



Pedro José Batalha da Fonseca

Manutenção Preventiva das Infraestruturas de Fibra Ótica da EDP Distribuição

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, orientada pelo Professor Doutor Henrique José Almeida da Silva, apresentada ao Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Manutenção Preventiva das Infraestruturas de Fibra Ótica da EDP Distribuição

Pedro José Batalha da Fonseca

Júri:

Presidente do Júri: Professora Doutora Maria do Carmo Raposo de Medeiros

Vogal: Professor Doutor Luís Alberto da Silva Cruz

Orientador: Professor Doutor Henrique José Almeida da Silva

Coimbra

Julho 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer ao Professor Doutor Henrique Silva por ter aceite o convite para ser orientador deste projeto, que desde o primeiro dia demonstrou total disponibilidade e abertura para debater um tema diferente onde não se conhece muito trabalho realizado, que obrigou a uma cuidadosa ponderação até se encontrar o caminho mais correto para alcançar o resultado final.

De seguida agradecer aos colegas da Manutenção de Subestações, homens sábios na matéria, pelo apoio técnico, fornecimento de material bibliográfico, partilha de experiencias pessoais e conselhos, que ao longo do trabalho permitiram chegar a bom porto.

Agradecer à EDP Distribuição, empresa onde me apraz trabalhar, por disponibilizar todas as ferramentas e documentação necessária para a realização do trabalho.

Agradecer do fundo do coração a um homem e uma mulher extraordinários, que fizeram de mim a pessoa que sou, que tiveram a inteligência, a perspicácia, a força, a dedicação, o amor, para ao longo da vida estarem sempre do lado dos seus filhos. Muito obrigado querido pai e querida mãe.

À minha irmã, parceira de tantas lutas, companheira nos bons e maus momentos, obrigado pelo teu apoio e cumplicidade.

Um agradecimento muito especial, à minha esposa Sara, que desde há muitos anos a esta parte sempre me acompanhou, me encorajou desde o primeiro minuto, e sempre esteve presente nas conquistas académicas. Mãe dedicada que em alguns momentos teve a tarefa acrescida por cuidar sozinha de duas crianças, e libertar o pai para se concentrar neste projeto.

Para os meus dois filhos, Martim e Maria, as minhas desculpas pelos serões em que não pude estar presente. Prometo que serão recompensados. Mas este trabalho foi também um incentivo para vós, para que percebam que tudo é possível, basta estarem focados nos vossos objetivos, porque as conquistas fazem-se a pulso dia após dia. Um dia também eu lá estarei para vos retribuir e apoiar-vos incondicionalmente, tal e qual como vocês estiveram hoje.

A todos vós, e em especial á minha família, um grande bem hajam. Obrigado!

Resumo

A EDP Distribuição é o Operador de Rede de Distribuição, responsável pela distribuição de energia elétrica em Portugal Continental. Com o fim de garantir os níveis de continuidade e qualidade de serviço, obrigatórios por lei, realizou um forte investimento na implementação de uma rede privativa de fibra ótica para suporte dos sistemas de telecomunicações, possibilitando assim o controlo e supervisão das suas instalações técnicas como Subestações (AT/MT) e de Órgão de Corte de Rede de Média Tensão, a partir de uma gestão centralizada. Este passo, foi uma grande mais valia para flexibilidade e fiabilidade da rede de distribuição elétrica.

Este trabalho teve como principal motivação, a construção de um modelo de cálculo para a Manutenção Preventiva Sistemática da infraestrutura de fibra ótica de um Operador de Rede de Distribuição, a EDP Distribuição, baseada numa política de manutenção Condition Based Risk Maintenance (CBRM).

Tendo como base as metodologias existentes e as que ainda se encontram em fase de desenvolvimento relativas à gestão de ativos técnicos, foram identificados os fatores mensuráveis que influenciam os cabos de fibra ótica, e criado um modelo heurístico para aferir o Índice de Saúde e a Probabilidade de Falha, de uma forma real e exequível.

Com o objetivo inicial de criar um plano de Manutenção Preventiva Sistemática baseado na condição e no risco, foi realizado um levantamento e tipificada a criticidade afeta a cada ligação de fibra.

Após recolha dos indicadores inerentes ao Índice de Saúde, à Probabilidade de Falha e à criticidade, foi possível criar um modelo matemático, recorrendo à Teoria dos Grafos, para implementar uma política de manutenção baseada em CBRM, que reflete de forma eficaz o estado atual, e permite prever o estado futuro do ativo técnico em causa.

Palavras Chave: Manutenção Preventiva Sistemática, Fibra Ótica, Política de Manutenção, Condition Based Risk Maintenance, Gestão de Ativos, Índice de Saúde, Probabilidade de Falha, Risco.

Abstract

EDP Distribuição is the Distribution Network Operator, responsible for the distribution of electricity in mainland Portugal. In order to guarantee the levels of continuity and quality of service, legally required, it made a strong investment in the implementation of a private fiber optic network to support telecommunications systems, thus enabling the control and supervision of its technical installations as Substations (HV/MV) and Medium Voltage Remote Switchgear, from a centralized management. This step was a great improvement to the flexibility and reliability of the electrical distribution network.

This project had as main motivation, the development of a calculation model to the Systematic Preventive Maintenance of the fiber optic infrastructure of a Distribution Network Operator, the EDP Distribuição, based on a Condition Based Risk Maintenance (CBRM) maintenance policy.

Based on existing methodologies and those still in the development phase related to the management of technical assets, were identified measurable factors that influence the fiber optic cables were identified, and was created a heuristic model to get the Health Index and the Probability of Failure, in a realistic and workable way.

With the initial objective of creating a Systematic Preventive Maintenance plan based on the condition and the risk, a survey was carried out and typified the criticality that affects each fiber connection.

After gathering the indicators inherent to the Health Index, Failure Probability and Criticality, it was possible to create a mathematical model, using Graph Theory, to implement a CBRM based maintenance policy, that effectively reflects the current state, and allows to predict the future state of the technical asset in question.

Keywords: Systematic Preventive Maintenance, Fiber Optics, Maintenance Policy, Condition Based Risk Maintenance, Asset Management, Health Index, Probability of Failure,, Risk.

Índice

Agradecimentos.....	5
Resumo.....	7
Abstract	9
Índice	11
Índice de Figuras.....	14
Índice de Gráficos.....	16
Índice de Tabelas.....	16
Lista de Acrónimos.....	17
1 Introdução.....	19
1.1 Enquadramento	19
1.2 Objetivos.....	20
1.3 Estrutura da dissertação	20
2 Sistemas de Telecomunicações utilizados na EDP Distribuição.....	21
2.1 Rede Fixa	21
2.1.1 PDH e SDH	21
2.1.2 PLC – <i>Power Line Carrier</i>	22
2.1.3 IP/Ethernet	22
2.2 Comunicações Rádio da EDP.....	22
2.2.1 Rede de Rádio em VHF.....	22
2.2.2 Ligações por Microondas	24
2.2.3 GSM/GPRS	24
3 Rede de Fibra Ótica da EDP distribuição.....	25
3.1 Rede Ótica.....	25
3.2 Cabos	25
3.2.1 OPGW – <i>Optical Power Ground Wire</i>	25
3.2.2 ADSS - <i>All-Dielectric Self-Supporting</i>	27
3.2.3 Dielétrico de conduta.....	28
3.2.4 <i>Microcable</i>	28
3.2.5 Figura 8.....	29
4 Gestão de Ativos.....	30
4.1 Introdução	30

4.2	Ativos Tangíveis e Intangíveis	30
4.3	Ativos Técnicos	31
4.4	Gestão de Ativos Baseada no Risco	32
4.5	Tipos de Manutenção	33
4.5.1	Manutenção Preventiva Sistemática.....	34
4.5.2	Manutenção Preventiva Condicionada	34
4.5.3	Manutenção Preditiva.....	35
4.5.4	Manutenção Extraordinária	35
4.5.5	Manutenção Corretiva	35
4.5.6	Manutenção Corretiva Paliativa	36
4.5.7	Manutenção Corretiva Curativa	36
4.6	Políticas de Manutenção	36
4.6.1	TBM – <i>Time Based Maintenance</i>	36
4.6.2	CBM – <i>Condition Based Maintenance</i>	36
4.6.3	RBM – <i>Risk Based Maintenance</i>	36
4.6.4	CBRM – <i>Condition Based Risk Maintenance</i>	37
4.7	Conclusão.....	37
5	Modelo Heurístico para Calculo do Índice de Saúde e Probabilidade de Falha.....	38
5.1	Índice de Saúde	38
5.1.1	Identificação dos indicadores	39
5.1.2	Ponderação dos indicadores	43
5.2	Probabilidade de Falha.....	45
5.2.1	Fatores externos impactantes.....	46
5.2.2	Ponderação dos indicadores	60
5.2.3	Criticidade	63
5.2.4	Plano de Manutenção CBRM.....	65
5.2.5	Grafo de Criticidade	67
6	Estudo de caso	70
6.1	Construção do Grafo	70
6.2	Calculo da PoF.....	71
6.3	Criticidade.....	72
6.4	Periodicidade de MPS.....	73
6.5	Avaliação de custos entre políticas de manutenção.....	74
7	Conclusões e proposta de trabalhos futuros	76
7.1	Conclusões	76

7.2 Proposta de trabalhos futuros.....	77
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	83
ANEXO A - Apresentação do Grupo EDP	84
ANEXO B - Teoria do Grafos	85
As sete pontes de Königsberg.....	85
Grafos e Dígrafos.....	86
Matriz de adjacência.....	88
Matriz de incidência	89
Lista de adjacência.....	89
Grafos ponderados	90
ANEXO C - PDH e SDH	92
Hierarquia Digital Plesiócrona – PDH	92
Hierarquia Digital Síncrona - SDH	92
ANEXO D - Rede SDH da EDPD	94
ANEXO E - Avaliação da perigosidade de incêndio florestal [2].....	95
ANEXO F - Zona Nemátodo da madeira do Pinheiro [30].....	96
ANEXO G – Estudo de Caso	97
Influencia do nemátodo na Rede EDP.....	97
Influência do Risco de Incêndio na rede EDP	98
Influência do Risco Sísmico na rede EDP.....	99
ANEXO H – Rede ótica da EDP Distribuição	100

Índice de Figuras

Figura 1 - Rede de rádio privativa de fonia.....	23
Figura 2 - Esquema de ligação com cabo OPGW entre duas subestações.....	26
Figura 3 - Cabo OPGW.....	26
Figura 4 - Cabo OPGW – constituição.....	26
Figura 5 - Esquema de ligação com cabo ADSS entre duas subestações.....	27
Figura 6 - Cabo ADSS.....	27
Figura 7 - Cabo ADSS – Constituição.....	27
Figura 8 - Constituição de um cabo dielétrico de conduta [28].....	28
Figura 9 - Cabo do tipo <i>Microcable</i> [28].....	29
Figura 10 - Perfil e constituição do cabo "Figura 8" [28].	29
Figura 11 - Estrutura das redes de energia elétrica.....	31
Figura 12 - Eixos fundamentais da gestão de ativos.	33
Figura 13 - Tipos de Manutenção.....	34
Figura 14 - Avaliação da perigosidade de incêndio florestal [2].....	47
Figura 15 - Nemátodo da madeira do pinheiro [6].	49
Figura 16 - Longicórnio do pinheiro [6].....	49
Figura 17 - Mapa da área geográfica afetada pelo NMP [30].	50
Figura 18 – Mapa da carta das isossistas máximas [31].....	51
Figura 19 - Zonamento de território continental de acordo com RSA [1]	52
Figura 20 - Mapa de Corrosividade Atmosférica em Portugal Continental.....	55
Figura 21 – Caixa de Fusão de fibra ótica de exterior.....	56
Figura 22 - Repartidor ótico.	56
Figura 23 - Isolador de linha AT coberto de poeiras.....	57
Figura 24 - Inspeção microscópica de Fibra Ótica.....	57
Figura 25 - a) Mapa de distribuição espacial da velocidade do vento em Portugal continental, obtido pelo modelo MM5 (h=60m) e (b) Mapa de distribuição espacial da velocidade do vento em Portugal continental, obtido pelo modelo WASP (h=60m) [41].	59
Figura 26 - Esquema da rede SCADA/PDH.	64
Figura 27 – Parte da Matriz de criticidade das instalações técnicas da EDPD (por questões de confidencialidade não foi apresentada a tabela completa).....	64

Figura 28 - Exemplo de aplicação do gráfico de Fiabilidade vs Telecomandos falhados.	66
Figura 29 - Grafo de criticidade (CBRM).	67
Figura 30 - Matriz de incidência aplicada à criticidade das ligações.	68
Figura 31 - Rede ótica da EDPD (zona de Seia).	70
Figura 32 - Mapa da rede da EDPD na Zona de Seia.	70
Figura 33 - Grafo da rede da EDPD na Zona de Seia.	71
Figura A.34 - Evolução do Grupo EDP.	84
Figura A.35 - Cidade de Königsberg [46].	85
Figura A.36 - Grafo da Cidade de Königsberg.	86
Figura A.37 - Exemplo de um Grafo.	87
Figura A.38 - Grafo Direcional	88
Figura A.39 - Matriz de adjacência	88
Figura A.40 – Exemplo de grafo com lacete	89
Figura A.41 - Matriz de incidência.	89
Figura A.42 - Lista de Adjacências	90
Figura A.43 - Exemplo de grafo ponderado	90
Figura C.44 - Multiplexação/Desmultiplexação.	92
Figura C.45 - Trama PDH	92

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Percentagem de Avarias por Tipo de Cabo FO.....	40
Gráfico 2 - Causas de avaria em cabos FO da EDPD.	47
Gráfico 3 - PoF vs Telecomandos falhados.....	66
Gráfico 4 – Periodicidade de MPS baseado em CBRM.....	67

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Indicadores para calculo do Índice de Saúde	44
Tabela 2 - Taxa de corrosão do aço em função do tipo de ambiente [39].....	53
Tabela 3 - Grau de corrosividade do aço [36].	54
Tabela 4 - Fatores ambientais e externos.....	60
Tabela 5 - Quadro síntese para o cálculo da Probabilidade de Falha.....	61
Tabela 6 - Tarefas de MPS de cabos de fibra ótica.	74
Tabela 7 - Custos associados a MPS baseada em TBM.	74
Tabela 8 - Custos associados a MPS baseada em CBRM.	75
Tabela A. 9 – Exemplo de uma Tabela de Pesos.....	91
Tabela C.10 - Hierarquia de multiplexagem SONET/SDH	93

Lista de Acrónimos

MPS – Manutenção Preventiva Sistemática

CBRM – Condition Based Risk Maintenance

TBM – Time Based Maintenance

PoF – Probabilidade de Falha (Probability of Failure)

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

MPC – Manutenção Preventiva Condicionada

MC – Manutenção Corretiva

PDH – Hierarquia Digital Plesiócrona (Plesiochronous Digital Hierarchy)

SDH – Hierarquia Digital Síncrona (Synchronous Digital Hierarchy)

PLC – Power Line Carrier

TCMT – Telecomando de Média Tensão

TCSE – Telecomando de Subestações

EDPD – EDP Distribuição

IAT – Interruptor Aéreo Telecomandado

OCR – Orgão de Corte de Rede

NMP – Zona Nemátodo da Madeira do Pinheiro

ICNF – *Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas*

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados)

OPGW – Optical Power Ground Wire

ADSS – All-Dielectric Self-Supporting

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A EDP Distribuição é a empresa de distribuição de energia elétrica em Portugal, que se tornou uma referência mundial pela sua boa performance, garantindo excelentes níveis de continuidade e qualidade de serviço.

Muito deste sucesso deve-se ao forte investimento que foi realizado ao longo dos anos para automatizar a rede elétrica, permitindo assim a sua monitorização e fácil reconfiguração através de sistemas de automação telecomandados, garantindo elevados níveis de fiabilidade, resiliência e segurança para as pessoas e bens.

Nos dias de hoje, podemos dizer, que a EDP Distribuição possui duas redes muito críticas: a rede elétrica que alimenta os vários clientes a nível nacional, e paralelamente uma grande rede de telecomunicações que acompanha a rede elétrica de Alta e Média Tensão, que permite o seu telecomando.

À semelhança de outras empresas de distribuição de energia elétrica, a EDP distribuição optou por criar a sua própria rede privativa, suportada em equipamentos como PDH, SDH e rádio. A alta criticidade que exige a monitorização e telecomando de uma rede elétrica, para um Operador das Redes de Distribuição, é demasiado elevada para externalizar.

Assim, de forma a suportar os equipamentos ativos dos Sistemas de Telecomunicações a EDP Distribuição possuiu uma rede privativa de fibra ótica que acompanha a rede elétrica de distribuição, conseguindo dessa forma ter uma abrangência nacional.

Atualmente podemos dizer que a rede de fibra ótica, que por sua vez dá suporte aos Sistemas de Telecomunicações, possui o mesmo grau de importância que a rede elétrica nacional, onde assenta o núcleo da empresa. Atualmente ambas as redes são essenciais e não é possível a existência de uma sem a outra.

O objetivo desta dissertação passa por prever a Manutenção Preventiva Sistemática (MPS) dos cabos de fibra ótica aplicando uma política de manutenção baseada no risco e na condição do ativo, *Condition Based Risk Maintenance (CBRM)*, em detrimento da política em vigor que apenas se baseia no tempo para a realização de MPSs. Estas são realizadas em intervalos de tempo fixos independentemente das circunstâncias em que o cabo se encontra, sendo por isso designada *Time Based Maintenance (TBM)*.

Assim, foi criado um modelo que teve por base a política de manutenção CBRM, que permite avaliar a condição técnica do ativo, o Índice de Saúde, e simultaneamente as características ambientais e factores externos com impacto direto na Probabilidade de Falha do cabo e que se relaciona com o risco inerente à falha de cada ligação.

Motivado pela oportunidade de poder preencher uma necessidade da empresa, ficaram reunidas as condições para realizar um plano de Manutenção Preventiva Sistemática para os cabos de fibra ótica baseado na atual metodologia preconizada pela empresa que assenta numa política baseada na condição e no risco.

1.2 Objetivos

Os principais objetivos desta dissertação de mestrado foram os seguintes:

- Identificação dos equipamentos ativos que suportam o telecomando de uma rede elétrica;
- Estudo de todos os conceitos subjacentes ao conceito de manutenção preventiva que se adequem à necessidade de considerar o risco como um dos fatores;
- Desenvolvimento de um Plano de Manutenção Sistemática que vá ao encontro da nova política preconizada pela empresa, baseada na condição do ativo e no risco.

1.3 Estrutura da dissertação

No **Capítulo 1** é explicado o objetivo e enquadramento do trabalho.

No **Capítulo 2** é descrita a rede do Sistema de Telecomunicações, tanto a Rede Fixa como a rede de Comunicações Móveis, utilizada na EDP.

No **Capítulo 3** é apresentada a rede de Infraestruturas Óticas da EDP Distribuição, assim como os tipos de cabo utilizados.

No **Capítulo 4** é explicado o conceito de Gestão de Ativos, e os tipos e políticas de manutenção.

No **Capítulo 5** é elaborado um Modelo Heurístico para o cálculo do Índice de Saúde e da Probabilidade de Falha associados a uma ligação ótica.

No **Capítulo 6** é realizado um estudo de caso, aplicando o modelo elaborado no capítulo anterior.

E por fim, no **Capítulo 7** apresentam-se as conclusões retiradas do trabalho.

2 Sistemas de Telecomunicações utilizados na EDP Distribuição

A evolução dos Sistemas de Telecomunicações de uma forma geral permitiu que o conceito de “telecomando” seja hoje inevitável e faça parte da grande maioria de empresas do tipo *utility*.

Nos anos 90 a EDP fez um forte investimento em sistemas de telecomunicações e unidades remotas para controlar, supervisionar e comandar as suas instalações elétricas de forma automática, canalizando essa informação para uma estação central de operação, supervisão e comando da rede de distribuição elétrica.

A EDP detém hoje uma vasta rede de Sistemas de Telecomunicações Fixos e Moveis, que suportam todas as comunicações para o Telecomando de Subestações, o Telecomando da Rede de Média Tensão, e serviços acessórios nas Subestações, como telefone, tele-engenharia, telecontagem e qualidade de energia elétrica, entre outros.

2.1 Rede Fixa

A EDP Distribuição (EDPD) é detentora de uma rede fixa privativa que utiliza exclusivamente para o telecomando das Subestações e da Média Tensão.

A rede fixa da EDPD é composta na sua grande maioria por equipamentos PDH, que por sua vez se interligam com uma rede SDH nacional, que constitui o *backbone* de toda rede. Atualmente já existem alguns equipamentos de IP/MPLS, que tendem a aumentar e que num futuro próximo substituirão por completo os equipamentos PDH e SDH. Existem ainda, mas de uma forma bastante reduzida, servindo apenas como *backup* a ligações em ponta, equipamentos *Power Line Carrier* (PLC).

Toda a rede baseia as suas comunicações numa rede privativa de fibra ótica, com aproximadamente 8.000 km de ligações a nível nacional, que interliga praticamente todas as instalações técnicas e operacionais. No final de 2005, 95% das Subestações e Postos de Corte de Alta Tensão (AT) possuíam cabos de fibra ótica. Atualmente todas as novas instalações são dotadas com cabo de fibra ótica (FO), sem exceção.

2.1.1 PDH e SDH

No final da década de 90, a EDPD iniciou a construção de uma rede de transporte (*backbone*) baseada em SDH para servir de suporte à rede PDH. Esta rede permitiu interligar equipamentos a grandes distâncias e a nível nacional, garantindo redundância de uma forma automática e dessa forma acrescentando elevados níveis de robustez e resiliência.

A rede SDH é nacional, de um único fabricante, Alcatel-Lucent, com canais de capacidade máxima STM-4. O tráfego gerado pelo telecomando de subestações é diminuto, comparativamente com, por exemplo, o de um operador de telecomunicações,

e daí a rede SDH não ir além do STM-4. No entanto, esse mesmo tráfego é bastante crítico, e por isso valoriza-se muito a robustez dos equipamentos que o transportam.

A rede PDH da EDP teve também início nos anos 90, tem abrangência nacional, e é ainda hoje a rede de acesso às instalações técnicas com maior relevância.

No Anexo C é apresentada a rede SDH da EDPD, e em maior pormenor a tecnologia PDH e SDH.

2.1.2 PLC – *Power Line Carrier*

Esta tecnologia aproveita as linhas de alta tensão (AT) e média tensão (MT) para realizar a transmissão de informação, e por isso é conhecida como *Power Line Carrier* (PLC). Devido à utilização de dois sistemas na mesma linha, o elétrico e o de comunicação, é necessário utilizar frequências diferentes, para que se consiga garantir a separação entre ambos. Desta forma, o sistema elétrico utiliza uma frequência de 50 Hz, enquanto o sistema de comunicações utiliza frequências entre os 25 kHz e os 500 kHz.

Estes equipamentos estão completamente em desuso, e existem apenas em situações muito pontuais como redundância à fibra ótica, em subestações que apenas possuem um canal unidireccional por fibra ótica.

2.1.3 IP/Ethernet

O IP veio revolucionar as comunicações de uma forma geral, e marcou uma tendência. As ligações IP são cada vez mais a forma predefinida para a comunicação entre equipamentos.

A EDP está atualmente a delinear um plano de implementação de uma rede IP/MPLS que tenderá a substituir na íntegra as redes PDH e SDH.

Na fase atual existem apenas alguns projetos piloto implementados para garantir que a tecnologia IP/MPLS suporta canais com tecnologias legadas, que atualmente são suportados pela rede PDH/SDH, como por exemplo canais RS232, E&M, extensões telefónicas analógicas, circuitos E1, entre outros.

2.2 Comunicações Rádio da EDP

A EDP Distribuição detém duas redes de rádio privadas, uma para o Telecomando de Média Tensão (TCMT) e outra para as comunicações de fonia.

Outras tecnologias de comunicação rádio são também utilizadas, com especial destaque para a tecnologia GSM/GPRS.

2.2.1 Rede de Rádio em VHF

Atualmente, a EDPD dispõe de 100 a 120 equipamentos repetidores, para permitir a cobertura de todas as áreas necessárias, na banda dos 80 MHz.

2.2.1.1 Rede de Rádio-Fonia

Nos nossos dias as comunicações moveis estão bastante desenvolvidas e com uma cobertura de praticamente todo o território nacional, e sem duvida o uso do telemóvel é a forma mais comum de comunicar. No entanto, em casos de catástrofes naturais, ou por falha da energia elétrica ou por queda de torres de estações de base, os operadores moveis são bastante afetados e as comunicações acabam por falhar.

Por isso, a EDPD possui uma rede de rádio privativa de fonia que utiliza para a comunicação entre equipas operacionais em locais inóspitos onde não existe cobertura dos operadores de telecomunicações móveis, e por outro lado funciona como *backup* das telecomunicações em cenários de catástrofe.

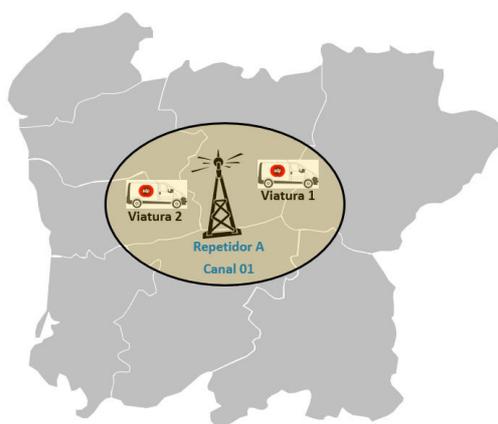


Figura 1 - Rede de rádio privativa de fonia.

2.2.1.2 Rede de rádio para TCMT

Além do serviço de fonia, a EDPD possui ainda uma rede de rádio VHF privativa para realizar o Telecomando da Média Tensão (MT), o que, em termos práticos, se traduz na utilização de estações emissoras e unidades repetidoras, para realizar a cobertura de uma dada área onde se pretende controlar os elementos da MT.

