quanto ao gerador de choque, as distâncias obrigatórias seriam de 4 m em relação ao seu divisor de tensão e de 2.4 m a outros objetos em redor ao gerador. Estas distâncias mínimas são necessárias para evitar o aparecimento de descargas disruptivas entre pontos que estejam a potenciais diferentes. Deste modo, quando se procede à utilização de um dos sistemas de ensaio, é fundamental inutilizar os restantes equipamentos.

A implementação destas medidas de segurança é feita no quadro de comando, pela ação de contactores e relés, os quais se encontram associados através de condições lógicas. Uma das medidas a salientar, consiste na interrupção da alimentação dos equipamentos, caso ocorra a abertura da gaiola de Faraday, ou seja, a abertura da porta ou portão que dão acesso à sala de ensaio, durante a realização de um ensaio, devido à ação dos sensores de fecho.

Na Figura 5.6, está representado o quadro de comando, o qual se encontra dividido em três níveis de segurança.

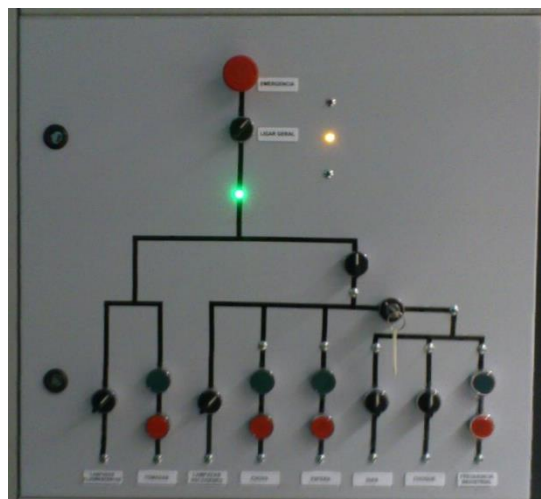


Figura 5.6 - Quadro de comando

O primeiro nível, que consiste no nível com menor grau de segurança, desbloqueia a utilização da iluminação fluorescente existente no topo do LAT e das tomadas da sala de ensaio. Neste nível de segurança, os sensores de fecho ainda não estão ativos, o que permite que tanto o portão de entrada como a porta que dão acesso à sala de ensaios se encontrem abertos.

O segundo nível de segurança já se encontra sujeito à condição de fecho do portão de acesso e acionamento de um interruptor sem retenção. Neste nível já é possível realizar a alimentação de alguns equipamentos, nomeadamente: os projetores de halogénio, o comando do gerador de choque e o comando das esferas de calibração. É importante referir que para se proceder à alimentação do comando do gerador de choque é necessário transpor um subnível de segurança, o qual requer uma chave para se efetuar a sua ativação.

No último nível é garantido que a abertura do portão ou porta de divisão interrompe imediatamente o ensaio de alta tensão através do corte de alimentação tanto ao gerador de choque como ao transformador de frequência industrial. Existe também um encravamento mecânico entre a alimentação desses equipamentos, ou seja, enquanto um deles está ativo o acionamento do outro no quadro de controlo não leva a qualquer ação. Só neste nível é que se torna possível a alimentação do transformador e do gerador de choque, permitindo desta forma a realização dos ensaios de alta tensão.

5.4. Equipamento de ensaio à frequência industrial

O sistema para realização de ensaio à frequência industrial é composto por quatro unidades, nomeadamente: o transformador, o divisor de tensão, o regulador e o controlador.

O transformador é constituído pelo acoplamento vertical de duas unidades da marca Phenix, visível na Figura 5.7, cada uma com capacidade de produzir 300 kV, totalizando uma tensão máxima de saída de 600 kV. Estes encontram-se interligados e em caso de necessidade pode-se utilizar apenas um módulo e realizar ensaios até 300 kV. Para além da tensão, outro

parâmetro de saída, que é necessário realçar é o valor da corrente, o qual tem uma intensidade de 0.5 A para os 600 kV.



Figura 5.7 - Transformador existente no LAT

Ligado ao transformador encontra-se o divisor de tensão, Figura 5.8, que tem a função de diminuir o nível de tensão aplicada pelo transformador para assim se proceder a uma medição segura. Este equipamento apresenta uma potência de 23kVA e uma capacidade ao nível dos seus condensadores de 200 pF, quando sujeito a uma tensão de 600kV e a uma frequência de 50Hz,



Figura 5.8 - Divisor de tensão do transformador

Na Figura 5.9 a), encontra-se o regulador, de onde sai a alimentação do transformador, sendo o seu funcionamento semelhante ao de um autotransformador. Já na Figura 5.9 b), é possível observar o controlador, o qual é usado pelo operador para controlar o regulador.



Figura 5.9 - Regulador e aparelho de comando respectivamente

Também associado ao sistema para ensaios à frequência industrial estão as esferas de calibração, Figura 5.10, as quais têm como objetivo, tal como o próprio nome indica, a calibração dos valores registados pelo voltímetro do controlador. Este equipamento é constituídas por duas esferas principais de cobre com um diâmetro de 75 cm.

A esfera inferior está acoplada a um equipamento, composto por um mecanismo de deslocamento ativado através de um motor, que permite realizar deslocações verticais precisas na ordem dos milímetros. A esfera superior encontra-se acoplada a uma semiesfera de alumínio que se encontra suspensa.



Figura 5.10 - Esferas de calibração

5.4.1. Ensaio à frequência industrial

A norma IEC 60060-1 [12] exige que a onda de tensão aplicada ao objeto em ensaio seja aproximadamente sinusoidal, com uma diferença máxima entre o valor máximo positivo e o valor máximo negativo menor que 2%. A aplicação da tensão deve começar com magnitude baixa, por forma a prevenir a ocorrência de transitórios de valor elevado devido à comutação de circuitos. A ascensão desde o valor inicial deve ser lenta para permitir a leitura dos instrumentos de medição, mas não de tal forma lenta que provoque o aumento prolongado da solicitação elétrica estipulada no objeto de ensaio. De forma geral, esta condição é alcançada pela elevação de 2% da tensão estipulada para o ensaio por segundo após ultrapassar os 75% desse valor. O tipo de ensaio efetuado pode ser do tipo:

- **Teste de resistência à tensão estipulada** – em que se pretende verificar se o equipamento a ensaiar é capaz de resistir a uma tensão estipulada, a qual deve ser elevada segundo as condições anteriores e mantida no valor nominal durante 60 segundos. O objeto é aprovado caso não ocorram descargas disruptivas durante esse período de tempo. Após esse tempo, a tensão deve ser diminuída rapidamente, mas não subitamente para não originar transitórios que podem levar à descarga e danificação do objeto.
- **Teste com descarga disruptiva** – pretende-se achar o valor de tensão aproximado que origina a descarga disruptiva no objeto de ensaio. Deve-se aumentar a tensão de forma continua até que ocorra a descarga pelo objeto. Este procedimento deve ser repetido tantas vezes quantas o regulamento do objeto o indicar, e as medidas devem ser tratadas de forma estatística, tal como indicado no Anexo A da publicação IEC 60060-1 ou na norma regente do objeto de estudo.

