



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Miguel Lorga Monteiro Marques

Relatório de Atividade Profissional

Mestrado em Engenharia de Redes e Serviços Telemáticos



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Pedro Miguel Lorga Monteiro Marques

Relatório de Atividade Profissional

Ao abrigo do Despacho RT-38/2011

Mestrado em Engenharia de Redes e Serviços Telemáticos

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Alexandre Santos

Professor Associado

Escola de Engenharia

Universidade do Minho

Agradecimentos

Tenho a sorte de estar a trabalhar numa área que muito me motiva e dá prazer. Para aqui estar tenho muito a agradecer a todos os professores com que me cruzei ao longo da minha carreira académica e que me permitiram chegar onde agora estou.

Contudo, tal não seria possível sem a preciosa ajuda dos meus pais que sempre estiveram ao meu lado não só durante o tempo de estudante, como durante toda a minha vida.

Agradeço à Sandra que sempre me deu força nos momentos difíceis de vida e ajudou a tornar os bons momentos em extraordinários.

Ao professor Alexandre Santos, pela sua capacidade de ensinar, motivar e me ter despertado o interesse na área de redes que, sem ele, possivelmente nunca teria descoberto.

À professora Maria João Nicolau pelos comentários pertinentes que deu durante a elaboração da tese de mestrado e ajudaram a melhorar substancialmente o documento.

Resumo

O presente documento constitui o relatório de atividade profissional com vista à obtenção do grau de Mestre ao abrigo do despacho RT-38/2011, regulamentado pela circular EEUM-CC-02/2012. Tendo realizado a minha licenciatura na Universidade do Minho em Engenharia de Sistemas e Informática com especialização em de Comunicações e Redes, tendo trabalhado e complementada a formação desde então na referida área, qualifiquei-me para requerer a equivalência ao Mestrado em Engenharia de Redes e Serviços Telemáticos.

O presente documento irá centrar-se nas funções desempenhadas durante os anos de trabalho na FCCN (Fundação para a Computação Científica Nacional) enquanto engenheiro de redes e de gestor da respetiva área. Um primeiro capítulo introdutório descreve brevemente o meu percurso profissional assim como o académico, que servirá de enquadramento para o restante relatório.

Tal como especificado na circular, a parte seguinte do relatório descreve algumas atividades desenvolvidas no âmbito do trabalho, sendo enquadradas dentro de um contexto científico num tema em que a FCCN foi pioneira – a implementação do IPv6 na rede académica. Serão ainda apresentados alguns outros pequenos projetos desenvolvidos como ilustradores do que é a área da engenharia de redes.

O terceiro capítulo descreve um grande projeto em que fui o principal responsável pelo seu desenvolvimento e implementação. Trata-se da criação de uma rede de fibra ótica trazendo o estado da arte para a rede académica portuguesa. Foi um processo longo e complexo que englobou diversas áreas da engenharia, requerendo conhecimentos profundos de telecomunicações, controlo financeiro, gestão de projetos e domínio de aspetos jurídicos associados às obrigações legais decorrentes do financiamento.

No âmbito do relatório é ainda solicitada a apresentação de eventuais trabalhos de natureza científica. Neste aspeto há a ressaltar que, durante o último ano em que trabalhei na FCCN, integrei um projeto de investigação europeu – Joint Research Activity. A temática era Future Transport Networks e visava estudar os mais recentes desenvolvimentos na área das arquiteturas de rede. A componente em que trabalhei foi na Evolution Beyond 100G, nomeadamente no estudo das diversas codificações para débitos de 100G e superiores.

No capítulo final é apresentada a conclusão e nos apêndices são indicados estágios e ações de formação realizados ao longo dos anos.

Abstract

This document represents my professional experience report to fulfil the requirements towards obtaining the Master's Degree in accordance with EEUM-CC-02/2012. Having finished my Degree at the University of Minho in Systems Engineering and Computer Science, specialized in Communications and Networks, and having worked since then in this line of work as well as continued studies in this area, qualify me to apply for equivalency Master's on Engineering of Computer Networks and Telematics Services.

This document will focus on the tasks carried out during the years of work at FCCN as a network engineer and manager of the network working group. The first chapter briefly describes my working career and the studies carried out since having finished the degree.

As required, the following chapter describes some activities done in the line of work with scientific relevance in which the FCCN was a pioneer - like the usage of IPv6. Some other small projects aimed for improving the monitoring and stability of the network will be described.

The third chapter describes a large project in which I had the main role for its development and implementation - the creation of a fiber optic network. It was a long and complex process that involved several areas of engineering, required deep knowledge of telecommunications, financial control, project management as well as legal obligations from the founding committee.

In the report it is asked for presenting any work of scientific relevance. During the last year I worked at FCCN, between mid-2012 and October 2013 I joined a European research project JRA - Joint Research Activity. The designation of this activity was *Future Transport Network* and aimed to study the latest developments in the field of network architectures and that would be incorporated into the design of future Géant network. The area I worked on was in *Evolution Beyond 100G*, studying various encoding schemes for 100Gbps speeds and higher.

In the final chapter is the conclusion. In the annexes some relevant internships and training activities conducted over the years are presented.

Índice

| | |
|---|------------|
| AGRADECIMENTOS | II |
| RESUMO | III |
| ABSTRACT | IV |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL | 2 |
| 1.2 FORMAÇÕES REALIZADAS | 7 |
| 2 TRABALHOS REALIZADOS..... | 9 |
| 2.1 OPERAÇÃO DA REDE | 10 |
| 2.2 PROGRAMAÇÃO / SCRIPTING..... | 13 |
| 2.3 O PROTOCOLO IPV6 | 15 |
| 2.4 OUTRAS ATIVIDADES | 19 |
| 3 PROJETO DE REDE DE FIBRA..... | 25 |
| 3.1 DAS CONDUTAS AO CIRCUITO ÓTICO..... | 27 |
| 3.1.1 <i>Tipo Fibra a usar</i> | 29 |
| 3.1.2 <i>Características do cabo a usar</i> | 33 |
| 3.1.3 <i>Percurso do cabo</i> | 34 |
| 3.1.4 <i>Requisitos das salas técnicas</i> | 35 |
| 3.1.5 <i>Conectores</i> | 36 |
| 3.1.6 <i>“Radiografia” do cabo</i> | 38 |
| 3.1.7 <i>Manutenção do cabo de backbone</i> | 39 |
| 3.1.8 <i>Lacetes locais - construção</i> | 41 |
| 3.1.9 <i>Lacetes locais – manutenção e georreferenciação</i> | 43 |
| 3.2 EQUIPAMENTO DE TRANSMISSÃO | 46 |
| 3.2.1 <i>Primeiro Sistema de Transmissão</i> | 46 |
| 3.2.2 <i>Sistema de transmissão ROADM</i> | 50 |
| 3.2.3 <i>Anúncio do serviço</i> | 68 |
| 3.2.4 <i>Análise dos custos</i> | 68 |
| 4 CONCLUSÃO | 69 |
| REFERÊNCIAS | 71 |
| ANEXOS | 73 |
| ANEXO A – PÓS GRADUAÇÃO EM TELECOMUNICAÇÕES E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO | 73 |
| ANEXO B – CERTIFICAÇÕES CISCO..... | 75 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| <i>CCNA</i> | 75 |
| <i>CCNP</i> | 75 |
| ANEXO C – CERTIFICAÇÃO ALCATEL..... | 77 |
| <i>NRS-1</i> | 77 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Circuitos dedicados vs SMDS | 4 |
| Figura 2 - Gráfico gerado pelo CACTI | 11 |
| Figura 3 - Atribuição de Endereçamento..... | 17 |
| Figura 4 - Hierarquia do espaço de endereçamento IPv6..... | 18 |
| Figura 5 - Internet eXchange Point | 20 |
| Figura 6 - Esquema de um POP..... | 21 |
| Figura 7 - Evolução das redes do 2G ao 4G | 22 |
| Figura 8 - Rede de fibra da FCCN em 2013..... | 25 |
| Figura 9 – Instituições ligadas em fibra em 2004..... | 26 |
| Figura 10 - Hierarquia das normas de fibra ótica | 29 |
| Figura 11 - Water Peak..... | 31 |
| Figura 12 - ODF numa sala técnica | 36 |
| Figura 13 - Conetor E2000/APC | 36 |
| Figura 14 - Tipos de polimento e respetivas perdas de retorno..... | 37 |
| Figura 15 - Polimentos UPC e APC em conectores SC | 37 |
| Figura 16 - Resultado de um teste de um OTDR | 39 |
| Figura 17 – Instalação de cabos em redes pluviais/esgotos..... | 42 |
| Figura 18 – Micro-trincheiras..... | 43 |
| Figura 19 - Caixa de fusão/junta em poste | 43 |
| Figura 20 - Exemplo de esquema de junta em Coimbra..... | 44 |
| Figura 21 - Modelo de dados para georreferenciação da fibra | 45 |
| Figura 22 - Exemplo da parte da rede de Coimbra em ArcGIS | 46 |
| Figura 23 - Adva FSP 3000 Slim Line | 47 |
| Figura 24 - FSP 3000 - Esquema dos equipamentos em cada um dos nós | 47 |
| Figura 25 - ADVA FSP 1500 | 48 |
| Figura 26 - Ligações de 1G em FSP 1500..... | 48 |
| Figura 27 – Software TMNS da Siemens..... | 49 |
| Figura 28 - Mapeamento do CWDM no DWDM..... | 52 |
| Figura 29 - Resultado da medição num OSA | 53 |
| Figura 30 - Mux e Demux | 54 |
| Figura 31 - Amplificador Ótico | 54 |
| Figura 32 - OADM | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 33 - Transponder | 55 |
| Figura 34 - Sistema DWDM completo..... | 56 |
| Figura 35 - Switch Ótico interno do ROADM | 57 |
| Figura 36- ROADM Colorido e Direcionado..... | 57 |
| Figura 37 - ROADM com <i>transponders</i> Incolores..... | 58 |
| Figura 38 - ROADM Incolor e Sem Direção | 59 |
| Figura 39 - CD ROADM..... | 60 |
| Figura 40 - Componentes de um MCS | 60 |
| Figura 41 - Flexgrid..... | 61 |
| Figura 42 - Sistema de transmissão da FCCN no local 6 | 62 |
| Figura 43 - Esquema parcial de um nó ótico | 63 |
| Figura 44 - Vista de um chassis..... | 66 |
| Figura 45 - Configuração de um <i>Cross-connect</i> | 67 |
| Figura 46 - Configuração das atenuações numa WSM-9 | 67 |
| Figura 47 - Fotos dos equipamentos a que se refere o esquema..... | 67 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Janelas de Transmissão | 30 |
| Tabela 2 - Norma G.652 – principais valores..... | 31 |
| Tabela 3 - Perdas de retorno por tipo de polimento | 38 |

Acrónimos

ALICE – America Latina Interconectada com Europa

APC – Angle Polished Connector

APN - Access Point Name

APM – Access Port Master

ATM – Asynchronous Transfer Mode

BBS – Bulletin Board System

BGP – Border Gateway Protocol

BRI - Basic Rate Interface

BSC - Base Station Controller

BTS – Base Transceiver Station

CCDA – Cisco Certified Design Associate

CCDP – Cisco Certified Design Professional

CCNA - Cisco Certified Network Associate

CCNP – Cisco Certified Network Professional

CDN – Content Distribution Network

CD-ROADM – Colourless Directionless ROADM

CD/C ROADM – Colourless, Directionless / Contentionless ROADM

CDCG ROADM – Colourless, Directionless, Contentionless, Gridless ROADM

CET – Centro de Estudos de Telecomunicações

CMDB - Configuration Management Database

CVP- Caixa de Visita Permanente

CWDM – Coarse Wavelength Division Multiplexing

DCM - Dispersion Compensation Module

DNS – Domain Name System

DSF - Dispersion Shifted Fiber

DS-x- Digital Signal x

DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing

EDFA - Erbium-Doped Fiber Amplifier

EduROAM - Education Roaming

EIGRP - Enhanced Interior Gateway Routing Protocol

EN - European Standards

EPC – Evolved Packet Core

ETI – Empregados a tempo Inteiro
ETSI - European Telecommunications Standards Institute
EU – End User
FCCN – Fundação para a Computação Científica Nacional
FIU – Fiber Interface Unit
FTP – File Transfer Protocol
FTTx – Fiber To The x
GGSN - Gateway GPRS Support Node
GigaPix - Gigabit Portuguese Internet eXchange
GSM - Global System for Mobile Communications
GRX - GPRS roaming exchange
HSS - Home Subscription Server
HSSI – High Speed Serial Interface
HLR – Home Location Register
HSRP - Hot Standby Router Protocol
HSS - Home Subscribe Server
IANA – Internet Assigned Numbers Authority
IDS - Intrusion Detection System
IEC - International Electrotechnical Commission
IMS - IP Multimedia Subsystem
IPS - Intrusion Prevention System
IPX - Internet Packet Exchange
ISDN - Integrated Services Digital Network – o mesmo que RDIS
ISIS - Intermediate System - Intermediate System Protocol
ISP – Internet Service Provider
ITIL - Information Technology Infrastructure Library
IXP – Internet eXchange Point
JRA – Joint Research Activity
LAN – Local Area Network
LANE – LAN Emulation
LIR – Local Internet Registry
LTE - Long-Term Evolution
MAN – Metropolitan Area Network
MCS – Multicast Switch

MGW – Media Gateway
MPLS – Multi Protocol Label Switching
MRTG - Multi Router Traffic Grapher
MSC – Mobile Switching Centre
MSTP - Multiple Spanning Tree Protocol
NAT - Network Address Translation
NIR – National Internet Registry
NPS - Network Power Switch
NREN - National Research and Educational Network
NZDSF - Non-Zero Dispersion Shifted Fiber
OADM – Optical Add Drop Multiplexer
OAU – Optical Amplifier Unit
OBU – Optical Booster Unit
ODF – Optical Distribution Frame
OEO – Electro-Optical Systems (Optical-Electrical-Optical). Por oposição a OOO.
OLT - OLT (Optical Line Terminal)
OOO – All Optical Systems (Optical-Optical-Optical). Por oposição a OEO.
OPGW – Optical Ground Wire
ORAC - Oferta de Referência de Acesso às Conduas
ORL - Optical Return Loss
OSA – Optical Spectrum Analyser
OSC – Optical Supervisory Channel
OSPF - Open Shortest Path First
OTDR - Optical Time Domain Reflectometer
PBB – Provider Backbone Bridge
PBT - Provider Backbone Transport
PCRF - Policy and Charging Resource Function
PMD – Polarization Mode Dispersion
POC – Proof of Concept
POP – Point of Presence
POSTIT - Pós-Graduação em Telecomunicações e Sistemas de Informação
PRI – Primary Rate Interface
PVC - permanent virtual circuits
PVP - Permanent Virtual Path

PSVT – Per Vlan Spanning Tree
QoS – Quality of Service
RCCN – Rede da Comunidade Científica Nacional
RCTS - Rede Ciência, Tecnologia e Sociedade
RDIS – Rede Digital Integrada de Serviços
RFI – Request For Information
RIPE/NCC - Réseaux IP Européens Network Coordination Centre
RIR - Regional Internet Registry
RNC – Radio Network controller
ROADM – Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer
RRD Tool - Round Robin Database Tool
RS – Route Server
RSTP - Rapid Spanning Tree Protocol
RTT- Round Trip Time
SAP - Service Access Points
SDH - Synchronous Optical Networking
SGSN - Serving GPRS Support Node
SLA – Service Level Agreement
SMDS - Switched Multi-megabit Data Service
SNMP – Simple Network Management Protocol
STP – Spanning Tree Protocol
TMN – Telecommunications Management Network
UMTS - Universal Mobile Telecommunications System
UPS - Uninterruptible Power Supply
VOA – Variable Optical Attenuator
VC – Virtual Circuit
VLR – Visitor Location Register
VoIP – Voice Over IP
VP – Virtual Path
VPN – Virtual Private Network
VPLS - Virtual Private Lan Service
VPRN - Virtual Private Routed Network
VPWS - Virtual Private Wire Service
VRRP - Virtual Router Redundancy Protocol

WAN – Wide Area Network

WIMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

WDM - Wavelength Division Multiplexing

WSD – Wavelength Selectable Demultiplexer

WSM – Wavelength Selectable Multiplexer

WSMD - Wavelength Selectable Multiplexer Demultiplexer

WSS – Wavelength Selectable Switch

1 Introdução

Quando entrei para a Universidade do Minho em 1993, poucos conhecimentos tinha de redes. Em Portugal o mais comum em termos redes informáticas era a ligação a BBS através de modems analógicos. Tipicamente faziam-se *downloads* de programas/jogos e trocavam-se mensagens com os colegas. Em Portugal a utilização das linhas telefónicas era muito cara, pelo que ligar-se a uma BBS era algo esporádico e tentando sempre ser o mais breve possível. Foi só quando iniciei o curso de LESI e usei pela primeira vez um *browser* (na altura o Mosaic), que me apercebi da real dimensão do que se designava por Internet. Lembro-me perfeitamente de estar a navegar em páginas fora de Portugal (algo que até aí impensável dado o preço elevado das chamadas internacionais) e de não ter de pagar nada! Era como se tudo fosse local. Fiquei verdadeiramente emocionado e com curiosidade de perceber como todo o processo funcionava. Assim, naturalmente, quando tive de optar por uma especialização no curso a área escolhida foi a de comunicações por computador.