A necessidade de telecomandar interruptores de Média Tensão existentes ao longo das linhas de AT, de forma a seccionar ou comandar a rede elétrica de média tensão, levou à implementação de interruptores de MT com poder de corte e telecomandados (IAT - Interruptor Aéreo Telecomandado / OCR- Órgão de Corte Rede).

A necessidade de comunicar com centenas de IATs/OCRs distribuídos pela rede elétrica, numa área geográfica muito dispersa, levou à implementação de comunicações rádio Ponto-Multiponto utilizando Repetidores de Rádio.

Mais tarde a EDPD decidiu avançar também com o Telecomando de Média Tensão (TCMT) utilizando a rede de operadores moveis, através de *modems* GPRS.

A experiência mostra-nos que as comunicações por rádio são estáveis e confiáveis, por exemplo os Repetidores de Rádio da EDPD têm melhores níveis de disponibilidade que os modems GPRS, que utilizam uma rede pública de um operador de telecomunicações moveis.

Podemos afirmar que as comunicações móveis têm um papel fundamental nas comunicações para telecomando da EDPD, e dificilmente poderão ser abolidas em definitivo.

2.2.2 Ligações por Microondas

Nos locais onde não existem infraestruturas fixas e em que existe a necessidade de uma ligação ponto-a-ponto, a EDP recorre a ligações por Microondas ou Feixes Hertzianos.

Este tipo de ligações tem a capacidade de transmitir grandes quantidades de informação a longas distâncias, desde que exista linha de vista entre os dois pontos a interligar. Tipicamente esta solução é implementada para Parques Eólicos ou Repetidores, por se encontrarem em serras de difícil acesso com infra-estruturas fixas, como a fibra ótica.

2.2.3 GSM/GPRS

O forte crescimento do TCMT levou à instalação de um número elevado de equipamentos, por vezes nas zonas mais distantes e adversas, sem cobertura da rede privativa em VHF. Para ultrapassar este constrangimento, a EDPD contratou o serviço de comunicações a alguns Operadores Moveis Nacionais, uma vez que possuem uma ampla cobertura a nível nacional.

O maior problema desta solução surge quando existem avarias na rede do operador sobre as quais a EDPD não tem qualquer controlo, ficando dependente de terceiros.

3 Rede de Fibra Ótica da EDP distribuição

3.1 Rede Ótica

Na sua maioria, as comunicações na EDPD são efetuadas através da sua extensa rede de fibra ótica, com aproximadamente 8.000 km de ligações a nível nacional, que interliga praticamente todas as subestações, edifícios administrativos, edifícios operacionais e edifícios técnicos, tais como o Centro de Despacho e Condução e *Data Centers*. Atualmente, 95% das Subestações em Portugal Continental possuem fibra ótica, e nas novas instalações este é um requisito obrigatório.

Esta rede de fibra ótica suporta os equipamentos ativos de SDH, PDH e IP/MPLS que transportam os serviços de SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), altamente críticos, que garantem o telecomando e supervisão das instalações elétricas (Subestações e Postos de Corte). Existem ainda outros serviços acessórios, de menor criticidade do ponto de vista de quem conduz a rede elétrica, mas bastante relevante para outras unidades organizativas, como a telecontagem, a qualidade de energia, videovigilância e o acesso remoto aos equipamentos ativos existentes nas subestações (RTUs, proteções, alimentadores de corrente contínua, rádio-ligações, PDH, SDH).

A rede ótica suporta ainda as comunicações de voz privativa (VOIP e rede telefónica fixa) a nível nacional, interligando uma rede de Centrais Telefónicas internas.

Existem também serviços diretamente relacionados com a exploração da rede elétrica nacional, como as Proteções de Distância. As Proteções de Distância são IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) existentes entre duas subestações e que comunicam autonomamente entre eles através de um circuito dedicado de fibra ótica, para troca de informações tais como medidas de correntes e tensões das duas instalações, garantindo uma maior seletividade da rede elétrica e minimizando a abertura de linhas intempestivamente.

A Rede de Fibra Ótica é a base onde assentam as comunicações da EDP Distribuição, tendo por isso uma elevada importância em toda a cadeia das comunicações. Como forma de mitigar a falha desta rede, na EDP Distribuição são realizadas Manutenções Preventivas Sistemáticas de forma periódica a todos os cabos da sua rede.

Os cabos de fibra ótica são um ativo de alta criticidade, onde assentam as comunicações da EDPD quase na sua totalidade, e por isso requer uma política de manutenção rigorosa.

3.2 Cabos

3.2.1 OPGW – Optical Power Ground Wire

O cabo OPGW é instalado no topo das torres das linhas de alta tensão e possui grande mais-valia de ter a função de “Cabo de Guarda” para proteção das linhas contra descargas atmosféricas e em simultâneo de comunicações, uma vez que possui as fibras óticas num tubo oco localizado no interior do mesmo.

A figura seguinte apresenta o esquema de uma ligação com cabo OPGW entre duas subestações.

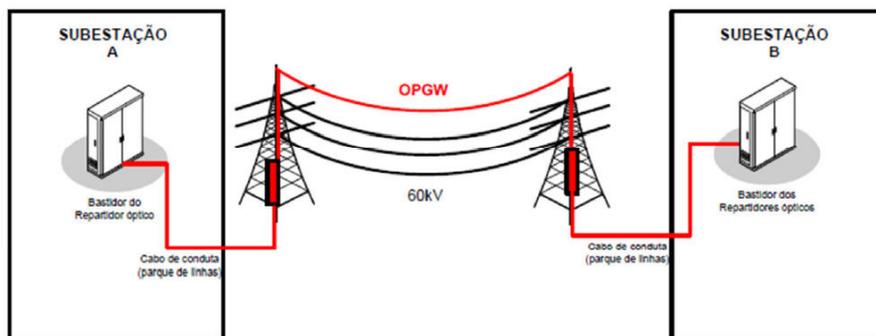


Figura 2 - Esquema de ligação com cabo OPGW entre duas subestações.

O cabo OPGW baseia-se na constituição de um cabo de guarda tradicional, com a particularidade de um dos seus fios tensores (ACS- Aço Revestido a Alumínio) ser substituído por um tubo de aço-inox oco que, no caso das utilizações na rede da EDPD, usualmente contém 12, 24, 30 ou 48 fibras óticas no seu interior.

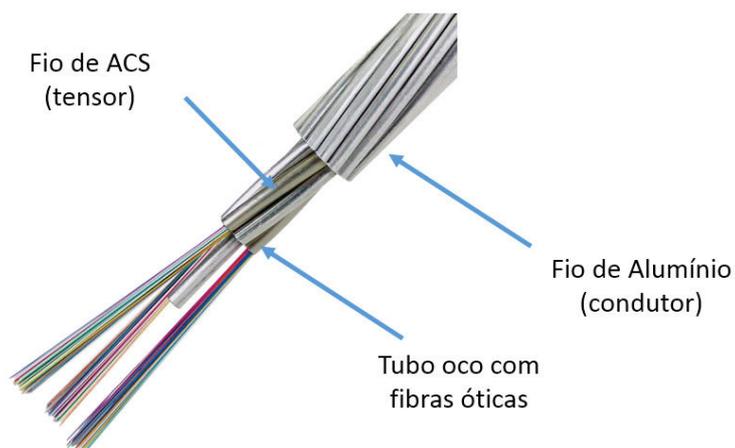


Figura 3 - Cabo OPGW.

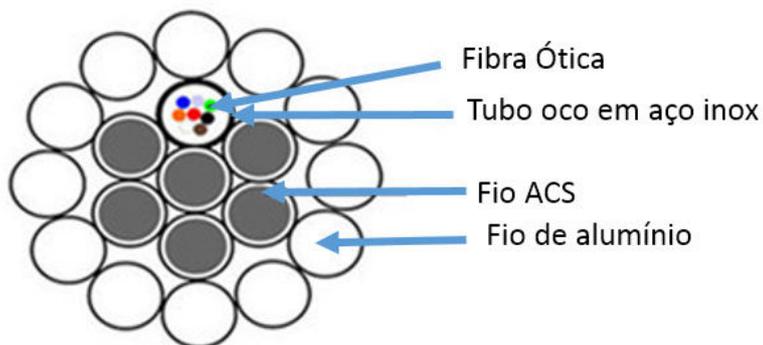


Figura 4 - Cabo OPGW – constituição.

3.2.2 ADSS - All-Dielectric Self-Supporting

O cabo ADSS é autosuportado e totalmente dielétrico, sem incorporação de elementos metálicos, com elevada resistência à tração e com baixo peso.

É construído por um elemento tensor central extremamente resistente, e uma cobertura que confere igualmente elevada resistência à tração, usualmente constituída por aramida (Kevlar), que conferem ao cabo a capacidade de suportar o seu próprio peso e outras tensões externas durante e após a sua instalação.

Nas situações onde não foi possível, por qualquer razão, instalar cabo OPGW, a solução de recurso passa pelo cabo ADSS. O facto de ser totalmente dielétrico permite que a sua instalação se realize a 1m abaixo das linhas elétricas sem qualquer constrangimento.

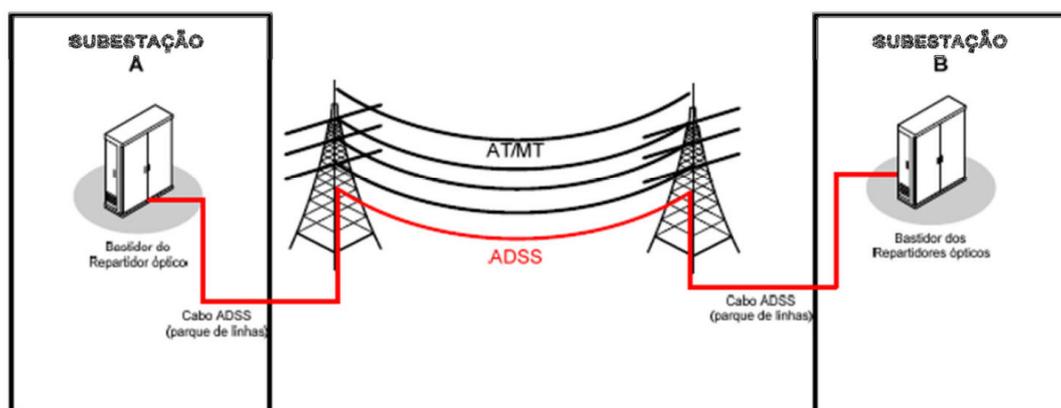


Figura 5 - Esquema de ligação com cabo ADSS entre duas subestações.

As figuras seguintes ilustram o cabo ADSS.



Figura 6 - Cabo ADSS.

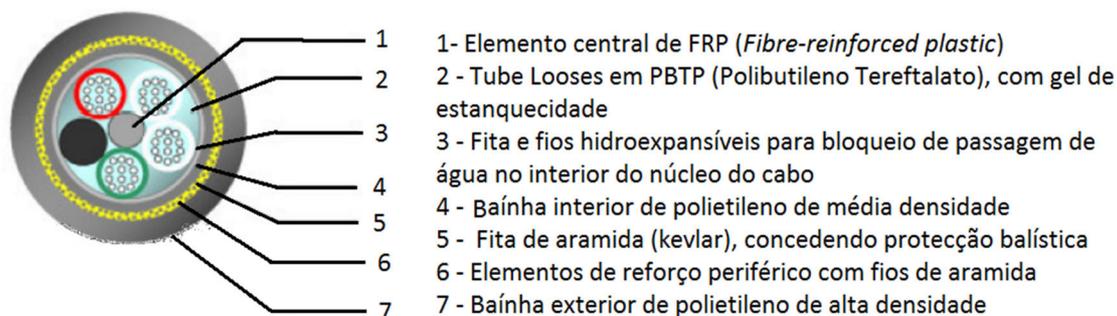


Figura 7 - Cabo ADSS – Constituição.

Este cabo é vulnerável a agentes externos como incêndios, tiros de caçadores ou intempéries, quando comparado com o cabo OPGW. Os materiais utilizados na sua construção e a proximidade ao solo são os principais fatores que contribuem para o aumento da probabilidade da ocorrência de uma avaria.

3.2.3 Dielétrico de conduta

O cabo dielétrico de conduta foi desenhado para ser instalado em infraestruturas subterrâneas no exterior. É constituído por um número de tubos ocos contendo fibras soltas no seu interior (tube-loose), tubos estes que circundam um tensor central, e estão conjuntamente protegidos por bainhas de proteção mecânica e anti-roedor. [28]

A EDP recorre a este cabo para interligar edifícios administrativos ou subestações que se encontrem no centro das grandes cidades, onde apenas existe rede subterrânea, ou na transição dos cabos OPGW, entre o ultimo apoio na subestação e o interior da sala de comando.

Os cabos de conduta utilizados pela EDPD possuem variam entre 12 e 48 fibras.

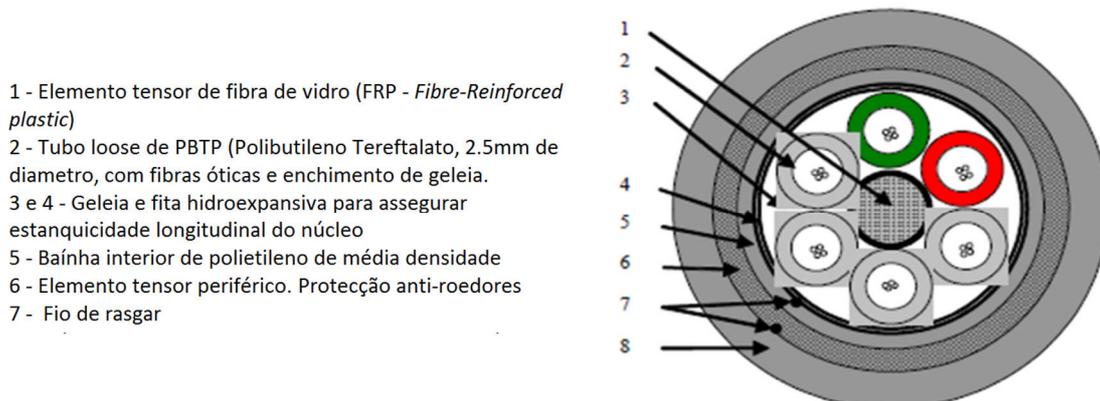


Figura 8 - Constituição de um cabo dielétrico de conduta [28].

3.2.4 Microcable

O cabo tipo Microcable é um cabo patenteado pela empresa Corning e consiste num único tubo de cobre oco onde são alojadas as fibras óticas. [28]

A grande vantagem deste cabo é que não necessita de infra-estruturas subterrâneas (trítubo ou tubo corrugado e Caixas de Visita Permanentes) para ser instalado. O seu processo de instalação é único: é realizado um corte no asfalto e o cabo é aplicado diretamente.

No entanto, pelo facto de ser instalado a pouca profundidade, e sem qualquer proteção ou sinalização do mesmo, em situações de abertura de vala na via publica o cabo não é identificado e pode ser facilmente cortado.

Em situações de avaria também é de difícil acesso e reparação uma vez que não existem folgas, nem caixas de visita para realizar junções.

Este tipo de cabo tem reduzida implantação, embora exista no centro das cidades.



Figura 9 - Cabo do tipo *Microcable* [28].

3.2.5 Figura 8

O cabo “Figura 8” é em tudo idêntico ao cabo dielétrico subterrâneo, com a particularidade de possuir uma guia que serve de tensor para fixação e instalação na rede aérea, à semelhança dos cabos elétricos existentes utilizados na distribuição da Baixa Tensão.

São utilizados em situações muito particulares, onde se utilizam os apoios da rede de Baixa Tensão para passagem do cabo de fibra ótica.

- 1 - Elemento de suspensão - tensor de fibra de vidro (FRP 4,0 mm)
- 2 - Septo
- 3 - Tensor central de fibra de vidro, isolado com uma camada de polietileno
- 4 - Tubo loose de PBTP, 2,5mm, com fibras ópticas, e enchimento de geleia.
- 5 e 6 - Interstícios preenchidos com geleia e fita hidroexpansiva para assegurar estanquicidade longitudinal do núcleo óptico.
- 7 - Fio de rasgar, 150N
- 8 - Bainha exterior de PE, MDPE.Esp. min.:
1,4mm – S/ cabo optico.
1,1mm – S/ cabo tensor.

FRP - Fibre-reinforced plastic
PBTP - Polibutileno Tereftalato
PE - Polyethylene (Polietileno)
MDPE - Medium-density polyethylene

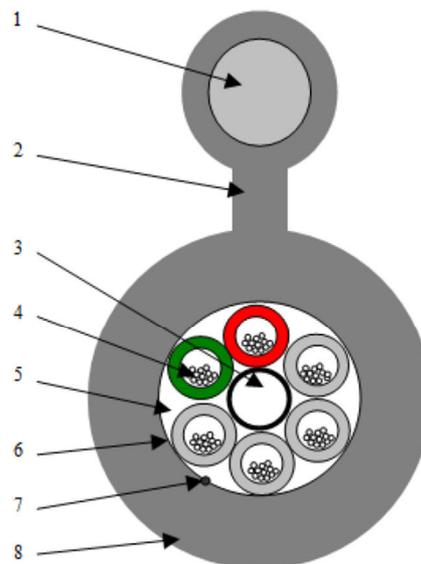


Figura 10 - Perfil e constituição do cabo "Figura 8" [28].

4 Gestão de Ativos

4.1 Introdução

O termo “ativo” é bastante utilizado na sociedade atual, apresentado diferentes significados dependendo da área ou setor em causa.

Sem o prévio enquadramento, para a maioria das pessoas “ativo” não passa de um estado associado ao que está fisicamente apto, preparado, em movimento, a trabalhar.

Já um Gestor de Recursos Humanos, ainda que em sentido lato, não deixará de afirmar que as pessoas constituem o “ativo” mais importante de uma empresa.

Na perspetiva de um Contabilista, “ativo” é o que está representado no balanço financeiro, sendo atribuídos valores monetários ao conjunto de todos os bens e direitos.

Contudo, do ponto de vista empresarial, esse conjunto de bens e direitos que formam o ativo são os necessários para a manutenção sustentada das suas atividades, e consequentemente do seu negócio.

Podemos identificar alguns tipos de ativos, tais como:

- Ativos físicos, e.g. edifícios, equipamentos, máquinas, entre outros;
- Ativos humanos, e.g. conhecimento, competências, responsabilidades, experiência;
- Ativos financeiros, e.g. lucro, capital financeiro, ações, fundo de maneio, dívidas;
- Ativos intangíveis, e.g. reputação, moral, impacto social, imagem, relações externas;
- Ativos de informação, e.g. dados em formato digital, informação empresarial da organização e clientes, informação de desempenho financeiro [60].

4.2 Ativos Tangíveis e Intangíveis

Em função da sua materialidade podem ser identificados dois tipos de ativos, os Ativos Tangíveis e os Intangíveis.

Ativos Tangíveis são o conjunto de bens (instalações ou equipamentos) que a empresa controla e usa para a produção de bens e serviços e dos quais fluem os benefícios económicos que obtém e obterá no futuro, no exercício da sua atividade. Temos exemplos como Edifícios, Máquinas, Postos de Transformação, Linhas AT/MT, cabos de fibra ótica, etc.

Os **Ativos Intangíveis** são o conjunto de bens não corpóreos, isto é, que não possuem contornos físicos palpáveis ou imediatos, mas de que resultam ou podem resultar benefícios ou vantagens. Exemplos disso são Concessões, Marcas e Patentes, Carteira de Clientes, etc.

As empresas que detêm estes ativos potenciam o aumento do seu valor, um exemplo disso é a marca Coca-Cola que está avaliada em 100 biliões de dólares.

4.3 Ativos Técnicos

A dissertação debruça-se sobre um tipo de ativos fixos tangíveis: os Ativos Técnicos.

Na figura 11 representa-se esquematicamente a estrutura das redes de energia elétrica, desde as centrais de produção até às instalações utilizadoras de energia elétrica em baixa tensão.

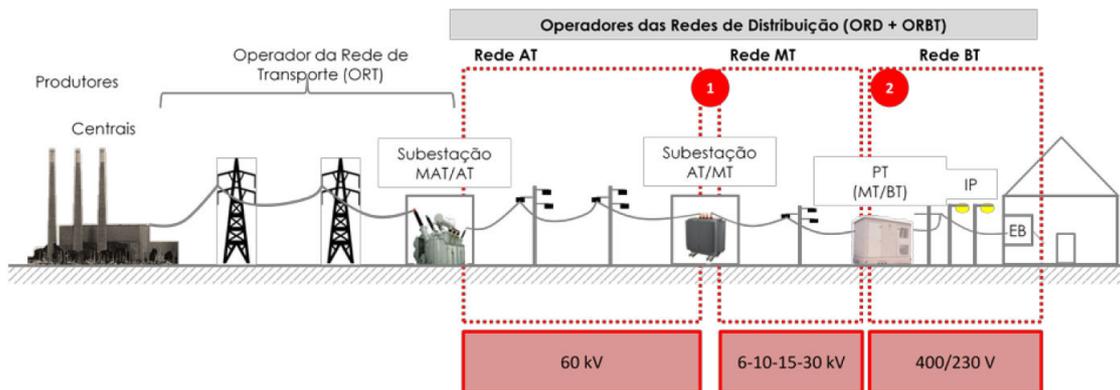


Figura 11 - Estrutura das redes de energia elétrica.

Estamos perante uma vasta diversidade e uma quantidade enorme de ativos técnicos, que podem ser agrupados por classes e subclasses:

- Alta Tensão (AT)
 - Linhas aéreas de alta tensão (inclui cabo OPGW e ADSS);
 - Cabos subterrâneos de alta tensão;
 - Subestações AT/MT;
 - Postos de Corte e Seccionamento AT.
- Média Tensão (MT)
 - Linhas aéreas de média tensão (inclui cabo OPGW e ADSS);
 - Cabos subterrâneos de média tensão;
 - Subestações MT/MT;
 - Postos de Corte e Seccionamento MT;
 - Sistemas de contagem MT.
- Baixa Tensão (BT)
 - Postos de Transformação;
 - Redes aéreas de baixa tensão;
 - Redes subterrâneas de baixa tensão;
 - Chegadas aéreas;
 - Chegadas subterrâneas;
 - Sistemas de contagem BT;
 - Iluminação Pública.
- Equipamentos e acessórios
 - Unidades Remotas;

- Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED-Intelligent Electronic Device);
- Equipamentos de telecomunicações.

Esta dissertação tem o seu foco num ativo técnico tangível muito bem definido, os cabos de fibra ótica da EDP Distribuição.

4.4 Gestão de Ativos Baseada no Risco

A atividade da EDP Distribuição está dependente do desempenho dos seus ativos instalados no terreno, isto é, o correto funcionamento dos ativos é fundamental para atingir os objetivos da empresa e a sua sustentabilidade. O grande número de ativos instalados e as limitações financeiras impostas pela atual conjuntura económica levam à necessidade de mudança dos paradigmas, com vista a garantir da sustentabilidade da empresa.

A implementação de metodologias de análise do risco permite à empresa retardar a substituição dos ativos, assim como melhorar o retorno financeiro de cada ativo.

A gestão de ativos proporciona uma análise mais abrangente da rede de distribuição, ajudando a identificar onde se deve reduzir, manter, ou investir, por forma a otimizar atividades e ativos. A otimização no setor elétrico não passa pela redução nos custos de aquisição de ativos, mas pela possibilidade de obter um maior retorno dos investimentos nos mesmos.

A introdução da gestão de ativos reside não só nas áreas financeiras e técnicas, pois contribui também para uma maior e mais eficaz participação de todos os departamentos da empresa no uso e partilha de informações sobre os ativos físicos, em tempo real.

Do ponto de vista da EDP Distribuição, é essencial otimizar o seu modelo de gestão de ativos para um modelo cada vez mais sustentado em políticas, procedimentos e sistemas que permitam uma gestão efetiva dos seus ativos desde o momento da sua instalação até ao seu abate (físico e financeiro).

Por conseguinte, nos últimos anos a EDP Distribuição tem tido como foco o desenvolvimento da sua política de gestão de ativos técnicos, baseada num conjunto de atividades e práticas estruturadas através das quais a organização gere de forma otimizada e sustentável os seus ativos, que por sua vez se apoia no equilíbrio entre o desempenho, o risco e os custos referentes ao ciclo de vida global, tendo como propósito principal cumprir o plano estratégico da organização.

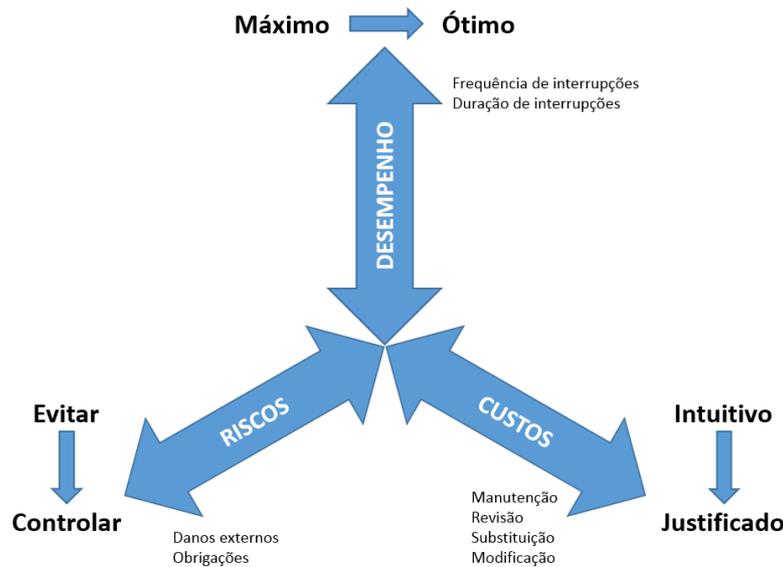


Figura 12 - Eixos fundamentais da gestão de ativos.