5.5. Equipamento de ensaio ao choque

Para se efetuar os ensaios ao choque, o LAT está equipado com um gerador de choque da marca Haefely, com uma tensão máxima de 1200 kV e é composto por cinco elementos distintos, nomeadamente, a torre de gerador de impulsos, a unidade de alimentação da torre, o divisor de tensão, a unidade de comando e a unidade de análise.

A torre de gerador de impulso, Figura 5.11, é composta por doze andares, sendo que cada um tem a capacidade de acumular até 100 kV, através de um condensador de 75 mF. Por andar existe a possibilidade de colocar três resistências, uma resistência de carga e duas resistências de paralelo, as quais apresentam valores diferentes com o intuito de controlar a forma de onda aplicada. Existem também, em cada andar, duas esferas de descarga, denominadas explosores, utilizadas para realizar as descargas de cada andar. No topo da torre existe ainda uma resistência que faz a ligação entre a torre e o divisor de tensão.



Figura 5.11 - Gerador de choque

Tal como no caso do sistema de ensaio à frequência industrial, existe um divisor de tensão que tem o objetivo de medir a tensão a que ocorre a descarga. O modelo em causa apresenta uma capacidade ao nível dos seus condensadores internos de 1200 pF, Figura 5.12.



Figura 5.12 - Divisor de tensão do gerador de choque

O equipamento que realiza a alimentação da torre, é uma unidade de retificação que é responsável pela geração de alta tensão e, consequentemente, pelo carregamento dos condensadores da torre. Esta unidade é alimentada através do quadro de comando do LAT.



Figura 5.13 - Unidade de alimentação

A unidade de controlo deste equipamento, visível na Figura 5.14 à esquerda, permite estipular a tensão de ensaio pretendida, assim como definir o tempo de carregamento dos condensadores. Esta transmite a informação à unidade de alimentação de forma a ativar o carregamento dos condensadores e a comandar o momento de disparo, que pode ser automático ou manual.

Por fim, a unidade de análise, denominada Sistema Digital de Análise do Impulso (D.I.A.S.), apresentada na Figura 5.14 à direita, permite realizar a análise dos valores obtidos através do divisor de tensão, nomeadamente o valor da tensão máxima, o valor dos tempos de frente e de cauda, a forma de onda da tensão, entre outros parâmetros. É de salientar também que a alteração dos valores da tensão na unidade de controlo faz com que o D.I.A.S. regule um mecanismo existente na torre, que faz alterar as distâncias entre as esferas explosoras de cada um dos andares.



Figura 5.14 - Unidade de comando e D.I.A.S.

5.5.1. Ensaio ao choque

A onda de saída tem o intuito de reproduzir o comportamento de uma descarga atmosférica por forma a avaliar o comportamento dos equipamentos a esta ocorrência natural, ou a forma de uma onda de sobretensão com origem em manobras de seccionamento de um circuito do sistema elétrico. A norma IEC 60060-1 define a tensão de impulso como um transitório aperiódico, intencional, que cresce rapidamente até ao seu valor de pico e decresce de forma lenta para o valor nulo. A onda de impulso completa é decomposta em:

- **Tempo de Frente (T_1)** – parâmetro virtual definido pelo intervalo de tempo entre 30% e 90% do valor de pico da onda obtida durante o ensaio, pontos A e B da Figura 5.15 respetivamente. A linearização da curva entre esses pontos permite obter a origem virtual da onda (O_1) e o tempo médio de subida da tensão. Para tempos de subida inferiores a 20 μs considera-se uma onda de choque atmosférico e para tempos de subida iguais ou superiores a 20 μs considera-se uma onda de sobretensão de manobra.
- **Tempo de Cauda (T_2)** – parâmetro definido pelo tempo entre a origem virtual (O_1) e o ponto onde a tensão atinge 50% do valor máximo registado.

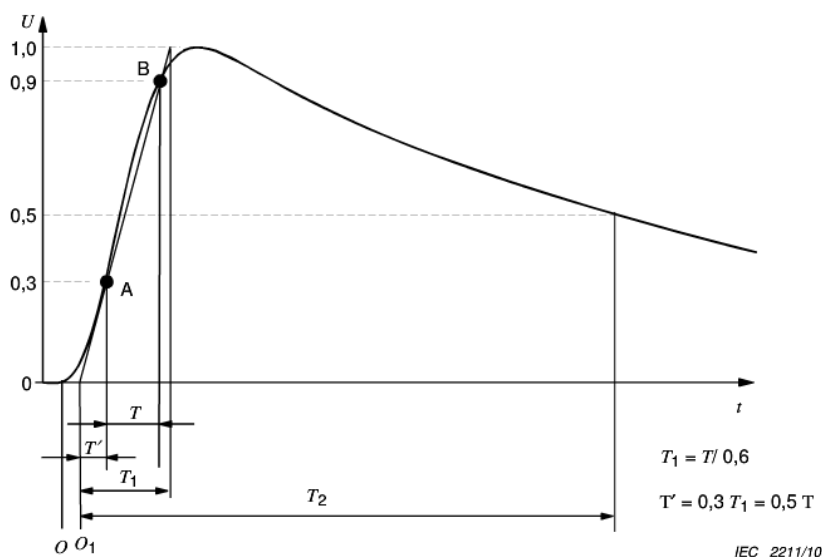


Figura 5.15 - Onda de impulso completa com definição do tempo de subida (T_1), tempo de cauda (T_2) e origem virtual (O_1) [12]

Por definição, uma onda de choque atmosférico possui um tempo de frente de 1,2 μs e tempo de cauda de 50 μs , sendo esta vulgarmente representada por 1,2/50 μs . Por sua vez, uma sobretensão de manobra possui declives mais lentos e define-se por uma forma de 250/2500 μs .