Foi ainda durante os quarto e quinto anos, em que fiz alguns pequenos projetos de programação para empresas locais, que tive o primeiro contacto com redes fora do ambiente académico. O objetivo era facilitar as trocas de ficheiros entre os trabalhadores, ter acesso a bases de dados ou a outros serviços partilhados. A rede era Ethernet, suportada em cabos coaxiais com débitos de 10Mbps *half duplex*. Atrás destas melhorias vinha depois a administração de sistemas, configuração de DNS, servidor de correio eletrónico, etc. A área de redes não se esgotava na passagem de cabos!

Seguiu-se um estágio profissional no Instituto de Telecomunicações em Aveiro / CET (Centro de Estudos de Telecomunicações, depois designado PT Inovação e mais recentemente Altice Labs), que culminou na realização de um relatório sobre o tema “Gestão de redes TMN”. Apesar de partilhar o nome da antiga rede móvel atualmente designada por MEO; TMN designa uma *framework* para interligar diferentes sistemas operativos e redes de telecomunicações. O objetivo era, usando um mesmo interface gráfico ser possível monitorizar, gerir e alterar as configurações dos equipamentos SDH de diferentes fabricantes. A aplicação foi feita por uma equipa, tendo utilizado como linguagem de programação Java, C e Corba.

Seguidamente iniciou-se a minha vida profissional propriamente dita.

Ao longo dos últimos dezoito anos muita coisa mudou. Tive a sorte de ter podido trabalhar com várias tecnologias ao longo deste tempo.

Durante os dois primeiros anos o trabalho desenvolvido foi principalmente áreas do IPv6 e sistemas de monitorização da rede. Paralelamente fazia a configuração dos elementos de rede (*routers e switches, comutadores ATM*), assim como de protocolos de rede BGP (*Border Gateway Protocol*), OSPF (*Open Shortest Path First*), Multicast, etc. Em 2001 tornei-me coordenador do grupo de redes e passei a ser responsável por uma equipa de 6 pessoas. Foi um grande desafio profissional e que abracei com todo o empenho. Por esta altura as redes não era já uma mera curiosidade ou entretenimento para os estudantes universitários, mas uma ferramenta de pesquisa onde se podia encontrar muita informação para complementar os seus conhecimentos. A responsabilidade de ter uma rede sempre disponível e com qualidade eram fatores decisivos. A internet passa a ser vista como uma *commodity*, tal como a luz, gás ou água e tem de estar sempre disponível. Em 2003 decide-se criar uma rede académica de fibra ótica que deveria crescer e um dia ligar todas as universidades do país, servindo toda a população universitária e de laboratórios de estado. Esta rede entrou em funcionamento em 2004, tendo crescido deste então e passado por vários processos de melhoramento, mas ainda não está completa. Ao longo do tempo, outro objetivo era também melhorar a qualidade da interface entre a FCCN e as universidades, criando-se relatórios mensais com métricas da rede tais como a disponibilidade, atrasos, problemas ocorridos e melhoramentos realizados. A otimização de processos ligado às boas práticas do ITIL (*Information Technology Infrastructure Library*) foi alvo de um grande investimento de recursos tentando sempre disponibilizar um serviço cada vez mais evoluído. Em 2008 o grupo de redes foi dividido em dois, sendo um deles ligado à transmissão, do qual passei a ser o coordenador e um outro da área da rede IP. Em 2013 saio da FCCN para abraçar um novo projeto na TMN através da Alcatel. Este consistia em reestruturar toda a rede IP da rede móvel e fixa, tanto residencial como empresarial, substituindo os equipamentos existentes como melhoramento do desempenho da rede. Em outubro de 2016, foi-me lançado um novo projeto na FCCN. Com os conhecimentos adquiridos no projeto da TMN, o objetivo será implementar algumas das novas competências adquiridas na RCTS (Rede Ciência, Tecnologia e Sociedade), algo que me encontro agora a fazer.

1.1 Experiência Profissional

A FCCN é responsável por diversos serviços, sendo que aquela em que trabalhei foi na gestão, operação e planeamento da RCCN (Rede da Comunidade Científica Nacional),

mais tarde designada por RCTS quando passou a agregar a rede das escolas em conjunto com as do ensino superior e laboratórios do estado.

A RCTS é uma rede de elevado desempenho desenhada para servir as instituições de ensino (universidades, politécnicos e durante alguns períodos o ensino básico e secundário) e de laboratórios do estado. Além de ser uma rede que fornece os típicos serviços de conectividade é também uma plataforma de experimentação para aplicações e serviços, tais como o EduROAM (*Education Roaming*), plataforma Colibri, serviços relacionados com a segurança entre muitos outros.

A administração e gestão do GigaPIX, em conjunto com a restante equipa, fez também parte das responsabilidades a mim atribuídas. O GigaPIX é o ponto de troca de tráfego IP neutro em Portugal. Os trabalhos realizados neste âmbito serão descritos mais à frente no relatório em *outras atividades*.

Durante os anos em que estive na FCCN participei ainda em diversos projetos nacionais e internacionais, tais como APM (*Access Port Manager*); 6Deploy; ALICE – (*America Latina Interconectada com Europa*), atividades JRA (*Joint Research Activity*) sobre transmissão a débitos superiores a 100G, entre muitos outros.

Em 1999 ingressei na FCCN para trabalhar no grupo de redes, na altura designado como WAN (*Wide Area Network*).

Entre 1999 e 2001 trabalhei como engenheiro de redes júnior. As principais funções eram realizar a operação de redes (configuração de *routers/switches*), nomeadamente ligação de novos circuitos, *upgrades* e administração dos sistemas de suporte à rede. A monitorização da rede era feita através de uma aplicação – *Sunnet Manager* – que permitia a visualização gráfica da rede e geração de alarmes iniciada através de falhas em *pings* configurados. Fui ainda incumbido de dar continuidade aos trabalhos que se estavam a realizar no âmbito do IPv6. Não havia na altura uma equipa responsável pelo estudo e implementação do protocolo, mas sim uma aluna de mestrado que estava a estudar esta área e com quem colaborava. Foi possível aumentar a cobertura e participação das várias instituições de ensino superior, melhorar a conectividade IPv6 externa e ainda testar diversos serviços a correr sobre este novo protocolo – DNS (Bind), Servidor Web (Apache), FTP, etc.

Durante este período a maioria das ligações usava a tecnologia de transporte SMDS (*Switched Multi-megabit Data Service*). Tratava-se de uma tecnologia *connectionless*, que, tal como o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), comutava células. Interligava diversas LAN (Local Area Network) ou WANs através de um comutador central (responsabilidade

do operador), não sendo necessário criar circuitos dedicados entre cada um dos nós, que originariam $n*(n-1)$ circuitos dedicados.

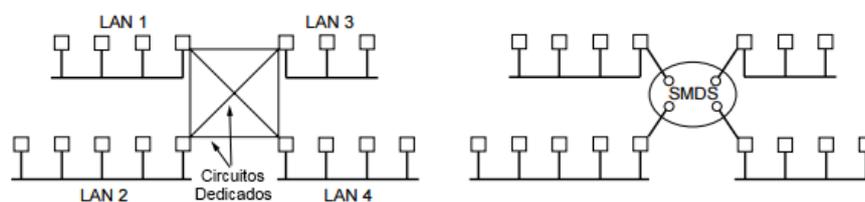


Figura 1 - Circuitos dedicados vs SMDS
(adaptado de [i])

Os circuitos de débitos mais baixos eram suportados ou em circuitos dedicados, *Frame Relay* ou RDIS. Quase todas estas tecnologias foram mais tarde migradas para ATM.

Os locais onde havia necessidade de maiores débitos eram tipicamente servidos por interfaces E3 a 34 Mbps. A razão desse requisito era que, nessa altura, a FCCN ligava todas as escolas primárias, básicas e secundárias. A ligação destes estabelecimentos escolares à internet era feita via RDIS, cujo custo era igual ao de um acesso telefónico. O tarifário existente contemplava três custos diferentes – chamadas locais, regionais e nacionais. Como os dois primeiros eram substancialmente mais baixos que os nacionais, foram criados vários POPs (*Point of Presence*) em todo país onde foram instalados circuitos primários E1 que coletavam 32 canais de 64Kbps cada. Desta forma cada escola ao ligar-se à Internet estaria sempre a pagar uma chamada local ou regional.

Em 2001 passei a coordenar da equipa da área de redes em que trabalhava. Até então era designada por WAN. A rede continuou a evoluir principalmente ao nível do aumento da largura de banda. Por esta altura já havia outros operadores de telecomunicações que disputavam o mercado com o incumbente ao nível dos serviços prestados, ganhando-se com a concorrência melhores preços e qualidade do serviço prestado. Estas melhorias levaram ao subir da fasquia dos critérios de exigência requeridos, construindo-se cadernos de encargos com SLAs (*Service Level Agreements*) mais exigentes ao nível do cumprimento de débitos acordados, atrasos, *jitter* e disponibilidade. Conseguiu-se, graças à concorrência, duplicar a capacidade da rede a cada ano e meio. Foi também essa a altura em que se consolidou a tecnologia Ethernet não só para a rede local, como também para circuitos de acesso das instituições. A Ethernet estava agora presente desde a LAN até ao *backbone*.

Contudo, sempre que eram pretendidos circuitos de maior débito, como de 1Gbps ou superior, os valores apresentados eram invariavelmente elevados e com tempos de

instalação longos. A FCCN foi das primeiras entidades a pedir circuitos de grande capacidade para locais no interior, mas nem sempre com os resultados de que gostaria devido aos problemas mencionados. Assim, em 2002 começaram a preparar-se os passos para o que viria a ser a sua futura rede de fibra ótica. Inicialmente testaram-se alguns circuitos em fibra dentro da cidade de Lisboa, tendo culminado com o processo de instalação, em 2004, de um cabo de fibra ótica entre Lisboa e Braga e respetivo equipamento de transmissão. Foi o primeiro circuito de 10Gbps da FCCN e ligava Lisboa ao Porto.

Ao nível processual passaram a adotar-se as boas práticas do ITIL (*Information Technology Infrastructure Library*) que descrevem procedimentos, processos e formas de melhorar o desempenho de uma organização de forma estruturada. A primeira fase consistiu em consolidar toda a informação necessária para funcionamento da rede num único repositório, de fácil consulta, numa plataforma designada por CMDB (*Configuration Management Database*). Com os ganhos obtidos foi possível desde logo reduzir os tempos de resposta às avarias (consolidação de todos os dados de um circuito, procedimento a ter, etc.) e melhorar os tempos de instalação (moradas, contactos no local, procedimentos). A adoção do ITIL prevê que haja ciclos de melhoramentos, sendo realimentado pelos *inputs* recebidos, estando em constante evolução. Internamente é agora usado em muitos mais processos e com muitas otimizações face às versões iniciais.

Em 2007, com o crescimento da rede e maiores requisitos de largura de banda, foi necessário estudar qual a melhor forma de prestar novos serviços aos utilizadores. A grande divisão era entre adotar o *Carrier Ethernet* ou MPLS (*Multiprotocol Label Switching*). Depois de vários testes com diferentes fabricantes a escolha recaiu sobre o primeiro, principalmente por este cumprir os requisitos que foram apresentados no âmbito de um POC (*Proof of Concept*) e por ter um preço mais baixo. O equipamento escolhido e que cumpria os pressupostos pelo melhor preço foi o da Nortel. Era esta a marca que mais apostava nesta tecnologia e que trazia inovação para a mesma. Foi um dos principais impulsionadores de tecnologias como o PBB (*Provider Backbone Bridge*) de quem foi criador e do PBT (*Provider Backbone Transport*). Infelizmente, em 2009 com a falência da Nortel esta tecnologia deixou de ter mais desenvolvimentos, tendo-se descontinuado o equipamento e algumas das funcionalidades suportadas nos mesmos.

Ainda em 2007 e com o alargamento da rede de fibra ótica tornou-se necessário adquirir um novo sistema de transmissão com capacidade para transportar N x 10Gbps aos locais que dispunham de fibra ótica. O equipamento adquirido era o estado-da-arte dos

equipamentos de transmissão. Com o crescimento desta rede foi decidido dividir o grupo de redes em dois – um mais vocacionado para os serviços de *layer 2* e *3* (*switching* e *routing*) – a RCTS - e um outro para a área da transmissão – IÓpticas (Infraestruturas Óticas). Os dois, em conjunto, formavam o grupo ASR – Área de Serviços de Rede. O processo de implementação da rede de fibra ótica tanto na componente de cablagem, como na de transmissão, serão abordados num capítulo próprio.

Em 2009 e após a implementação da rede de fibra e operacionalização do equipamento de transmissão, foi solicitado à FCCN que fizesse um *survey* a nível nacional. O objetivo era georreferenciar todas as redes de fibra ótica municipais, ou de âmbito público, que pudessem ser futuramente usadas para aumentar a rede. Este foi um processo de elevado nível burocrático, obrigando à marcação de reuniões, múltiplos contactos, estabelecimento de protocolos, assinaturas, para depois ser criada uma base de dados geográfica com toda a informação recolhida.

Já em 2013, procurando novos desafios, ingressei numa empresa associada à Alcatel-Lucent para trabalhar na rede IP da TMN. O objetivo do trabalho era consolidar todo equipamento de rede existente, migrá-lo para uma nova rede baseada em MPLS, tudo sem qualquer interrupção de serviço. Eramos uma equipa de quatro pessoas.