O objetivo da empresa passa por garantir um desempenho ótimo (ao invés de máximo) com um risco controlado, possibilitando desta forma a obtenção de custos justificados.

A gestão de ativos idealizada pela EDP Distribuição é baseada no risco. Um risco resulta da probabilidade de um evento ocorrer combinado com a consequência que deste pode advir caso de facto aconteça. Para além do risco existe a condição operacional em que se encontra o ativo, pois sem essa informação não pode existir gestão de ativos.

4.5 Tipos de Manutenção

Independentemente do objetivo da manutenção passar por conservar e repor a condição técnica dos ativos, também devem ser sempre considerados parâmetros como a segurança, qualidade, custo e disponibilidade.

A segurança é um fator de cariz não negociável, devendo ser assegurada a todos os elementos intervenientes no processo, desde as pessoas aos próprios ativos.

Um ato de manutenção deve focar-se na obtenção de um melhor rendimento dos ativos, garantindo a maior operabilidade dos mesmos e minimizando as paragens por avaria, por forma a contribuir para a correta continuidade do serviço. Deve-se procurar não danificar os ativos e ter sempre um máximo de respeito pelas condições de higiene e segurança e pelo meio ambiente.

Qualquer intervenção de manutenção deve verificar o mínimo custo global, resultante da análise dos custos da produção e dos custos originados pela manutenção ou pela não manutenção.

Atualmente, a gestão de ativos na EDP Distribuição é realizada com base numa estratégia de manutenção e substituição de ativos, baseada fundamentalmente na análise de históricos de indicadores de qualidade de serviço e avarias. Todavia, em conformidade com as novas práticas de gestão de ativos baseadas no risco, deve-se

concentrar a atenção em metodologias de controlo e monitorização dos ativos, tentando prever quando e como os ativos vão falhar, procurando evitar intervenções desnecessárias e antecipar a ocorrência de falhas, e atuando numa fase anterior à sua provável ocorrência.

Esta abordagem permite estabelecer, em qualquer circunstância, o tipo de manutenção mais indicado para o efeito. Os tipos de manutenção considerados estão expostos no diagrama seguinte e explicados de seguida [61].

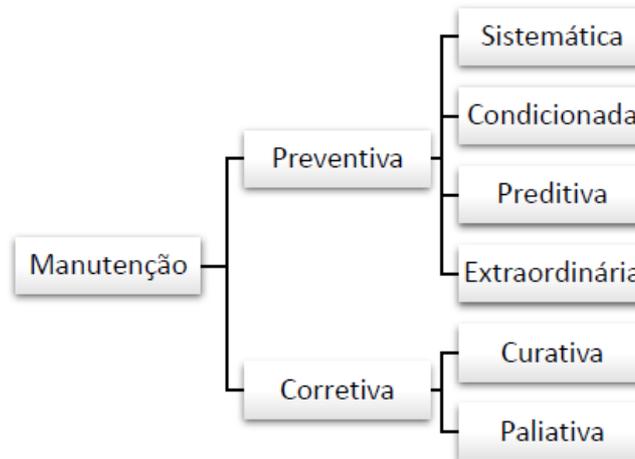


Figura 13 - Tipos de Manutenção.

4.5.1 Manutenção Preventiva Sistemática

Manutenção preventiva é uma ação planejada e sistemática de tarefas de prevenção de forma constante, e envolve programas de inspeção, reformas e reparos, entre outros, ao longo do tempo de vida útil do ativo. Baseia-se num conjunto de inspeções e ensaios realizados com base em critérios previamente estabelecidos, como intervalos de tempo constantes ou número de manobras/horas atingido, com prioridades que variam consoante o nível de risco determinado para cada um. De uma forma resumida, é executada em intervalos fixos de tempo.

Tem vantagens tais como o custo de cada operação de manutenção, que é predeterminado, e uma gestão financeira simplificada. Por outro lado apresenta desvantagens tais como o custo elevado de cada operação (devido à periodicidade por vezes desnecessária) e, dada a exatidão das intervenções e uma habituação dos executantes, existe maior possibilidade de erros humanos e o “síndrome de preocupação” pode levar à substituição de equipamento sem necessidade, pois a falta por vezes de conceitos concretos e balizados deixa a avaliação do estado do equipamento à consideração do avaliador.

4.5.2 Manutenção Preventiva Condicionada

A manutenção preventiva condicionada é realizada em função do estado dos componentes do equipamento. É um tipo de manutenção em que a decisão de intervenção preventiva

é tomada no momento em que há evidências de anomalias detetadas na sequência da realização das ações de MPS, de observações ocasionais ou de sensorização do próprio equipamento. Realiza ações destinadas a eliminarem as não conformidades identificadas antes que degenerem em avaria.

Uma vez que apenas são realizadas intervenções de manutenção quando se identifica uma anomalia na condição do ativo, naturalmente haverá menos custos associados e uma maior produtividade, já que o ativo apenas é colocado fora de serviço em situações extremamente necessárias. A grande desvantagem prende-se com o facto de, por vezes, o intervalo de tempo entre a deteção e a intervenção não ser suficiente para a reparação, e o ativo se degradar de forma irreversível.

4.5.3 Manutenção Preditiva

O controlo periódico dos ativos, baseado na análise de informações retidas através da monitorização ou inspeções, deve reunir dados suficientes para a avaliação da sua condição técnica e para prever como o estado dos ativos vai evoluir. Este tipo de manutenção tenta prever o estado futuro do equipamento e estimar o seu tempo de vida.

Com base no cruzamento dos dados obtidos por monitorização (por vibração, análises de óleo, ultrassom e termografia, entre outras técnicas) é possível prever o momento ideal para efetuar as intervenções, otimizando as mesmas e minimizando os custos associados.

Um dos principais objetivos deste tipo de manutenção é eliminar trabalhos de desmontagem/montagem apenas para inspeção.

4.5.4 Manutenção Extraordinária

As ações de manutenção extraordinária são intervenções de longa duração, que apenas ocorrem uma ou duas vezes durante a vida útil do ativo. Pretende-se com estas acções beneficiar o ativo de forma a aumentar o seu tempo de vida útil, o que economicamente se torna mais vantajoso que a substituição do mesmo.

Estas intervenções podem ser recomendadas pelo fabricante, com base no tempo de funcionamento ou na utilização, visando assegurar o bom desempenho do ativo ao longo da sua vida útil, ou pelo gestor de ativos, tendo em conta os dados históricos e estatísticos existentes.

4.5.5 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma anomalia. Se a anomalia se verificar de forma catastrófica, diz-se que ocorreu uma avaria e a intervenção tem de ser de emergência.

4.5.6 Manutenção Corretiva Paliativa

A manutenção paliativa consiste numa reparação provisória, que reestabelece a condição provisória do ativo até à reparação em definitivo, ficando este limitado ao nível das suas funções.

4.5.7 Manutenção Corretiva Curativa

Também consiste na intervenção de manutenção após a falha, mas visa ao restabelecimento da condição técnica do ativo de forma definitiva.

4.6 Políticas de Manutenção

4.6.1 TBM – *Time Based Maintenance*

Este conceito encontra-se associado a uma manutenção preventiva sistemática, efetuada de uma forma periódica, de acordo com as recomendações do fabricante e a experiência adquirida. Trata-se de uma manutenção baseada no tempo de vida do ativo e parte do princípio que todos os equipamentos com a mesma tecnologia associada apresentam a mesma necessidade de manutenção.

É considerada uma política de baixo custo, mas que não garante uma elevada disponibilidade do ativo.

4.6.2 CBM – *Condition Based Maintenance*

Uma política de manutenção que se baseia na condição do ativo, associada à manutenção preventiva condicionada. A manutenção é realizada quando existem indicadores que mostram que o ativo irá falhar ou que o desempenho está a baixar.

A manutenção baseada na condição foi introduzida com o objetivo de garantir que o ativo se encontra sempre operacional ao longo do tempo. Baseia-se em dados recolhidos em tempo real que monitorizam a condição, e permite priorizar e otimizar as manutenções.

O sistema de monitorização permite determinar a saúde do ativo e atuará somente quando a manutenção for realmente necessária.

Os desenvolvimentos nos últimos anos permitiram a sensorização extensiva de equipamentos, que conjugada com ferramentas de análise de dados fornece a informação completa ao técnico de manutenção para o ajudar a decidir qual o momento certo para realizar a manutenção, baseado apenas na condição do ativo [49].

4.6.3 RBM – *Risk Based Maintenance*

Uma política de manutenção assente exclusivamente na análise de risco. Este tipo de manutenção é bastante interessante do ponto de vista da disponibilidade do ativo, porque em princípio requer menos manutenções, no entanto deixa que o ativo chegue ao

limiar da continuidade de funcionamento. As manutenções são realizadas em última instância.

Tipicamente, utiliza-se uma matriz de risco que avalia o impacto da tarefa de manutenção nos seguintes aspectos: Probabilidade de Falha (PoF) do ativo, e as consequências da falha (CoF) do ativo.

4.6.4 CBRM – *Condition Based Risk Maintenance*

Uma política de manutenção baseada na condição do ativo e no risco da falha do ativo, que por sua vez terá uma consequência. É uma política muito equilibrada que conjuga dois fatores bastante relevantes para empresas na área das *utilitys*, por um lado a necessidade de manter os seus ativos operacionais por uma questão de garantia de fornecimento de serviço ou continuidade de produção, mas que por outro lado pondera também os riscos envolvidos em situações de falha.

Atualmente, as empresas na área das *utilitys* consideram a política de manutenção CBRM mais adequada, em detrimento da prática habitual da TBM.

A política CBRM permite usar o conhecimento sobre a condição do ativo, o *know-how* de engenharia e a experiência adquirida com a prática para prever a condição futura, o desempenho e o risco associado ao ativo [53].

A implementação desta política utiliza um modelo de gestão para cada tipo de ativo baseado nos seguintes parâmetros

- Índice de Saúde;
- Probabilidade de Falha (PF);
- Risco;
- Criticidade do ativo.

4.7 Conclusão

A Manutenção é uma atividade de importância estratégica nas empresas, pois deve garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações com confiabilidade, segurança e custos adequados.

Uma correta gestão de ativos passa forçosamente por uma etapa de identificação e análise das falhas a eles inerentes e pelo seu controlo e monitorização rigorosos, com vista a definir qual o tipo de manutenção a aplicar por classe de ativo e quando fazê-lo, procurando assim um equilíbrio entre o desempenho, os custos e os riscos.

Tendo em conta as necessidades da EDP, que de uma forma sistemática realiza MPSs aos seus ativos, porque de acordo com a sua política interna considera que esta é uma das formas de garantir que a condição dos ativos é a melhor, mas que por outro lado pretende fazer o balanço entre a condição e o risco associado, de forma a otimizar os custos, claramente que a política de manutenção CBRM é a recomendada para os cabos de fibra ótica da EDPD.

5 Modelo Heurístico para Cálculo do Índice de Saúde e Probabilidade de Falha

Pretendemos contruir um Modelo de Cálculo do Índice de Saúde (IS) e da Probabilidade de Falha (*Probability of Failure* - PoF) para um dos ativos técnicos mais relevantes nas Redes de Distribuição Elétrica AT/MT, os cabos de Fibra Ótica.

O desenvolvimento do modelo inicia-se com a pesquisa de modelos já em uso para outros ativos e com uma identificação dos principais fatores que influenciam a condição técnica dos cabos de fibra ótica. A análise de modelos já formulados, de manuais de carácter técnico dos cabos de fibra ótica, de fichas técnicas de manutenção, do histórico de avarias, o *know-how* dos técnicos, o acompanhamento de manutenções realizadas em deslocações ao terreno, e a experiência do autor, superior a 10 anos, na atividade de instalação, operação e manutenção de fibra ótica, serviram de suporte à investigação.

Para além da identificação dos indicadores, foi realizada uma análise crítica sobre o contributo de que cada indicador, ou seja, foram estabelecidas ponderações para cada indicador de forma a que o modelo traduza resultados tão próximos quanto possível da realidade.

5.1 Índice de Saúde

A reestruturação do sector elétrico com a liberalização dos mercados de energia, e o modelo de negócio que pretende maximizar os lucros, levou várias *utilities*¹ do sector elétrico a adotarem o conceito de IS para medir e monitorizar a condição dos seus ativos. O IS representa uma nova forma para registar e quantificar os resultados das observações operacionais, inspeções de campo e *in situ*, e testes laboratoriais, fornecendo uma medida do estado de saúde de um ativo. O Índice de Saúde de um ativo torna-se assim uma ferramenta poderosa na gestão dos programas de manutenção. Quando formulado de forma adequada, o IS fornece uma indicação precisa da probabilidade de falha do ativo.

Tendo estabelecido os parâmetros quantificadores do IS, no futuro será possível prever os seus valores, tendo em consideração o impacto das condições ambientais e operacionais, juntamente com as práticas preventivas de manutenção [63].

O Índice de Saúde de um ativo é obtido a partir das características técnicas dos equipamentos que indicam o estado físico dos mesmos. É uma forma de combinar informação sobre a condição do ativo para atribuir um valor numérico como indicação da sua condição geral [62].

O Índice de Saúde dos cabos de fibra ótica é influenciado por fatores relativos à sua condição geral.

¹ *Utility* - “organização responsável pela manutenção e operação de uma infraestrutura de serviço público”(Wikipedia)

5.1.1 Identificação dos indicadores

Pretendeu-se identificar os fatores que possam ser mensuráveis, de fácil quantificação e que reduzam ao máximo a subjetividade de quem avalia. Como foi dito anteriormente, o objetivo foi identificar fatores que indiquem o estado físico de um cabo de fibra ótica. Cingimo-nos aos fatores que consideramos de maior relevância e que refletem a condição física.

Para tal consideram-se cinco graus (ou níveis) de valorização, por cada fator, que exprimem a condição do cabo.

A necessidade de avaliar a condição de cada fator, que não se resume a dois únicos estados (excelente ou mau), levou à adaptação de uma Escala Likert de 5 pontos [64], bastante utilizada em questionários sobre avaliação de comportamentos, que permite pontos intermédios entre os pontos extremos, conforme a tabela a baixo:

“Graus de valorização”

Grau				
Mau	Insuficiente	Suficiente	Bom	Muito Bom

5.1.1.1 Idade

Os operadores de telecomunicações que instalam fibra ótica presumem que o seu tempo de vida útil será de 25 anos, e os próprios fabricantes indicam os mesmos 25 anos como o tempo de vida para um cabo de fibra ótica. No entanto, na prática existem cabos de fibra ótica instalados desde os finais de 1970 e início de 1980, com mais de 30 anos, e que ainda continuam a operar sem evidencias de degradação. [15]

Sendo os cabos de fibra ótica uma tecnologia que podemos considerar recente, não se conhece em pormenor o seu tempo de vida restante (*Remaining Life Time – RLT*), no entanto considerou-se que o período de maior criticidade no que diz respeito à idade do cabo será a partir dos 50 anos.

Indicador de “Idade”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Idade	$I < 20$ Anos	$20 \text{ Anos} \leq I < 30$ Anos	$30 \text{ Anos} \leq I < 40$ Anos	$40 \text{ Anos} \leq I < 50$ Anos	$I \geq 50$ Anos

5.1.1.2 Tipo de cabo

A EDP utiliza cabos óticos de instalação aérea ou subterrânea, com diferentes características e especificidades. A escolha de um determinado cabo está diretamente relacionada com as condições de campo e técnicas que por vezes condicionam o tipo de cabo a selecionar.

Os cabos instalados pela EDPD são os seguintes, e encontram-se descritos com maior pormenor no capítulo 3.2:

- OPGW (*Optical Power Ground Wire*);
- Conduta;
- *Microcable*;
- Figura 8;
- ADSS (*All-Dielectric Self-Supporting*).

O OPGW é o tipo de cabo mais utilizado, e é sempre a primeira escolha. Caso não existam as condições necessárias para a sua instalação, a segunda opção passa pelo cabo ADSS, o segundo tipo mais instalado. Ainda nos cabos de instalação aérea, o cabo Figura 8 tem uma utilização residual na rede ótica.

Quanto aos cabos de instalação subterrânea, na sua grande maioria é utilizado o cabo de Conduta, e em situações anormais é utilizado o cabo *Microcable*.

A existência de uma base de dados que possui o registo das avarias ocorridas entre 2010 e 2014, que garantidamente peca por defeito, uma vez que se sabe que nem sempre foi devidamente atualizada (83 registos), tornou possível aferir a percentagem de avarias por tipo de cabo:

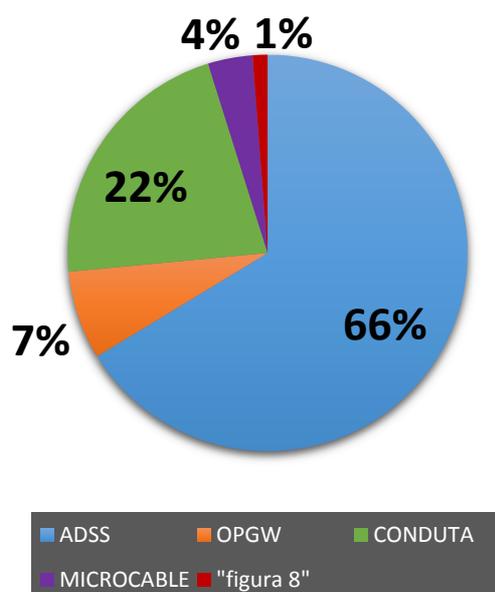


Gráfico 1 - Percentagem de Avarias por Tipo de Cabo FO.

Concluimos que o cabo OPGW, por ser instalado em apoios de Alta e Media Tensão a grande altura, por possuir grande robustez, apesar de estar instalado na maior parte da rede apresenta poucas falhas, e por isso considera-se o cabo de menor criticidade.

Seguidamente temos os cabos de conduta que, pelo facto de serem instalados em condutas subterrâneas e se encontrarem protegidos dos agentes externos, são considerados de criticidade média. Entre os cabos de conduta, o *Microcable* tem maior criticidade porque é instalado a baixa profundidade e em caso de avaria é de difícil reparação.

Os restantes cabos aéreos, que são instalados sob as linhas elétricas, em apoios AT/MT, que se podem considerar a baixa altura, estão mais vulneráveis a ações externas (como por exemplo tiros por ação de caçadores, incêndios, etc.) e à fadiga mecânica, são considerados os cabos mais vulneráveis e de maior criticidade. Considerou-se o ADSS de maior criticidade porque, para o fixar nos apoios, recorre-se a acessórios com garras que atacam diretamente o cabo, criando uma maior fadiga mecânica no revestimento exterior. O cabo Figura 8 possuiu um tirante destinado especificamente à sua fixação.

Indicador de “Tipo de Cabo”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Tipo de cabo	OPGW	Conduta	Microcable	Figura 8	ADSS

5.1.1.3 Degradação da camada externa do cabo

Na fabricação de cabos de fibra ótica não se consegue evitar pequenos defeitos superficiais, denominados microfissuras. A presença desses defeitos superficiais, que não é possível eliminar, pode contribuir para que ocorra uma redução significativa da resistência mecânica, reduzindo assim o seu tempo de vida.

O fenómeno de fadiga traduz-se na degradação da resistência mecânica em função do tempo, que ocorre na maioria dos materiais. Portanto é possível acontecer a rutura do cabo de fibra, originando a interrupção do sistema de comunicações [16].

A fadiga em cabos de fibra ótica resulta de um lento crescimento de microfissuras que ocorrem devido a tensões exercidas no cabo ou a ataques químicos realizados por substâncias existentes no ambiente.

O facto de existirem vestígios de degradação da camada externa do cabo indicia um ponto frágil e possível causa de avaria. A degradação da camada exterior pode levar à perda de consistência do poder de tração do cabo e conseqüentemente a um escorregamento dos tubos internos onde se encontram as fibras óticas acomodadas, originando atenuações indesejadas ou a rutura das fibras [24].

Indicador de “Degradação da camada externa”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Degradação da camada externa	Sem registo	Baixa	Media	Alta	Muito Alta

5.1.1.4 Número de Caixas de Fusão

A necessidade de criar ligações de dezenas de quilómetros obriga à existência de pontos de ligação para dar continuidade ao cabo. Tipicamente, as bobinas fornecidas não ultrapassam os 4 km. O primeiro motivo prende-se com a dimensão/peso das bobinas que acomodam o cabo, que caso sejam exageradamente grandes obriga a meios especiais para carga/descarga e transporte, e o segundo motivo está relacionado com a

instalação do cabo, pois para comprimentos muito extensos torna-se difícil “puxar” o cabo, o que pode obrigar a exercer forças exageradas que ultrapassam os valores máximos de tração, e danificar o mesmo.

Como qualquer ponto de ligação, a caixa de fusão é um ponto frágil, de maior vulnerabilidade e com maior probabilidade de avaria, num cabo de fibra ótica.

Tratando-se de uma caixa que se pretende estanque, poderá perder a sua capacidade de estanquicidade com o passar do tempo, devido a um processo natural de envelhecimento e degradação dos materiais, perdendo a função de estanquicidade e permitindo a entrada de água (humidade). O contacto da água com a fibra leva à contaminação da fibra por iões hidroxilo (OH), que originam um pico de atenuação por absorção pela água (WPA - Water Peak Atenuation). As moléculas de água alojam-se nas microfissuras, acabando por ampliá-las [18,17], ou o contacto direto da água com a fibra origina iões hidróxilo e consequente aumento da atenuação [24], reduzindo de uma forma irreversível o tempo de vida da fibra.

Por outro lado, os cabos que entram na caixa de fusão estão sujeitos à intempérie, com ventos por vezes fortes que podem criar torção nos cabos, podendo originar a rutura das fibras no interior da caixa de fusão [24].

Considera-se por isso que um número elevado de caixas de fusão aumenta a probabilidade de falha.

Indicador de “Nº de caixas de fusão”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Nº de caixas de fusão	Sem caixas	$1 \leq CF \leq 3$	$3 < CF \leq 7$	$7 < CF \leq 10$	$CF > 10$

5.1.1.5 Comprimento do cabo

Naturalmente que quanto maior for o comprimento do cabo mais extensão existe disponível, e maior a probabilidade de acontecer algum incidente. Pois os cabos de grandes comprimentos acabam por estar expostos a vários perigos ao longo do seu traçado, e a experiencia acaba por comprovar que os de maior comprimento são os mais afetados.

Os cabos de fibra ótica na EDPD tipicamente não ultrapassam os 50 km, logo considerou-se que a partir deste valor seria o caso mais crítico.

Indicador de “comprimento”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Comprimento	$L \leq 5 \text{ km}$	$5 \text{ km} < L \leq 15 \text{ km}$	$15 \text{ km} < L \leq 30 \text{ km}$	$30 \text{ km} < L \leq 50 \text{ km}$	$L > 50 \text{ km}$

5.1.2 Ponderação dos indicadores

Naturalmente que nem todos os indicadores têm o mesmo peso sobre o Índice de Saúde de um cabo de fibra ótica. Portanto foi necessário encontrar uma forma de atribuir ponderações a cada indicador de forma mais correta e com uma base sustentada, não assente apenas em dados empíricos.

No entanto, a EDPD não regista de forma sistematizada as avarias em cabos de fibra ótica, essa informação existe no *know-how* dos operacionais da rede. De uma forma empírica sabemos que a maior causa de avarias em cabos de fibra ótica é provocada por fatores externos.

A experiência revela que um dos principais pontos fracos num cabo de fibra está nas caixas de fusão. Muitas das avarias surgem principalmente pela torção nos cabos junto da caixa de fusão, que origina atenuações elevadas, mas tipicamente sem rutura das fibras internas. No decorrer das MPSs são identificadas várias situações de atenuações elevadas em caixas de fusão.

Em intervenções em juntas existentes para alterar encaminhamentos óticos, várias vezes são detetados vestígios de humidade ou mesmo água depositada. Embora atualmente não existam registos de falhas provocadas pelo contacto de água com a fibra, conforme explicado no ponto 5.1.1.4, é possível que venham a surgir num futuro próximo. Pois podemos considerar que os cabos de fibra da EDPD são recentes e não estão expostos à intempérie o tempo suficiente que se verifique a influência deste fator.

A segunda grande causa de falha prende-se com o tipo de cabo. A questão não está diretamente relacionada com o tipo de cabo, mas sim com a zona onde são instalados nos apoios. Os cabos ADSS e Figura 8, por serem instalados abaixo das linhas AT/MT, estão mais próximos do solo e por isso mais vulneráveis aos fatores externos, como queda de árvores, incêndios ou tiros de caçadeira.

Sendo a rede da EDPD na sua grande maioria rede aérea, o comprimento do cabo aumenta a sua probabilidade de falha, pois quanto maior o cabo, mais vãos, mais juntas, e mais exposição ao risco de uma forma geral.

Por fim, a idade e a camada exterior serão os indicadores com menor peso uma vez que são os menos suscetíveis de influenciar o Índice de Saúde do cabo de fibras óticas.

Assim, com base na informação anterior, a experiência do autor e dos técnicos operacionais da EDPD, apresenta-se o seguinte quadro síntese com a respetiva ponderação.