A forma da onda aplicada ao objeto de ensaio é alcançada através do dimensionamento das resistências em paralelo e em série do gerador de choque. O tempo de frente é controlado pelas resistências em série, enquanto o tempo de cauda é manipulado pelas resistências em paralelo. A norma internacional contempla tolerâncias entre os valores especificados para impulsos normalizados e os valores calculados pela curva de tensão de ensaio de:

Tabela 5.1 - Tolerâncias permitidas entre os valores especificados e valores obtidos [12]

	Choque Atmosférico	Sobretensão de Manobra
Valor de tensão de teste	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Tempo de Frente	$\pm 30\%$	$\pm 20\%$
Tempo de Cauda	$\pm 20\%$	$\pm 60\%$

Caso não se verifique uma descarga disruptiva no equipamento ensaiado após aplicação de tensão, o impulso obtido tem a forma completa, ou seja, verifica-se nitidamente os valores de frente e cauda segundo o dimensionamento efetuado. No entanto, se ocorrer disrupção, resulta uma onda de impulso cortada, isto é, há um colapso rápido da tensão para valores praticamente nulos. O colapso da onda pode ocorrer durante a ascensão do valor de tensão, no valor máximo ou já na cauda da mesma. Nesta situação define-se tempo de corte (T_C) como o intervalo entre a origem virtual e o momento de corte, que por sua vez é determinado pela interseção do valor máximo de tensão obtido com a linearização dos pontos de 70% (ponto C) e 10% (ponto D) dessa tensão máxima. Na Figura 5.16. está representada uma frente de onda cortada e exemplifica a determinação do tempo de corte.

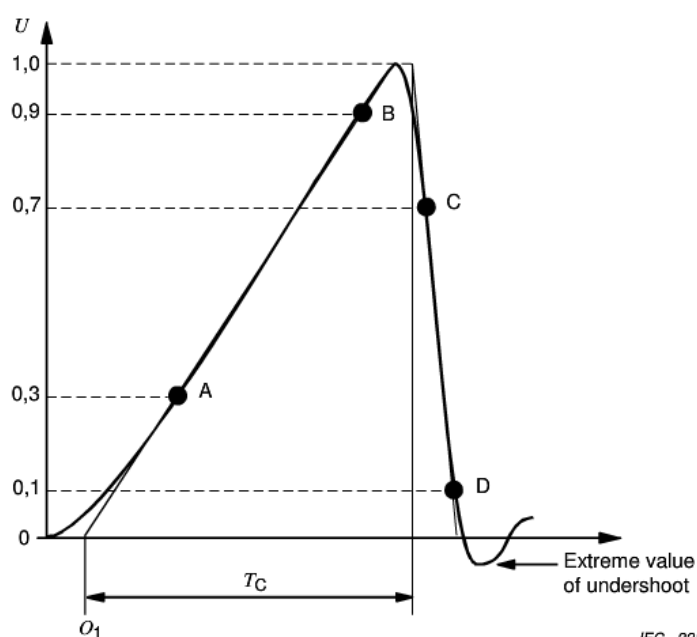


Figura 5.16 - Onda de impulso cortada na frente e determinação do tempo de corte [12]

5.6. Resumo

Na utilização das instalações do LAT torna-se essencial ter um conhecimento sobre as medidas de segurança existentes, de forma a poder comandar corretamente o equipamento e proceder às diferentes tarefas/ensaios com todas as precauções necessárias que um trabalho que envolva alta tensão obriga.

Para além do conhecimento destas medidas é necessário ter em especial atenção as condicionantes normativas para a realização dos ensaios, nomeadamente as existentes na norma IEC 60060-1, relativas às distâncias necessárias entre equipamentos em função da tensão.

Por fim, tendo em conta os equipamentos existentes no LAT e as suas características, é possível constatar que se pode ensaiar a maioria dos aparelhos de manobra, nomeadamente os seccionadores, para valores de tensão máxima próximos de 220 kV.

Capítulo 6

Ensaaios Dielétricos

Este capítulo tem o objetivo de realizar a demonstração da implementação dos ensaios dielétricos no LAT ao objeto em estudo, Seccionador Tripolar de Exterior ICLG [1] da Jayme da Costa, com o intuito de validar as suas características e consequentemente dotar o LAT de conhecimento para este tipo de ensaios. Posto isto, serão apresentados e explicados os ensaios realizados para seccionadores, assim como as condições criadas para cumprir os requisitos normativos, nomeadamente os esquemas e montagem do equipamento para a realização dos ensaios.

Os testes foram efetuados seguindo as linhas de conduta expressas pela normas IEC regentes para este tipo de atividade, nomeadamente a IEC 60060-1 [12], que especifica que ensaios executar e como, a IEC 60694 [13] e a IEC 62271-102 [15], que definem as especificações padrão para aparelhos de manobra, sendo a última apenas para seccionadores de C.A., de modo a assegurar a maior precisão na definição da capacidade dielétrica. É importante também ensaiar todos os seccionadores para aplicações exteriores, como é o caso do objeto de estudo, sobre condições de chuva à frequência industrial, porém, não é possível realizar este tipo análise no LAT, uma vez que o equipamento para esse propósito ainda não está operacional.

Para verificar a precisão do equipamento de medição do sistema de frequência industrial foi testada a correspondência entre a tensão de pico aplicada e o espaçamento predefinido entre duas esferas condutoras de 75 cm de diâmetro, sendo possível concluir-se que o equipamento se encontrava dentro da tolerância de 3%. Essa relação entre o espaçamento das esferas e a tensão que provoca o escorvamento, bem como a tolerância admitida, é estabelecida pela publicação IEC 60052 [14].

6.1. Montagens realizadas

As montagens necessárias à realização dos ensaios ao seccionador tiverem em conta os parâmetros definidos na norma internacional IEC 60694 para o caso de seccionadores em sistemas de corrente alternada, quando se trata dos ensaios à frequência industrial.

Para a implementação dos ensaios no LAT foi necessário criar uma estrutura para suporte do seccionador sobre o chão, composta por seis isoladores, posicionados por baixo de cada terminal de forma a conferir uma maior estabilidade. Para além da função de suporte, a principal função destes isoladores de araldite é permitir efetuar o isolamento, entre o chassis do seccionador e o chão, para um nível de tensão de 100 kV, de forma a garantir que a descarga disruptiva não ocorra para o pavimento em chapa metálica.