Migrar serviços sem quebras é um grande desafio pois, certas operações que com alguma facilidade poderiam ser alteradas bastando um minuto de *downtime*, tiveram de ser planeadas de forma a não ocorrerem quaisquer quebras. Tal leva a que uma operação que poderia ser feita em relativamente pouco tempo passe a demorar várias horas a fazer só para não haver qualquer disrupção. Contudo, talvez o mais interessante do projeto foi o facto de ao pertencer à equipa de engenharia e não ter, por isso, acesso de configuração dos *routers*. Sendo esta a equipa que prepara as intervenções e escreve todos os comandos e passos necessários para a execução dos trabalhos, fazer essas *scripts* é como estar a programar sem se poder depois compilar e ver os resultados. Assim, quando se prepara uma migração é necessário um planeamento muito cuidado, prever todos os cenários e antever quaisquer problemas que possam ocorrer. As *scripts* são depois executadas por pessoas da área de operação que, basicamente, inserem os comandos na sequência indicada. Em caso de sucesso a operação é dada como concluída, se insucesso é indicado o que correu mal, reenviada a ordem de trabalho para a engenharia que a irá analisar, alterar e novamente reagendar o trabalho. De todos os casos com que me deparei, os mais complicados eram os que envolviam redistribuição de rotas entre protocolos, Inter-AS Models B e C, e protocolo de *Spanning Tree*. A coexistência de vários protocolos e diversos fabricantes (ou até do

mesmo fabricante, mas em linhas de equipamentos diferentes) originavam comportamentos imprevisíveis e de difícil resolução.

As minhas funções, além da migração de diversas plataformas, foi mais focada na migração dos equipamentos de voz, serviços de valor acrescentado e IMS (*IP Multimedia Subsystem*). Contudo, a parte em que despendi mais tempo foi na componente de QoS (*Quality Of Service*), em que participei no desenho, testes e implementação da solução - envolveu a classificação e configuração de mais de 11.000 SAP (*Service Access Points*) e alterações ao nível das ligações do core da rede.

Devido a cláusulas de não divulgação assinadas entre as partes, não poderão ser apresentados dados mais concretos do projeto. Posso salientar que no final do mesmo, dos 450 equipamentos de rede existentes, entre *firewalls*, *switches*, *routers* e equipamentos de transmissão, apenas 18 ficaram ativos, tendo todos os restantes sido migrados e consolidados em 60 chassis. Foi um ganho tremendo em termos de fiabilidade da rede, desempenho e, principalmente, simplificação da arquitetura (menos 83% de equipamentos). Os tempos de resolução de avarias diminuíram drasticamente devido à maior simplicidade e novas ferramentas utilizadas para despiste.

1.2 Formações realizadas

Uma vez terminado o curso é necessário a qualquer profissional que se mantenha atualizado, principalmente nas áreas da engenharia/ciências, que estão constantemente a evoluir.

Grande parte dos conhecimentos adquiridos ao longo do percurso em engenharia de redes foi através de autoestudo. Inicialmente muito através de livros e, mais tarde, através de grupos de discussão na Internet. Há, na verdade, muita informação disponível, mas nem toda ela correta. É necessário encarar sempre o que está escrito com alguma apreensão e questionar tudo o que se lê. Se possível testar sempre as soluções.

De todas as formações realizadas, destacaria duas. Uma primeira, que se tratou de uma certificação Cisco – CCNP – *Cisco Certified Network Professional*. Era uma ambição já de alguns anos, mas a realização dos laboratórios necessários para alguns exames não era possível sem frequentar um centro de formação. É certo que muito do material pode ser consultado em livros, mas o objetivo era compreender e testar e não apenas ter a certificação. Em 2007 foi aberto um curso de um ano de preparação com vista à obtenção do CCNP. Resolvi inscrever-me fazendo um investimento substancial em mim próprio, tanto financeiro como de tempo. Foram realizados 6 cursos:

1. *Interconnecting Cisco Networking Devices Part 1* – endereçamento IP, tecnologias de routing, DHCP, ACL, NAT, introdução à segurança;
2. *Interconnecting Cisco Networking Devices Part 2* – introdução aos protocolos de encaminhamento (estático e OSPF numa só área), inter-vlan routing, HSRP (*Hot Standby Router Protocol*) / VRRP (*Virtual Router Redundancy Protocol*);
3. *Building Scalable Cisco Internetworks* – aprofundamento dos protocolos de routing OSPF, ISIS (*Intermediate System - Intermediate System Protocol*), EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*) e BGP;
4. *Building Cisco Multilayer Switched Networks* – implementação de redes comutadas (*switched*) *multilayer*, spanning-tree, inter-VLAN routing, alta disponibilidade, multicasting, segurança de redes comutadas;
5. *Optimizing Cisco Converged Networks* – otimização de redes através da implementação de mecanismos de QoS, redes VoIP (*Voice Over IP*), segurança e gestão *wireless*;
6. *Implementing Secure Converged Wide Area Networks* – segurança em redes WAN e acessos remotos via VPN, MPLS, site-to-site VPN, estratégias para mitigação de ataques, *firewall*, IDS (*Intrusion Detection System*) e IPS (*Intrusion Prevention System*).

Em 2007 foi feita a recertificação CCNA (*Cisco Certified Network Associate*), tendo a primeira sido em 2001. O certificado CCNP foi obtido em 2008 sendo este válido por um período de 3 anos. Assim, em 2011 realizei o exame de *Troubleshooting* e, em 2014, querendo complementar o CCNP com o de desenho (CCDA - *Cisco Certified Design Associate*) e de Arquiteturas (CCDP - *Cisco Certified Design Professional*), realizei mais dois exames que conferiram as respetivas certificações e revalidaram as anteriores.

A motivação para a outra formação realizada foi o facto de trabalhar na área da transmissão ótica e ter a perceção de necessitar de complementar os meus conhecimentos na área das telecomunicações. Assim, realizei a Pós-Graduação em Telecomunicações e Sistemas de Informação - POSTIT. Era constituída por doze cadeiras divididas por três trimestres. As áreas de estudo foram:

- redes móveis (UMTS, WIMAX, LTE e wireless)
- fibras óticas e sistemas de transmissão
- modelação matemática para otimização do planeamento de redes

- *middleware*
- processamento de conteúdos
- sinalização em redes de telecomunicações
- segurança
- políticas e regulação
- modelos de gestão
- bases de dados

Além dos exames e trabalhos realizados para as diversas cadeiras, a pós-graduação culminou na elaboração de um trabalho que agregava grande parte dos conhecimentos obtidos. Foi modelada uma rede de operador de âmbito nacional, realizado o planeamento das ligações, redundância, cálculos de disponibilidade, até à definição do equipamento a instalar em cada local.

Além destas duas grandes ações de formação, houve outras durante o percurso profissional, tais como um curso avançado de fibra ótica realizado em 2005, um outro de *Carrier Ethernet* em 2008 e em 2010 um curso de gestão de projetos. Mais recentemente, já trabalhando para a Alcatel foi realizada a certificação NRS-1 - *Network Routing Specialist* e ainda duas ações de formação – uma em QoS (*Quality of Service*) e outra em VPRN (*Virtual Private Routed Network*).

2 Trabalhos realizados

As atividades a seguir descritas, apesar de não terem uma elevada componente científica representam alguns trabalhos em que houve inovação com vista ao melhoramento na realização das tarefas diárias.

Devido ao acordo de confidencialidade com a MEO/Alcatel, os trabalhos a que se refere o presente relatório foram maioritariamente desenvolvidos na FCCN. As atividades a seguir apresentadas não são, de todo, uma descrição exaustiva dos trabalhos realizados. São sim, a enumeração de algumas atividades/projetos em diversas áreas do que pode ser considerado a Engenharia de Redes. O critério de escolha dos mesmos foi não a complexidade, mas a diversidade de forma a mostrar que a área de redes não se esgota na configuração de *routers* ou *switches*, mas vai muito para além disso – programação, investigação operacional, gestão financeira, regulamentação, ente outros.

2.1 Operação da rede

Tal como qualquer empresa de telecomunicações, grande parte do trabalho na área de redes prende-se com a operação da mesma. Há empresas onde a engenharia e operação são realizadas por diferentes pessoas, mas outras há em que devido à menor dimensão da equipa ou por razões estratégicas, são as mesmas pessoas a realizar as duas tarefas. A própria definição de operação e engenharia não é igual em todas as empresas. Em algumas a engenharia não faz configurações de equipamentos, noutras sim. A própria operação de rede é por vezes confundida com a supervisão da mesma. Neste subcapítulo descrevem-se algumas das atividades que realizei na FCCN no âmbito da operação de rede.

Algumas das tarefas de operação consistiam em:

- Configuração dos equipamentos de rede – a RCTS é constituída por equipamentos de rede de *routing*, *switching ethernet*, comutadores ATM e equipamentos de transmissão.

Ao nível do encaminhamento é feito *routing* estático e dinâmico (OSPF e iBGP/eBGP). Houve ainda uma fase em que foi usado o protocolo ISIS enquanto não havia OSPF para IPV6 (OSFv3).

Entre 1999 e 2003 o *backbone* da rede era quase todo ele baseado em ATM. Os circuitos eram fornecidos pelos operadores em VPs (*Virtual Path*) e VCs (*Virtual Circuit*) que eram depois configurados nos comutadores ATM que por sua vez se interligavam com os *routers*. Mais tarde, esta tecnologia foi alterada para Ethernet e, em vez de VP/VC eram configuradas VLANs ou *queue-in-queue* conforme o serviço solicitado.

A maioria das tarefas do dia-a-dia consistia portanto na configuração dos equipamentos de *routing* e *switching*, modificação da parametrização de QoS, instalação de novos equipamentos, atualização dos sistemas operativos, alterações na topologia, configuração/instalação de novos circuitos ou *upgrade* dos existentes. A configuração dos equipamentos de transmissão passou mais tarde a fazer parte das tarefas executadas;

- Configuração dos servidores e aplicações de rede – para se saber a qualquer momento o estado da rede é preciso conhecer os débitos das ligações, taxas de erro nas portas, falhas nas ligações e toda uma série de outros parâmetros que ajudam no despiste de um problema. Dispor de aplicações que, em tempo real, apresentem

de forma consolidada toda a informação relevante, reduz em muito o tempo necessário para o despiste de problemas.

Um outro aspeto importante é manter um histórico dos valores obtidos relativos ao comportamento da rede de forma a acompanhar a evolução das variáveis e, com isso, antecipar problemas futuros, atuando-se sobre os mesmos antes que estes ocorram.

Uma das ferramentas utilizadas é o Cacti com a base de dados RRDTool (inicialmente usava-se o MRTG - Multi Router Traffic Grapher) para monitorização dos indicadores de rede. Podem criar-se gráficos com a utilização de uma ligação, processamento de um *router*, temperatura de uma sala técnica, erros numa interface, etc. guardando o histórico dos valores. Uma outra aplicação é o Nagios para monitorização do estado dos serviços tais como verificar se uma ligação está ativa, o estado de um *daemon*, de um serviço como o Radius, etc.

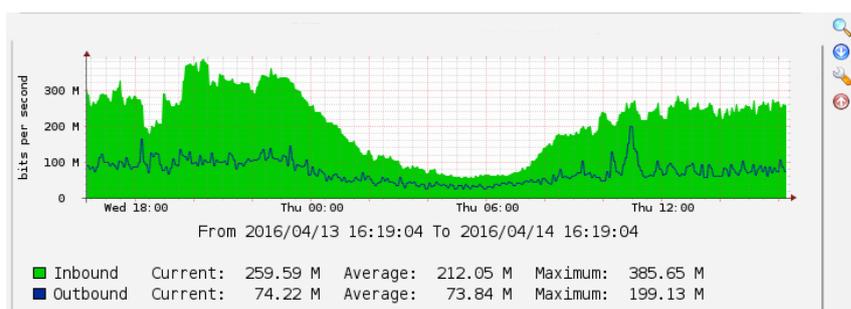


Figura 2 - Gráfico gerado pelo CACTI

- Supervisão da rede – o bom funcionamento de toda a rede depende de inúmeros fatores que vão desde a configuração correta dos equipamentos de rede, passando pela qualidade da cablagem instalada até ao dimensionamento correto dos quadros elétricos. Contudo, nem sempre tudo corre como esperado, pelo que há uma necessidade constante de supervisionar a rede. Como o serviço da rede de dados é hoje considerado uma *commodity*, tal como a eletricidade ou água, a sua disponibilidade tem de ser na forma 24/7. Os SLAs acordados com os clientes e fornecedores têm de ser cumpridos sob pena de haver indenizações a pagar ou até mesmo à perda de um cliente. O fornecimento de um serviço adequado requiere um excelente planeamento da rede para que o número de falhas seja mínimo e, quando estas ocorrem, que a sua deteção e reparação sejam o mais rápido possível. Na FCCN a supervisão era realizada por uma equipa própria que estava em

contacto direto com a área de redes. Estes elementos tinham alguns conhecimentos básicos de despiste de avarias e um guião que têm de seguir de forma que, ao escalarem o problema, tenham já reunido um conjunto de informação relevante.

A maioria dos problemas são de resolução trivial, contudo muitos há que requerem um olhar mais atento para se descobrir a causa dos mesmos. Uma degradação da qualidade numa ligação, algo comum nas redes, pode ter causas tão diversas como congestionamento da ligação, configuração incorreta de QoS, duplex ou MTU, equipamento terminal do operador com avaria ou problemas físicos nos cabos. Outros casos há mais complexos, como erros de memória, bugs do sistema operativo dos equipamentos, etc. Para atuar com rigor e rapidez as ferramentas indicadas no ponto anterior são essenciais, assim como a experiência acumulada ao longo dos anos e até mesmo a intuição. A otimização e resolução/prevenção de problemas é a atividade que mais recursos consome na área de redes.

A título de exemplo, recordo um problema, com algum humor, ocorrido em 2001, mas que se tratou de um problema real e de difícil resolução. Nessa data houve uma secretária de um diretor de uma instituição que ligou para a FCCN a dar conta que sempre que enviava um ficheiro em Microsoft Word 98 este chegava sem problemas, mas se usasse o Microsoft Word do Office XP tal não acontecia. Inicialmente não foi dada muita importância ao problema, pensando-se que poderia ser um vírus ou um qualquer problema no PC. Apesar disso continuou a investigar-se a causa. A FCCN dispunha na altura de um gerador/analizador de tráfego. Este foi utilizado para injetar pacotes não se tendo verificado qualquer problema, mas confirmou-se que nos ficheiros de Word acontecia de facto algo estranho. Foram pedidos testes à operadora que, ao descrevermos a avaria não quis acreditar. Foram realizados mais testes pela operadora não tendo sido notados problemas com os padrões de tráfego que normalmente se injetam para testar uma linha, mas o problema persistia independentemente do estado de utilização da linha. Chegados a um ponto de impasse foi pedido um parecer a uma terceira entidade independente. Esta teve a mesma abordagem que o operador – de descrença. Mais testes foram realizados, mas desta vez o solicitado que o equipamento utilizado pudesse injetar um padrão de bits semelhante ao utilizado nos ficheiros de Word XP. Verificou-se que então que havia certas sequências de bits que quando transmitidas eram alteradas. Faltava agora saber qual o equipamento responsável pelos erros. Os testes mostraram que, ao contrário de tudo que se poderia supor, era o equipamento de transmissão que interpretava mal uma determinada sequência

de bits, alterando-a. O resultado foi transmitido ao representante dessa marca que (tal como esperado), não acreditou, mas que face às evidências foi investigar. Tentou resolver-se o problema mudando o *software*, mas sem sucesso. Finalmente o equipamento de transmissão foi substituído tendo o fabricante reconhecido que havia um erro na conceção de um dos *chips* do equipamento. São os problemas mais improváveis que mostram que por muita experiência que se tenha a há sempre algo novo a descobrir e a aprender.