Tabela 1 - Indicadores para calculo do Índice de Saúde

Categoria	Indicador	Graus de Valorização					Ponderação
		Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0	
Características Técnicas	Idade	I < 20 anos	20 anos ≤ I < 30 anos	30 anos ≤ I < 40 anos	40 anos ≤ I < 50 anos	I ≥ 50 anos	10%
	Tipo de Cabo	OPGW	Conduta	Microcable	Figura 8	ADSS	30%
	Degradação da camada externa do cabo	sem registo	Baixa	Media	Alta	Muito Alta	15%
	Nª de Caixas de Fusão	Sem caixas	1 ≤ C ≤ 3	3 < C ≤ 7	7 < C ≤ 10	> 10	25%
	Comprimento do cabo	L < 5 Km	5 km < L ≤ 15Km	15 km < L ≤ 30 Km	30 km < L ≤ 50 Km	L > 50 Km	20%

Ora, se considerarmos que um determinado indicador tem o valor máximo (valor opimo) quando atinge o nível 4, mas que o seu estado real pode variar entre 4 e 0, podemos saber a percentagem em que se encontra esse indicador fazendo o cociente entre o seu estado real e o valor máximo possível.

$$\frac{Idade_{real}}{Idade_{max}} + \frac{Cabo_{real}}{Cabo_{max}} + \frac{Degradação_{real}}{Degradação_{max}} + \frac{Caixas_{real}}{Caixas_{max}} + \frac{Comprimento_{real}}{Comprimento_{max}}$$

Uma vez que o máximo para cada indicador é 4, temos:

$$\frac{Idade_{real}}{4} + \frac{Cabo_{real}}{4} + \frac{Degradação_{real}}{4} + \frac{Caixas_{real}}{4} + \frac{Comprimento_{real}}{4}$$

Mas visto que nem todos os indicadores têm o mesmo peso, temos que multiplicar pela ponderação de cada indicador:

$$\begin{aligned} & \frac{Idade_{real} \times Ponderação_{idade}}{4 \times Ponderação_{idade}} + \frac{Cabo_{real} \times Ponderação_{cabo}}{4 \times Ponderação_{cabo}} \\ & + \frac{Degradação_{real} \times Ponderação_{degradação}}{4 \times Ponderação_{degradação}} \\ & + \frac{Caixas_{real} \times Ponderação_{caixas}}{4 \times Ponderação_{caixas}} \\ & + \frac{Comprimento_{real} \times Ponderação_{comp}}{4 \times Ponderação_{comp}} \end{aligned}$$

Assim, após a identificação dos indicadores significativos e a respetiva atribuição das ponderações, o Índice de Saúde é calculado pelo quociente entre o somatório do produto

dos níveis com as ponderações e o valor máximo dos níveis multiplicado com o somatório das ponderações, isto é:

$$IS = \frac{\sum_i(Nível_i \times Ponderação_i)}{4} \quad (1)$$

Consideremos o seguinte exemplo, supondo um cabo de fibra ótica com as seguintes Características Técnicas:

- **Idade:** 23 anos;
- **Tipo de Cabo:** OPGW;
- **Degradação da camada externa:** sem registos;
- **Nº de Caixas de Fusão:** 5;
- **Comprimento do cabo:** 42 km.

Aplicando a tabela 1 e a formula (1), obtemos:

Categoria	Indicadores	Graus de Valorização		
		Nível	Ponderação	Produto
Características Técnicas	Idade	3	10%	0,3
	Tipo de Cabo	4	30%	1,2
	Degradação da camada externa do cabo	4	15%	0,6
	Nº de Caixas de Fusão	2	25%	0,5
	Comprimento do cabo	1	20%	0,2

O cálculo do IS utilizando a expressão (1) resulta em:

$$IS = \frac{0,30 + 1,20 + 0,60 + 0,50 + 0,20}{0,40 + 1,20 + 0,60 + 1,00 + 0,80}$$

$$IS = 0.7000 = 70,00\%$$

5.2 Probabilidade de Falha

A Probabilidade de Falha (PoF) é a probabilidade do ativo falhar a execução da sua função, sob condições de operação normais. Pode servir para prever a necessidade de substituir o ativo ou repor a sua condição antes da ocorrência de falhas.

A necessidade da EDP monitorizar os seus ativos técnicos levou à criação de um projeto interno, envolvendo vários grupos de trabalho, que concluíram/definiram que a PoF de um ativo é o resultado da conjugação dos fatores intrínsecos ao ativo, o Índice de Saúde, e os Fatores Externos, extrínsecos ao ativo, sobre os quais não temos controlo.

Assim, a Probabilidade de Falha para o cabo de fibra ótica será calculada de acordo com a norma interna da EDPD:



A probabilidade, neste modelo, não é vista de um ponto de vista estatístico, em que a probabilidade é obtida a partir de amostras de históricos de falhas. É, em vez disso, estimada com base em fatores que estão diretamente ligados à condição do cabo de fibra e que o podem levar à falha da sua função. Com a identificação destes indicadores e a respetiva parametrização, é atribuído um peso à sua influência na falha para os possíveis modos de falha dos cabos de fibra ótica. Após a obtenção de todos os dados é construído o modo de cálculo para este efeito.

Ao longo da dissertação será utilizada a nomenclatura inglesa PoF para a Probabilidade de Falha, por ser a utilizada na bibliografia a nível internacional.

5.2.1 Fatores externos impactantes

Existem fatores externos que não dependem do cabo propriamente, mas que estão relacionados com a localização e o meio onde o cabo está instalado, que podem levar à sua falha.

Serão apresentados de seguida os fatores externos considerados relevantes.

5.2.1.1 *Incêndios*

Os incêndios florestais são das catástrofes naturais mais graves em Portugal, não só pela elevada frequência com que ocorrem e extensão que alcançam, como pelos efeitos destrutivos que causam. Para além dos prejuízos económicos e ambientais, podem constituir uma fonte de perigo para as populações e bens.

Os incêndios florestais são considerados catástrofes naturais, mais pelo facto de se desenvolverem na natureza e por a sua possibilidade de ocorrência e características de propagação dependerem fortemente de fatores naturais, do que por serem causados por fenómenos naturais.

As regiões do Norte e do Centro do país são, no geral, aquelas onde se regista um maior número de incêndios florestais e de áreas ardidas [1].

Em Portugal continental, os elevados danos resultantes da destruição de vastas áreas de povoações e outras áreas florestais por ação dos incêndios florestais justificam a necessidade de se avaliar a perigosidade de incêndio florestal.

A perigosidade de incêndio florestal traduz o grau de possibilidade de afetação de um determinado local por via de um incêndio florestal [2].

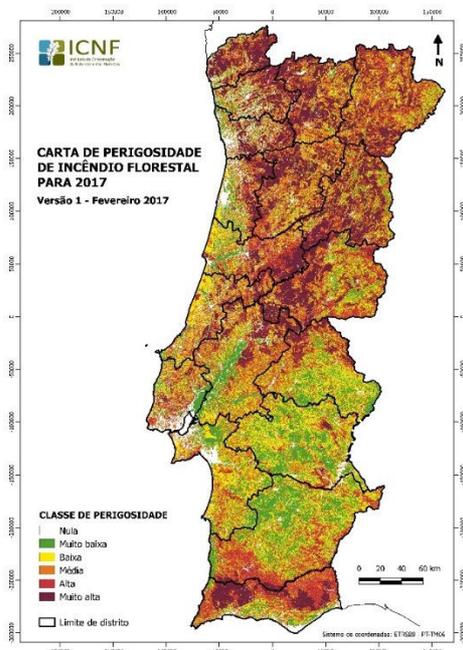


Figura 14 - Avaliação da perigosidade de incêndio florestal [2].

Apresenta-se no Anexo E o mapa da Figura anterior com maior pormenor.

Os incêndios florestais são uma das causas de avaria em cabos de fibra ótica, principalmente em cabos ADSS, uma vez que não são ignífugos e portanto não resistem ao fogo [11].

A partir da base de dados de registo de avarias da EDPD, já referida no ponto 5.1.1.2, após analisar o descritivo das avarias, conseguimos tipificar a causa da avaria do cabo de FO.

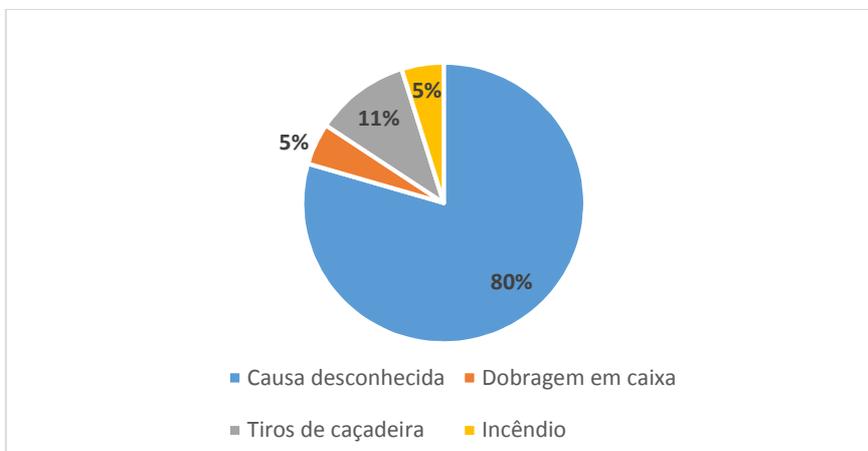


Gráfico 2 - Causas de avaria em cabos FO da EDPD.

Quando um cabo de fibra ótica é atingido por um incêndio, a sua reparação é sempre um processo bastante demorado. Primeiro porque, enquanto o incêndio não for circunscrito e as autoridades competentes autorizarem e garantirem as condições de segurança, não se pode enviar técnicos para o local, situação que pode durar horas ou dias. Em segundo lugar, tipicamente, o comprimento do cabo danificado exige a passagem de cabo novo (por vezes vários quilómetros) e respetivas juntas, o que obriga a trabalhos de passagem de cabos na proximidade de tensão, que demora alguns dias.

Este é um dos fatores externos que tem maior impacto, pelo demorado tempo de reparação, pelo custo de reparação elevado e por estar fora do controlo total da EDPD. No entanto é uma das causas de avaria em cabos de fibra ótica que acontece com alguma frequência, de forma sazonal.

Assim, e recorrendo ao mapa de avaliação da perigosidade de incêndio florestal, considerou-se o seguinte indicador:

Indicador de “Perigosidade de Incêndio”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Perigosidade de Incêndio	Nula ou Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta

5.2.1.2 Zona de Caça

Conforme se pode verificar no gráfico 2 as avarias provocadas por tiros de caçadeira são significativas e devem ser tidas em consideração.

No entanto, da busca realizada junto da autoridade que gere as Zonas de Caça não foi possível adquirir um mapa com a área autorizada como Zona de Caça. Esta informação existe de facto mas não se encontra disponível num mapa. No sítio do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas [5] na Internet é possível consultar as Zonas de Caça por Distrito e Concelho e verificar quais as zonas autorizadas.

Indicador de “Zona de Caça”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Zona de Caça	Não	25% do traçado	50% do traçado	75% do traçado	100% do traçado

5.2.1.3 Zona de Nemátodo da madeira do Pinheiro – NMP

O Nemátodo da Madeira do Pinheiro (NMP) é um verme microscópico considerado uma das doenças mais perigosas para as coníferas a nível mundial. Em Portugal foi detetado em 1999, em pinhais da região de Setúbal.

Noutras regiões do globo este organismo já demonstrou ter um elevado potencial de mortalidade para os pinheiros.

Em Portugal, o NMP foi encontrado unicamente no pinheiro bravo, embora ocorra em áreas com grande densidade de outros pinheiros, nomeadamente o pinheiro manso.

O NMP leva à mortalidade das árvores, que secam e acabam por cair de forma inesperada.



Figura 15 - Nemátodo da madeira do pinheiro [6].

A dispersão do nemátodo está dependente de um insecto-vector, o Longicórneo do Pinheiro, que ao voar de arvore em arvore vai contaminando as arvores em redor.



Figura 16 - Longicórneo do pinheiro [6].

Este assunto é de tal forma preocupante que o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) desenvolveu ao longo dos anos planos de ação nacionais, com vários incentivos e campanhas de esclarecimento, para a prevenção, controlo e combate do NMP. O ICNF desenvolveu uma ferramenta informática dedicada ao cadastro e georreferenciação de casos identificados com NMP.

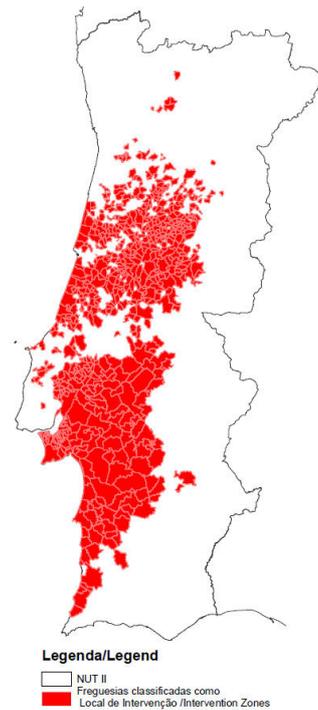


Figura 17 - Mapa da área geográfica afetada pelo NMP [30].

No Anexo F está disponível o mapa com maior pormenor.

A própria EDP, mais concretamente a Direção responsável pela manutenção da rede elétrica de MT/AT, tem uma preocupação adicional com os apoios instalados em zonas identificadas com NMP, pois a queda de árvores de forma inesperada, caso ocorra sobre uma linha elétrica ou apoio, pode provocar a rotura do cabo.

Assim, considerou-se o NMP como um indicador relevante que pode ter impacto na falha de um cabo de FO. O indicador assenta sobre o facto do trajeto ser numa zona referenciada com a presença de NMP.

Indicador de “NMP”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
NMP	Sem presença de NMP ao longo do traçado	Presença de NMP em 25% do traçado	Presença de NMP em 50% do traçado	Presença de NMP em 75% do traçado	Presença de NMP em 100% do traçado

5.2.1.4 Risco Sísmico

O risco sísmico representa uma medida das perdas (económicas e humanas) esperadas para determinados elementos expostos ao risco, como resultado de sismos futuros, e a probabilidade das mesmas ocorrerem para um certo período de tempo de exposição.

A dimensão e gravidade dos efeitos de um sismo dependem diretamente da extensão e grau de degradação provocado pelo sismo que, por sua vez, resulta da intensidade da ação sísmica e da vulnerabilidade (entendida como uma medida do dano causado nos elementos em risco em resultado da ocorrência de um sismo com uma dada intensidade) dos elementos expostos.

É assim compreensível que uma dada região, mesmo que esteja sujeita a sismos intensos, possa ter um risco sísmico reduzido, se for escassamente habitada, uma vez que nesse caso os elementos expostos serão poucos e os impactos facilmente minimizados. Pelo contrário, uma outra região sujeita a sismos da mesma severidade, possuirá um risco sísmico tanto mais elevado quanto mais vulneráveis forem os elementos expostos ao risco nela existentes, e quanto maior for o potencial de impacto na sociedade aos vários níveis.

Ainda que a perigosidade sísmica do território Nacional seja moderada, se se tiver em conta todos os aspetos que condicionam o risco, parece claro que parte da população Portuguesa vive em situações de risco sísmico não desprezável e que pode ser considerado elevado em algumas regiões [31, 32].

A carta das isossistas máximas observadas até à atualidade, permite-nos concluir que o risco sísmico no continente é elevado, e que as zonas de maior criticidade são também as de maior concentração demográfica (litoral), e naturalmente de maior concentração da rede elétrica AT/MT.

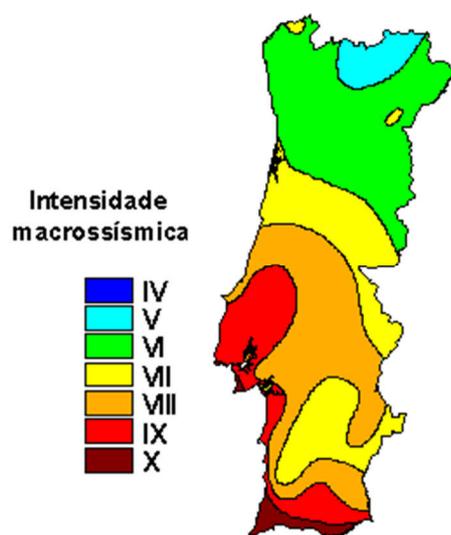


Figura 18 – Mapa da carta das isossistas máximas [31].

O risco sísmico cresce do Norte para o Sul do país, sendo a região de Lisboa, Vale do Tejo e o Algarve as de maior criticidade.

Para efeitos de construção de edifícios e estruturas, o território nacional encontra-se dividido em 4 zonas, do ponto de vista da resposta à ação sísmica (segundo o

Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas e Edifícios e Pontes, 1983 – RSA).



Figura 19 - Zonamento de território continental de acordo com RSA [1]

Embora a perigosidade sísmica em Portugal Continental seja moderada e de relativamente reduzida intensidade, ocorrem mais de mil sismos por ano, o que nos leva a considerar este indicador como relevante para a construção do modelo. Tomando como referência o RSA, obtemos a seguinte tabela:

Indicador de “Risco Sísmico”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Risco Sísmico	IM = IV e V	IM = VI	IM = VII	IM = VIII	IM = IX e X

IM = Intensidade Macrossísmica

5.2.1.5 Corrosividade atmosférica

A corrosividade atmosférica pode afetar, diretamente, dois elementos de um cabo de fibra ótica: as juntas de fusão pela ação da corrosividade, e os repartidores óticos pela poluição.

Corrosão

O fenómeno de interação física/química entre o metal e o meio envolvente, da qual resultam mudanças nas propriedades do metal de uma forma irreversível, e origina o consumo ou degradação do material, designa-se por corrosão [37].

A corrosão do metal é um fenómeno de tal forma frequente que se estima que 20% do metal produzido anualmente no mundo será para substituir metal degradado pelo efeito de corrosão, e tem um custo estimado de 3% a 6% do PIB de um país.

A ASTM (*American Society for Testing and Materials*) realizou testes entre 1960 e 1964 e estabeleceu valores para a taxa de corrosão do aço em função do tipo de ambiente. A tabela original não será reproduzida no presente texto, apresentando-se apenas uma sumarização das faixas de valores para cada tipo de ambiente [39].

Tabela 2 - Taxa de corrosão do aço em função do tipo de ambiente [39].

Valores da taxas de corrosão atmosférica para Aços Carbono segundo dados da ASTM	
Tipo de ambiente	Taxa de corrosão ($\mu\text{m}/\text{ano}$) (média de dois anos)
Região Polar	0,76
Área Industrial	15 -84
Área Semi-industrial	28 -48
Região Marinha Tropical	51 - 61
Região Marinha Equatorial	132 -1070
Área Rural	20 -28

Pelo quadro anterior, é possível verificar que o processo de corrosão acontece de uma forma mais acelerada na região litoral, devido às partículas de água do mar que são transportadas pelo vento quando ocorre a rebentação das ondas, designada de maresia. Estas partículas têm uma forte concentração de cristais de sal, que após a evaporação da água se depositam nas estruturas metálicas, acelerando o processo de corrosão.

Não foi possível confirmar a que distância do mar é possível detetar a maresia. A experiência das áreas operacionais da EDP Distribuição que fazem a manutenção às linhas aéreas da rede de distribuição de energia e a experiência profissional do autor, de uma forma empírica, consideram que a maresia tem influencia sobre as estruturas metálicas até ao máximo de 6km. No entanto, quando a distância ao mar é inferior a um quilometro, o efeito da maresia tem um impacto bastante significativo [40].

É possível classificar os vários ambientes de exposição em função do seu grau de corrosividade (ISO 9223 e EN ISO 12944-2) [36] em cinco categorias, por tipo de metal, de acordo com os exemplos do quadro seguinte:

Tabela 3 - Grau de corrosividade do aço [36].

Categorias de corrosividade Aço carbono	Exemplos de ambientes típicos em climas temperados	
	Exterior	Interior
C1 Muito baixa	-	Edifícios aquecidos, com atmosferas limpas (escritórios, lojas, escolas, hotéis)
C2 Baixa	Atmosferas com baixo nível de poluição. Principalmente áreas rurais	Edifícios não aquecidos onde a condensação pode ocorrer (depósitos, pavilhões desportivos)
C3 Média	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada de SO ₂ . Áreas costeiras com baixa salinidade	Salas de produção com alta humidade e alguma poluição (instalações de processamento de alimentos, lavandarias, fábricas de cervejas e de lacticínios)
C4 Alta	Áreas industriais e áreas costeiras com elevada salinidade	Indústrias químicas, piscinas, estaleiros navais
C5 Muito alta (industrial)	Áreas industriais com alta humidade e atmosfera agressiva	Edifícios e áreas com condensação quase permanente e com alta poluição
C5 Muito alta (marítima)	Áreas costeiras e “offshore” com alta salinidade	Edifícios e áreas com condensação quase permanente e com alta poluição

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia implementou um projeto que permite avaliar a Corrosividade Atmosférica.

Não existe uma cobertura da totalidade do país, existem apenas algumas estações em Portugal Continental, mas que permitem uma visão abrangente do território nacional.



Figura 20 - Mapa de Corrosividade Atmosférica em Portugal Continental.

As caixas de fusão de fibra ótica são os elementos da rede mais afetados pela corrosividade atmosférica. Embora o material utilizado nas caixas de junção da EDPD seja aço inoxidável, que é bastante resistente ao efeito em questão, os componentes metálicos internos, acessórios internos para fixação das *cassetes*, e os acessórios de fixação externos, não o são. E tipicamente, em situações onde existe proximidade marítima ou a entrada de água/humidade no interior da caixa de junção, os componentes metálicos internos apresentam sinais de degradação (ferrugem) que pode levar a quebra dos mesmo e originar a desacomodação da *cassete*, podendo levar à quebra ou dobragem de fibra. Pode ainda acontecer a degradação dos acessórios externos de fixação da junção, originando a queda da mesma e provocando problemas na fibra.



Figura 21 – Caixa de Fusão de fibra ótica de exterior.

Poluição

O segundo ponto não menos importante está relacionado com a poluição industrial.

Estima-se que 50% dos problemas relacionados com circuitos óticos devem-se à penetração de pequenas partículas de poeiras nos adaptadores dos repartidores óticos onde são realizadas as ligações entre os *patchcords* para o exterior e os *pigtails* para o interior do repartidor. A presença de poeiras provoca a perda de luz que por sua vez leva à degradação da potencia do sinal [26].



Figura 22 - Repartidor ótico.

A título de exemplo, a fotografia seguinte é de um isolador retirado da Linha AT de 60 kV Maceira – Liz, que se encontra nas proximidades de uma zona industrial. É notória a acumulação de poeiras e resíduos sobre toda a superfície do isolador.



Figura 23 - Isolador de linha AT coberto de poeiras.

Nestes casos existe uma concentração muito grande de poeiras finas que acabam por penetrar nos equipamentos óticos, independentemente de estes se encontrarem no exterior (como por exemplo junções) ou no interior de um edifício (como por exemplo repartidores). Com o passar do tempo surgirão garantidamente problemas relacionados com a degradação de sinal provocada por presença de poeiras.

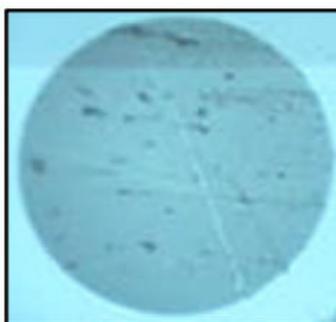


Figura 24 - Inspeção microscópica de Fibra Ótica.

A conjugação da proximidade do mar (maresia) e da poluição industrial, considera-se como sendo o caso mais crítico.

Assim, tendo por base a Tabela 3, considera-se este indicador relevante para a construção do modelo, de acordo com a seguinte tabela:

Indicador “Poluição”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Poluição	Sem poluição	Poluição Industrial	Sem poluição	Poluição Industrial	Poluição Industrial
	$D > 5\text{km}$	$D > 5\text{km}$	$D < 5\text{km}$	$1\text{km} < D < 5\text{km}$	$D < 1\text{km}$

D = Distância à costa marítima

5.2.1.6 Indicadores não considerados

Durante a construção do modelo foram ponderados vários outros fatores que inicialmente teria interesse incluir no modelo, mas no decorrer da investigação foi necessário ponderar quais os que de facto são preponderantes e têm influência direta na Probabilidade de Falha de um cabo de fibra ótica, que são facilmente identificáveis, permitindo assim a construção de um modelo aplicável e exequível.

Embora estes fatores não tenham sido incluídos no modelo, achamos relevante a sua enumeração e indicação das razões que motivaram a sua exclusão. São os seguintes:

Avifauna

Embora existam muitos apoios das linhas de AT/MT com ninhos de aves (na sua grande maioria cegonhas), que são um constrangimento para a exploração da rede elétrica, porque provocam disparos indesejados, e a indisponibilidade do fornecimento de energia, este problema afeta apenas a rede elétrica, não tendo qualquer influência no cabo OPGW onde estão suportadas as telecomunicações.

Roedores

Uma das causas de avaria que ocorre em cabos de fibra ótica é devida à presença de roedores nas instalações. O facto de, na sua grande maioria, as Subestações da EDP serem em zonas rurais e sem a presença humana, leva à existência de roedores, mesmo com planos de desinfestação. Mas este constrangimento é igual para todas as instalações, todas estão em igualdade de circunstâncias, digamos que em todas as instalações existem roedores, mas em alguns sítios nunca existiu uma ocorrência provocada pelos mesmos. E nos casos em que existiu não significa que volte a acontecer, são acontecimentos esporádicos e não previsíveis. Torna-se, portanto, difícil definir um indicador, e daí a opção por não o incluir e considerar que neste aspeto todas as instalações têm a mesma probabilidade de ocorrência deste acontecimento.

Índice ceráunico

O impacto das descargas atmosféricas apenas se reflete na exploração da rede elétrica, não tendo influência nas fibras óticas por serem dielétricas. Numa situação extrema, muito pouco improvável, uma descarga atmosférica violenta, diretamente no cabo OPGW, poderia levar à destruição do mesmo e afetar as fibras óticas internas. No entanto, a probabilidade de um acontecimento desta natureza é de tal forma reduzida que não se considerou relevante, excluindo o índice ceráunico como um indicador.

Eventos atmosféricos Extremos

Os eventos atmosféricos extremos, quando acontecem, podem ter impacto na rede elétrica de distribuição de energia. Estes fenómenos estão relacionados com fortes

períodos de precipitação e ventos fortes. As fortes rajadas de vento podem provocar a quebra de apoios ou dos acessórios que suportam os cabos, e naturalmente acontecem avarias relacionadas com a rotura de cabos de fibra ótica.