As configurações das montagens realizadas para cada zona de isolamento a serem testadas servem tanto para os ensaios ao choque atmosférico como para os ensaios à frequência industrial. Graças às dimensões dos pólos e a distância entre eles serem iguais, só é necessário fazer os ensaios num pólo.

Como abordado no Capítulo 2, num seccionador existem três zonas de isolamento distintas a que se tem de ter atenção aquando dos ensaios dielétricos. Para cada zona de isolamento foi necessário fazer as ligações corretas para a implementação dos ensaios e ter em conta que o aparelho tem de estar na sua posição de abertura. De acordo com a norma IEC 60060-1, no caso geral, ambos os tipos de ensaios dielétricos são efetuados com recurso a duas fontes de tensão, mas como o sistema de teste do LAT é de apenas uma fonte de tensão para cada tipo de ensaio, recorreu-se ao método alternativo que também se encontra contemplado na norma, que apenas necessita de uma fonte de tensão.

Nas Figuras 6.1, 6.2 e 6.3, é possível verificar as ligações efetuadas, assim como a estrutura usada para suportar o seccionador.



Figura 6.1 - Montagem para o ensaio fase-terra

Para se proceder aos ensaios de verificação do isolamento fase-terra foi necessário aplicar a tensão de teste num dos terminais do seccionador e ligar o chassis à terra, de acordo com a publicação IEC 60694. Na Figura 6.1, é possível visualizar as ligações efetuadas para os ensaios fase-terra, assim como um exemplo de um dos isoladores usados para suporte e isolamento em relação ao pavimento.



Figura 6.2 - Montagem para os ensaios de distância de isolamento

Por sua vez, a montagem para os ensaios de verificação do isolamento através da distância de isolamento requer que a tensão seja aplicada num terminal, como na montagem anterior, mas neste caso, tanto o chassis como o terminal oposto têm de ser ligados à terra.



Figura 6.3 - Montagem para o ensaio entre pólos

Quanto à montagem para os ensaios de verificação do isolamento entre pólos a aplicação da tensão é feita num terminal de um dos pólos e a ligação à terra é feita num dos terminais do mesmo lado de um dos pólos adjacentes, como ilustra a Figura 6.3. Na mesma figura, é também possível observar que foi feito um reforço no isolamento de suporte, colocando por cima de cada isolador de suporte um isolador adicional, devido à maior tensão de teste aplicada neste ensaio.

6.2. Procedimentos

Os procedimentos para executar os ensaios ao seccionador em estudo tiveram em consideração os requisitos exigidos pelas publicações IEC 60060-1, IEC 60694 e IEC 62271-102 para os ensaios dielétricos, os quais já foram abordados no Capítulo 5.

6.2.1. Condições atmosféricas

No momento da realização dos ensaios é necessário ter em conta que existem parâmetros atmosféricos normativos e caso estes não se verifiquem, será preciso recorrer a fatores de correção, para fazer o acerto de todos os valores da tensão registados. Os parâmetros de referência indicados são os seguintes [12]:

- Temperatura de referência - $t_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Pressão atmosférica absoluta - $p_0 = 1013\text{ mbar}$

- Humidade absoluta - $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$

Para o cálculo desses fatores de correção da temperatura, pressão atmosférica e humidade é necessário recorrer a extensas equações matemáticas, presentes na norma IEC 60060-1. Aquando do ensaio, a tensão de disrupção obtida é retificada para o valor equivalente sob os valores padrões t_0 , p_0 e h_0 a partir da sua divisão pelo fator de correção atmosférico k_t :

$$U_0 = U / K_t \quad (6.1)$$

$$k_t = k_1 k_2 \quad (6.2)$$

Na equação 6.2, o coeficiente k_1 efetua a correção da densidade do ar, que depende da densidade relativa δ e de um coeficiente m . Na expressão para o cálculo da densidade relativa, p é o valor de pressão atmosférica medida em hPa e t a temperatura registada em graus Celsius na altura do ensaio. Já o coeficiente m assume o valor unitário, para aparelhos de manobra com uma tensão inferior ou igual a 52 kV.

$$k_1 = \delta^m \quad (6.3)$$

$$\delta = \frac{p}{p_0} \times \frac{273+t_0}{273+t} \quad (6.4)$$

Por sua vez, k_2 representa o fator de correção da humidade do ar, e obtém-se a partir do parâmetro calculado k elevado ao coeficiente w , sendo este último assumido dependendo do valor de humidade absoluta. O valor k é definido pela equação 6.7, no caso do ensaio à frequência industrial em C.A., ou pela equação 6.8, no caso do ensaio à onda de impulso.

$$k_2 = k^w \quad (6.5)$$

$$\begin{cases} w = 0, & \text{para } h > 11 \text{ g/m}^3 \\ w = 1, & \text{para } h < 11 \text{ g/m}^3 \end{cases} \quad (6.6)$$

$$k = 1 + 0,012 \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right), \text{ para } 1 \text{ g/m}^3 < \frac{h}{\delta} < 15 \text{ g/m}^3 \quad (6.7)$$

$$k = 1 + 0,010 \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right), \text{ para } 1 \text{ g/m}^3 < \frac{h}{\delta} < 20 \text{ g/m}^3 \quad (6.8)$$

Quanto às medições de temperatura, pressão atmosférica e humidade, o LAT dispõe de aparelhos para as realizar, com a particularidade de que apresentam a leitura da humidade relativa, ou seja, em valores percentuais, pelo que é necessário calcular o seu valor absoluto através da seguinte relação:

$$h = \frac{6,11 \times h\% \times e^{\frac{17,6 \times t}{246+t}}}{0,4615 \times (273 + t)} \quad (6.9)$$

O seccionador foi mantido no interior das instalações do LAT, de forma a garantir a estabilidade térmica deste, para assim evitar condensação na superfície do mesmo.

6.2.2. Ensaio à frequência industrial

Recorrendo às normas IEC 60694 e IEC 62271-102, é possível retirar que para efetuar a verificação do isolamento do seccionador é necessária a execução de apenas um ensaio por cada zona de isolamento. Como critério para passar o ensaio, não pode ocorrer nenhuma descarga disruptiva.

Na Tabela 6.1 são apresentados as condições atmosféricas e os coeficientes de correção dos valores de tensão obtidos durante a realização dos ensaios à frequência industrial dos equipamentos em causa.