2.2 Programação / Scripting

- snmpd

Em 1999 as ligações às ilhas dos Açores e Madeira eram realizadas através de transmissão via satélite. Este tipo de tecnologia padece de alguns problemas, sendo os principais:

- Elevado *round trip time (RTT)* - uma vez que o sinal é enviado por antenas parabólicas para um satélite geoestacionário e depois reenviado para o destino, o tempo entre a ida e regresso de um pacote é bastante elevado quando comparado com o mesmo se for utilizada fibra ótica. Além da elevada latência existe também o *jitter* – havia uma grande variação entre os atrasos de pacotes sucessivos, o que traz igualmente problemas para alguns tipos de aplicação;
- Falhas da ligação – qualquer desalinhamento nas antenas ou mesmo alterações meteorológicas podem causar falhas num *link* ou causar degradação de serviço;
- Baixa largura de banda – os débitos conseguidos naquela data eram na ordem dos 256Kbps.

Estas ligações, apesar de serem de baixos débitos, eram muito dispendiosas. Tinham períodos de indisponibilidade frequentes, mas como eram de breve duração nem sempre eram detetados pelos mecanismos existentes. Ao confrontar-se o operador com estes "mini-cortes" e solicitando um relatório sobre os mesmos, verificou-se que eram omissos, não sendo detetados. Foi estudada uma forma de se conseguirem obter dados mais fiáveis sobre estas ligações. Na altura a verificação do estado das ligações era feita através de *pings* que corriam com uma frequência de cinco minutos. Como a maioria dos cortes tinha uma duração de apenas alguns segundos a minutos, este método não permitia obter a resolução desejada para uma medição capaz de averiguar o cumprimento ou não do SLA (*Service Level Agreement*). A alternativa de correr um *ping* a cada segundo para todas as ligações existentes requeria bastante processamento além de, em ligações de baixo débito e já de si congestionadas, uma não resposta pode não corresponder a ter-se um *link* em baixo. A

opção foi utilizar *snmptraps*. Este mecanismo permite que equipamentos criem um evento (*trap*) sempre que determinadas condições são reunidas. Uma *trap* pode ser, por exemplo, uma porta alterar o seu estado físico ou lógico, um protocolo sofrer uma alteração, etc. Em vez de se utilizar uma abordagem de *pooling*, usa-se uma de *trigger* que é iniciado sob determinadas condições.

Uma das ligações onde havia mais problemas era para a universidade dos Açores, passando a ser monitorizada através de *traps* SNMP. O código original do *daemon snmpd* teve de ser alterado de forma a fazer o *parse* das *traps* enviadas pelo *router* onde estava a ligação. Contudo, os dados enviados pelo *router* na *trap* por si só eram insuficientes, faltando contextualiza-los com outra informação. Para colmatar a falha o *snmpd* foi alterado de forma a acrescentar os dados em falta para facilitar as tarefas de correlação que posteriormente teriam de ser realizadas. Ao associar *traps* a eventos de *porta em baixo*, *subida de porta*, eventos de protocolos de *routing*, débito na porta, RTT, foi possível traçar um cenário mais preciso do que se estava a passar. O objetivo não era apenas verificar os problemas, mas também ajudar o operador disponibilizando-lhe mais dados para melhorar a prestação do seu serviço. O código do *snmpd* original foi alterado e criado um *parser* “interno” que agregava todos os dados, gerando um ficheiro de fácil leitura com os dados mais relevantes. Este trabalho foi realizado em código em C/C++. Aliado a esta alteração foram igualmente desenvolvidas ferramentas em Perl para fazer o *parsing* da informação e geração de relatórios.

Scripting

Em redes de grandes dimensões a maioria das configurações é realizada automaticamente e a visão geral da rede é feita através de ferramentas desenvolvidas para o efeito. Imaginando o caso de uma pequena operadora com 60 *routers* em que uma configuração típica tem geralmente 50.000 linhas por equipamento, fazer uma análise para despistar um problema é uma tarefa hercúlea. Nestes casos, cada marca disponibiliza (por um determinado preço, geralmente alto porque se trata de uma solução proprietária) o seu próprio *software*. Mas como as redes são compostas por equipamentos de várias marcas, este *software* não resolve todo o problema. Geralmente são feitos desenvolvimentos realizados na própria operadora, pelo que os conhecimentos de programação são essenciais. Em casos mais simples são feitas pelos próprios engenheiros de rede, mas a maioria é realizada por uma equipa de programação. Ter conhecimentos de programação, bases de dados (para desenho da estrutura de dados), telecomunicações e até de investigação operacional, são requisitos quase obrigatórios para um engenheiro de redes. Compreender

como funcionam algumas linguagens de programação ajuda a resolver problemas e a transmitir melhor o que se pretende de uma determinada aplicação a ser desenvolvida por outra equipa.

2.3 O protocolo IPv6

IPV4

O protocolo IPv4, ainda hoje o mais utilizado, está descrito no RFC 791 ^[ii] datado de 1981. Com o crescimento da Internet ao nível global depressa se chegou a conclusão que o espaço de endereçamento disponível estaria esgotado dentro de alguns anos. Em 1985 apenas cerca de 6% do endereçamento estava a ser utilizado, em 1990 duplicou para 12%, 1995 chegou-se aos 25% e em 2000 metade estava já em uso. Foi graças a mecanismos como o NAT/PAT ou CGNAT que foi possível que este crescimento não tenha sido tão rápido, caso contrário, há muito tempo que já não existiriam endereços disponíveis. Em 1992 o problema da escassez de endereços foi reconhecido como um dos principais fatores limitativos do crescimento da Internet, tendo em 1994 o IETF começado a desenhar o que viria a ser conhecido como IPv6.

Atualmente, no terceiro trimestre de 2016, no que toca ao IPv4, a IANA não tem mais endereçamento que possa atribuir aos RIRs – o último bloco de endereçamento atribuído foi em 3 de fevereiro de 2011. À data de elaboração deste relatório, todos os RIRs (exceto a AFRINIC) já não dispõem de mais blocos de endereços IPv4 /8 para atribuir. Ditam as regras que, ao atingir-se o último /8 por parte de um RIR este entra em *modo escassez*, significando que cada RIR pode atribuir no máximo um /22 a qualquer pedido realizado. Dependendo do modelo matemático escolhido, aponta-se que em 2020 a quase totalidade dos endereços IPv4 estarão esgotados, estando neste momento já só disponíveis 1,22%.

IPV6

No início de 1996 começou a construir-se uma rede de experimentação para o IPv6 que se chamou 6bone. Em junho desse mesmo ano dois grupos tentaram realizar as primeiras ligações em IPv6. A Universidade de Lisboa, Cisco e a *Naval Research Laboratory* faziam parte do primeiro grupo e um consórcio Holandês, Francês e Japonês do outro.

Apesar de atualmente ser já comum a utilização do IPv6, em 1999 não era habitual este tipo de conectividade - nessa altura havia apenas pequenas ilhas interligadas por túneis IPv6 sobre IPv4 onde eram realizadas experimentações.

A FCCN em junho de 1998 já tinha aderido ao 6Bone¹ e obtido conectividade IPv6. Foi-lhe delegada uma gama de endereçamento de teste cujo prefixo era iniciado por 3ffe::/16. O 6bone era gerido de acordo com o RFC 2471^[iii], tratando-se de uma *testbed* sobre a qual eram criados túneis IPv6 encapsulados em IPv4 que interligavam diferentes locais que funcionavam como ilhas onde existiam equipamentos IPv6. Os protocolos de *routing* utilizados dentro desta rede eram o BGP4+, RIPng e estático. À FCCN foi atribuído o endereçamento 3ffe:3100::/24.

Dos primeiros trabalhos que realizei na FCCN foi a disponibilização de alguns serviços em IPv6. Apesar da FCCN já participar no 6Bone, não dispunha de servidores com serviços que pudessem ser usados e testados pela restante comunidade. O suporte IPv6 em Linux estava ainda no início. O sistema operativo com melhores ferramentas para este protocolo era o freeBSD, razão pela qual foi escolhido. Havia na época já bibliotecas e algumas aplicações disponíveis, mas muitas ainda estavam num estado embrionário. Foram instalados alguns servidores e colocados a correr alguns serviços tais como um servidor web (Apache), FTP além de outros serviços de rede. Muito do código não funcionava, pelo que obrigou à configuração e alteração de código fonte em C/C++, alteração de *makefiles*, *kernel*, etc.

Dentro da comunidade RCTS o interesse pelo IPv6 foi crescendo, sendo que a Universidade do Minho foi uma das primeiras a testar o IPv6.

Em meados de 1999 começaram a ser alocados endereços IPv6 aos vários LIRs (*Local Internet Registry*), como é o caso da FCCN, que os requisitassem. Estes endereços são designados como *Global Unicast Addresses*. No caso da FCCN, por ser um país europeu o pedido tinha de ser feito ao RIPE/NCC (*Réseaux IP Européens Network Coordination Centre*) que se trata de um RIR (*Regional Internet Registry*).

Nota: a atribuição de endereços a um LIR ou ISP é feita diretamente pelo RIR de acordo com regras pré-estabelecidas. A IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*) é a entidade que distribui os endereços (IPv4 e IPv6) pelos diversos RIRs que depois fazem a sua gestão. A hierarquia é a indicada na Figura 3.

¹ O 6Bone deixou de atribuir endereços a partir de 1 de janeiro de 2004 tendo deixado de existir como plataforma em 6 de junho de 2006. O espaço de endereçamento 3ffe::/17 foi recuperado pela IANA.

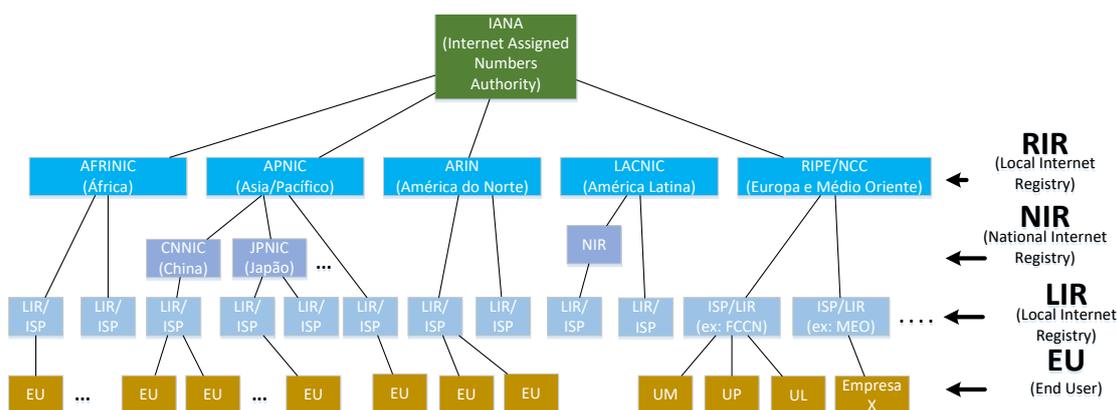


Figura 3 - Atribuição de Endereçamento

No início de 2000, os requisitos que eram necessários preencher para obter endereçamento IPv6 eram bastante elevados – ter um plano de endereçamento para toda a rede, planos de atribuição para os próximos anos, requisitos de anúncio da rede atribuída ao nível do BGP entre muitas outras. O nível de exigência era bastante elevado porque não se queriam cometer os mesmos erros do passado em que no início da internet eram atribuídas /8 e /16 IPv4 com alguma facilidade.

A FCCN que sempre teve como objetivo estar na linha da frente no que toca a tecnologias de rede, em 2000 solicitou o endereçamento, tendo tido sucesso no processo e em 23 de junho de 2000 foi alocado o espaço de endereçamento 2001:690::/35. A FCCN realizou o nono pedido dentro da europa e foi a primeira entidade na península Ibérica a ter o próprio endereçamento IPv6. A entidade antes da FCCN a receber endereçamento IPv6 foi a France Telecom com o endereço 2001:0688::/35 e o seguinte foi o Swipnet (primeiro ISP da Suécia que mais tarde foi integrado no Tele2) com 2001:0698::/35. O RIPE teve uma abordagem conservadora do espaço de endereçamento deixando margem de crescimento para as entidades que já tinha feito o pedido.

A rede IPv6 atribuída até então às instituições ligadas à RCTS era da gama de endereços do 6bone. A partir desta data passou-se a atribuir endereçamento da nova gama, substituindo-a pela anterior. Para tal, foi elaborado em conjunto com o pedido de endereçamento um plano de atribuições que, muito resumidamente, seguia os RFC 2374 ^[iv] e RFC 2450 ^[v]. O plano contou ainda com o auxílio e contributos de um grupo do qual a FCCN fazia parte e que estavam nesta altura também a iniciar o processo. O RFC 2373 ^[vi] (mais tarde atualizado pelo RFC 3513 e posteriormente pelo RFC 4291) descreve a arquitetura do endereçamento do protocolo IPv6, representação de endereços, gamas reservadas, formato de endereços *unicast*, *multicast* e *anycast*. O RFC 2374 (que por sua

vez é uma atualização do RFC 2073) descreve como devem ser realizadas as atribuições do espaço de endereçamento de forma a facilitar a agregação futura, dando indicações sobre como deve ser feita a atribuição de endereços por parte dos LIRs. O documento elaborado em 2000, descrito como “Plano de Endereçamento IPv6 da RCTS” [vii], divide a /35 atribuída à FCCN em 2 grandes grupos – um para a rede e outro para o acesso. Estes dividiam-se, por sua vez em outros grupos tal como pode ser visto na Figura 4.

A cada instituição era atribuído uma /48 que, por sua vez, tinha 16 bits utilizáveis para criação de sub-redes que poderia utilizar. Na altura a FCCN também ligava as escolas básicas, primárias e secundárias, assim como bibliotecas e outras instituições. Para estes casos foram delegadas /56 nas quais era possível criarem 256 sub-redes.

| Bits 35 a 42 | | | |
|---------------------|-------------------------------------|---|--|
| Bits 35-36 | Bits 37-38 | Bits 39-40 | Bits 41-42 |
| 00 - Rede | 0000 - Reservado | | |
| | 0010 - Backbone e Servidores | 001000 - Backbone | 00100000 - BB Zona A |
| | | | 00100010 - BB Zona B |
| | | 001010 - Servidores | 00101000 - Servidores Zona A 00101010 - Servidores Zona B |
| 10 - Acesso | 1000 - Ligações Permanentes | 100000 - Ligações Zona A | |
| | | 100010 - Ligações Zona B | |
| | 1000 - Outros | 101000 - Ligação de Escolas, Museus e Biblioteca | |
| | | 101010 - Outros | |

Figura 4 - Hierarquia do espaço de endereçamento IPv6 (adaptado de [viii])

Na altura de atribuição do espaço de endereçamento foi tido em consideração a localização da entidade onde estava situada. Desta forma, poderiam mais facilmente agregarem-se redes no futuro. Esta decisão, seguida por muitas outras NRENs, no caso português não se revelou como uma mais-valia uma vez que as topologias de rede vão-se alterando com o tempo e utilizar referências geográficas deixa de fazer sentido. Assim, as atribuições passaram a fazer-se sequencialmente deixando-se espaçamento de 2 ou 4 bits entre redes consecutivas (de acordo com a dimensão da mesma) de forma que as instituições possam requisitar futuramente mais endereçamento e possam agregar os mesmos em /46 ou /44, conforme os casos.