Embora seja possível cadastrar a distribuição espacial da velocidade do vento, esta informação torna-se pouco relevante para o objetivo deste trabalho, porque o que pretendíamos era uma base de dados sobre o histórico de eventos atmosféricos extremos para perceber se existem algumas zonas geográficas mais fustigadas, que nos permitisse de alguma forma criar um mapa de probabilidade.

Uma vez que os fenómenos atmosféricos extremos podem ocorrer de forma aleatória a nível nacional, consideramos que todas as instalações estão sujeitas de forma equivalente ao risco, e por isso este fator não foi tido em conta como indicador.

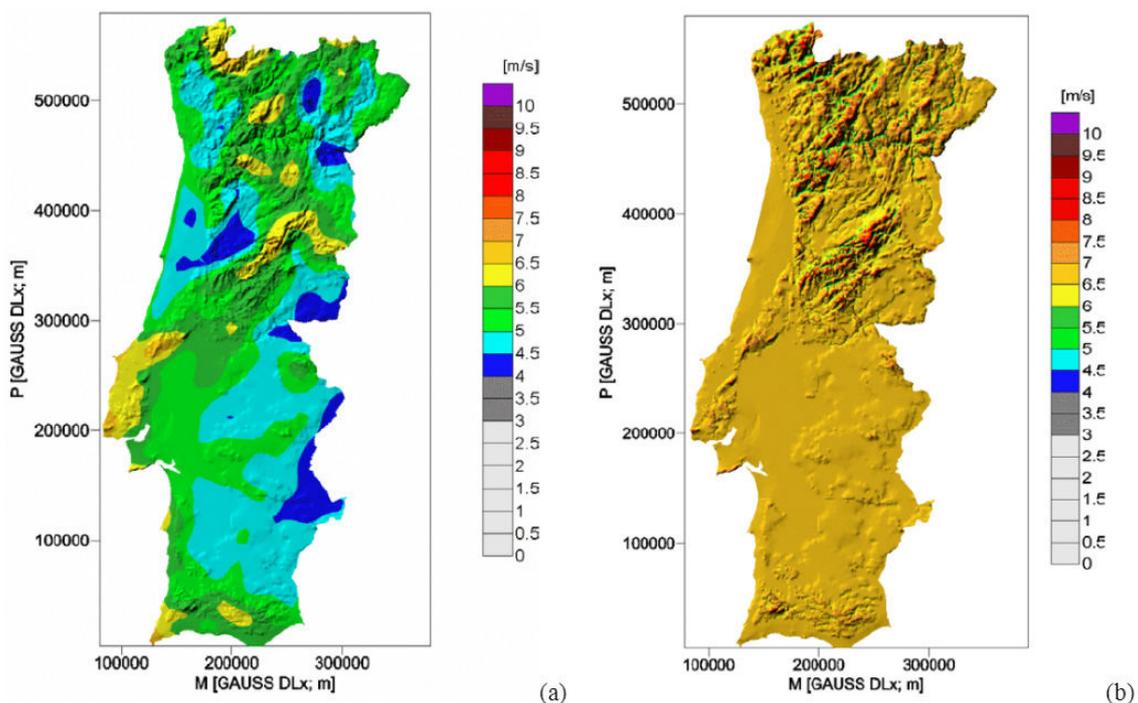


Figura 25 - a) Mapa de distribuição espacial da velocidade do vento em Portugal continental, obtido pelo modelo MM5 (h=60m) e (b) Mapa de distribuição espacial da velocidade do vento em Portugal continental, obtido pelo modelo WASP (h=60m) [41].

Temperatura ambiente

Estudos revelam que o calor não altera a atenuação da fibra [11], e apenas as baixas temperaturas podem ter influência sobre o cabo de fibra ótica. À medida que as temperaturas se aproximam de -40°C , os componentes plásticos do revestimento tendem a retrair mais do que a fibra ótica, o que em situações extremas pode levar à rutura das fibras por retração dos materiais. No processo de fabrico do cabo pode ser mitigado este fenómeno [10].

Sendo Portugal um país de temperaturas amenas, não foi considerado este fator.

Inundações

Uma das causas que pode levar à degradação da fibra ótica é o contacto com a água, conforme explicado anteriormente, o que sugere identificar os cabos que se encontram em zonas de maior risco de inundação. No entanto, este indicador apenas faria sentido para os cabos subterrâneos, e mais concretamente para as junções subterrâneas. Ora o comprimento de cabos subterrâneos é uma ínfima parte, comparado com a extensão de cabos existentes na EDPD. Dada a ínfima parte da rede que seria abrangida, não se considerou este fator como um indicador.

5.2.2 Ponderação dos indicadores

Seguindo a mesma linha de raciocínio aplicada no cálculo do Índice de Saúde, e com base na experiência técnica e no registo das causas de avaria em cabos de fibra ótica, chegamos ao seguinte quadro síntese para os Fatores Ambientais e Externos:

Tabela 4 - Fatores ambientais e externos.

Categoria	Indicadores	Graus de Valorização					Pesos IS
		Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0	Parcial
Fatores Ambientais	Poluição	Sem poluição	Poluição Industrial	Sem poluição	Poluição Industrial	Poluição Industrial	35%
		D > 5km	D > 5km	D < 5km	1km < D < 5km	D < 1km	
Fatores externos	Risco Sísmico	IM = IV e V	IM = VI	IM = VII	IM = VIII	IM = IX e X	5%
	Zona de caça	Não	25% do traçado	50% do traçado	75% do traçado	100% do traçado	25%
	Zona Nemátodo	Sem presença de NMP ao longo do traçado		Presença de NMP em 50% do traçado		Presença de NMP em 100% do traçado	15%
	Pergosidade de Incêndio	Nula ou Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	20%

Embora o registo de avarias em cabos FO existente na EDPD, peque por escassez, conforme já foi referido, tendo em conta a experiência adquirida ao longo de mais de dez anos pelo autor e pelos técnicos responsáveis, complementado com o gráfico 2, podemos obter o quadro síntese para o cálculo da Probabilidade de Falha, considerando que as Características Técnicas têm o mesmo peso que os Fatores Ambientais e Externos (50%):

Tabela 5 - Quadro síntese para o cálculo da Probabilidade de Falha.

Categoria	Indicadores	Graus de Valorização					Pesos IS	
		Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0	Parcial	Relativo
Características Técnicas	Idade	I < 20 anos	20 anos ≤ I < 30 anos	30 anos ≤ I < 40 anos	40 anos ≤ I < 50 anos	I ≥ 50 anos	10%	5%
	Tipo de Cabo	OPGW	Conduta	Microcable	Figura 8	ADSS	30%	15%
	Degradação da camada externa do cabo	Sem registo	Baixa	Media	Alta	Muito Alta	15%	7,5%
	N ^o de Caixas de Fusão	Sem caixas	1 ≤ C ≤ 3	3 < C ≤ 7	7 < C ≤ 10	> 10	25%	12,5%
	Comprimento do cabo	L < 5 Km	5 km < L ≤ 15Km	15 km < L ≤ 30 Km	30 km < L ≤ 50 Km	L > 50 Km	20%	10%
Factores Ambientais	Poluição	Sem poluição	Poluição Industrial	Sem poluição	Poluição Industrial	Poluição Industrial	35%	17,5%
		D > 5km	D > 5km	D < 5km	1km < D < 5km	D < 1km		
Factores externos	Risco Sísmico	IM = IV e V	IM = VI	IM = VII	IM = VIII	IM = IX e X	5%	2,5%
	Zona de caça	Não		50% do traçado		100% do traçado	25%	12,5%
	Zona de Nemátodo	Sem presença de NMP ao longo do traçado		Presença de NMP em 50% do traçado		Presença de NMP em 100% do traçado	15%	7,5%
	Perigosidade de Incêndio	Nula ou Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	20%	10,0%

À semelhança do que já foi apresentado no ponto 5.1.2, consideramos que um determinado indicador tem o valor ótimo quando atinge o valor 4 (máximo), mas que o seu estado real pode variar entre 4 e 0. Assim, é possível obter a percentagem em que se encontra esse indicador calculando o cociente entre o seu estado real e o valor máximo possível.

Sendo a Probabilidade de Falha (PoF) de um ativo dada pela probabilidade do ativo deixar de realizar a função para a qual foi concebido, e daí entrar em falha, considerou-se que quando temos PoF = 100% estamos perante o pior caso, e que quando temos PoF = 0% temos o melhor caso (sem probabilidade de falha). Obtemos assim a seguinte equação:

$$PoF = 1 - \frac{\sum_i (Nível_i \times Ponderação_i)}{4} \quad (2)$$

Pegando no exemplo apresentado em 6.1.2, e acrescentando os indicadores externos para um determinado cabo de fibra ótica, temos;

Características Técnicas:

- **Idade:** 23 anos;
- **Tipo de Cabo:** OPGW;
- **Degradação da camada externa:** sem registros;
- **Nº de Caixas de Fusão:** 5;
- **Comprimento do cabo:** 42 km.

Fatores Ambientais e Extremos:

- **Poluição:** Sem poluição e a 3 km do mar;
- **Risco Sísmico:** IM = V;
- **Zona de caça:** totalidade do traçado;
- **Zona de Nemátodo:** não;
- **Perigosidade de Incêndio:** alta.

Obtemos a seguinte tabela resumo:

Categoria	Indicadores	Graus de Valorização			MAX
		Nível	Ponderação	Produto	
Características Técnicas	Idade	3	5%	0,15	0,2
	Tipo de Cabo	4	15%	0,6	0,6
	Degradação da camada externa do cabo	4	7,5%	0,3	0,3
	Nª de Caixas de Fusão	2	12,5%	0,25	0,5
	Comprimento do cabo	1	10%	0,1	0,4
F. Ambientais	Poluição	2	17,5%	0,35	0,7
Fatores Externos	Risco Sísmico	4	2,5%	0,1	0,1
	Zona de caça	0	12,5%	0	0,5
	Zona Nemátodo	4	7,5%	0,3	0,3
	Perigosidade de Incêndio	1	10,0%	0,1	0,4

Pela aplicação da formula (2),

$$PoF = 0,4375$$

Ou seja, existe uma probabilidade de 43.75% de o cabo em causa vir a falhar.

Na situação em que o nível de todos os indicadores é 4, $PoF = 0$ (melhor caso), a probabilidade de falha é nula. No caso em que $PoF = 1$ (pior caso), a probabilidade de falha é máxima (1).

Sendo a fiabilidade, R , complementar da PoF , o seu calculo é feito da seguinte forma:

$$R = 1 - PoF \quad (3)$$

5.2.3 Criticidade

Conforme referido na secção 4.6.4, a politica de manutenção CBRM é baseada na condição do ativo e no risco associado.

Assim é necessário identificar qual o fator de maior criticidade para a EDPD quando ocorre a falha de uma fibra ótica.

Do ponto de vista da EDPD, a sua rede ótica foi inicialmente construída com a finalidade primordial de servir de suporte a uma rede de Sistemas de Telecomunicações para realizar o telecomando das suas instalações técnicas, como as Subestações. Portanto, podemos dizer que o fator de risco está diretamente relacionado com o número de subestações que podem perder o telecomando com a falha de uma fibra ótica.

Recordamos que a rede de equipamentos ativos da EDPD é constituída por equipamentos PDH na sua grande maioria, sem possibilidade de redundância automática, e que em caso de falência levam à falha instantânea dos serviços.

A rede de Sistemas de Comunicações para o Telecomando de Subestações assume a função de interligar o SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) com a Unidade Remota (RTU - *Remote Terminal Unit*) existente em cada subestação. A RTU local faz o controlo e supervisão da instalação, enviando para o SCADA toda a informação e alarmística. O SCADA por sua vez converte a informação de baixo nível recebida da RTU e converte-a para uma representação gráfica, facilmente interpretável pelos operadores que fazem a supervisão das subestações em regime de 365/24.

Os circuitos legados (RS232) que interligam o sistema central SCADA e a Unidade Remota que se encontra na subestação, passando por vários nós/equipamentos PDH intermédios, conforma e figura a baixo. Podemos verificar que do nó identificado na figura como “1”, que podemos designar como o primeiro nó da rede PDH, que faz a interligação à rede SCADA, dependem todos os circuitos de legados que são encaminhados até às várias extremidades da rede onde se encontram os RTUs de cada subestação. De acordo com a figura a falha de comunicações deste nó levaria à falha direta do telecomando na própria instalação, e de forma indireta, à falha de mais 9 instalações, perfazendo um total de 10 instalações.

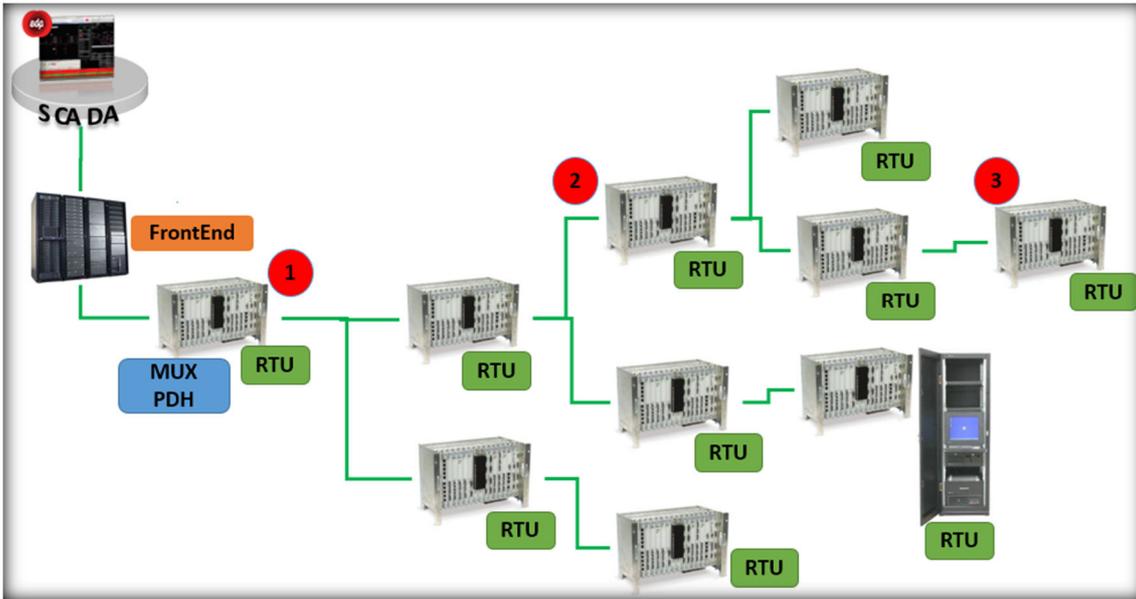


Figura 26 - Esquema da rede SCADA/DPH.

A EDPD possui uma base de dados com o número de telecomandos suportados por instalação, designada por Matriz de Criticidade. Esta base de dados permite aferir o número de telecomandos afetados em caso de falha dos sistemas de telecomunicações de uma determinada instalação.

A Matriz de Criticidade foi verificada e atualizada, e apresenta a seguinte configuração:

	S.I. Madeira (PC)	ACAIL	AGUIEIRA	ALCAINS	ALEGRIA	ALFARELOS	ALTO DE SÃO JOÃO	ALVAÍZERE	ANDRINOS	ANDRINOS (CC)	ANTANHOL	ATOUGUIA	AZÓIA	BELMONTE	CADAFAZ	CALDAS DA RAINHA	CANDÓIA
Tipo de Instalação																	
Nº Telecomandos Suportados - TCMT							65		39	65				23	20		
TCMT - Canal Redundante																	
TCMT - Rádio de Reserva																	
Nº Telecomandos Suportados - TCSE	1	1	1	1	1	3	11	1	27	9	10	1	14	5	3	1	1
IMPACTO GLOBAL DA INSTALAÇÃO	1	1	1	1	1	3	16	1	27	12	15	1	14	7	4	1	1
ACAIL		x															
ÁGUEDA																	
AGUIEIRA			x				x										
ALBERGARIA																	
ALCAINS				x													
ALEGRIA					x		x										
ALFARELOS						x											
ALTO DE SÃO JOÃO							x										
ALVAÍZERE								x	x	x							
ANDRINOS									x	x							
LEIRIA (ANDRINOS)																	
ANDRINOS																	
ANTANHOL											x					x	
ATOUGUIA									x	x		x					x

Figura 27 – Parte da Matriz de criticidade das instalações técnicas da EDPD (por questões de confidencialidade não foi apresentada a tabela completa).

Assim, a matriz de criticidade consiste numa tabela de dupla entrada, onde se repetem as instalações existentes na coluna e na linha, em que o cruzamento das duas vai ilustrar as dependências entre cada uma delas ao nível do telecomando.

Observando a figura 27, e tomando como exemplo a coluna “Alto de São João”, podemos verificar que desta instalação dependem o telecomando de “Aguieira”, “Alegria” e “Alto de São João” (entre outras, que não aparecem representadas na figura). E podemos ainda verificar, na mesma coluna, que desta instalação depende o Telecomando de 11 subestações (TCSE) e o telecomando de 65 órgãos de MT (TCMT), perfazendo um impacto total de 16 instalações, de acordo com uma regra interna da EDPD, baseada na energia despachada, em que cada órgão de MT vale 7% de uma instalação. Para o exemplo anterior, chegamos ao valor de 16 instalações da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{total de telecomandos} &= TCSE + 0.07 \times TCMT \\ \text{total de telecomandos} &= 11 + 0.07 \times 65 = 16 \end{aligned}$$

De acordo com a figura 26 é possível verificar que a ocorrência de uma falha em diferentes pontos da rede tem um impacto diferente. Pois se a falha ocorrer no ponto 3 apenas falha o telecomando da instalação em causa, mas para uma falha no ponto 2, os telecomandos afetados são 4, a própria instalação e as 3 que se encontram a jusante. O caso de maior criticidade é quando a falha ocorre no nó que interliga com a rede SCADA, que é a situação 1. No caso de ocorrer uma falha na instalação no ponto 1, todos os telecomandos a jusante falham.

Cada instalação técnica possui um equipamento PDH. Estes equipamentos são interligados por cabos de fibra ótica.

É evidente que as instalações têm criticidades diferentes, dependendo do número de telecomandos que têm associados.

Assim, e à semelhança do modelo que temos vindo a seguir, definimos uma tabela de criticidade, dividida em cinco patamares, com base no número de telecomandos falhados:

Indicador de “Nº de Telecomandos Falhados”

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Nº de Telecomando Falhados	$FT \leq 3$	$3 < FT \leq 6$	$6 < FT \leq 10$	$10 < FT \leq 15$	$FT > 15$

5.2.4 Plano de Manutenção CBRM

Com o objetivo de criar um Plano de Manutenção Preventiva Sistemática dos cabos de fibra ótica da EDPD baseado na condição do ativo e no risco (CBRM), em detrimento da política de manutenção atual que é realizada de forma periódica (TBM) para todos os

ativos, implementou-se um gráfico que define a relação entre a Probabilidade de Falha (PoF) e o número de telecomandos falhados.

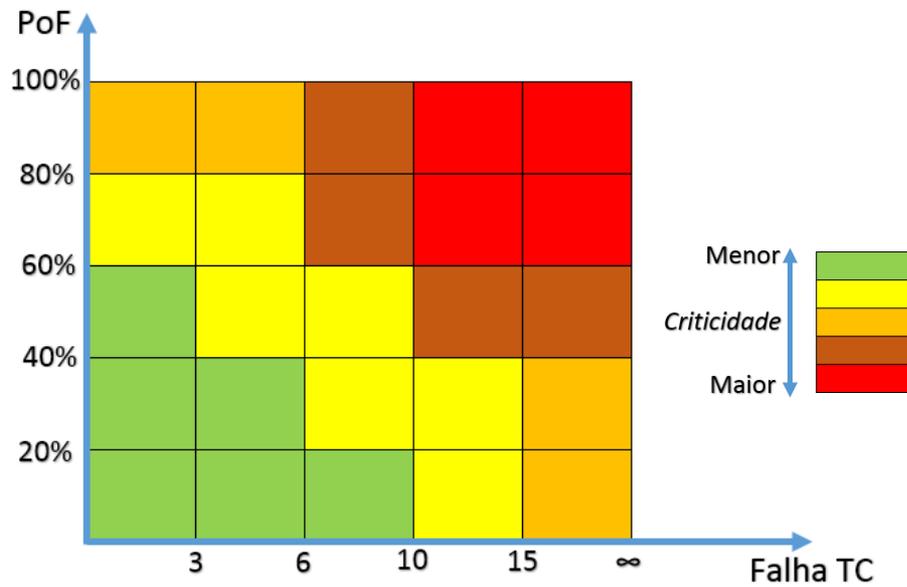


Gráfico 3 - PoF vs Telecomandos falhados.

Para a implementação gráfico 3 assumiu-se que a situação mais crítica acontece a partir dos seis telecomandos falhados, e quando a PoF do cabo de fibra ótica é superior a 60%. Com o aumento dos dois fatores aumenta também a criticidade da ligação.

Tomando o exemplo do capítulo 5.2.2, onde $PoF = 0,4375$, e supondo que a falha do cabo de fibra ótica em causa origina a falha de 8 telecomandos, teríamos o seguinte cenário:

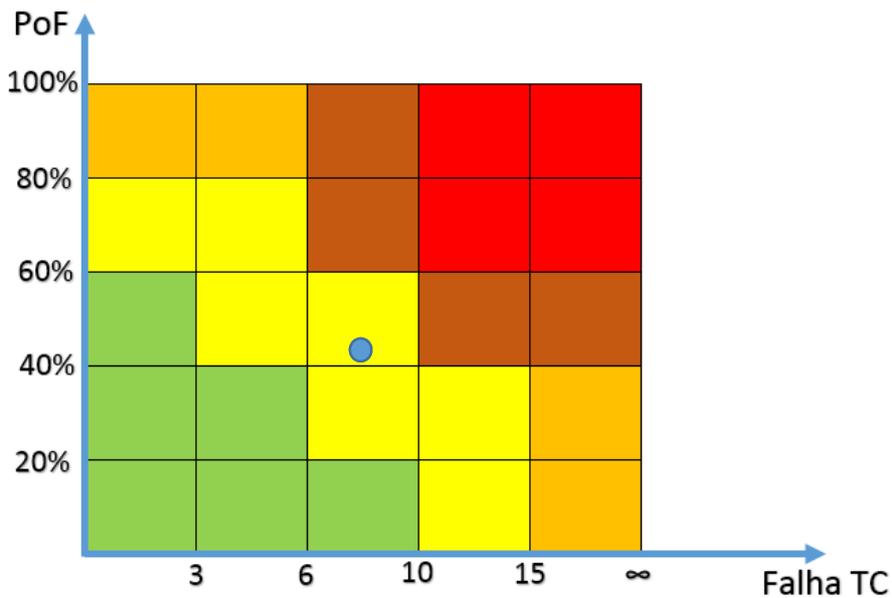


Figura 28 - Exemplo de aplicação do gráfico de Fiabilidade vs Telecomandos falhados.

Assim, considerando o gráfico 6.1, definiu-se a periodicidade para as Manutenções Preventivas Sistemáticas de cabos de fibra ótica de acordo com o gráfico seguinte:

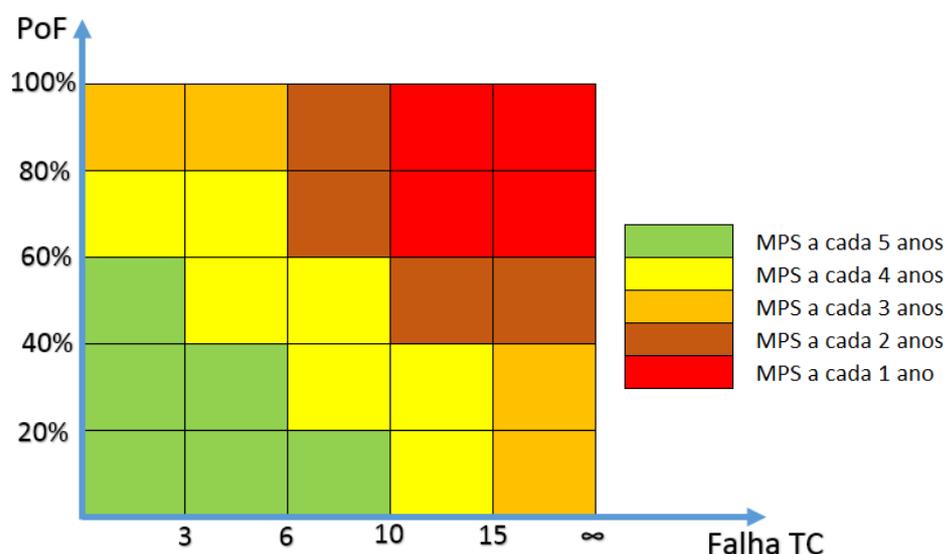


Gráfico 4 – Periodicidade de MPS baseado em CBRM.

5.2.5 Grafo de Criticidade

As ordens de Manutenção Preventiva Sistemática para os cabos de fibra ótica são realizadas por instalação e não por cabo de fibra. Em situações em que uma instalação apenas possui em cabo de fibra podemos aplicar o modelo do gráfico 4 de uma forma direta. No entanto, para instalações onde existam vários cabos de fibra a sair da instalação será necessário avaliar qual o pior caso para definir a periodicidade da MPS.

Definindo um Grafo em que os nós são instalações e os custos das ligações são os valores de criticidade das mesmas, definida pelos valores de PoF e telecomandos falhados (TF), foi possível identificar qual o nível de criticidade para cada cabo de fibra ótica.