Tabela 6.1 - Dados da medição das condições atmosféricas e resultados dos coeficientes para os ensaios à frequência industrial

	Ensaio		
	Distância de Isolamento	Fase-Terra	Entre Pólos
Temperatura (t)	13,6	12,6	12,8
Humidade relativa (h%)	63	56	62
Humidade absoluta (h)	7,40	6,18	6,93
Pressão absoluta (p)	1002	1003	1002
Pressão relativa (δ)	1,01123	1,01578	1,01406
Coeficiente k	0,95578	0,94103	0,95000
Coeficiente m	1	1	1
Coeficiente w	1	1	1
K ₁	1,01123	1,01578	1,01406
K ₂	0,95578	0,94103	0,95000
K _t	0,967	0,956	0,963

Para o ensaio para verificação do isolamento através da distância de isolamento, a tensão foi elevada de forma constante a um ritmo de aproximadamente 1,4 kV/s, enquanto para os restantes a tensão foi elevada também a um ritmo constante, mas inferior, sendo este na ordem dos 1,2 kV/s.

Tabela 6.2 - Medições e resultados obtidos para ensaios à frequência industrial

	Ensaio		
	Distância de Isolamento	Fase-Terra	Entre Pólos
Tensão estipulada (kV)	80	70	70
Tensão corrigida (kV)	82,8	73,2	72,7
Duração (s)	58,6	56,3	59,2
Resultado	Não contornou	Não contornou	Não contornou

Já na Tabela 6.2 são disponibilizados os valores de tensão aplicados no ensaio e consequente normalização em função do valor de correção atmosférica calculado. São apresentados, também, os resultados e durações da exposição de cada zona de isolamento do seccionador a solicitações dielétricas contínuas, sendo que em todos os ensaios não ocorreu contornamento.

6.2.3. Ensaio ao choque atmosférico

As normas IEC 60694 e IEC 62271-102 ditam que a realização dos ensaios ao choque atmosférico em condições secas ou húmidas em seccionadores têm de seguir o procedimento B ou C explicado na norma IEC 60060-1. Os ensaios foram realizados recorrendo ao procedimento B devido a este ser um processo mais completo, o qual consiste na realização de um total de 15 impulsos para ambas as polaridades da tensão. Considera-se que o objeto testado passou no ensaio se o número de descargas disruptivas no ar, ou seja, escorvamentos ou contornamentos, não exceder as 2 por cada série de 15 impulsos e se não ocorrer nenhuma perfuração nos isoladores.

Entre ensaios foi realizado um intervalo de, pelo menos, 1 minuto, de forma a garantir que os valores obtidos não fossem afetados pelos ensaios anteriores.

Na Tabela 6.3 são expostos as condições atmosféricas e os coeficientes necessários à normalização dos vários valores de tensão obtidos, sendo neste caso, relativos à realização dos ensaios de choque atmosférico para cada zona de isolamento do seccionador.

Tabela 6.3 - Dados da medição das condições atmosféricas e resultados dos coeficientes para os ensaios ao choque atmosférico

	Ensaio					
	Distância de Isolamento		Fase-Terra		Entre Pólos	
	Pol. +	Pol. -	Pol. +	Pol. -	Pol. +	Pol. -
Temperatura (t)	12	11	12,3	13	10,8	11,6
Humidade relativa (h%)	40	40	48	47	80	76
Humidade absoluta (h)	4,25	4,00	5,20	5,32	7,89	7,88
Pressão absoluta (p)	1009	1011	1004	1004	1008	1007
Pressão relativa (δ)	1,02401	1,02965	1,01786	1,01537	1,02732	1,02342
Coeficiente k	0,93154	0,92881	0,94109	0,94238	0,96682	0,96703
Coeficiente m	1	1	1	1	1	1
Coeficiente w	1	1	1	1	1	1
K ₁	1,02401	1,02965	1,01786	1,01537	1,02732	1,02342
K ₂	0,93154	0,92881	0,94109	0,94238	0,96682	0,96703
K _t	0,954	0,956	0,958	0,957	0,993	0,990

Na Tabela 6.4 são disponibilizados os valores de tensão de polaridade negativa obtidos para ensaios ao choque, em tudo semelhantes aos valores para tensões de polaridade positiva, e consequente normalização em função do valor de correção atmosférica calculado.

Já na Tabela 6.5, estão representadas as tolerâncias para os valores de onda permitidos pela norma IEC 60060-1.

Tabela 6.4 - Valores de tensão registados (U) para os ensaios realizados às diferentes zonas de isolamento e respetivas correções para as condições atmosféricas normalizadas (U₀), em kV

Nº de ensaio	Ensaio					
	Distância de Isolamento		Fase-Terra		Entre Pólos	
	U	U ₀	U	U ₀	U	U ₀
1	196,9	206,4	171,3	179,0	171,4	172,6
2	195,4	204,8	171,4	179,1	170,6	171,8
3	195,0	204,4	172,3	180,1	170,0	171,2
4	196,5	206,0	170,8	178,5	171,1	172,3
5	195,0	204,4	170,2	177,9	170,8	172,0

6	195,4	204,8	172,9	180,7	170,2	171,4
7	194,9	204,3	173,0	180,8	172,9	174,1
8	195,8	205,3	171,2	178,9	171,2	172,4
9	195,8	205,3	171,2	178,9	171,4	172,6
10	196,2	205,7	170,6	178,3	172,3	173,5
11	195,2	204,6	170,2	177,9	171,6	172,8
12	194,8	204,2	171,1	178,8	171,7	172,9
13	196,1	205,6	171,6	179,3	173,9	174,1
14	195,3	204,7	171,9	179,6	171,2	172,4
15	196,4	205,9	171,6	179,3	172,8	172,8

Tabela 6.5 - Valores limite para os tempos de onda e para as tensões de teste

0,84	$< t_{\text{frente}} (\mu\text{s}) <$	1,56
40	$< t_{\text{cauda}} (\mu\text{s}) <$	60
157,14	$< V_{\text{teste}} (\text{kV}) <$	166,86
189,15	$< V_{\text{teste, dist. isolamento}} (\text{kV}) <$	200,85

Os valores limite dos tempos de onda registados foram de 1,03 μs e 1,09 μs , para o tempo de frente, e de 47,41 μs e 48,46 μs , para o tempo de cauda. Posto isto e analisando a Tabela 6.4, tendo em conta apenas os valores registados e não os corrigidos, e a Tabela 6.5 é possível aferir que todos os valores obtidos se encontram dentro das tolerâncias. Outro aspeto importante é que todos os ensaios tiveram um tempo de carregamento de 45 s, de forma a evitar esforços elétricos indesejáveis.