Em 22 de Julho de 2002 o espaço de endereçamento foi aumentado para 2001:690::/32 e, em 22 de Novembro de 2013, para 2001:690::/29 o que corresponde ao máximo possível

de atribuir sem se sobrepor ao bloco seguinte. Ainda em 13 de setembro de 2002 foi atribuída o prefixo 2001:07f8:000a::/48 para utilização no GigaPIX.

A partir de 2002 parte das tarefas relacionadas com o IPv6 passaram a ser responsabilidade de Carlos Friaças, sendo em 2004 sido constituída uma equipa só dedicada à disseminação do IPv6. Fiz ainda parte de diversos grupos de trabalho ao nível europeu, tais como o 6Diss, 6Net, IPv6 Task force. No âmbito do 6Diss realizei dois *workshops* em Quito e Guatemala ^[ix] tendo participado na elaboração dos manuais, processo de formação e desenho dos cadernos de exercícios.

2.4 Outras atividades

Descrevem-se neste subcapítulo algumas atividades realizadas no âmbito da área das redes. Alguns deles foram trabalhos executados ao longo dos anos, tais como o GigaPIX; outros são de pequenos projetos desenvolvidos para responder a algumas solicitações. Não se trata de uma listagem exaustiva, mas sim de mostra de diversidade de competências adquiridas ao longo dos anos.

GigaPIX

A administração e gestão do GigaPIX, em conjunto com a restante equipa, fez também parte das responsabilidades a mim atribuídas. O GigaPIX é o ponto de troca de tráfego IP neutro em Portugal.

Liga diversos operadores nacionais, servidores de conteúdos (*Content Providers* ou CDNs), fornecedores de internet residencial (*eyeballs*), fornecedores de serviços de *cloud*, etc. Estes interligam-se na mesma plataforma *layer 2*, estabelecendo sessões de BGP entre si. Desta forma melhoram a conectividade, mantendo o tráfego local, não sendo necessário recorrer a ligações internacionais para comunicar, o que aconteceria se não fosse o GigaPIX. Reduzem-se assim latências, custos, melhorando-se a eficiência do encaminhamento e a tolerância a falhas.

Ponto de Troca de Tráfego - Internet Exchange Point

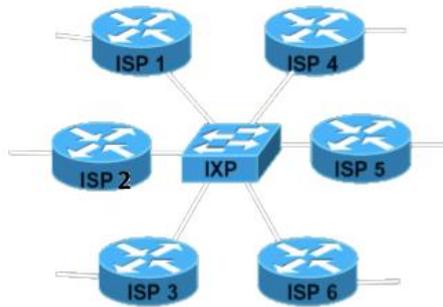


Figura 5 - Internet eXchange Point
(adaptado de [x])

Como o processo de criação de *peerings* pode ser complexo e moroso (cada membro tem de solicitar a todos os outros a que se quer ligar uma sessão de BGP), foi criado o *route server (RS)*. Qualquer novo membro que entra na plataforma GigaPIX é convidado a fazer *peering* com o RS. Desta forma, fazendo apenas *peering* com esta máquina, irá partilhar rotas com todos os outros membros que já o estão a fazer, poupando muito trabalho e configurações. Por fazer *peering* com o RS, não está impedido de estabelecer outras sessões com os demais membros.

Montagem de um POP

Os POPs eram os locais onde as chamadas RDIS das escolas primárias, básicas e secundárias iam terminar de forma a serem consideradas locais e terem um menor custo. Estavam instalados nas universidades e politécnicos do país, totalizando 15 sites.

O equipamento instalado num POPs era tipicamente:

- *Switch ATM* (Cisco LS 1010 ou Cabletron) que ligava o circuito do operador ao *router* da FCCN;
- *router* da FCCN que fornecia a conectividade para a universidade ou politécnico, assim como para os equipamentos que serviam a rede das escolas. O modelo era um Cisco 7200;
- *Access Servers* – routers Cisco AS 5300 onde terminavam as linhas dos primários onde se ligavam as escolas. Estes routers ligavam-se por sua vez ao router da FCCN que servia de *gateway* para fora do POP;
- servidor de consolas - Cisco 2511 que desempenhava a função de servidor de consolas para praticamente todos os equipamentos do POP – *routers, switches, etc.*

Era acessível tanto através da rede IP, como de *dial-up*, servindo para fazer verificações na rede quando se perdia a ligação principal;

- Servidores – máquinas que alojavam páginas das escolas, faziam filtragem de conteúdos a pedido das escolas entre outros serviços;
- *Switch* Ethernet – onde se ligavam todos os servidores;
- UPS (*Uninterruptible Power Supply*)– que servia para casos de falha de energia elétrica;
- NPS (*Network Power Switch*) - que permitia reiniciar remotamente qualquer equipamento elétrico que a ele se encontrasse ligado.

O esquema de um POP com alguns dos elementos mencionados pode ser visto na Figura 6.

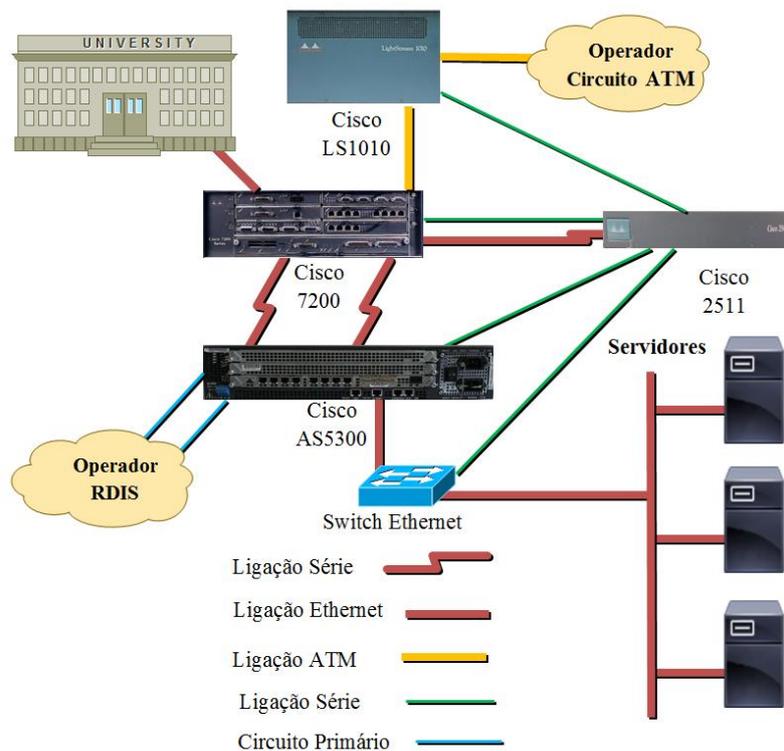


Figura 6 - Esquema de um POP

Reestruturação da rede da TMN

Uma rede de um operador móvel é tem uma arquitetura totalmente distinta da de um operador de serviços internet (*service provider*). Os equipamentos de um operador móvel cobrem todo país, tais como antenas, sistemas de micro-ondas para se ligarem a outros locais onde o tráfego é depois agregado e transportado (voz e dados por circuitos distintos) até ao core. Estas redes são designadas por *Mobile Backhaul*. sendo constituída por alguns

milhares de routers que agregam o tráfego em BSCs (*Base Station Controller*) no caso do GSM (*Global System for Mobile Communications*), RNCs (*Radio Network Controller*) no 3G ou em eNodeB (*Enhanced Node B*) no LTE, entregando depois ao entregam depois ao core da rede os dados/voz.

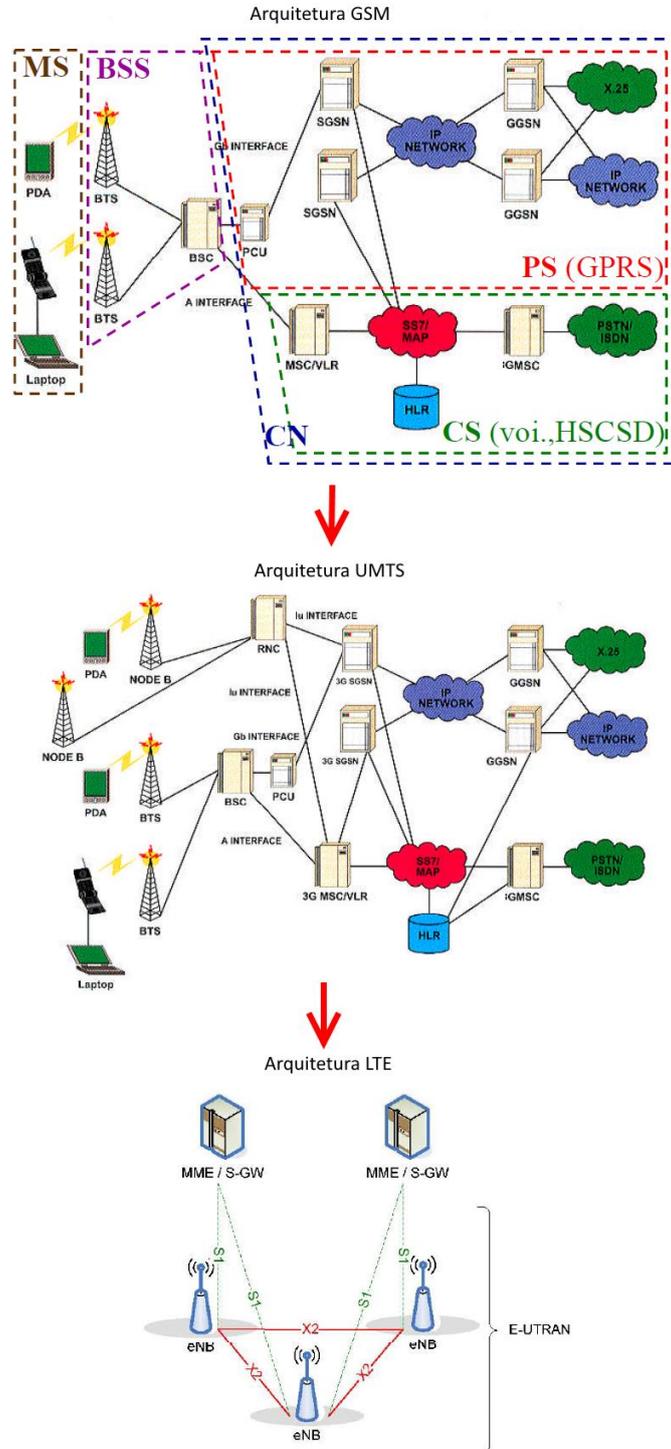


Figura 7 - Evolução das redes do 2G ao 4G (adaptado de [xi])

A Figura 7 serve apenas de referência para demonstração da evolução das arquiteturas das redes móveis. À medida que evolui a sua arquitetura torna-se mais simples à custa de se colocar mais complexidade em cada um dos equipamentos. Por exemplo um eNodeB tem a “inteligência” de uma BTS (*Base Transceiver Station*), BSC no caso do 2G ou de uma BTS, MSC (*Mobile Switching Centre*) e RNC no caso do 3G. Como todas estas arquiteturas se mantêm ao longo do tempo, a rede tem de conseguir interligar o 2G com 3G e 4G e fazer as adaptações do sinal necessárias.

Para se ter uma ideia da complexidade da rede do core, pode descrever-se como um grande conjunto de plataformas que se interligam entre si e que são responsáveis pelo funcionamento de toda a rede. Interligam os *Home Location Registers* (HLR), *Home Subscription Server* (HSS), *Visitor Location Registers* (VLR), *Serving GPRS Support Node* (SGSN), *Gateway GPRS Support Node* (GGSN), *Policy and Charging Resource Function* (PCRF), *Mobility Management Entity* (MME), máquinas de *billing*, interceção judicial, monitorização da rede e toda uma panóplia de outro equipamento necessário ao funcionamento da rede. Cada uma destas funções tem técnicos especializados só para a configurar e cabe à equipa de rede saber todos os fluxos de dados, configurá-los em acorãncia e manter a segurança dos mesmos. Quando nos media é referido que foram os portugueses a inventar os tarifários pré-pagos, pensa-se que apenas se desenvolveu esse modelo de negócio. Essa ideia não podia estar mais longe da realidade. Foi necessário adaptar toda esta arquitetura para se poder fornecer o serviço. Só anos mais tarde foram “copiados” por outras marcas, algo em que fomos pioneiros e hoje é usado em todo mundo. Ao contrário de uma rede de *service provider* que tem poucas instâncias de *routing* virtuais próprias (*Virtual Private Routed Network* - VPRNs - ou *VPN layer 3*), numa rede móvel há dezenas de VPRNs só do operador que servem par isolar funcionalidades, tendo cada uma delas a sua própria política de segurança e normas bem definidas de interligação com outras instâncias. Grande parte da complexidade desta rede reside no facto de cada VPRN ser vista como um cliente próprio com requisitos distintos. Ainda dentro das VPRNs há plataformas que usam o OSPF (*Open Shortest Path First*) como protocolo de *routing*, outros o BGP (*Border Gateway Protocol*), alguns necessitam tradução de endereços (*Network Address Translation* – NAT) típica, ao nível da origem, outros NAT no endereço de origem e no de destino, etc.

Além das instâncias de *routing* de *layer 3*, há ainda outras que se ligam em *layer 2*. Apesar de parecerem à partida mais simples, são na verdade as mais complexas. Dito de outra forma, são as mais difíceis de fazer despistes de avarias, dado terem de coexistir com

protocolos de *spanning tree* de diversos fabricantes, tais como o MSTP (*Multiple Spanning Tree Protocol*), outros como *Per-Vlan Spanning Tree* (PVST), RSTP (*Rapid Spanning Tree*) e que nem todos os fabricantes implementam da mesma forma. Responder a todas as solicitações que por vezes são incompatíveis entre si é o grande desafio.

A rede da TMN além de agregar toda a rede móvel, transporta igualmente a rede WIFI Meo, voz residencial e empresarial e tem circuitos externos para a Internet, *Internet Exchange Points* (IXP) e GRX/IPX (*GPRS Roaming Exchange/Internet Packet Exchange*) - pontos de troca de tráfego usados pelas redes móveis. Pode considerar-se uma mescla de uma rede *Data Centre* com um *Service Provider* e *Circuit Provider*, uma vez que possui a sua própria rede de transporte de dados, serviços de computação e circuitos para clientes com funcionalidades específicas APN (*Access Point Name*). Toda esta rede é agregada usando a tecnologia MPLS onde correm os vários serviços - VPRNs, *Virtual Private Lan Service* (VPLS), *Virtual Private Wire Service* (VPWS) – entre outros aqui não referidos.

3 Projeto de Rede de fibra

Tal como indicado no RT-38/2011, Parte A, itens a Abordar no Relatório, é indicado que o enquadramento científico do relatório poderá versar sobre um tópico específico. O tópico a abordar será a criação da rede de fibra ótica da FCCN. Apesar de ter realizado diversas tarefas durante o percurso profissional, a mais importante e que teve maior impacto foi, sem dúvida, a criação da rede de fibra ótica.