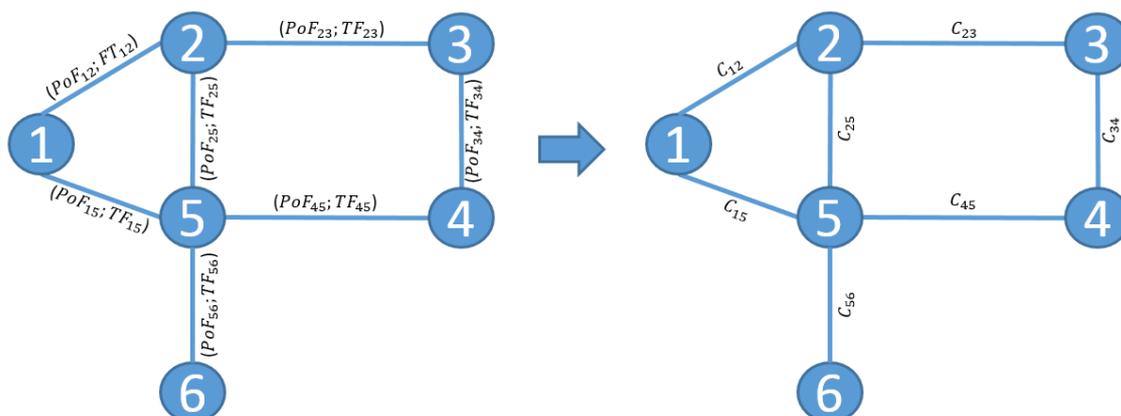


Figura 29 - Grafo de criticidade (CBRM).

Aplicou-se a Matriz de Incidência (Anexo B - Teoria dos Grafos):

$$A(G) = \begin{matrix} & \mathbf{a} & \mathbf{b} & \mathbf{c} & \mathbf{d} & \mathbf{e} & \mathbf{f} & \mathbf{g} \\ \mathbf{1} & C_{12} & C_{15} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{2} & C_{12} & 0 & C_{25} & 0 & C_{23} & 0 & 0 \\ \mathbf{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{23} & 0 & C_{34} \\ \mathbf{4} & 0 & 0 & 0 & C_{45} & 0 & 0 & C_{34} \\ \mathbf{5} & 0 & C_{15} & C_{25} & C_{45} & 0 & C_{56} & 0 \\ \mathbf{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{56} & 0 \end{matrix}$$

Figura 30 - Matriz de incidência aplicada à criticidade das ligações.

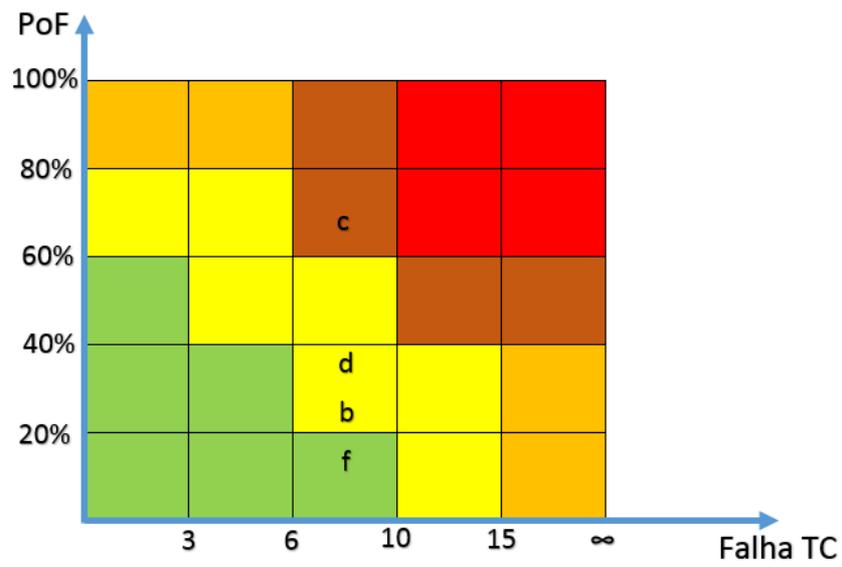
Tendo por base o método definido pelo gráfico 4, para a instalação 6 da figura 29, que possui apenas um cabo de fibra ótica, a periodicidade de manutenção é facilmente identificada de acordo com o valor obtido no Gráfico de Criticidade e de MPS (gráfico 4).

Para a instalação 5, com quatro cabos de fibra ótica a sair da instalação, a periodicidade é condicionada pelo pior caso, ou seja, pelo valor mais crítico da linha da Matriz de Incidência.

Suponhamos o seguinte exemplo:

- Para a instalação 5:
 - Aresta b: PoF = 27%
 - Aresta c: PoF = 68%
 - Aresta d: PoF = 34%
 - Aresta f: PoF = 15%
 - Número de telecomandos suportados = 7

Obtemos o seguinte Gráfico de Criticidade de MPS para a instalação 5:



Assim, a periodicidade definida para a realização de MPS da instalação 5 seria o pior caso (c), isto é, a cada dois anos.

6 Estudo de caso

De acordo com o modelo definido anteriormente, foi definido um estudo de caso para uma parte da rede ótica da EDPD. Por uma questão de confidencialidade não foi considerada a rede na sua totalidade.

Após a análise da rede EDPD, seleccionámos a zona Centro Interior, Seia, pela sua diversidade e por representar a infraestrutura típica da rede de fibra ótica da EDPD.

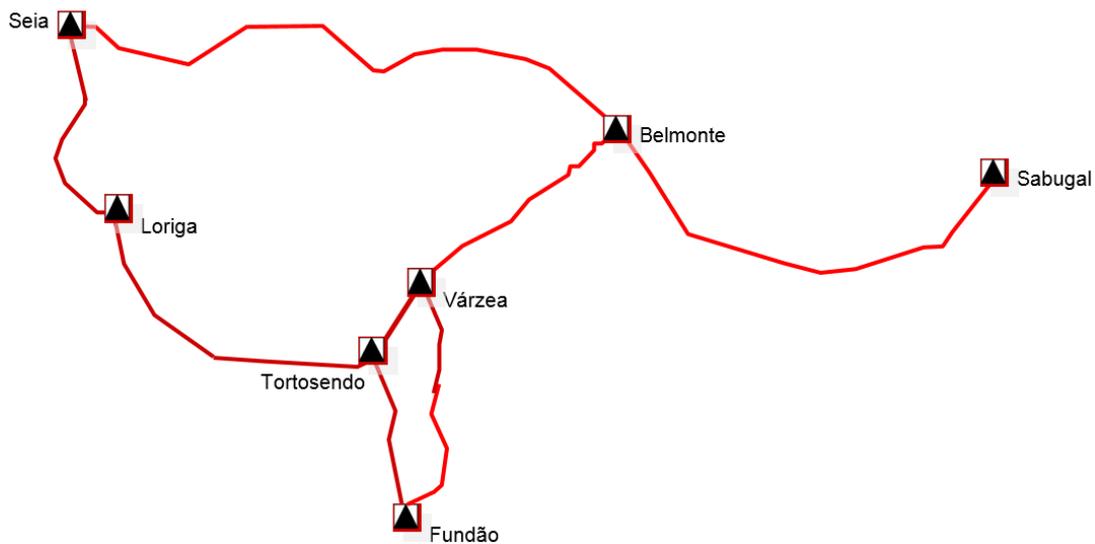


Figura 31 - Rede ótica da EDPD (zona de Seia).

6.1 Construção do Grafo

Aplicando a Teoria dos Grafos, atribuindo números às instalações, obtemos o seguinte grafo da rede da EDPD na zona de Seia:

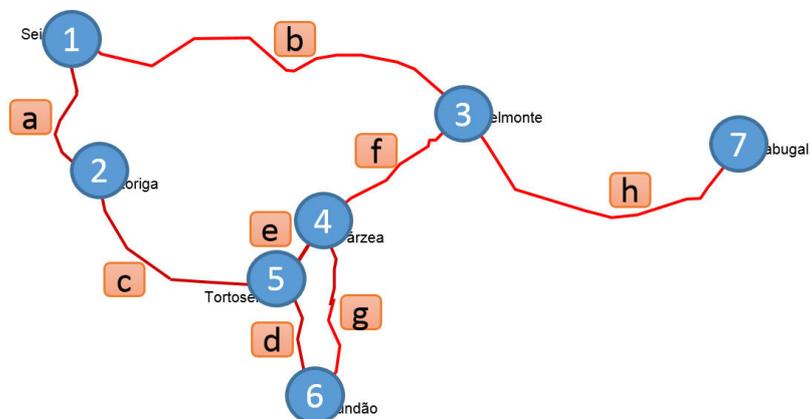


Figura 32 - Mapa da rede da EDPD na Zona de Seia.

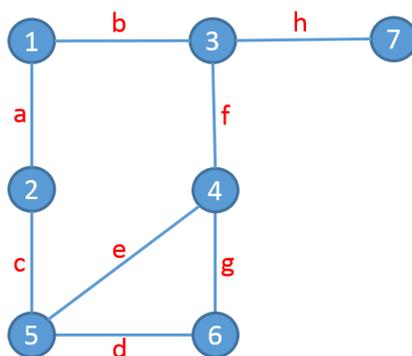


Figura 33 - Grafo da rede da EDPD na Zona de Seia.

Para o grafo $G = (V,E)$ temos os seguintes vértices (ou ramos) e arestas(ou nós) :

- $V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,\}$
- $E = \{(1,2), (1,3), (2,5), (5,6), (4,5), (3,4), (4,6), (3,7)\} \Leftrightarrow \{a, b, c, d, e, f, g, h\}$

6.2 Calculo da PoF

Aplicando o modelo a cada vértice, com dados reais afetos a cada cabo, obtemos a seguinte matriz:

Categoria	Indicadores	Arestas (cabos de FO)							
		a Seia-Loriga	b Seia-Belmonte	c Loriga-Tortosendo	d Tortosendo-Fundão	e Tortosendo-Várzea	f Várzea-Belmonte	g Várzea-Fundão	h Belmonte-Sabugal
Características Técnicas	Idade	jun-04	ago-01	abr-04	dez-03	jan-09	dez-02	set-02	set-03
	Tipo de Cabo	OPGW	OPGW	OPGW	OPGW	OPGW	OPGW	OPGW	ADSS
	Degradação da camada externa do cabo	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo	Sem registo
	Nª de Caixas de Fusão	4	9	5	4	2	5	4	6
	Comprimento do cabo	13,95km	36,87km	21,5km	15,4	4,3km	15,4km	16.6km	27,9km
F. Ambientais	Poluição	Sem poluição	Sem poluição	Sem poluição	Sem poluição	Sem poluição	Sem poluição	Sem poluição	Sem poluição
		D > 5km	D > 5km	D > 5km	D > 5km	D > 5km	D > 5km	D > 5km	D > 5km
F. Externos	Risco Sísmico	IM = VII	IM = VI	IM = VII	IM = VII	IM = VII	IM = VI	IM = VII	IM = VI
	Zona de caça	100% do traçado	100% do traçado	100% do traçado	100% do traçado	100% do traçado	100% do traçado	100% do traçado	100% do traçado
	Zona Nemátodo	Presença de NMP em 100% do traçado	Presença de NMP em 50% do traçado	Presença de NMP em 50% do traçado	Sem presença de NMP ao longo do traçado	Sem presença de NMP ao longo do traçado	Sem presença de NMP ao longo do traçado	Sem presença de NMP ao longo do traçado	Sem presença de NMP ao longo do traçado
	Perigosidade de Incêndio	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Nula ou Muito Baixa	Alta	Média	Baixa	Muito alta

Fazendo a correspondência com o Grau de Valorização, temos:

Categoria	Indicadores	Arestas (cabos FO)							
		a Seia- Loriga	b Seia- Belmonte	c Loriga- Tortosendo	d Tortosendo- Fundão	e Tortosendo- Várzea	f Várzea- Belmonte	g Várzea- Fundão	h Belmonte- Sabugal
Características Técnicas	Idade	4	4	4	4	4	4	4	4
	Tipo de Cabo	4	4	4	4	4	4	4	0
	Degradação da camada externa do cabo	4	4	4	4	4	4	4	4
	N ^a de Caixas de Fusão	2	1	2	2	3	2	2	2
	Comprimento do cabo	3	1	2	3	4	3	2	2
F. Ambientais	Poluição	4	4	4	4	4	4	4	4
F. Externos	Risco Sísmico	2	3	2	2	2	3	2	3
	Zona de caça	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zona Nemátodo	0	2	2	4	4	4	4	4
	Perigosidade de Incêndio	0	0	0	4	1	2	3	0
PoF		40%	44%	39%	23%	24%	27%	28%	49%

No Anexo G estão incluídos os mapas dos vários indicadores aplicados à zona abrangida por este estudo de caso.

6.3 Criticidade

O passo seguinte será calcular a Criticidade de cada instalação.

Para tal, e de acordo com a Matriz de Criticidade da EDPD, descrita anteriormente, extraímos o número de telecomandos falhados por instalação, de acordo com a tabela seguinte:

	Instalação						
	Seia	Loriga	Tortosendo	Fundão	Varzea	Belmonte	Sabugal
Telecomandos Falhados	34	1	3	1	8	5	1

Assim, para cada instalação é possível construir uma tabela com a PoF de cada cabo que nela termina e o número de telecomandos suportados, conforme as tabelas seguintes por instalação:

	PoF		N ^o TC falha
	cabo a	cabo b	
1-Seia	40%	44%	34

	PoF		Nº TC falha
	cabo a	cabo c	
2-Loriga	40%	39%	1

	PoF			Nº TC falha
	cabo b	cabo f	cabo h	
3-Belmonte	44%	27%	49%	5

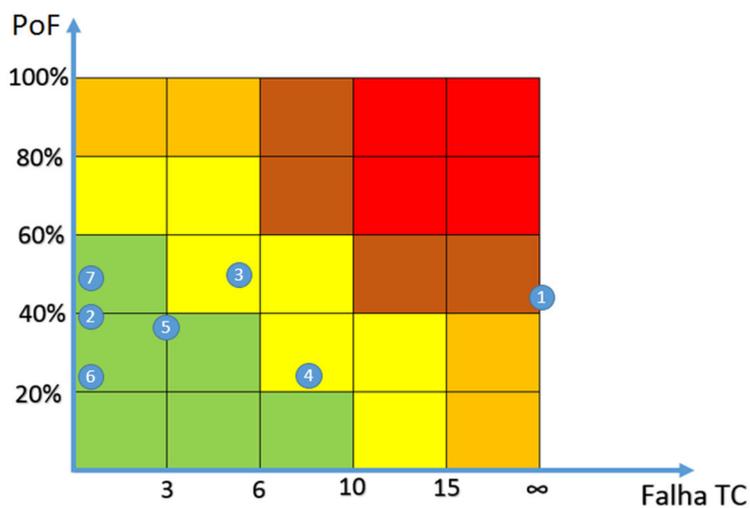
	PoF			Nº TC falha
	cabo e	cabo g	cabo f	
4-Várzea	24%	28%	27%	8

	PoF			Nº TC falha
	cabo c	cabo d	cabo e	
5-Tortosendo	39%	23%	24%	3

	PoF		Nº TC falha
	cabo d	cabo g	
6-Fundão	23%	28%	1

	PoF	Nº TC falha
	cabo h	
7-Sabugal	49%	1

Por ultimo, é possível enquadrar cada instalação no gráfico de criticidade:



6.4 Periodicidade de MPS

Finalmente é possível especificar a periodicidade da MPS das instalações, tendo por base o modelo que considera a política de manutenção CBRM.

	Instalação						
	1-Seia	2-Loriga	3-Belmonte	4-Várzea	5-Tortosendo	6-Fundão	7-Sabugal
Periodicidade MPS	2 anos	5 anos	4 anos	4 anos	5 anos	5 anos	5 anos

6.5 Avaliação de custos entre políticas de manutenção

Tendo por base o estudo de caso apresentado, foi realizada uma análise dos custos considerando a política atual de manutenção, TBM (preconizada pela EDPD, e a política proposta CBRM, com base no modelo desenvolvido.

As MPSs dos cabos de fibra ótica têm um custo associado e dividido por tarefas. Considera-se um valor para o primeiro repartidor ótico e um valor adicional por cada repartidor ótico adicional.

Tabela 6 - Tarefas de MPS de cabos de fibra ótica.

Designação da atividade	Valor unitário	Quantidades						
		Seia	Loriga	Tortosendo	Fundão	Várzea	Belmonte	Sabugal
Manutenção preventiva a bastidores com ODFs	79,44 €	1	1	1	1	1	1	1
Complemento de manutenção preventiva a repartidor ótico	30,57 €	1	1	2	1	2	2	0
Subtotal		110,01 €	110,01 €	140,58 €	110,01 €	40,58 €	140,58 €	79,44 €
Total		831,21 €						

No caso da política de manutenção atual, TBM, e considerando que estamos no primeiro ano, as MPSs para todas as instalações são realizadas a cada 3 anos, pelo que temos o custo total ao fim de 10 anos de 3.324,84€.

Tabela 7 - Custos associados a MPS baseada em TBM.

	Período									
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Seia	x			x			x			x
Loriga	x			x			x			x
Tortosendo	x			x			x			x
Fundão	x			x			x			x
Várzea	x			x			x			x
Belmonte	x			x			x			x
Sabugal	x			x			x			x
Custo	831,21 €			831,21 €			831,21 €			831,21 €

Aplicando o modelo desenvolvido, tendo por base a política de manutenção CBRM, para o mesmo período, e considerando a periodicidade obtida no estudo de caso considerado, obtemos a seguinte tabela:

Tabela 8 - Custos associados a MPS baseada em CBRM.

	Período									
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Seia	x		x		x		x		x	
Loriga	x					x				
Tortosendo	x					x				
Fundão	x					x				
Várzea	x				x				x	
Belmonte	x				x				x	
Sabugal	x					x				
Custo	831,21 €	- €	110,01 €	- €	391,17 €	440,04 €	110,01 €	- €	391,17 €	- €

Os custos associados à política de manutenção CBRM totalizam 2.273,61€, no mesmo período de 10 anos.

Aplicando o modelo apresentado, associado a uma política CBRM, obtemos uma redução de 30% nos custos com MPS e reduzimos o número de intervenções de 28 para 19 (redução de 30%) no prazo de 10 anos.

7 Conclusões e proposta de trabalhos futuros

7.1 Conclusões

O presente trabalho teve como principal objetivo otimizar o plano de manutenção das infraestruturas óticas privadas da EDP Distribuição, cuja Manutenção Preventiva Sistemática (MPS) é realizada atualmente seguindo uma política puramente baseada no tempo, *Time Based Maintenance* (TBM).

A proposta apresentada consiste na construção de um modelo que permite a elaboração de um plano de MPS baseado na condição dos ativos e no risco associado, alinhado com a política interna da empresa. Assim, propõe-se uma política de manutenção do tipo Condition Based Risk Maintenance (CBRM), em detrimento da TBM.

Para aplicar a política CBRM desenvolveu-se um modelo heurístico que permitiu aferir de forma realista o Índice de Saúde e a Probabilidade de Falha dos cabos de fibra ótica, baseado em fatores intrínsecos aos equipamentos e fatores externos, ambos facilmente quantificáveis, tornando este modelo fidedigno e espelhando de forma real o estado atual do ativo. Para a componente de risco, o modelo afere ainda qual o risco de uma ligação ótica, e qual o impacto em caso de falha. Assim, foi possível construir um modelo adaptado à realidade da rede ótica da EDP Distribuição que prevê diferentes periodicidades, mediante a condição e a criticidade da ligação ótica.

A aplicação do modelo heurístico conjugado com a teoria dos grafos originou um modelo matemático, que se aplicou numa parte da rede da EDP Distribuição estrategicamente selecionada, e que revelou que a aplicação de uma política de manutenção CBRM permite uma redução de 30% nos custos diretos incorridos com manutenção, comparativamente com a política actual, e uma redução de 30% no número de viagens, que de uma forma indireta traduzem uma maior disponibilidade dos técnicos para a realização de outras tarefas, resultando num aumento de produtividade.

Sendo a EDP Distribuição uma empresa que na sua génese assume o compromisso das preocupações ambientais e da sustentabilidade do planeta, considera-se ainda um ganho ambiental, pela redução de emissões causada com uma redução significativa do número de viagens.

Em suma, este trabalho permitiu otimizar o plano de manutenção das infraestruturas óticas privadas da EDP Distribuição, baseado numa política de manutenção que avalia a condição e o risco, que se traduz num ganho relevante em termos de custos, produtividade e sustentabilidade, sendo de facto uma mais valia para o desempenho da EDP Distribuição.

7.2 Proposta de trabalhos futuros

No seguimento deste trabalho, propõem-se os seguintes trabalhos futuros:

- No seguimento do estudo realizado, e nas situações em que a criticidade é elevada, realizar um estudo de redimensionamento da rede ótica de forma a baixar a criticidade e espaçar a periodicidade das MPSs, tendo sempre como objetivo principal a redução dos custos, na sua totalidade, bem como diminuir o risco e otimizar a resiliência da rede ótica;
- Avaliar os custos de implementação de uma rede baseada na tecnologia WDM, que implicitamente garante uma maior resiliência da rede ótica, e equacionar até que ponto se justificaria então a continuidade das políticas de MPS das infraestruturas de fibra ótica, passando a existir apenas acções corretivas em caso de falhas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Protecção Civil – Autoridade nacional. Obtido em 3 de Abril de 2017, de <http://www.prociv.pt/>
- [2] Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF. Obtido em 11 de Abril de 2017, de <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/cartografia/map-perig-incend-flor>
- [3] EDP (2012). *Gestão de Ativos BSI PAS 55:2008 – Piloto de Implementação na AO STB*. Projeto Piloto da EDP Distribuição: DMN/MNPC – Planeamento e Controlo, Lisboa, Portugal (documento interno).
- [4] EDP (2014). *Sistemas de Telecomunicações – Fichas de Manutenção Preventiva Sistemática*. Ficha Técnica de Intervenção - EDP Distribuição, Portugal (documento interno).
- [5] Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF. Obtido em 11 de Abril de 2017, de:
<http://www.icnf.pt/portal/caca/CacaPesquisa?Distrito=6&Concelho=&Circunscricao=3&Nucleo=&TipoZona=1&Numero=>
- [6] Camara Municipal de Celorico da Beira. Obtido em 11 de Abril de 2017, de:
<http://www.cm-celoricodabeira.pt/servicosmunicipais/agroflorestal/floresta/Documents/doencas/>
- [7] UNAC — União das Organizações de Agricultores para o Desenvolvimento da Charneca. Obtido em 11 de Abril de 2017, de: <http://www.unac.pt/>
- [8] EDP. (2016). Obtido em 21 de Fevereiro de 2016, de:
<http://www.edp.pt/pt/aedp/sobreaedp/Pages/aEDP.aspx>
- [9] EDP Distribuição. (2016). Obtido em 23 de Fevereiro de 2016, de:
<http://www.edpdistribuicao.pt/pt/edpDistribuicao/Pages/aEDPDistribuicao.aspx>
- [10] – Cabling Installation & Maintenance. Obtido em 7 de Março de 2017, de:
<http://www.cablinginstall.com/articles/2013/07/coldtemp-osp-ftp.html>
- [11] Rosenqvist, Jonathan (2014). *Fiber optics communication failure modes*. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden.
- [12] Grover, Wayne D. (2003). *Mesh-based Survivable Transport Networks: Options and Strategies for Optical, MPLS, SONET and ATM Networking*. Prentice Hall.
- [13] – Freeman, Roger L. (2007). *Radio System Design for Telecommunication (3rd edition)*. ISBN: 978-0-471-75713-9. Wiley-IEEE Press, NY.
- [14] – Martins, Maria J., Neves, Isabel V. (2015). *Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas*. Lidel – edições técnicas, lda, Lisboa, Portugal.

- [15] – Corning (Abril, 2016). White Paper - *Frequently asked questions on fiber reliability*.
- [16] – Nascimento, Eduardo M. (2001). *Análise de confiabilidade em fibra óptica sob envelhecimento e defeitos gerados através de técnicas de penetração*. Dissertação de Pós Graduação, Engenharia da UFPR, Universidade do Paraná, Brasil
- [17] – Domingues, Maria de Fátima F. (2014). *Estudo da degradação do tempo de vida das fibras óticas e o seu impacte no desempenho das redes de comunicações*. Tese de Doutoramento, Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Portugal
- [18] – Datwyler (2014). White Paper – *The impact of water on fibre optic cable*
- [19] – Matthewson, M. John. *Fiber Optic materials research program*. Department of Ceramic Science and Engineering, Rutgers University, Piscataway, New Jersey
- [20] – Vickle, Patrick Van. *Optical Fiber Cable Design & Reliability*. Sumitomo Electric Lightware.
- [21] – Lundergana, Mark L. (Corning Incorporated); Zimmermann, Bernd D. (Alcoa Fujikura Ltd.); Waterman, Bill (MRC Telecommunications. *Mechanical an Optical Functionality of Field-Aged Optical Ground Wire Cable*.
- [22] – CommScope, Inc. (2015). White Paper – *Fundamentals of Fiber Cable Management*
- [23] – Casteel, Rodney (April 5, 2012). CommScope, Inc. White Paper – *How To Properly Maintain A Fiber Optic Infrastructure - Best Practices to Minimize Damage and Failures in Fiber Optic Infrastructures*.
- [24] – Telecommunication Standardization Sector OF ITU – ITU-T Recommendation L.25 – Series L: Construction, Installation and Protection of Cables and other elements of outside plant. *Optical fiber cable network maintenance*.
- [25] – IBM. *Maintenance Information for Fiber Optic Links (ESCON, FICON, Coupling Links, and Open System Adapters)*
- [26] – Procurve Networking – IBM Inovation (Maio 2006). *Preventive Maintenance of fiber optic cables and optics*
- [27] – The Fiber Optic Associatios, Inc. (Novembro de 2014). *Technical Bulletin – User’s Guide to Fiber Optics*.
- [28] – Francisco, Rui A. R. (2014). *Proposta de Estratégia para a Rede de Fibras Óticas da EDP Distribuição*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- [29] – Branco, Telmo A. R. (2015). *Análise e Mitigação do Risco Associado às Infraestruturas de Telecomunicações Críticas de Suporte à Rede Nacional de Distribuição de Eletricidade – Uma Visão Baseada no Redesenho da Sua Estratégia de Manutenção*. Relatório de Estágio, Área de Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal.