Em nenhum dos ensaios ao choque atmosférico ocorreu uma descarga disruptiva, o que permite concluir que o seccionador em estudo passou distintamente neste tipo de ensaios, o que é expectável visto que se encontra novo.

Na Figura 6.4, é observável no D.I.A.S. uma onda completa, ou seja, não ocorreu descarga disruptiva, com uma tensão de teste com polaridade negativa de 171 kV, com um tempo de frente de 1,07 μs e tempo de cauda de 47,44 μs .



Figura 6.4 - Exemplo de uma onda completa retirado do ecrã do D.I.A.S.

6.2.4. Ensaios para otimização do seccionador em estudo

Depois de conferir que o objeto em estudo está dimensionado para, pelo menos, suportar os níveis de tensão estipulada à onda de choque e à frequência industrial, é altura de testar o aparelho para determinar os valores das tensões máximas suportadas, de forma a aferir se este não se encontra sobredimensionado. Atualmente, este tipo de estudos são importantes para os fabricantes e os seus clientes, porque o bom dimensionamento dos aparelhos proporciona a transação destes a preços mais competitivos, sem prejudicar o seu funcionamento para as condições que foram construídos. Para isso, foram feitos novos ensaios dielétricos, agora com o propósito de registar os valores de tensão máximas suportadas, ou seja, os níveis máximos de tensão que o aparelho aguenta de forma a passar nos testes anteriormente realizados e apresentados nos pontos 6.2.2 e 6.2.3.

Um aspeto importante de referir para este capítulo, prende-se com o facto de que não foi possível realizar os ensaios de otimização à frequência industrial, devido a problemas de origem técnica no LAT.

Para a realização dos novos ensaios ao choque atmosférico foi tomada uma abordagem diferente da efetuada para os outros ensaios ao choque. Para achar a tensão de disrupção nas diferentes zonas de isolamento foi usado um tipo de ensaios, denominado por *up and down*.

Neste tipo de ensaios, m grupos aceites de esforços dielétricos com tensões essencialmente iguais são aplicados a vários níveis de tensão U_i . O nível de tensão para cada grupo sucessivo de esforços k_i é aumentado ou diminuído por uma pequena quantidade ΔU , de acordo com o resultado do grupo anterior.

Dois procedimentos são normalmente usados:

- Procedimento de tensão suportada, com o objetivo de encontrar níveis de tensão correspondentes a uma baixa probabilidade de ocorrer descargas disruptivas;
- Procedimento de tensão disruptiva, que acha os níveis de tensão correspondentes a uma elevada probabilidade de ocorrer descargas disruptivas.

No primeiro, o nível de tensão é aumentado por uma quantidade ΔU se nenhuma descarga disruptiva ocorrer em um grupo de n tensões aplicadas, caso contrário, o nível de tensão é diminuído pela mesma quantidade. No último procedimento, o nível de tensão é aumentado por uma quantidade ΔU logo que um teste for bem-sucedido, senão este só é diminuído pela mesma quantidade se todos os testes dentro do grupo de n tensões aplicadas provocarem descargas disruptivas.

Vários valores de n podem ser usados para achar os níveis de tensões com diferentes probabilidades de ocorrência de descarga disruptiva. Neste projeto procedeu-se à realização dos ensaios *up and down*, com $n=7$ e apenas se executaram os procedimentos de tensão suportada, de forma a obter o nível de tensão que corresponde a uma probabilidade de 10% de ocorrer uma descarga disruptiva. Desta forma, a tensão obtida rondará o valor máximo que o aparelho poderá suportar para passar nos ensaios ao choque.

Na Tabela 6.6, são apresentados as condições atmosféricas e os coeficientes de correção dos vários valores de tensão obtidos relativos à realização dos ensaios de choque atmosférico para estudo de otimização.

Tabela 6.6 - Dados da medição das condições atmosféricas e resultados dos coeficientes para os ensaios de otimização ao choque atmosférico

	Ensaio	
	Distância de Isolamento	Fase-Terra
Temperatura (t)	12,2	13
Humidade relativa (h%)	30	42
Humidade absoluta (h)	4,09	4,75
Pressão absoluta (p)	1010	1009
Pressão relativa (δ)	1,02431	1,02043
Coeficiente k	0,92995	0,93657
Coeficiente m	1	1
Coeficiente w	1	1
K_1	1,02431	1,02043
K_2	0,92995	0,93657
K_t	0,953	0,956

No Anexo A, encontram-se os resultados obtidos para os ensaios à terra e através da distância de isolamento, aquando da resolução dos ensaios *up and down*. Em relação aos ensaios entre pólos, foram efetuados vários ensaios com valores de tensão de impulso acima de 400 kV

e concluiu-se que não era necessário fazer ensaios *up and down*, visto tratarem-se de níveis de tensão suportada bastante elevados para o equipamento em estudo.

Tabela 6.7 - Valores de tensão obtidos com recurso aos ensaios *up and down*

	Ensaio Fase-Terra		Ensaio distância de isolamento	
	U (kV)	U ₀ (kV)	U (kV)	U ₀ (kV)
Grupo aceite 1	372,6	389,9	366	384,2
Grupo aceite 2	368,4	385,5	361,8	379,8
Grupo aceite 3	364,2	381,1	357,6	375,4
Grupo aceite 4	360,0	376,7	353,4	371,0
Grupo aceite 5	355,8	372,3	349,2	366,6
U ₁₀ (kV)	379,20		373,21	

Tabela 6.8 - Valores de tensão estipulada para ensaios ao choque atmosférico

Tensão da linha (kV)	Tensão estipulada	
	Valor comum (kV)	Distância de isolamento (kV)
36	170	195
52	250	290

Observando e comparando nas Tabelas 6.7 e 6.8, é possível verificar que os resultados alcançados são valores bastante mais elevados quando relacionados com as tensões estipuladas exigidas pelas normas internacionais para aparelhagem de redes de MT de 36 kV e até para aparelhagem de redes de 52 kV. Como dito anteriormente, não foi possível executar os ensaios de otimização à frequência industrial, no entanto, ao constatar este elevado sobredimensionamento no isolamento para ensaios ao choque atmosférico é bastante provável que o mesmo também se verifique para ensaios à frequência industrial.