Este capítulo descreve o projeto de construção da rede de fibra desde os primeiros passos até à última atualização em 2013. Tratou-se de um projeto que mudou o panorama da rede da FCCN não só no curto prazo, mas também nos médio e longo prazos. A rede construída tem um prazo previsto de utilização até 2022, sendo que poderá ser renovada caso as condições físicas do cabo se mantenham e a tecnologia usada para transmissão ótica ainda utilize os tipos de fibra empregues na construção do cabo.

Em 2013 a cobertura da rede de fibra contemplava já 80% de todos os utilizadores da RCTS e as expectativas são para que esse número chegue perto dos 100%.



Figura 8 - Rede de fibra da FCCN em 2013

Em 2003 e à semelhança de outras NRENs (*National Research and Education Network*) europeias, a FCCN iniciou um plano com vista à criação de uma infraestrutura de fibra ótica para interligar as instituições de ensino superior.

À data era já coordenador da área de redes e fui incumbido de gerir o processo da criação da rede de fibra e transmissão. Foi estipulado um orçamento e, com o mesmo, traçado o objetivo - com os recursos financeiros existentes, conseguir servir a maior população do ensino superior possível. A equipa inicial responsável pelo projeto era apenas eu, mas em 2004 outra pessoa entrou e ajudou na criação dos lacetes locais e de definição do equipamento de transmissão. Em 2012 a área de IÓticas era já de quatro pessoas.

Delineou-se assim um plano para ligar todas as instituições de ensino superior em Lisboa, Coimbra, Aveiro, Porto e Braga. Eram nestas cidades onde estavam as universidades e politécnicos com mais alunos e professores (cerca de 60% de todos os estudantes do ensino superior).

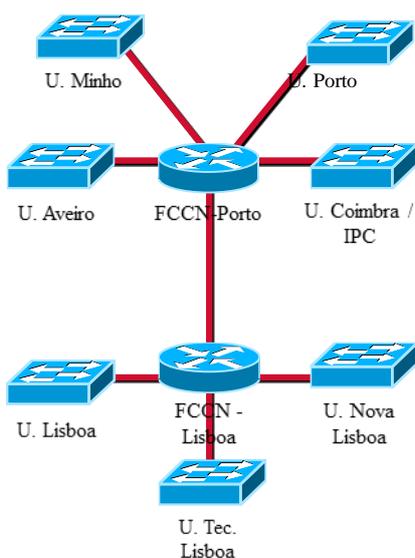


Figura 9 – Instituições ligadas em fibra em 2004

Dado o objetivo inicial, foram realizadas várias reuniões com os diversos operadores que poderiam fornecer fibra. Foram estudados vários percursos e formas para interligar as cidades usando condutas existentes (rede de comboio, autoestradas, rede elétrica, rede do gás, etc.), tecnologias de transmissão, assim como diversas formas de fazer chegar a fibra aos diferentes locais

Do ponto de vista legal e financeiro e de forma a poderem utilizar-se fundos europeus para o projeto, o processo teria de passar pela aquisição do bem e não pelo aluguer de um ou

mais pares de fibra ótica. A aquisição tem um custo inicial superior face ao aluguer, mas três fatores levaram a que se optasse pela compra em detrimento do aluguer:

1. **Razões técnicas** – A escolha de um cabo em vez de um par de fibras tem várias vantagens. A primeira e mais óbvia é a maior capacidade – mais fibra é igual a maior capacidade. O cabo da FCCN tem 24 pares.
Outra vantagem é a flexibilidade pois permite a utilização de sistemas de transmissão em paralelo em fibras diferentes. Por exemplo a introdução de um novo equipamento na rede é feito mais facilmente.
Além das vantagens descritas, usam-se atualmente dois tipos de fibra para a transmissão ótica – o G.652 e G.655. O cabo da FCCN usa 12 pares de fibra de cada um deles, podendo escolher-se o mais adequado para determinada aplicação.
2. **Razões Económicas** – A aquisição de um cabo de fibra, apesar de ter um custo inicial superior, tem uma anuidade inferior ao seu aluguer de um par de fibra ótica. Ao pagarem-se grande parte dos custos à cabeça e com uma esperança média de utilização na ordem dos 18 anos (que poderá ser mais), leva a que os custos futuros sejam ainda mais reduzidos. Assim, os custos para os anos seguintes são apenas o do valor dos direitos de passagem (x€/ano/metro) e de manutenção (x€/ano/metro). Uma vez que a fonte de financiamento para este tipo de projetos contempla a aquisição de bens e não o seu aluguer, há todo o interesse em fazer esta escolha;
3. **Razões Legais** – a razão legal está associada à económica. As regras expressas pelas fontes de financiamento ditam que os bens sejam adquiridos e não alugados.

3.1 Das condutas ao circuito ótico

A construção de uma rede em fibra comporta diversas componentes técnicas, desde o tipo de conduta, cabo e suas características, tipo de sistema de transmissão a usar, débito das ligações, entre outros parâmetros.

Podemos ver a construção e uma rede de transmissão como se de um modelo OSI se tratasse, em que para cada camada existem diversas opções a tomar. Cada nível é independente dos outros, mas algumas decisões tomadas numa determinada camada irão ter consequências nas outras acima. Uma má decisão de engenharia pode comprometer toda a infraestrutura desenhada.

São, contudo, as componentes financeiras e temporais as que mais limitam o espectro das decisões que a engenharia pode tomar. Leva a que se tenham de fazer determinadas

escolhas em detrimento de outras e definir em que área vai haver mais ou menos investimento e tempo despendido. Algumas das questões levantadas foram:

- Qual o custo de instalação do cabo ao longo do percurso?
- Quais os custos de manutenção do cabo?
- Quais os custos dos direitos de passagem do cabo?
- Quanto custa o equipamento de transmissão e sua manutenção?
- Qual a poupança conseguida usando esta tecnologia e deixando de contratar circuitos?
- Quais os ganhos da utilização desta tecnologia?
- Quais os ganhos a longo prazo?
- Quanto tempo demora a implementar cada uma das soluções?
- Qual a janela temporal em que o financiamento está disponível?

A questão dos custos futuros é de extrema importância. Num cabo cuja utilização está prevista para vários anos é obrigatório ter a certeza que, apesar de haver financiamento inicial, é possível cumprir as obrigações financeiras futuras de manutenção e direitos de passagem do cabo. O modelo económico usado para comparação teve em conta uma janela temporal de utilização do cabo de 18 anos e que os circuitos (que seriam necessários caso não se adquirisse o cabo) iriam baixar de preço numa razão percentual baseada na redução de preço verificada nos últimos quatro anos.

Para elaborar o plano de custos inicial foram solicitados os valores pagos por outras NRENs para cenários semelhantes, tendo-se obtido valores de referência aproximados. Uma vez obtidos os valores era mais fácil balizar os custos do projeto, assim como a elaboração dos cadernos de encargos.

As componentes da fibra ótica e equipamento de transmissão foram divididas em dois concursos públicos internacionais. Estes revestiram-se de alguma complexidade devido às exigências financeiras legais associadas, à componente jurídica na elaboração da documentação (Caderno de Encargos e Programa do Concurso) e ainda dos detalhes técnicos em que nenhum aspeto poderia ser descurado, pois, se esquecido, teria de ser pago posteriormente.

O concurso da rede de fibra foi, de facto, o primeiro concurso público internacional realizado neste âmbito pela FCCN. Pela mesma razão havia tudo para fazer, começando pelo texto legal, procedimentos concursais (prazos do concurso, esclarecimento de dúvidas,

publicação no JOCE, trâmites legais, formas de pagamento, etc.) até às definições técnicas. Com a colaboração da assessoria jurídica e do departamento de compras/financeiro foi possível finalizar toda a parte jurídica/financeira do processo.

Faltava ainda a parte técnica do concurso – tipo de fibras e cabo, características técnicas pormenorizadas de cada um, locais de passagem, salas técnicas, etc. – assim como a definição das penalizações e cálculo das mesmas, tempos de instalação e reparação, informação a prestar, manutenções programadas, etc. Tratando-se de um bem cujo tempo esperado de utilização é para muitos anos, todos os detalhes são de extrema importância e têm de ficar o mais explícitos possível, pois, em caso de omissão ou falha, a responsabilidade será sempre do requerente e que ficou plasmado no texto. Qualquer esquecimento pode incorrer em elevados custos e ser utilizado pelo fornecedor como forma de negociação e contrapartidas.

Por isso, a elaboração dos concursos públicos (fibra e transmissão) foi uma das componentes mais pesadas de todo processo e para os redigir foi necessário um estudo aprofundado de vários tópicos, alguns dos quais serão descritos seguidamente.

3.1.1 Tipo Fibra a usar

Tendo a FCCN optado pela instalação de um cabo de fibra pelas razões já indicadas, uma das primeiras decisões seria o tipo e quantidade de fibras a utilizar. Dentro do tipo de fibras existem dois grandes grupos: multimodo e monomodo. As primeiras são utilizadas principalmente em *datacentres* onde as distâncias entre equipamentos são curtas, já as segundas são para uma utilização tanto dentro do *datacentre* como para grandes distâncias. A forma em que se dividem está indicada na figura seguinte.

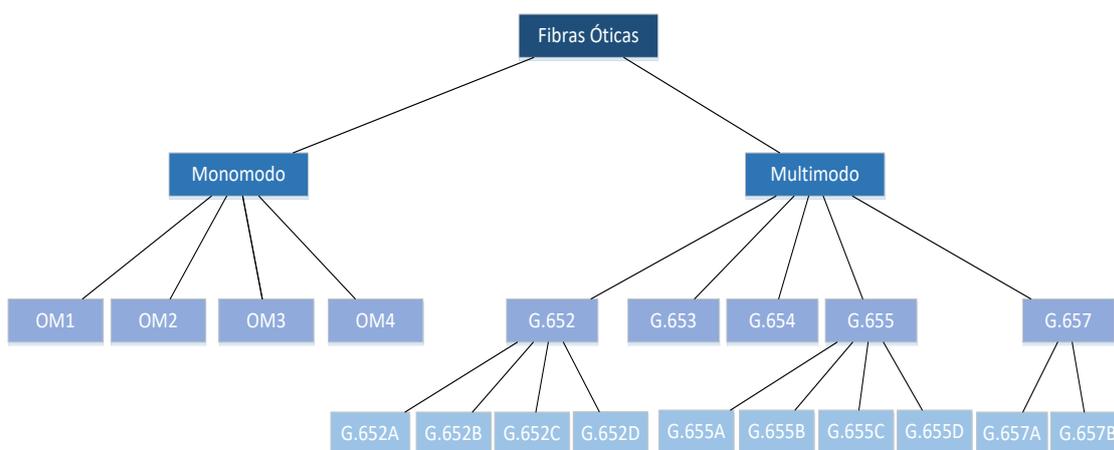


Figura 10 - Hierarquia das normas de fibra ótica

Obviamente que a solução pela qual se optou foi pela utilização de fibra monomodo. Dentro das fibras, a transmissão de dados é feita através do envio de pulsos luminosos. De forma a maximizar a sua largura de banda são utilizados diversos comprimentos de onda, também designados por Lambdas, que podem ser vistos como canais distintos. O espectro utilizável para os canais nas fibras monomodo vai dos 1260nm aos 1675nm, estando dividido em Bandas, tal como indicado na Tabela 1.

| Banda | Descrição | Comprimento de onda (nm) | Janela |
|---------|---------------------------|--------------------------|-------------|
| | Usada em multimodo | 800-900 | I |
| Banda O | Original | 1260-1360 | II |
| Banda E | Estendido | 1360-1460 | II |
| Banda S | Curto - “Short” | 1460-1530 | III |
| Banda C | Convencional | 1530-1565 | III |
| Banda L | Longo - “long” | 1565-1625 | III (ou IV) |
| Banda U | Ultra-longo - “ultralong” | 1625-1675 | III (ou IV) |

Tabela 1 - Janelas de Transmissão

Existem diferentes tipos de fibras monomodo com características distintas. Os mais utilizados são:

G.652 - Standard Singlemode Fiber (SMF) - Este é o tipo de mais comum sendo inicialmente pensada para a utilização nos 1300nm e mais tarde nos 1550nm em sistemas com muitos canais, também designados por DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). As características principais desta fibra são o facto de ter o seu λ_0 (comprimento de onda em que a dispersão cromática é zero) nos 1300nm e a baixa atenuação na Banda C, o que a torna ideal para a maioria das aplicações. Contudo, devido ao facto de nos 1300nm ter uma elevada atenuação, limita a sua utilização neste comprimento de onda (a distância típica cifra-se nos 15Kms na Banda O). Devido ao material como que são feitas e principalmente ao processo de fabrico, as primeiras fibras deste tipo sofriam de um fenómeno designado por *water peak*. Este consiste num aumento considerável da atenuação dentro da janela do espectro E, entre os 1360nm e 1460nm, impossibilitando a transmissão dentro da mesma.

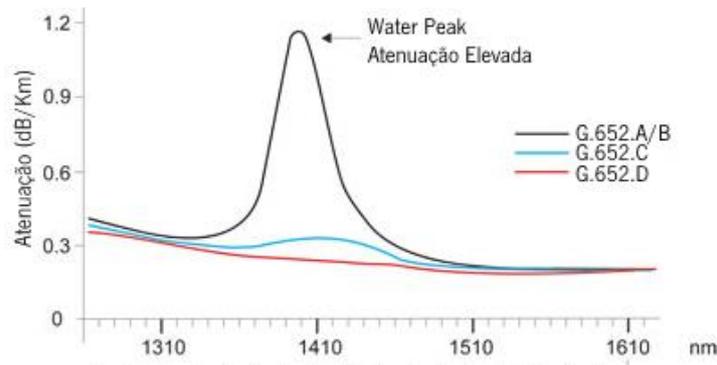


Figura 11 - Water Peak
(adaptado de [xii])

Com o melhoramento do processo de fabrico foi possível eliminar quase por completo este problema, tendo sido posteriormente criadas as subnormas C e D que limitam o valor máximo de atenuação dentro entre as frequências 1310nm e 1550m.

| G.652 | | | | |
|-----------------------------------|--|---|---|---|
| | G.652.A | G.652.B | G.652.C | G.652.D |
| Atenuação | ≤ 0.5 dB/km@1310 nm ≤ 0.4 dB/km@1550 nm | ≤ 0.4 dB/km@1310 nm ≤ 0.35 dB/km@1550 nm ≤ 0.4 dB/km@1625 nm | ≤ 0.4 dB/km @[1310..1625]nm ≤ 0.3 @1550nm | ≤ 0.4 dB/km @[1310..1625]nm ≤ 0.3 @1550nm |
| Coef. máx. de Dispersão Cromática | 0.92 ps/nm ² .km | 0.92 ps/nm ² .km | 0.92 ps/nm ² .km | 0.92 ps/nm ² .km |
| PMD | ≤ 0.5 ps/ \sqrt{km} | ≤ 0.2 ps/ \sqrt{km} | ≤ 0.5 ps/ \sqrt{km} | ≤ 0.2 ps/ \sqrt{km} |

Tabela 2 - Norma G.652 – principais valores

G.653 – Dispersion Shifted Fiber (DSF). Esta especificação foi criada para dar resposta ao problema de dispersão cromática da fibra G.652 na janela dos 1550nm. Neste caso, recorrendo a uma estrutura no núcleo mais complexa (composição química diferente e secção do core menor), conseguiu-se alterar o λ_0 dos 1300 nm para os 1550nm, mantendo a baixa atenuação neste último comprimento de onda. Contudo, a reduzida dimensão do núcleo não permite a utilização de amplificadores de elevadas potências nem a utilização da tecnologia DWDM. A utilização de sistemas DWDM cuja transmissão é centrada nos 1550nm neste tipo de fibra causa efeitos não lineares designados por FWM (*Four Wave Mixing*) e que são complexos de ultrapassar. Atualmente esta fibra foi substituída pela G.655.