- [30] Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF. Obtido em 11 de Abril de 2017, de: <http://www.icnf.pt/portal/florestas/prag-doe/ag-bn/nmp>
- [31] Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas (NESDE). Obtido em 18 de Abril de 2017, de: <http://www-ext.lnec.pt/>
- [32] Sousa, Maria Luísa (2012). Regiões de maior risco sísmico de Portugal Continental – Perigosidade, vulnerabilidade e análise de risco. GECORpa, Grémio do Património, Instituição de utilidade pública.
- [33] Carrilho, Fernando (2015). “Há mais de mil sismos por ano em Portugal”, Notícias Magazine, 11 de Maio (<http://www.noticiasmagazine.pt/2015/ha-mais-de-mil-sismos-por-ano-em-portugal/>)
- [34] Dias, João M. Alveirinho (página web pessoal) (2000). Sismos. Obtido em 11 de Abril de 2017, de: <http://w3.ualg.pt/~jdias/>
- [35] Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2017). Sismos. Obtido em 11 de Abril de 2017, de: <https://www.ipma.pt>
- [36] Pereira, Elsa Vaz (2006), Protecção de estruturas metálicas. Laboratório Nacional ed Engenharia Civil.
- [37] Diamantino, Teresa Cunha (22/04/2016), Corrosividade Atmosférica - Workshop QUALISTEELCOAT 2016. Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- [38] LNEG - Laboratório Nacional ed Energia e Geologia (2017). Mapa Nacional de Corrosão Atmosférica. Obtido em 9 de Maio de 2017, de: <http://geoportal.lneg.pt/>
- [39] CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica (2017). Corrosão Atmosférica. Obtido em 9 de Maio de 2017, de:
http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6344-corrosao-atmosferica#.WRELaBPYucw
- [40] Nunes, Jorge Luiz Oleinik; Guimarães, André Tavares da Cunha, Distância da água do mar - fator a ser considerado na intensidade de ataques por cloretos ao concreto armado. Departamento de Materiais e Construção – FURG-Universidade Feral do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.
- [41] Esteves, Teresa M. Veloso Nunes Simões (Março 2004). Base de dados do potencial energético do vento em Portugal – Metodologia e desenvolvimento. Dissertação de mestrado em Ciências e Engenharia da Terra. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa.
- [42] ABB. Risk Based Inspection Webinar. Obtido em 15 de Maio de 2017, de: <https://www.youtube.com/watch?v=IGw7jtNERto>
- [43] Sete pontes de Königsberg. Obtido em 22 de Janeiro de 2017, de: https://pt.wikipedia.org/wiki/Sete_pontes_de_K%C3%B6nigsberg
- [44] Teoria dos Grafos. Obtido em 22 de Janeiro de 2017, de: https://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_dos_grafos

- [45] Lista de adjacência. Obtido em 27 de Janeiro de 2017, de: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista de adjacência](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_adjacência)
- [46] Araújo, Adérito. Departamento de Matemática da Universidade de Coimbra. As pontes de Königsberg. Obtido em 26 de Janeiro de 2017, de <http://www.mat.uc.pt/~alma/escolas/pontes/>
- [47] Duarte, Pedro Miguel N. R.. Departamento de Matemática - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. As pontes de Königsberg. Obtido em 3 de Fevereiro de 2017, de: <http://webpages.fc.ul.pt/~pmduarte/tmf/Problemas/konigsberg.html>
- [48] Silva, Augusto César Montenegro (Fevereiro 2010). *Modelo para o planeamento de manutenção baseada em parâmetros de degradação*. Dissertação de mestrado em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Pernambuco.
- [49] Condition-based_maintenance. Obtido em 24 de Janeiro de 2017, de: https://en.wikipedia.org/wiki/Condition-based_maintenance
- [50] Condition-based_maintenance. Obtido em 24 de Janeiro de 2017, de: http://www.assetinsights.net/Glossary/G_Condition_Based_Maintenance.html
- [51] Risk-Based Maintenance. Obtido em 24 de Janeiro de 2017, de: http://www.assetinsights.net/Glossary/G_Risk-Based_Maintenance_%28RBM%29.html
- [52] Risk-Based Maintenance. Obtido em 24 de Janeiro de 2017, de: http://www.assetinsights.net/Glossary/G_Condition_Based_Maintenance.html
- [53] EA Technology. Condition Based Risk Maintenance (CBRM). Data Sheet CBRM.
- [54] Hughes, David; Pears, Tracy (Maio 2007). Condition Based Risk Management (CBRM), a process to link engineering knowledge and practical experience to investment planning – an update. CIRED – 19th International Conference on Electricity Distribution – Vienna.
- [55] EA Technology Consulting Limited. CBRM - Condition Based Risk Maintenance – Investing in optimal network performance. Data Sheet CBRM.
- [56] Cabos de fibra optica. Obtido em 30 de Maio de 2017, de: <http://www.cabelte.pt>
- [57] Francisco, Rui; Fernandes, Pedro;, DMA-C34-122/E - Cabos de guarda com fibra ótica (OPGW), EDP Distribuição - Energia, SA, 2012.
- [58] Francisco, Rui; Fernandes, Pedro;, DMA-C98-601/E - Cabos Dielétricos de Fibra Ótica para Instalação em Rede Aérea (ADSS), EDP Distribuição - Energia, SA, 2012.
- [59] Francisco, Rui; Fernandes, Pedro;, DMA-C98-602/E - Cabos Dielétricos de Fibra Ótica para Instalação em Rede Subterrânea (Conduta), EDP Distribuição - Energia, SA, 2012.
- [60] Fecha, Jorge Felipe Ferreira (Julho 2012). *Aplicação da PAS 55 ao Departamento de Operação e Manutenção da Operadora da Rede Electrica de Distribuição*. Dissertação de mestrado integrada em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[61] Lopes, Monica Vanessa Fernandes (Setembro 2014). *Desenvolvimento de um modelo para determinação do índice de saúde e respetiva probabilidade de falha para disjuntores AT e MT – Estágio na EDP Distribuição*. Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

[62] Hughes, D. T. (2003). The use of “Health Indices” to determine end of life and estimate remnant life for distribution assets,. *17th International Conference on Electricity Distribution (CIRED)*. EA Technology - United Kingdom. United Kingdom.

[63] Hjartarson, Thor . Condition Health Indices and Probabilities of Failure. Kinectrics Inc.

[64] The Likert Scale. Obtido em 30 de Junho de 2017, de: http://thefutureplace.typepad.com/the_future_place/2010/09/the-likert-scale-tarsk-14-things-all-researchers-should-know.html

ANEXOS

ANEXO A - Apresentação do Grupo EDP

A EDP nasceu em 1976, com a fusão de 13 empresas do setor elétrico português.

Desde então, o Grupo EDP não parou de crescer e evoluir, tornando-se numa empresa multinacional e na maior empresa não financeira em Portugal.

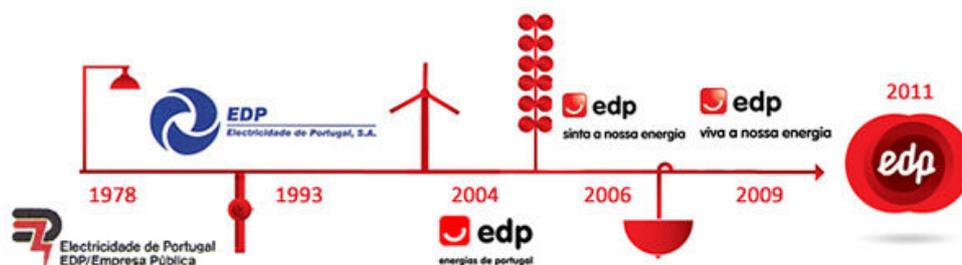


Figura A.34 - Evolução do Grupo EDP.

A EDP é uma *utility* verticalmente integrada. É o maior produtor, distribuidor e comercializador de eletricidade em Portugal, a terceira maior empresa de produção de eletricidade na Península Ibérica, e um dos maiores distribuidores de gás na Península Ibérica.

A EDP é também um dos maiores operadores mundiais de energia eólica, com parques eólicos na Península Ibérica, Estados Unidos da América, Canadá, Brasil, França, Bélgica, Itália, Polónia e Roménia. A EDP tem hoje uma presença relevante no panorama energético mundial, estando presente em 14 países, contando com cerca de 9.7 milhões de clientes de energia elétrica, 1.4 milhões de clientes de gás e cerca de 12 mil colaboradores em todo o mundo [8].

A EDP Distribuição é a empresa do Grupo EDP que opera em Portugal na atividade de distribuição de eletricidade. A atividade da EDP Distribuição é regulada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), que define as tarifas, parâmetros e preços para a energia elétrica e outros serviços em Portugal, e controla o cumprimento dos níveis de qualidade de serviço exigidos pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

A empresa visa fornecer serviços aos comercializadores, garantir a expansão, a fiabilidade da rede e o abastecimento de eletricidade. Planear, construir, conduzir e manter são os pilares de ação da empresa, promovendo sempre uma melhoria contínua de desempenho, focada na otimização dos recursos [9].

A Direção de Manutenção é um departamento da EDP Distribuição e tem como missão planear, executar e controlar o programa de manutenção de ativos, assegurando o seu melhor funcionamento, sendo responsável por executar as ações de manutenção preventiva sistemática (MPS) e manutenção preventiva condicionada (MPC) das subestações e postos de corte, a nível nacional. Deve também executar as ações de manutenção corretiva (MC), avaliar as condições dos ativos e registar os danos ocorridos. Existem três departamentos de manutenção de subestações, divididos por áreas geográficas.

ANEXO B - Teoria do Grafos

As sete pontes de Königsberg

A cidade de Königsberg é banhada pelo rio Pregel que, ao atravessar a cidade se ramifica formando uma ilha que está ligada à restante parte da cidade por sete pontes.

Dizia-se que os habitantes da cidade, nos dias soalheiros de descanso, tentavam efetuar um percurso que os obrigasse a passar por todas as pontes, mas apenas uma vez em cada uma. Como as suas tentativas foram sempre falhadas, muitos deles acreditavam que não era possível encontrar uma solução.

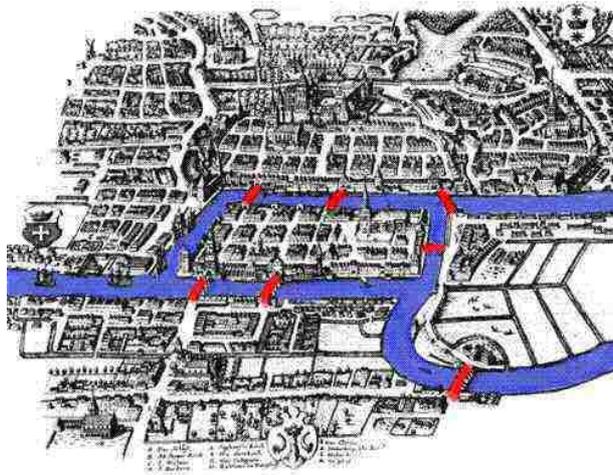


Figura A.35 - Cidade de Königsberg [46].

Em 1736, o matemático suíço Leonard Euler, interessou-se por este problema e transformou os caminhos em linhas e suas intersecções em pontos, criando possivelmente o primeiro grafo da história, acabando por concluir que este problema não tinha solução, sendo impossível passar uma só vez em cada ponte.

Então percebeu que só seria possível atravessar o caminho inteiro passando uma única vez em cada ponte se houvesse exatamente zero ou dois pontos de onde saísse um número ímpar de caminhos. A razão de tal coisa é que de cada ponto deve haver um número par de caminhos, pois será preciso um caminho para "entrar" e outro para "sair". Os dois pontos com caminhos ímpares referem-se ao início e ao final do percurso, pois estes não precisam de um para entrar e um para sair, respetivamente. Se não houver pontos com número ímpar de caminhos, pode-se (e deve-se) iniciar e terminar o trajeto no mesmo ponto, podendo esse ser qualquer ponto do grafo. Isso não é possível quando temos dois pontos com números ímpares de caminhos, sendo obrigatoriamente um o início e outro o fim [43].

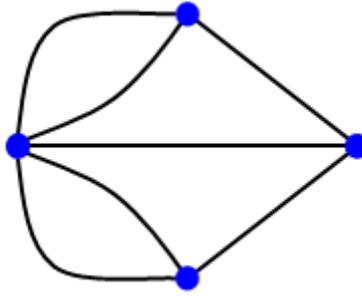


Figura A36 - Grafo da Cidade de Königsberg.

As soluções de Euler para este problema e as técnicas por ele utilizadas marcaram o início do estudo do tema atualmente designado por Teoria de Grafos. A técnica de Euler consistiu, essencialmente, em considerar as margens e as ilhas, no mapa da cidade, como pontos, que ligou por linhas, do mesmo modo que aquelas eram unidas pelas referidas pontes.

Grafos e Dígrafos

Grafos são usados para resolver problemas em muitos campos, tais como na representação de um mapa de estradas, redes de telecomunicações, redes de computadores, traçado de rotas, circuitos eletrônicos, redes sociais, condutas de gás ou água, entre outros.

A teoria do Grafos é um ramo da matemática que estuda as relações entre objetos de um determinado conjunto [44].

Um grafo (G) é composto por dois conjuntos de elementos: um conjunto de vértices (V) e um conjunto de arestas (E). Os vértices são os pontos de referência, que variam mediante a aplicação, e são interligados por arestas. As arestas podem ter ou não direção e ainda pode ser-lhes atribuído um peso. Nos casos em que o grafo possui direção associada, representa-se com uma seta, e é designado por dígrafo.

Um exemplo prático de um grafo é a aplicação desta teoria a um mapa de estradas principais que interligam algumas capitais de distrito. Consideremos o exemplo na figura abaixo:

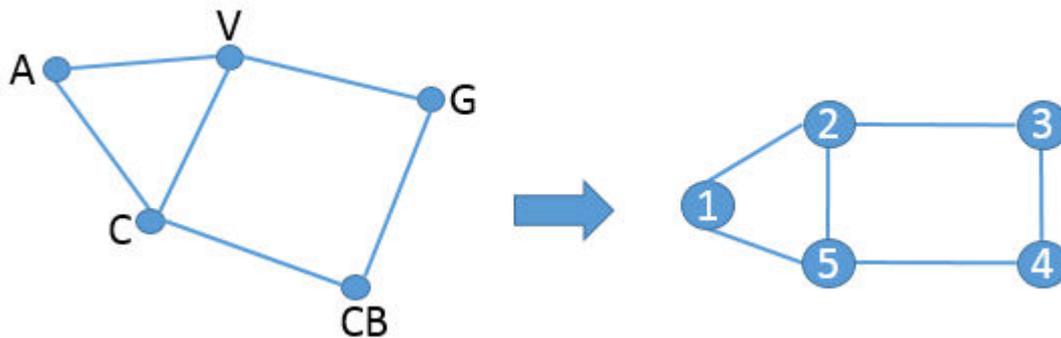


Figura A.37 - Exemplo de um Grafo

A figura acima diz-se um grafo. Embora se trate de uma representação gráfica não é relevante se as arestas são representadas de forma curva ou retilínea, compridas ou curtas, apenas é relevante identificar os pontos e as linhas que os unem. Tipicamente cada vértice é representado por um número.

Um grafo $G = (V, E)$ é composto de:

V : conjunto de vértices

E : conjunto de arestas

Se $\alpha = \{v, w\}$ é uma aresta de um grafo, dizemos que α liga os vértices v e w , ou que incide em v (e em w).

Para o exemplo do grafo G temos:

$$V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$E = \{(1,2), (1,5), (2,5), (2,3), (3,4), (4,5)\}$$

Nos casos em que o grafo é orientado, temos um dígrafo, conforme exemplo abaixo.

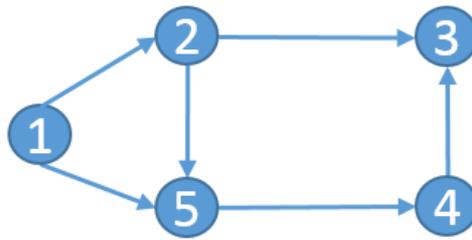


Figura A.38 - Grafo Direcional

Para além da representação gráfica, existe a necessidade da representação computacional, que represente de forma inequívoca um grafo. Existem várias formas de representar um grafo, cada uma delas com as suas vantagens e desvantagens, de seguida veremos as três formas matemáticas/computacionais mais comuns para representar um grafo: Matriz de Adjacência, Matriz de Incidência e Lista de Adjacências.

Matriz de adjacência

Uma das formas mais comuns de representar um grafo é através de uma Matriz de Adjacências. Dado um grafo G com n vértices pode ser representado por uma matriz $n \times n$, $A(G) = [a_{ij}]$.

Para representar um grafo não direcional e sem pesos, coloca-se 1 nas entradas a_{ij} da matriz A nos casos em que os vértices v_i e v_j são adjacentes e 0 nas restantes entradas. Dizemos que dois vértices são adjacentes se existe uma aresta entre eles.

Pegando novamente no exemplo da fig. MAPA, obtemos a seguinte Matriz de Adjacência.

$$A(G) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura A.39 - Matriz de adjacência

Se o grafo A não direcional, a matriz de adjacência é simétrica ao longo da diagonal principal, basicamente temos as entradas a_{ij} iguais às entradas a_{ji} .

Como A não possui lacetes, ou seja, não existem arestas que tenham início e fim no mesmo ponto, a diagonal principal é nula.

O vértice 1 e 2 estão ligados por uma aresta, logo as entradas (1,2) e (2,1) da matriz são preenchidas com o valor 1. Este processo repete-se para as restantes ligações entre vértices.

Nos casos em que existem lacetes, a situação é em tudo idêntica ao caso anterior mudando apenas a entrada da matriz (i,i) onde $i=j$ que será preenchida com o valor 1. Como o exemplo abaixo da figura A.2.6.

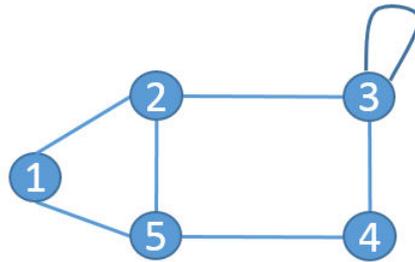


Figura A.40 – Exemplo de grafo com lacete

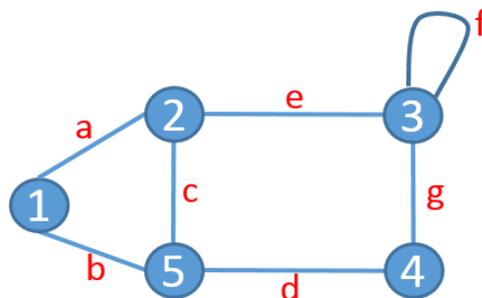
Matriz de incidência

Uma outra forma de representar um grafo de forma inequívoca é através da Matriz de Incidência.

A matriz de incidência, em geral, não é quadrada. O seu número de linhas é igual ao cardinal do conjunto de vértices e o seu número de colunas coincide com o número de arestas.

Enquanto a matriz de adjacência é sempre uma matriz quadrada, a matriz de incidência é de ordem $n \times m$, com n vértices e m arestas, em que o elemento da linha i e coluna j , $A(G) = [a_{ij}]$, é igual a 1 se a aresta j é incidente no vértice i e 0 nos restantes casos, nas situações em que não existem lacetes.

Para o exemplo seguinte, apresenta-se a matriz de incidência:



$$A(G) = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c & d & e & f & g \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Figura A.41 - Matriz de incidência

Lista de adjacência

A Lista de adjacências é uma outra forma comum de representar um grafo, em que são listadas todas as arestas e vértices .

A informação é armazenada em forma de agregado, com a informação das adjacências existentes em cada vértice.

Esta é uma alternativa á Matriz de Adjacência, principalmente quando estamos perante uma matriz esparsa (matriz que possui uma grande quantidade de elementos de valor zero), isto porque do ponto de vista computacional a Lista de Adjacência ocupa menos espaço.

Em ciência da computação, uma lista de adjacência é uma estrutura de dados para representar grafos. Numa representação de lista de adjacência, podemos manter, para cada vértice do grafo, uma lista de todos os outros vértices com os quais ele tem uma aresta (a "lista de adjacência" deste vértice) [45].

Utilizando o exemplo da figura A.41, obtemos a seguinte Lista de Adjacências:

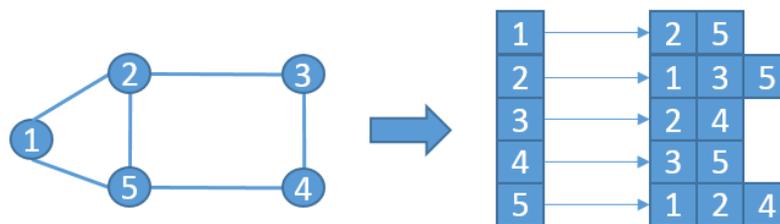


Figura A.42 - Lista de Adjacências

Grafos ponderados

Um grafo é ponderado ou valorado quando as suas arestas possuem um peso, ou seja, associamos um número (peso ou custo) a cada aresta do grafo. Nesse caso o peso de um grafo é definido pela soma dos pesos das suas arestas.

A melhor forma de explicar este conceito talvez seja através de uma situação prática. Vamos supor que pretendemos realizar uma viagem entre duas cidades e pretendemos percorrer a menor distância. Surge a necessidade de realizar um grafo com pesos, conforme o exemplo a seguir baseado na figura A.2.3:

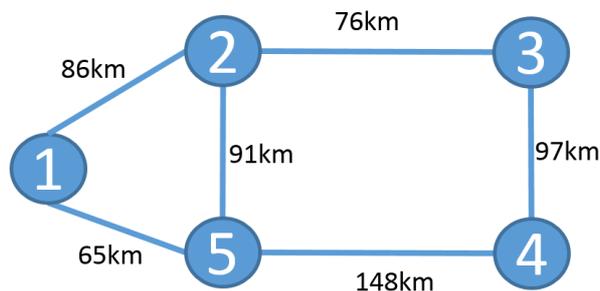


Figura A.43 - Exemplo de grafo ponderado

O comprimento de um caminho é dado pela soma dos pesos das arestas que definem o caminho. Ora se por hipótese o pretendido fosse viajar entre o Vértice 1 e o 3, temos várias hipóteses com pesos diferentes:

Tabela A. 9 – Exemplo de uma Tabela de Pesos

N.º	Caminhos	Pesos
1	1 - 2 - 3	$86 + 76 = 162$
2	1 - 2 - 5 - 4 - 3	$86 + 91 + 148 + 97 = 422$
3	1 - 5 - 4 - 3	$65 + 148 + 97 = 310$
4	1 - 5 - 2 - 3	$65 + 91 + 76 = 232$

Assim facilmente chegaríamos á conclusão que o caminho de comprimento mínimo seria 1 - 2 - 3, uma vez que é o que tem o peso mínimo.

De notar que o peso é um conceito que varia de acordo com as necessidades e o problema que estamos a analisar, isto é, pode ser distancia (km), custo (€), tempo (minutos), criticidade, etc.

ANEXO C - PDH e SDH

Hierarquia Digital Plesiócrona – PDH

O equipamento PDH é um multiplexer, muitas vezes designado apenas como “mux”. Trata-se de um dispositivo que codifica as informações de duas ou mais fontes de dados num único canal. São utilizados em situações onde o custo de implementação de canais separados para cada fonte de dados é superior ao de utilizar as funções de multiplexação/demultiplexação.

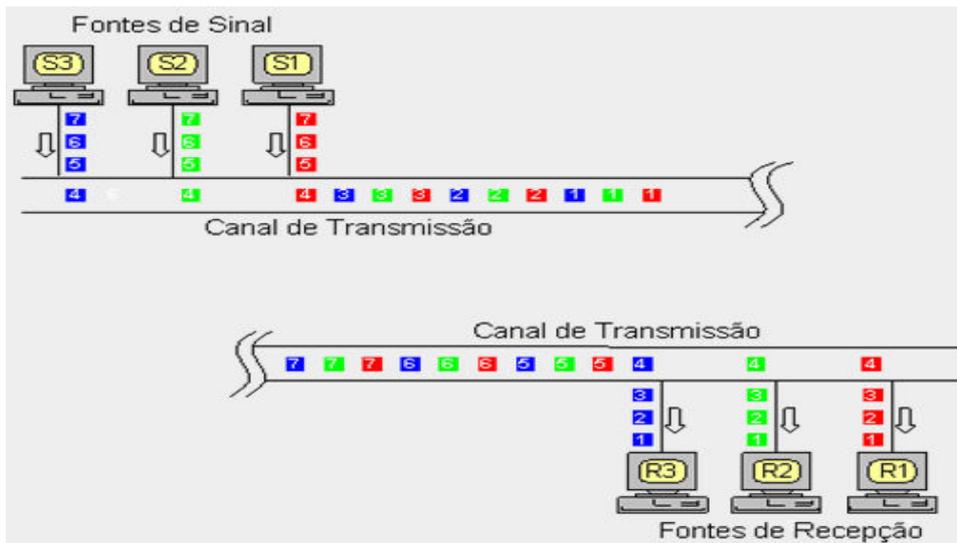


Figura C.44 - Multiplexação/Desmultiplexação

É composto por 32 canais de 64 kbit/s que formam um canal com 2,048 Mbit/s, via intercalação sequencial de bytes, compondo assim um canal de hierarquia de primeira ordem, denominado de E1. Na verdade apenas se dispõe de 30 canais para dados uma vez que os canais 0 e 16 são utilizados para Sincronismo e Sinalização, respetivamente.