Em parte este sobredimensionamento pode ser explicado devido à EDP apenas empregar aparelhagem nas suas redes de 36 kV que seja capaz de suportar tensões estipuladas à onda de choque na ordem dos 250 kV, o qual é o valor máximo mais provável, quando ocorre uma descarga atmosférica nestas linhas.

Através dos dados recolhidos pode-se ainda afirmar que se o seccionador for sujeito a ensaios ao choque com os valores de tensão estipulados para aparelhagem de 52 kV, este irá suportar esses valores de tensão e passar nos ensaios, o que viabiliza a sua utilização para linhas de 52 kV, embora se trate de um valor de tensão pouco comum em Portugal.

6.3. Resumo

No início deste capítulo, foram descritos os procedimentos tomados no LAT, com o objetivo de implementar os ensaios dielétricos necessários para a verificação do correto funcionamento do aparelho. Já na parte final do capítulo, foram descritos os procedimentos e apresentados os resultados obtidos para os ensaios de otimização do seccionador.

Em relação aos resultados obtidos nos diferentes ensaios, pode-se concluir que foram satisfatórios. Apesar de não ter ocorrido nenhuma não conformidade, isto é, de nenhum equipamento ter tido o seu ensaio dielétrico chumbado, os fenômenos ocorridos durante os diferentes ensaios confirmaram o que era esperado.

Neste capítulo não foram apresentados os ensaios de otimização à frequência industrial, visto que não foi possível a sua realização.

Capítulo 7

Conclusão

No presente capítulo são apresentadas numa primeira parte as conclusões e as considerações finais da presente dissertação e numa segunda parte são sugeridas possibilidades para trabalhos futuros.

7.1. Considerações finais

A presente dissertação teve como principal objetivo a realização de ensaios dielétricos ao objeto de estudo, o seccionador tripolar de exterior ICLG da empresa Jayme da Costa, com o intuito de verificar a sua resposta quando solicitado a esforços dielétricos, assim como testá-lo recorrendo a ensaios com tensões estipuladas superiores ao exigido pelas normas internacionais, para a sua gama de tensões. No entanto, tornou-se fundamental realizar um estudo dos conhecimentos técnicos necessários para a implementação destes trabalhos, bem como dos seccionadores em geral. A finalidade deste estudo passa pela necessidade de contextualizar a utilização destes aparelhos em causa e, desta forma, entender os esforços dielétricos a que estão sujeitos.

Os vários tipos de seccionadores que foram abordados neste documento são aparelhos de manobra e não possuem poder de corte. Isto impossibilita a sua manobra quando a linha se encontra em carga e com tensão, o que obriga a manobra prévia de outro aparelho de manobra com poder de corte, para se proceder à manobra do seccionador.

Estes são para utilização em redes de MT e alguns para redes de AT, isto porque os seccionadores destas duas gamas de tensão seguem as mesmas exigências normativas para tensões até 245 kV. Verifica-se que existem quatro tipos de seccionadores distintos em relação ao modo como realizam as suas ações de manobra, nomeadamente: seccionador de facas

deslizantes, que é o mais usado em redes de MT, seccionador de facas rotativas, seccionador de colunas rotativas e seccionador-pantógrafo.

Relativamente ao seccionador em estudo, este é comercializado para tensões de 17.5 kV e 36 kV e portanto apresenta os valores exigidos pelas normas internacionais, para as diferentes tensões estipuladas. Vem de fábrica equipado com hastes de extinção de forma a extinguir correntes vestigiais que possam surgir no ato da manobra e a sua montagem foi efetuada recorrendo ao manual de montagem, que vinha junto ao seccionador quando foi entregue no LAT.

Para enquadrar melhor os seccionadores nos restantes aparelhos de manobra, foi feita uma breve menção a alguns tipos desses aparelhos. A maioria é dotada de poder de corte, mas alguns, ao contrário do seccionador, não possuem distância de isolamento, o que requer a montagem de um seccionador nas proximidades destes.

Verificou-se que a manutenção a seccionadores compreende várias etapas para a sua execução e que estes trabalhos podem ter duas naturezas distintas, nomeadamente trabalhos em tensão e trabalhos fora de tensão. Os primeiros são mais recentes e são mais vantajosos que os segundos, pois não necessitam de interromper a linha em serviço para se proceder à sua manutenção. Os trabalhos fora de tensão são usados, atualmente, quando a realização dos TET não é possível ou não é economicamente compensatória.

Quanto ao LAT, foi dado ênfase neste trabalho ao equipamento existente e às suas medidas de segurança tanto passivas como ativas. Estas medidas permitem a minimização dos perigos, inerentes à alta tensão, tanto para as pessoas que utilizam o LAT, como para o equipamento existente no seu interior. No LAT existem dois sistemas diferentes que proporcionam a implementação dos ensaios dielétricos. O ensaio ao choque atmosférico é efetuado recorrendo à torre de choque de 1200 kV, enquanto o ensaio à frequência industrial é executado a partir do transformador de 600 kV. Estes equipamentos são complementados com outros aparelhos que fazem a sua alimentação, que os comandam e registam os valores pertinentes a tirar dos ensaios.

Após o estudo do LAT e dos seus equipamentos verificou-se que ainda era necessário efetuar alguns procedimentos, antes da realização dos ensaios. Para isso foi necessário estudar as normas IEC 60060-1, IEC 60694 e IEC 62271-102, para saber como proceder à correção dos fatores ambientais na altura do ensaio e como fazer as montagens para saber como executar corretamente os ensaios dielétricos.

Por fim, foi possível avançar para os ensaios dielétricos que tinham dois propósitos principais, verificar se o aparelho estava apto para entrar em serviço e para verificar se o seccionador estava ou não perto dos valores para que está estipulado.

Foi sem surpresas que se verificou que o aparelho passou a todos os ensaios para confirmar que estava apto para entrar em serviço, visto tratar-se de um aparelho novo e sem vestígios de poluição.

Quanto aos testes de otimização, não foi possível a realização do ensaio à frequência industrial. Foi verificado que o seccionador tem uma elevada margem entre o valor de tensão estipulado e o valor de tensão disruptiva que equivale ao chumbo de 10% dos ensaios, por ocorrência de descarga disruptiva. Este sobredimensionamento pode ser devido, em parte, à EDP exigir que os aparelhos de manobra das suas linhas de 36 kV tenham uma tensão estipulada ao choque atmosférico de pelo menos 250 kV, visto tratar-se do valor máximo para essa tensão nessas linhas com elevada probabilidade de ocorrer. Não obstante, o seccionador em estudo tem capacidade para desempenhar a sua função em redes de 52 kV.