G.654 - Cutoff shifted Fiber. Este tipo de fibra tem como objetivo ter uma baixa atenuação nos comprimentos de onda na região dos 1550nm aos 1600nm. Usa um núcleo de sílica puro e de maiores dimensões permitindo a utilização de amplificadores de maior potência.

Estas características são as ideais para cobrir grandes distâncias sendo tipicamente usadas para os cabos submarinos. Contudo, tendo o seu λ_0 nos 1300nm, implica que existe uma elevada dispersão cromática na janela onde a atenuação é menor (1550nm), limitando o número de canais DWDM a transmitir. Esta fibra pode ter uma atenuação nos 1550nm de apenas 0.17dB/Km, mas tem uma dispersão de 18.5 ps/nm/km. Este tipo de fibras também se divide em subnormas, sendo as mais comuns a B e C que definem valores máximos para a dispersão cromática nos 1550nm.

G.655 *non-zero dispersion shifted fiber* (NZDSF). Tal como a G.652 esta fibra está otimizada para grandes distâncias utilizando transmissão DWDM, tendo entre os 1530 e 1560nm uma dispersão cromática mínima. À semelhança do G.652 divide-se em várias subnormas (de A a E), sendo que esta última difere das anteriores por estender a sua utilização para a Banda L (entre os 1571 aos 1625nm).

G.657 – Este tipo de fibra foi especificado mais recentemente (dezembro de 2006). Trata-se de fibra monomodo desenhada principalmente para redes de acesso (FTTx) onde é necessário fazer curvas com pequenos raios de curvatura e nas janelas O, E, S, C e L (dos 1260 aos 1625nm). O pressuposto para a criação das mesmas é que devem ter propriedades semelhantes às da G.652D com melhoramentos ao nível do *macrebending*. Estão igualmente divididas em duas subcategorias: A e B. A categoria A é compatível com a norma G.652 devendo permitir raios de curvatura de 10mm. A categoria B não obriga à compatibilidade com a norma G.652. O raio de curvatura mínimo tem de ser inferior a 7.5mm, não sendo definidos valores para dispersão cromática ou PMD, dado que a sua utilização é para redes locais.

Para as ligações terrestres de grandes distâncias são geralmente utilizadas fibras do tipo G.652 ou G.655. Para a rede que se pretendia construir, que consiste em ligar cidades distas entre si dezenas ou centenas de quilómetros, os atributos mais relevantes são a atenuação, dispersão cromática e dispersão dos modos de polarização (PMD). Face ao exposto, a opção tomada foi a de escolher as fibras do tipo G.652C ou superior e G.655 C ou superior. Relativamente ao número de fibras que o cabo deveria ter, uma vez analisadas as várias opções e tendo em conta que:

- O maior custo do projeto será o da instalação do cabo de fibra;
- O tempo esperado de vida para a fibra instalada será no mínimo de 18 anos;
- O custo adicional de cada fibra no cabo é marginal quando comparado com o custo total do projeto;

Foi decidido o cabo seria constituído por 4 secções de 12 fibras cada. Duas delas seriam de fibra G.652 e as outras duas G.655, perfazendo um total de 48 fibras.

3.1.2 Características do cabo a usar

Tal como aconteceu para a fibra, o estudo do cabo a utilizar para o traçado Lisboa-Braga foi alvo de um estudo aprofundado. Há uma série de normas para cabos, sendo as mais comuns a EN (*European Standards*) e a IEC (*International Electrotechnical Commission*). O tipo de conduta, temperaturas a que vai ter de ser sujeito, forma de instalação e local de instalação vão influenciar a escolha das normas a aplicar à construção do cabo.

Relativamente ao tipo de cabo, foi decidido que teria de respeitar ou exceder as seguintes normas relativas às características mecânicas, EN 187105 e IEC 60794:

1. Tensão – as fibras instaladas no cabo têm de manter a mesma atenuação antes e depois da instalação. Para tal, não poderão durante o processo de instalação ter um alongamento superior a 0.4% quando puxadas por uma força de 100N. Normas:
 - a. EN 187105-5.5.4
 - b. IEC 60794-1-2-E1A e E1B
2. Esmagamento - as fibras instaladas no cabo têm de manter a mesma atenuação antes e depois de terem sido sujeitas a uma força de esmagamento de 500N. Normas:
 - a. EN 187105-5.5.3
 - b. IEC 60794-1-2-E3
3. Dobragem – as fibras já cabladas não podem ter uma variação superior a 0.05dB (a mais ou a menos) antes e depois de terem sido dobradas com uma curvatura de raio 70mm durante o processo de instalação e 100mm quando já instaladas. Norma:
 - a. EN 187105-5.5.1
 - b. IEC 60794-1-2-E11
4. Temperaturas - As fibras já cabladas devem manter a atenuação quando sujeitas a temperaturas entre os -30 e +60°. Norma:
 - c. EN 187105-5.6.1
 - d. IEC 60794-1-2-F1

Outras características solicitadas foram a proteção contra roedores, geralmente conseguida usando uma malha exterior feita de fibra de vidro. O elemento central do cabo (que lhe confere resistência à tração e dobragem) é constituído por um elemento dielétrico. Como estes cabos podem vir a partilhar condutas com cabos elétricos, o facto de ser usado um

elemento não condutor confere maior segurança ao pessoal que irá fazer a instalação e a futura manutenção/reparação. Trata-se de mais uma das vantagens da fibra ótica – ser imune a interferência eletromagnética. Uma outra exigência era que o cabo teria de ser à prava de água, assim como as juntas utilizadas para unir as diversas secções.

O fabrico dos cabos, apesar de parecer simples, tem alguma complexidade. A escolha do material a usar depende de muitos fatores. Há, por exemplo, cabos especificamente desenhados para serem usados nas redes de alta e média tensão, os OPGW (*Optical Ground Wire*). Estes são os cabos que servem de ligação à terra para proteção contra raios ou curto circuitos que, para além dessas funções, têm ainda no seu interior fibras óticas que podem ser usadas para transmissão de dados ou telemetria da rede. Este tipo de cabos tem vários constrangimentos – estão sujeitos a grandes variações de temperatura; a tensão do cabo devido ao seu peso e distância entre postes, juntamente com a interferência dos ventos pode causar grandes variações nas suas características físicas, sendo a mais conhecida a variação do PMD [xiii].

Na rede de fibra da FCCN, ao longo de todo o projeto foram adquiridos diversos tipos de cabo. Por exemplo, cabos passados em locais onde circulam pessoas obriga a outros requisitos, tais como o ser ignífugo, não libertar gases tóxicos, não emitir fumos opacos, etc. Outro exemplo foi o cabo planeado para ligar a Universidade do Minho à estação da Refer Telecom que seria passado na rede de esgotos. Esta solução acabou por não avançar sendo que solução passou pelo aluguer de um par de fibras a um operador entre os dois locais.

3.1.3 Percurso do cabo

Construir condutas entre Lisboa e Braga seria demasiado dispendioso, pelo que a solução passou pelo aluguer de espaço em condutas existentes para passagem do cabo no interior das mesmas.

De forma a alargar o leque a potenciais fornecedores, decidiu-se que o percurso realizado pelo cabo seria definido pelo vencedor. O que seria estabelecido à partida eram os pontos de entrega e abertura do cabo. Como nem todos os fornecedores têm uma rede de condutas que chega aos locais desejados e para os colocar todos em pé de igualdade, foram definidas as moradas dos pontos de entrega e um raio máximo, a partir desse local, onde o cabo poderia ser entregue num ODF (*Optical Distribution Frame*). Desta forma, operadores com condutas onde pudesse passar a fibra, mas sem capacidade de entrega dentro das cidades poderiam participar. Era do conhecimento que, por exemplo, empresas como a Refer

Telecom, Brisa ou REN Telecom tinham condutas perto dos pontos onde se desejava entregar a fibra, mas não no local exato. Desta forma estas poderiam participar no concurso público, aumentando a concorrência.

Ao escolher-se esta opção foi tacitamente decidido que teria de ser a FCCN posteriormente a fazer a interligação desde o ponto de entrega do operador até ao local final desejado. Havia sempre a solução de contratar a um operador para fazer a passagem de fibra, mas esta opção iria encarecer a rede, pelo que raramente foi usada.

Como medida de precaução, foi definido que o vencedor devia facultar um caminho de cabos até ao exterior das suas instalações onde está o ODF e deixar que outros operadores possam entrar com meios próprios nas suas salas técnicas. Caso contrário e se nada ficasse indicado, poderia o cabo ser terminado numa sala técnica sem qualquer possibilidade de poder sair.

Após ter sido conhecido o vencedor do concurso público, que foi a Refer Telecom, e definidos os pontos de entrega, os passos seguintes foram tentar encontrar soluções para fazer os traçados desde as salas técnicas da operadora até ao local final onde se liga a instituição.

Uma outra decisão foi que teriam de haver pontos de amplificação suficientes de forma a garantir que o equipamento de transmissão usado conseguisse saltos de 21dB entre cada um dos locais consecutivos (os equipamentos de transmissão em 2004 conseguiam tipicamente ganhos de 25dB). Nessas salas locais teria de haver espaço para colocação de um bastidor com os requisitos indicados no subcapítulo seguinte.

3.1.4 Requisitos das salas técnicas

Na rede de fibra, além dos nós definidos como principais (Lisboa, Coimbra, Aveiro, Porto e Braga), foi indicado que entre eles deveria ser possível haver nós secundários onde seria possível “abrir” o cabo e colocado equipamento de transmissão. São estes nós os de Setil, Entroncamento e Vermoil. Foi pedido espaço para um bastidor, podendo crescer até três, com uma dimensão que sirva tanto para equipamentos de 19” como ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). As condições de temperatura e humidade ideais, fornecimento elétrico ininterrupto (AC e DC com UPS) até um máximo de 2Kw por bastidor e caminho de cabos entre bastidores (para o caso de ser necessário mais do que um) foram ainda definidos nos requisitos obrigatórios para salas técnicas.

Os bastidores para além de alojarem os equipamentos de transmissão terão também os ODFs e outros equipamentos de suporte (tomadas elétricas, *switches*, transformadores).

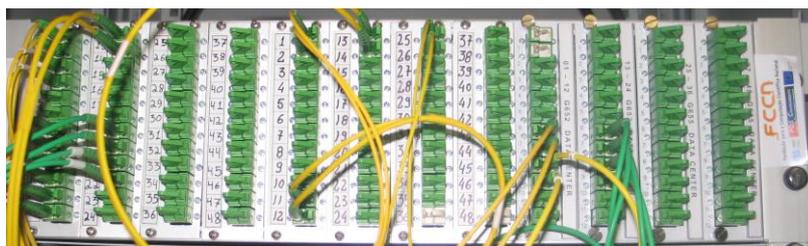


Figura 12 - ODF numa sala técnica

Outro dos pontos definidos foi a forma de acesso à sala – horários, procedimento para marcação de visita e, para caso de falha grave, ser garantido o acesso 24x7.

3.1.5 Conectores

Outra decisão importante foi a escolha do tipo de conector a usar nos ODFs. Este tinha de obedecer aos requisitos:

- baixas perdas de inserção (valor da perda de potência em dB devido ao acoplamento);
- baixas perdas de retorno (valor de potência em dB de luz refletido);
- fácil instalação;
- baixo preço;
- fiabilidade;
- fácil de usar.

A escolha recaiu sobre o conector E2000 com o polimento APC (*Angle Polished Ponector*). Uma outra hipótese considerada foi o SC, que é mais barato, mas não é tão robusto como o E2000.



Figura 13 - Conector E2000/APC

Sempre que duas fibras são conectadas ocorre uma perda, sendo parte da luz é refletida em direção ao emissor. Esta perda designa-se por perda de retorno (ORL - *Optical Return Loss*) e que pode danificar o laser emissor e causar erros na transmissão. Para reduzir esse efeito são utilizados vários perfis de polimento para terminação da fibra.

Os polimentos dividem-se em dois grandes grupos: sem ângulo de polimento e com ângulo de polimento. No primeiro grupo encontram-se os PC, SPC e UPC, sendo todos compatíveis entre si. Atualmente, dentro deste grupo, o mais usado é o UPC e é tipicamente

associado a um conector de cor azul. Os conectores com ângulo de polimento são os APC. Têm a vantagem de ter o menor ORL e ainda de, quando desligados, gerarem baixas reflexões para o emissor.

Os tipos de polimento mais comuns são:

- APC – *Angled Polished Conector* - usa um polimento angular nas superfícies convexas de 8° ou 9° garantido que as reflexões são conduzidas para fora do núcleo da fibra. O ORL típico é de -60dB.
- PC – *Polished Conector* – tem uma terminação convexa (o núcleo está em frente à bainha) o que assegura que não há diferença entre as terminações da fibra e quase nenhuma reflexão. Os núcleos são pressionados um contra o outro garantindo que as duas ficam em contacto físico direto. O valor mínimo ORL é de 30dB
- Super PC – compatível com PC, sendo uma versão melhorada deste. Possui um ORL de 40dB, mantendo a perda de inserção de 0.2dB.
- Ultra PC – possui um polimento ainda mais perfeito da superfície da fibra conseguindo-se um ORL de 55dB.



Figura 14 - Tipos de polimento e respetivas perdas de retorno (adaptado de [xiv])

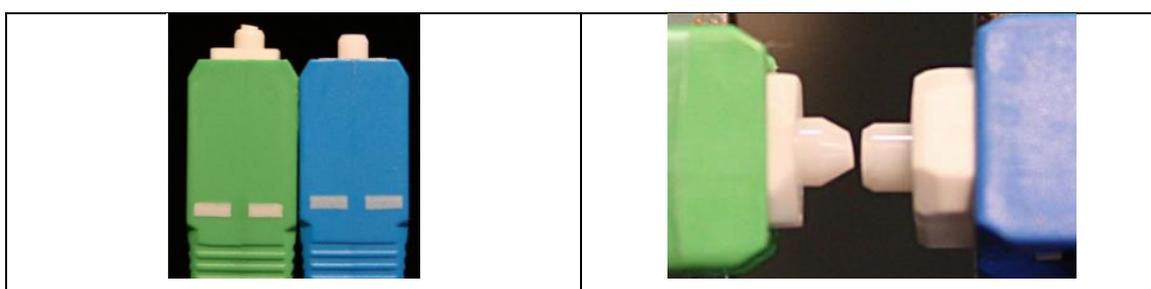


Figura 15 - Polimentos UPC e APC em conectores SC

| Tipo de Polimento | Refletância | Cor do conetor |
|-------------------|--------------------------|----------------|
| PC | $\leq -30\text{dB}$ Máx | Vermelho |
| SCP | $\leq -40\text{dB}$ Máx | Branco |
| UPC | $\leq -55\text{dB}$ Máx | Azul |
| APC a 8° | $\leq -60\text{dB}$ Máx | Verde |
| APC a 9° | $\leq -55\text{ dB}$ Máx | Verde |

3.1.6 “Radiografia” do cabo

Sempre que um cabo ou mesmo par de fibra são entregues por um fornecedor, são efetuadas medidas aos mesmos, sendo tipicamente usado um OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*). São testados em dois comprimentos de onda – 1310nm e 1550nm, medições essas que têm de ser realizadas nos dois sentidos. Como tal, no ato de entrega do cabo, os valores medidos pelo fornecedor e confirmados pela FCCN têm de estar conforme o que foi solicitado no caderno de encargos, sob pena de não serem aceites.