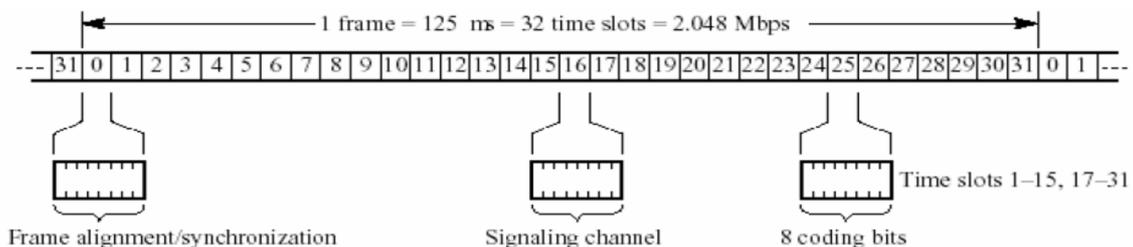


Figura C.45 - Trama PDH

Hierarquia Digital Síncrona - SDH

A dificuldade de conseguir altas taxas de transmissão com relógios “quase iguais”, como é o caso do PDH, contribuíram para a definição de um novo sistema de comunicação digital, que desse suporte para a transmissão em altas taxas, além de perfeita compatibilidade entre as diversas hierarquias de multiplexação digitais

existentes. Uma maior flexibilidade, confiabilidade, facilidades de reconfiguração e supervisão desses sistemas, também foram fatores decisivos para o aparecimento de um novo sistema.

Esse sistema é conhecido como Hierarquia Digital Síncrona, SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) (europeu), ou SONET (*Synchronous Optical Network*) (americano). A sua principal característica, como próprio nome indica, é o facto de ser totalmente síncrono, baseado em um relógio mestre universal com elevado nível de precisão. A tecnologia SDH está presente em equipamentos digitais que permitem realizar uma multiplexagem no domínio do tempo, conhecida como, TDM (*Time Division Multiplex*).

Os canais digitais do sistema PDH, após passarem por um processo de adaptação, podem “viajar” pelos canais síncronos de alta velocidade do sistema SDH/SONET.

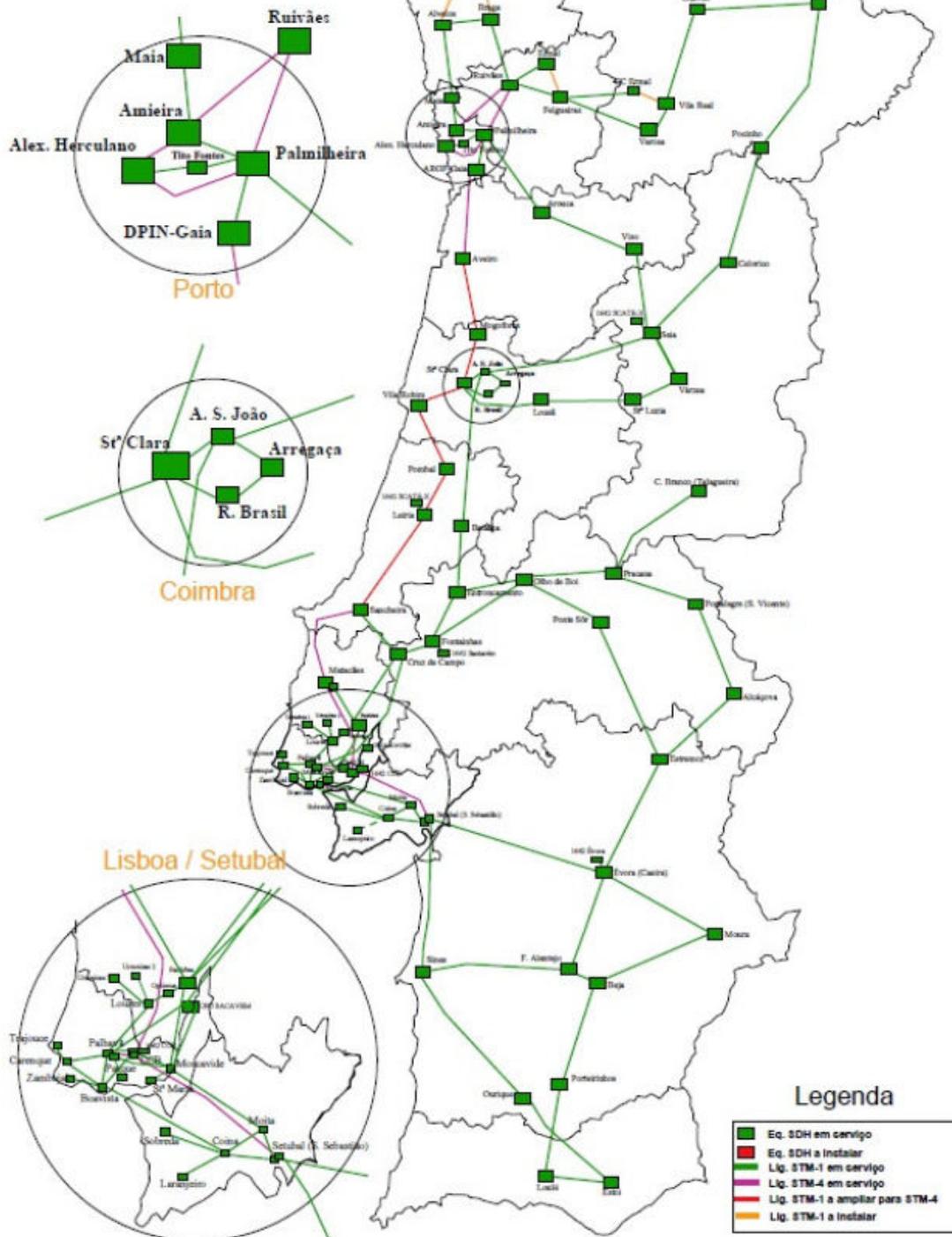
A tabela seguinte compara a Hierarquia Digital Síncrona SDH europeia e o SONET americano equivalente. A principal diferença entre os dois sistemas está na estrutura do canal básico, a partir do qual é estruturada a hierarquia de multiplexagem, e à designação dos diversos canais. Enquanto o SONET inicia com um canal chamado STS-1, de 51,84 Mbit/s, o sistema SDH começa com um canal designado de STM-1, de 155,52 Mbit/s.

Tabela C.10 - Hierarquia de multiplexagem SONET/SDH

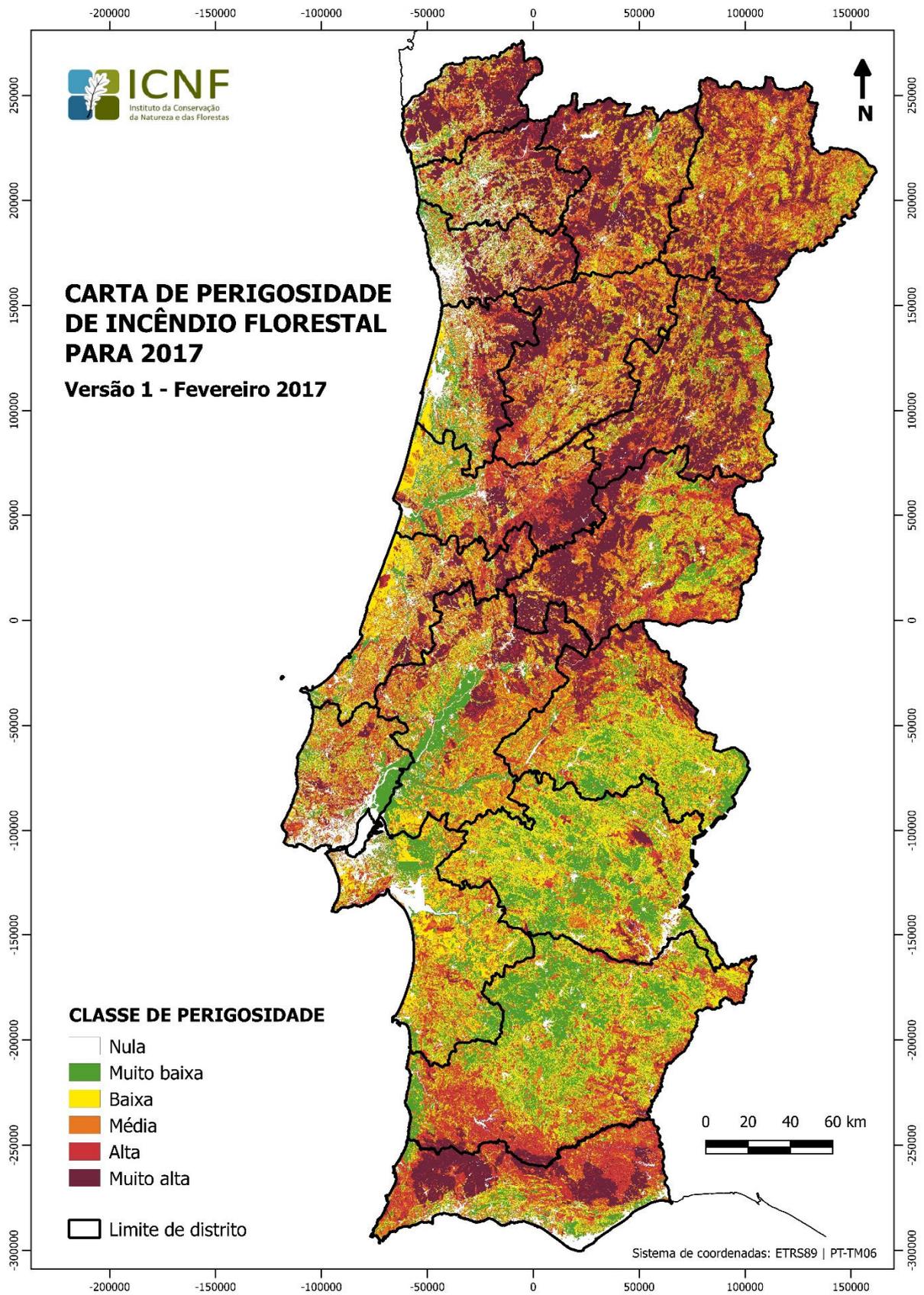
SDH/SONET		
SONET	SDH	Taxa (Mbit/s)
STM-1	-	51,84
STM-3	STM-1	155,52
STM-9	STM-3	466,56
STM-12	STM-4	622,08
STM-18	STM-6	933,12
STM-24	STM-8	1244,16
STM-36	STM-12	1866,24
STM-48	STM-16	2488,32

ANEXO D - Rede SDH da EDPD

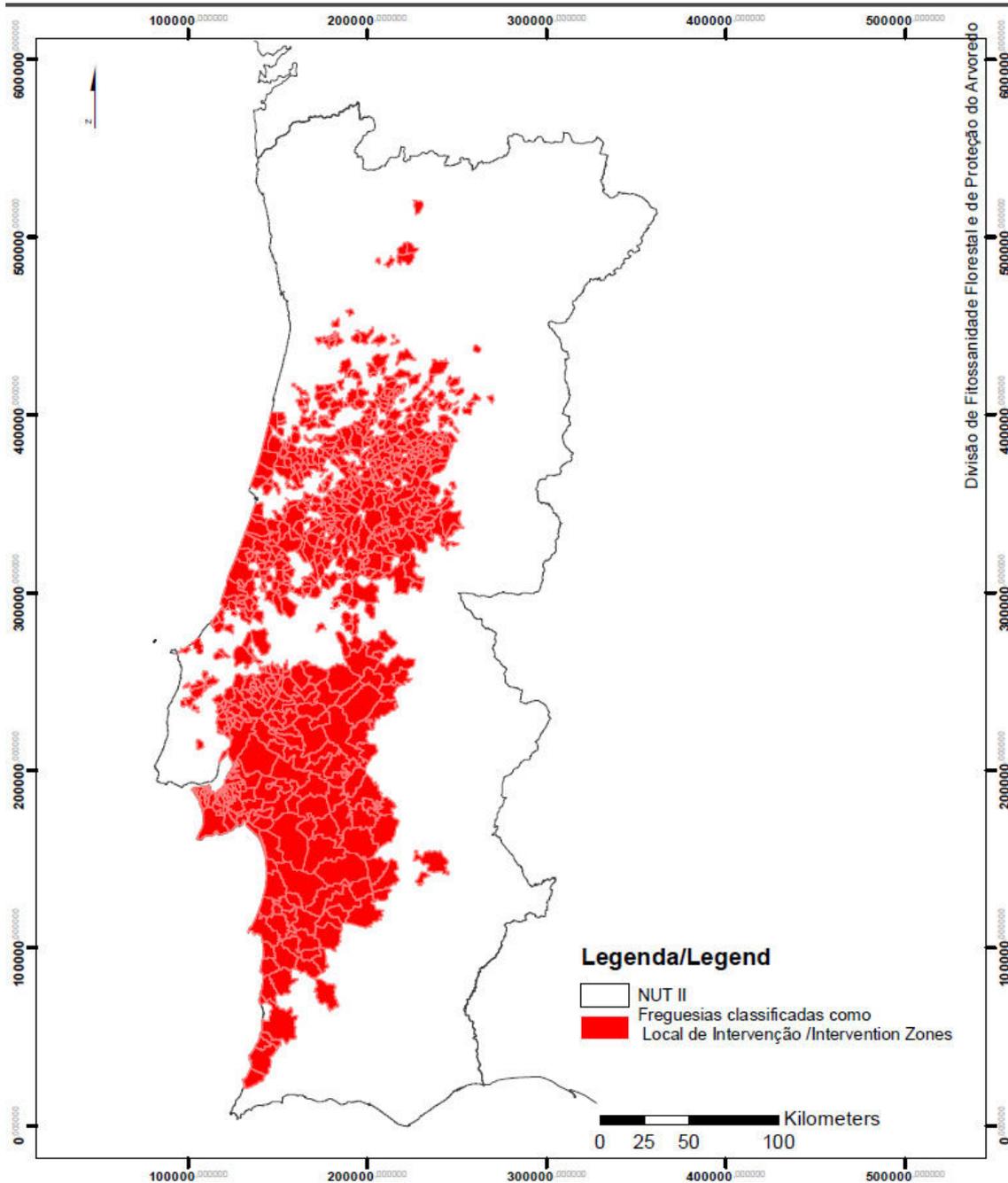
EDIS – Rede de Transmissão de Alto Débito – SDH



ANEXO E - Avaliação da perigosidade de incêndio florestal [2]



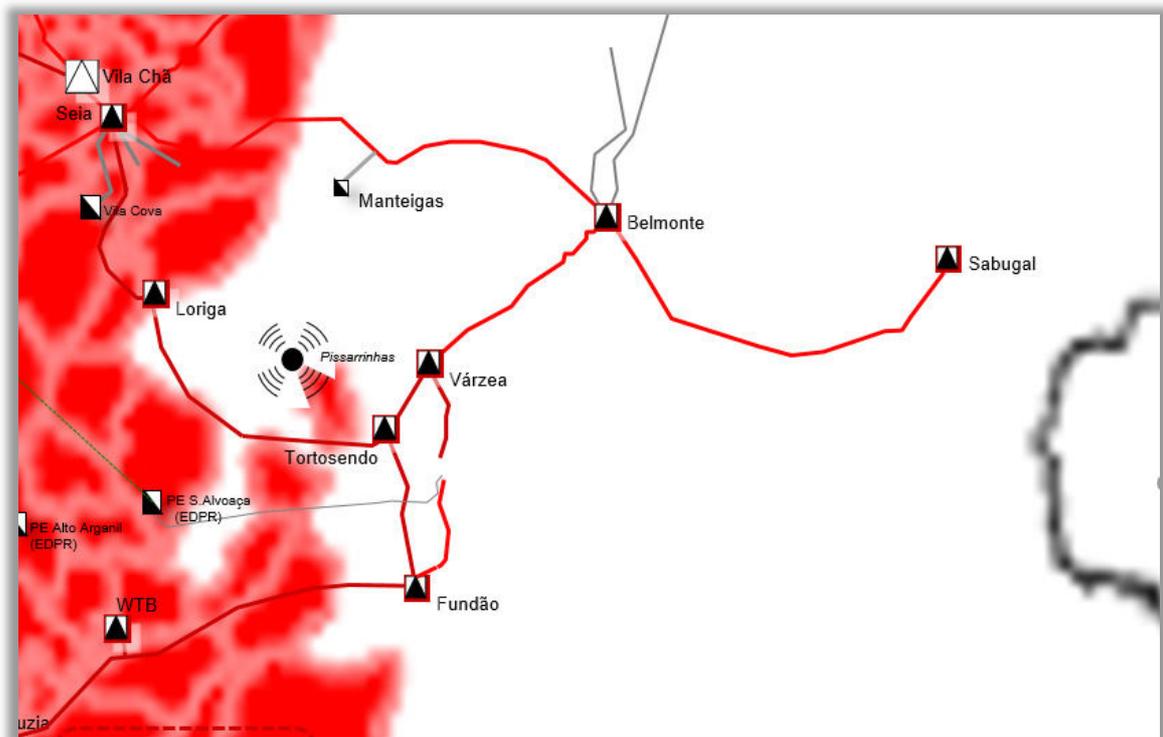
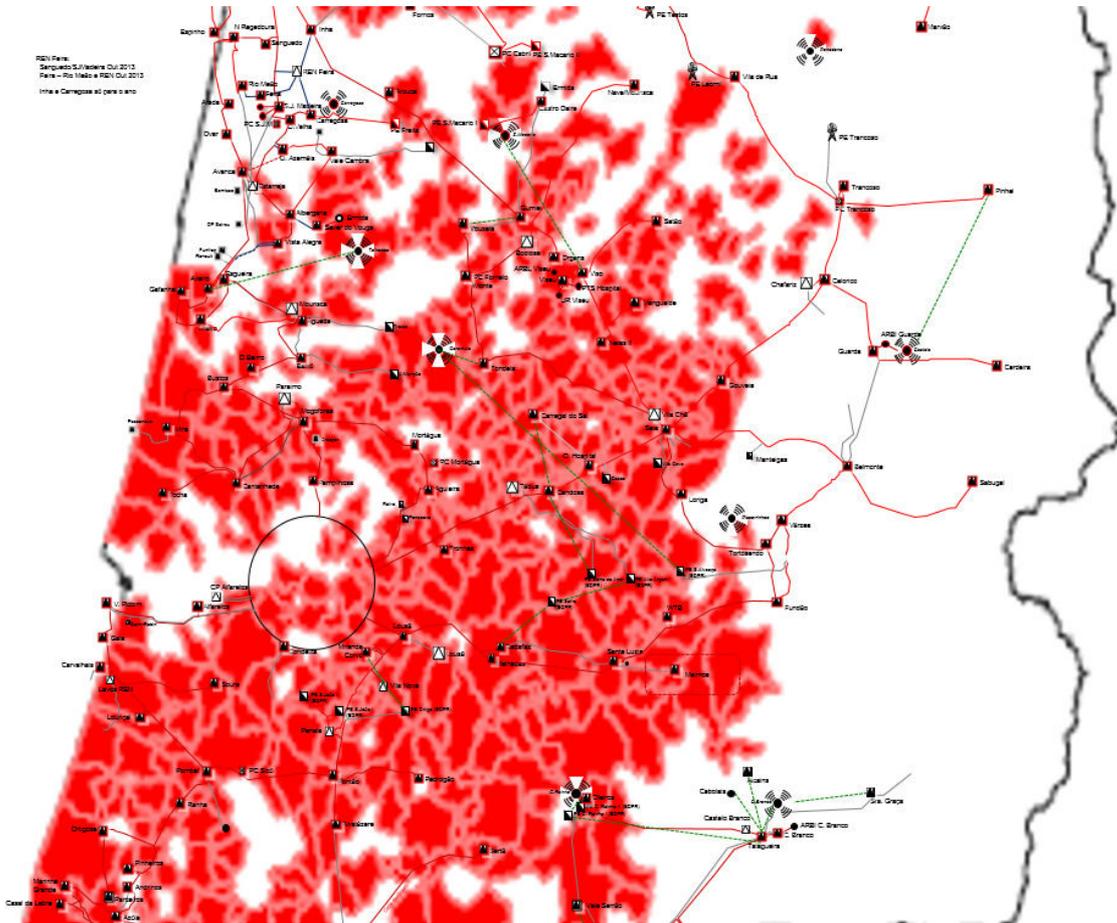
ANEXO F - Zona Nemátodo da madeira do Pinheiro [30]



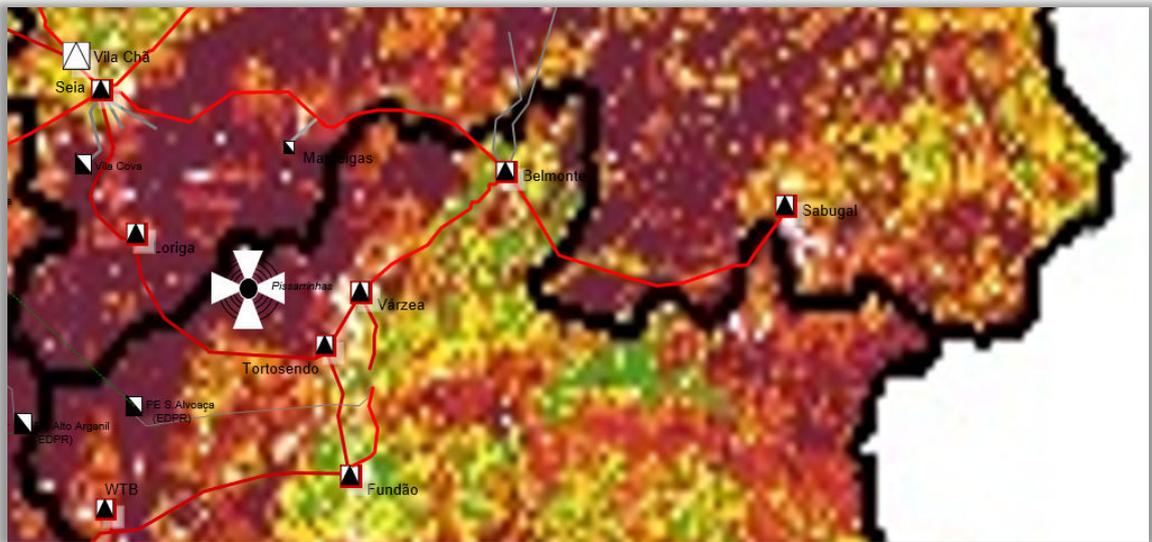
	NEMÁTODO DA MADEIRA DO PINHEIRO / PINE WOOD NEMATODE ENQUADRAMENTO NACIONAL DOS LOCAIS DE INTERVENÇÃO / INTERVENTION ZONES	
	Geographic Coordinate System: GCS_Datum_Lisboa_Hayford Datum: D_Datum_Lisboa_Hayford Prime Meridian: Greenwich Angular Unit: Degree	Data de elaboração (preparação): março/2016

ANEXO G – Estudo de Caso

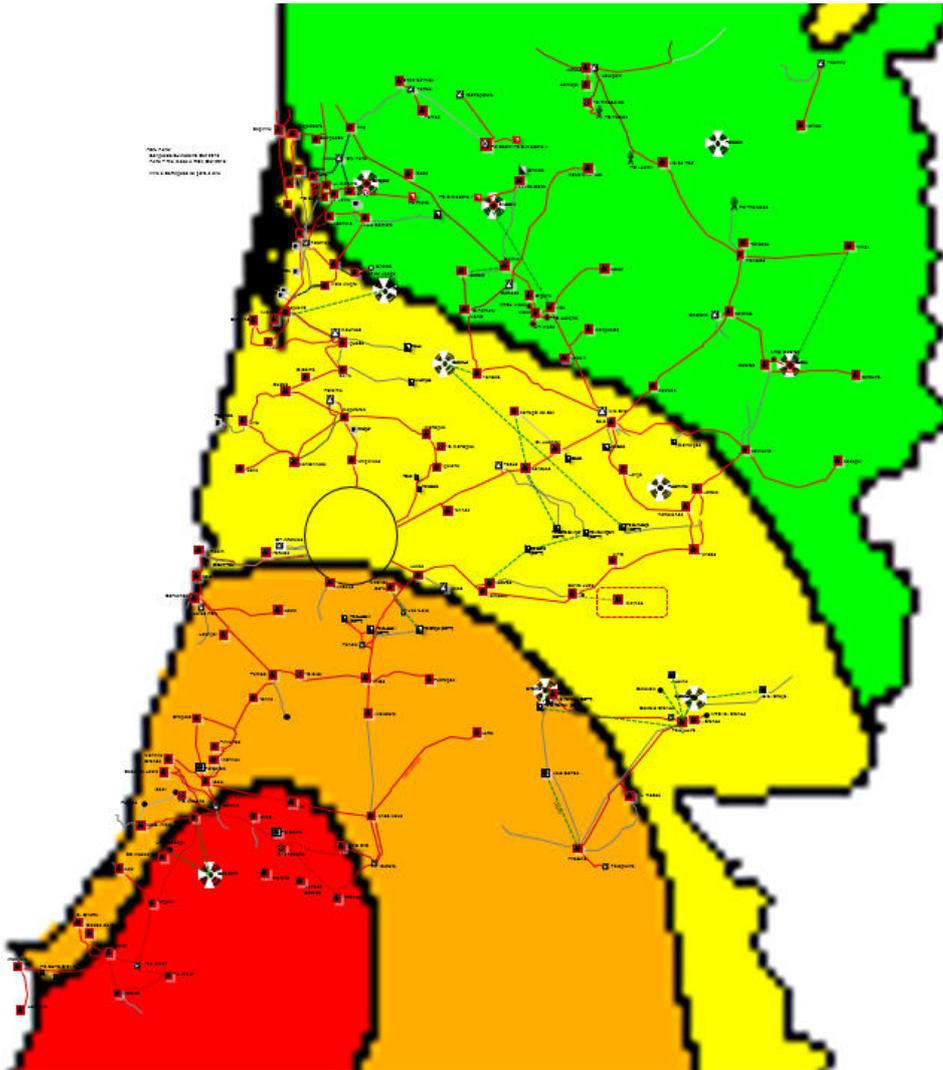
Influencia do nemátodo na Rede EDP



Influência do Risco de Incêndio na rede EDP



Influência do Risco Sísmico na rede EDP



ANEXO H – Rede ótica da EDP Distribuição

EDP Distribuição, Energia – Rede de Fibra Óptica