7.2. Trabalhos futuros

Relativamente a trabalhos futuros nesta área de desenvolvimento, estes poderão passar pela comparação dos diferentes ensaios dielétricos entre um seccionador novo e outro em fim de vida, com o intuito de verificar as diferenças visíveis entre ambos a esforços dielétricos, mas também enfatizando os critérios de inspeção visual.

Outro estudo passível de realizar, que podia também ser contemplado no anterior, passa pela implementação dos ensaios dielétricos simulando ambiente chuvoso, de forma a verificar e comparar as diferenças no comportamento das várias zonas de isolamento do seccionador.

Por último, mas com igual importância, podia ser desenvolvido um estudo no LAT em parceria com a Jayme da Costa, que passaria pela exaustiva realização de todos os tipos de ensaios necessários para verificação do funcionamento do seccionador, exigidos pelas normas, para reduzir o potencial sobredimensionamento dos seus seccionadores e, consequentemente, para uma melhor otimização de recursos.

Anexo A

Ensaio up and down

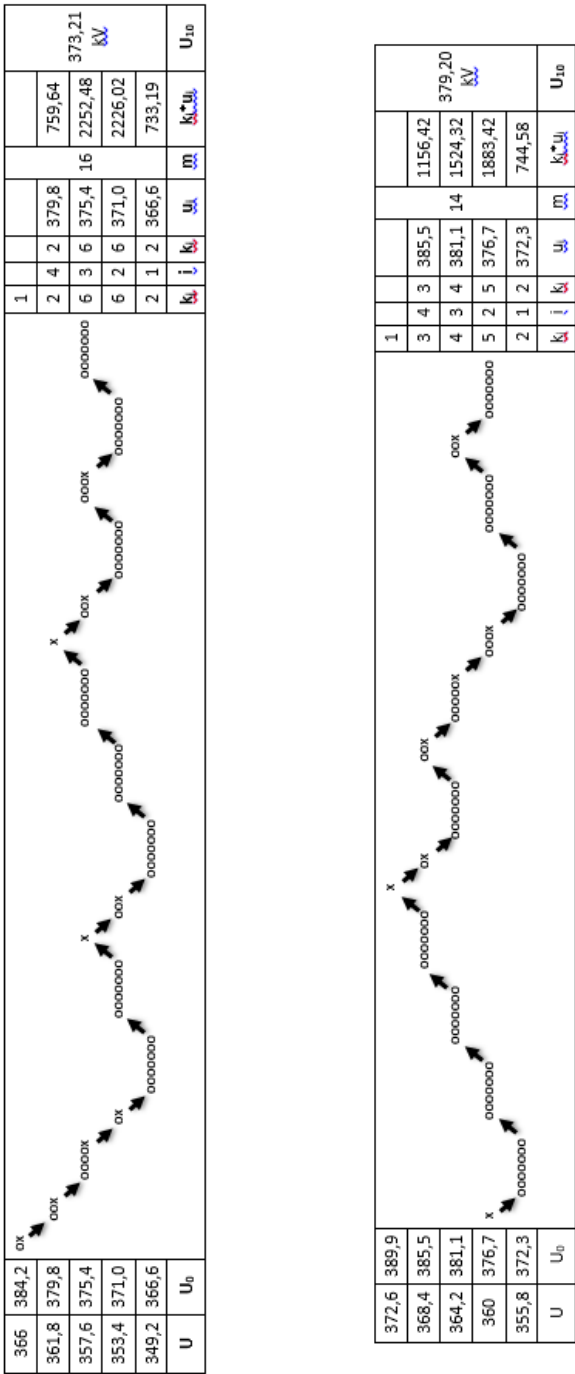


Figura A.1 - Ensaio up and down,
à esquerda ensaio através da distância de isolamento e à direita ensaio fase-terra

Em que:

x - ocorreu descarga disruptiva;

o - não ocorreu descarga disruptiva;

U - tensão registada;

U_0 - tensão corrigida, após aplicação do fator de correção;

k_j - número de grupos à tensão u_i ;

i - número da tensão aceite;

k_i - número de grupos aceites;

u_i - tensões dos grupos aceites;

m - número total de grupos aceites;

U_{10} - tensão com probabilidade de 10% de ocorrer uma descarga disruptiva.

Referências

- [1] Jayme da Costa. Mecânica e Eletricidade S.A., Ficha Técnica “Seccionador Tripolar Exterior ICLG”.
- [2] Jayme da Costa. Mecânica e Eletricidade S.A., Ficha Técnica “Seccionador Tripolar Exterior ICMH”.
- [3] Jayme da Costa. Mecânica e Eletricidade S.A., Ficha Técnica “Seccionador Tripolar Interior ICFD”.
- [4] Jayme da Costa. Mecânica e Eletricidade S.A., “Manual de Instalação e Operação de Seccionadores”.
- [5] Jayme da Costa. Mecânica e Eletricidade S.A., Ficha Técnica “Interruptor-Seccionador Tripolar Exterior IXRC”.
- [6] Invitecnica. Catálogo geral para produtos de manutenção de aparelhos elétricos. URL: http://www.invitecnica.pt/pdf/Massa_de_contacto_e_neutra-DIVERSOS.pdf
- [7] EDP. Prevenção e Segurança em Instalações Elétricas. URL: http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/prevencaoese_seguranca2/seg_fornecedores/Pages/instalacoeselectricas.aspx
- [8] José Pedro Martinho Queirós. Análise comparativa do comportamento dielétrico dos isoladores compósitos com isoladores em materiais convencionais. MS, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. 2013.
- [9] Nuno Miguel Almeida Soares. Inspeções periódicas em equipamento para trabalhos em tensão (TET): Ensaios Dielétricos. MS, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. 2013.
- [10] Rui Teixeira, “Manutenção de Linhas de Média e Alta Tensão”. MS, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. 2002.
- [11] ISO/IEC. Voltage measurement by means of standard air gaps. IEC 60052, Third edition, 2002.
- [12] ISO/IEC. High voltage test techniques Part 1: General Definitions and Test Requirements. IEC 60060-1, Third edition, 2010.

- [13] ISO/IEC. Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards. IEC 60694, Edition 2.2, 2002.
- [14] ISO/IEC. Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions. IEC 60815, First edition, 1986.
- [15] ISO/IEC. High voltage switchgear and controlgear Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches. IEC 62271-102, First edition, 2001.