Nos casos dos cabos do *backbone* (Lisboa-Braga; Porto-Valença e Lisboa-Badajoz), as medições solicitadas são muito mais exigentes, visto tratar-se de um bem com um tempo de utilização longo e, como serve para realizar grandes distâncias, qualquer pequena anomalia, pode ter um impacto grande. Uma outra razão para a maior exigência tem a ver com a degradação natural que ocorre no cabo devido ao envelhecimento do mesmo. Para se poderem comparar valores ao longo dos anos é preciso que, na altura da instalação, sejam obtidas medições rigorosas de todos os parâmetros suscetíveis de serem mensurados e cujos valores se alteram com o tempo. É feita, o que designamos, por “radiografia” do cabo.

Os testes solicitados e que têm de ser entregues são os seguintes:

- a) Medição de atenuação espectral de 1200 nm a 1610 nm com incrementos de 10nm, de acordo com a norma EN/IEC 60793-1-40.
- b) Medição de dispersão cromática – de 1260 nm a 1600 nm, de acordo com a norma EN/IEC 60793-1-42 (C). Deverão ser adicionalmente indicados os valores do comprimento de onda para o qual a dispersão cromática é nula e o declive da dispersão para esse comprimento de onda.
- c) Medição de dispersão modal de polarização a 1310 e 1550 nm, de acordo com a norma EN/IEC 60793-1-48
- d) Medição de refletometria ótica com análise de eventos a 1310, 1550 e 1625nm de acordo com a norma EN/IEC 60793-1-40 (C).
- e) Medição das perdas de inserção a 1310, 1550 e 1620nm de acordo com a norma EN/IEC 60793-1-40 (B).
- f) Qualquer troço do cabo antes de ser instalado (ainda em bobina) deve ter ensaios de refletometria ótica escolhendo aleatoriamente 2 fibras de cada um dos tubos e

testado, de acordo com a norma EN/IEC 60793-1-40 (C) nos 130nm, 1550nm e 1610nm.

Todos os testes supramencionados foram realizados para cada uma das fibras e em ambos os sentidos, tendo demorado bastante tempo. Por exemplo, só para testar a atenuação espectral entre Lisboa e Setúbal, implicou 42 medições em cada fibra * 48 fibras * 2 (uma por cada sentido), o que dá 4032 medições. Tendo em conta que se tratam de sete segmentos de fibra, totalizam 28224 medições. Para a dispersão cromática, os números das medições é praticamente o mesmo, podendo ter-se a ideia do trabalho que foi necessário realizar.

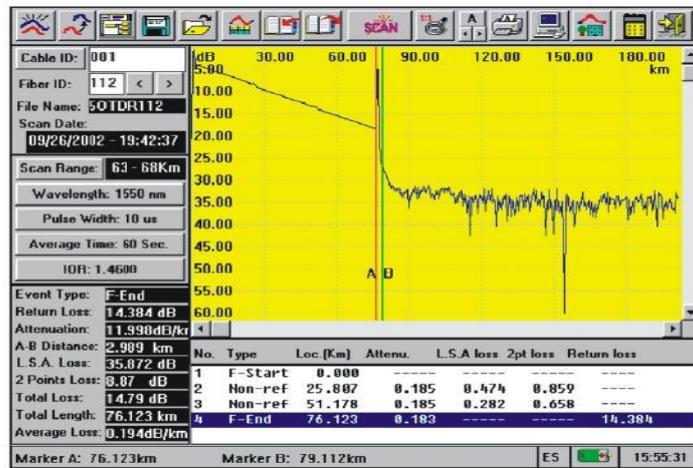


Figura 16 - Resultado de um teste de um OTDR

Os testes do tipo d) são realizados recorrendo a um OTDR. Um exemplo de um teste realizado pode ser visto na Figura 16.

Foi devido a todo este conjunto de medições que numa secção foram notados problemas de micro e *macro*bending em algumas fibras. Esta teve de ser substituída ainda em fase de aceitação, evitando-se problemas que poderiam ocorrer mais tarde e já com a rede em pleno funcionamento.

Tendo esta “radiografia” inicial do cabo, a cada cinco anos são feitas novas medições e comparadas com as anteriores de forma a ter-se uma ideia da evolução do estado da fibra, antecipando e prevenindo futuros problemas.

3.1.7 Manutenção do cabo de *backbone*

Uma vez que o cabo da FCCN é instalado em infraestruturas já existentes e propriedade do operador, é natural que a manutenção do mesmo só possa ser feita por esta entidade (tanto pelo conhecimento que tem da rede, como por motivos de segurança, no caso da Refer ou REN Telecom).

O serviço de manutenção foi, portanto, desde logo contratualizado no âmbito do concurso público. A manutenção divide-se em duas categorias:

1. Manutenção preventiva
2. Manutenção de reparação

A primeira trata de falhas que não implicam uma quebra de serviço. Pode ser, por exemplo, a alteração da atenuação num troço causada pelo mau manuseamento do cabo e que pode ser compensada pelo equipamento de transmissão. A manutenção de reparação implica uma quebra total na ligação.

Foram definidas métricas para os tempos de reparação para cada um dos casos. A manutenção preventiva tem um prazo de reparação de quinze dias. Já a reparação de uma avaria que implique uma falha na transmissão tem 8 horas como tempo de resposta para reativar o serviço. O fornecedor propõe tempos de resposta entre as 4 e as 24 horas, podendo contratualizar-se qualquer uma das hipóteses, mas com custos financeiros muito diferentes. Por exemplo escolherem-se quatro horas ao invés de oito, reduz para cerca de metade o valor da manutenção.

De notar que a reparação da falha não obriga à reparação do cabo/fibra, mas sim à reposição dos serviços nele suportados nas condições acordadas no contrato. Por exemplo, o operador pode baldear os circuitos de um par de fibras para outro, num cabo diferente, ficando os serviços repostos. Pode depois reparar o cabo com problemas e posteriormente baldear de novo para as fibras que foram consertadas.

Compra e Armazenamento de cabos

Quando foi adjudicado o concurso público foram também adquiridas diversas bobines de cabo de fibra igual ao que está instalado. As razões foram:

- a) Em caso de necessidade de reparação haveria cabo em *stock* com as mesmas características do instalado;
- b) São necessárias fibras para a realização dos lacetes locais;
- c) Obter melhores preços por ser uma compra em grande escala.

Apesar de se poderem comprar fibras com iguais características técnicas (ex. G652C), mas de duas marcas diferentes nem sempre é trivial fusioná-las entre si. Como o material de que são compostas é diferente, a fusão não fica com as características desejadas – ou fica com elevada atenuação ou pode ter perdas de retorno elevadas. Usar fibras iguais elimina estes problemas.

Apesar de na instalação do cabo, a cada 2 kms serem deixados enrolamentos de 200 metros como folga para reparações, há casos em que esta quantidade não é suficiente e é preciso recorrer às bobines de reserva.

Todo o *stock* de cabos está guardado num armazém próprio alugado pela FCCN onde estão divididos por tipo e utilização. Cada um tem assinalado de que lote é proveniente e identificado o seu comprimento.

3.1.8 Lacetes locais - construção

Tal como referido atrás, os locais onde as fibras foram entregues pelos operadores não eram o local final onde deveriam estar. Um exemplo é o da Refer Telecom que terminou os cabos nas salas técnicas situadas nas estações e o ponto final de entrega seria na sala técnica da universidade ou politécnico. Como foi já referido, realizar uma adjudicação do tipo “chave-na-mão” com entrega dos pares de fibra no destino final iria onerar muito o projeto, além de eliminar algumas empresas que poderiam apresentar propostas.

Foi definido que todos os lacetes locais deverão ter redundância no fornecimento de fibra e que os caminhos dos cabos devem ser distintos entre si.

A FCCN, apesar de trabalhar na área das telecomunicações, não se qualifica como operador de telecomunicações não podendo tirar partido do protocolo ORAC (Oferta de Referência de Acesso às Conduitas) que dá acesso às condutas dos operadores de telecomunicações e que podem ser partilhadas. Assim, para cada cidade a abordagem utilizada foi diferente, tendo como orientações em primeiro lugar usar condutas existentes e sem custos, depois a construção de conduta e em último recurso o aluguer de pares de fibra.

Em Lisboa, onde a construção era totalmente interdita, a única opção foi mesmo o aluguer de pares de fibra ótica. Em 2004 não existia este produto no mercado, pelo que os valores eram muito elevados. Assim, as universidades de Lisboa, Técnica, Nova de Lisboa, ISCTE e Instituto Politécnico de Lisboa foram ligados alugando um par de fibra para cada. A redundância inicialmente foi feita por circuitos contratados.

No caso de Coimbra, Aveiro e Leiria foi estabelecido um protocolo com um operador de serviços que tinha uma rede de condutas nas referidas cidades. Estas tinham sido construídas para telemetria dos referidos equipamentos, mas nunca usadas durante anos. A instalação do cabo de fibra nestes locais foi particularmente difícil, havendo muitas obstruções nas condutas, assim como pontos de descontinuidade nas mesmas, obrigando a uma constante abertura de valas e construção de CVPs (Caixa de Visita Permanente).

No Porto, a interligação entre a estação e o Campus da Asprela, onde estão as instituições de ensino superior instaladas, foi feito recorrendo a condutas existentes do Metro do Porto. Uma vez que se trata de um local fechado e onde circulam pessoas, o cabo a usar para esta ligação teve especificações muito rigorosas e adaptadas exclusivamente ao caso em questão.

Já a ligação dentro da cidade de Braga conheceu diversos capítulos. O objetivo era, à semelhança dos restantes locais, ligar o Campus de Gualtar à sala técnica da Refer Telecom, situada na estação de comboios. Foram analisadas diversas opções sendo uma delas a utilização das condutas de águas residuais. O objetivo era a passagem de um cabo especial que seria depois tensionado entre caixas de visita consecutivas. Este teria de ser construído de acordo com especificações próprias, tendo uma maior resistência à tensão e ser resistente a produtos químicos encontrados nesse tipo de meios. O projeto esteve praticamente a ser implementado, não o sendo devido à distância entre as CVPs ser superior a 50 metros (valor máximo admissível para se ter uma flecha de 5 cms). Outra razão foi o facto de o método utilizado para desentupir estas condutas consistir no lançamento de uma “pinha” que poderia enrolar-se no cabo, danificando-o.

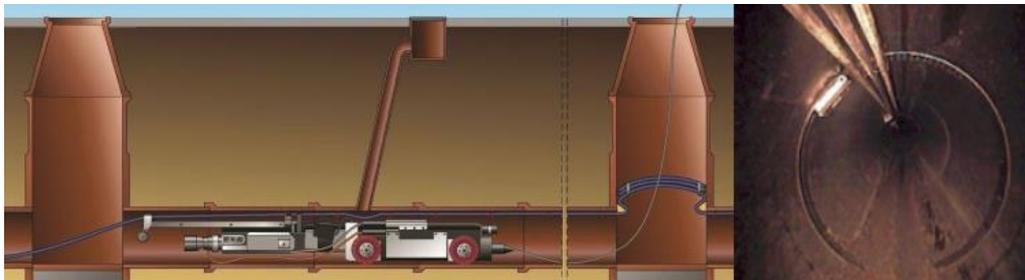


Figura 17 – Instalação de cabos em redes pluviais/egotos
(adaptado de [xv])

Uma solução testada para pequenas distâncias foi rasgar o chão, inserir o cabo nessa ranhura e tapá-lo com um material apropriado. Este processo é designado como micro-trincheiras. A solução foi descontinuada por não se adequar a um país com verões quentes como Portugal, levando a que o material do revestimento aquecesse e que o cabo começasse a soltar-se.



Figura 18 – Micro-trincheiras
(adaptado de [xvi])

Houve ainda um caso onde foram usados postes. Esta solução é barata, mas tem alguns inconvenientes pois o cabo deteriora-se com mais rapidez e está mais sujeito a roubos.

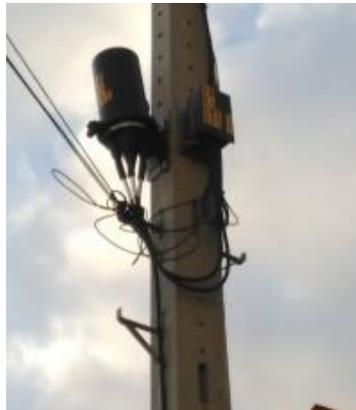


Figura 19 - Caixa de fusão/junta em poste

3.1.9 Lacetes locais – manutenção e georreferenciação

A manutenção dos cabos em condutas dentro das cidades é diferente dos de longa distância. A instalação de cada lacete local foi realizada por uma empresa diferente. Na altura da instalação, foi desde logo contratado o serviço de manutenção por três anos. Findo este prazo e de forma a simplificar o processo (para cada cidade havia uma equipa diferente com procedimentos distintos, diversos armazéns de material, peças de substituição repetidas, etc.), foi necessário consolidar tudo num mesmo fornecedor. Este teria de ser capaz de dar resposta ao nível nacional num prazo máximo inferior a oito horas (há sempre dois caminhos redundantes dentro das cidades, pelo que 8 horas é um tempo razoável). Para garantir estes tempos, o fornecedor tem de ter, no mínimo, duas equipas sempre disponíveis – uma no Norte e outra mais a sul.

A responsabilidade da empresa que presta o serviço de manutenção consiste em ter em *stock* os cabos necessários para a reparação, saber os contactos nos diversos locais, conhecer os traçados ao pormenor, disponibilidade 24x7 e responder de acordo com o

definido às reparações. Devem ainda fazer uma manutenção preventiva anual visitando todos os locais e fazer medições para detetar qualquer anomalia.

Para se tentarem melhorar preços, a cada três anos os contratos são renovados. Sempre que é feita a mudança de uma empresa para outra é preciso repetir o processo de passagem de informação e formação outra vez.

Com o intuito de facilitar a manutenção, todos os caminhos de cabo foram georreferenciados, estando identificados os elementos mais importantes da rede e que são necessários para a reparação dos mesmos. Na aplicação é indicado o traçado das condutas, o tipo de cabo usado, caixas de visita, juntas de fusões óticas, locais de enrolamento de cabo, CVPs e identificado o contacto do dono dos terrenos ou responsável pelas autorizações necessárias. Adicionalmente, as interligações das juntas de fusão óticas são acrescentadas à documentação fornecida em formato AutoCAD.

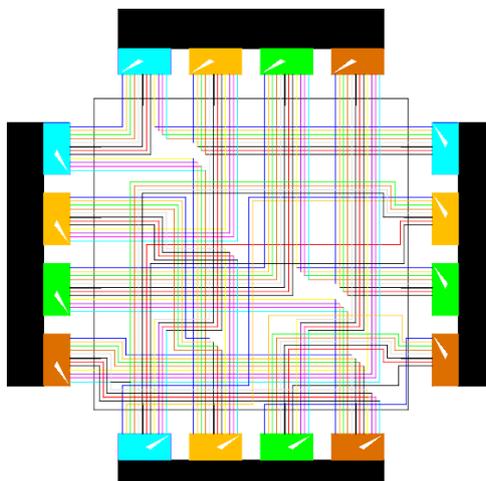


Figura 20 - Exemplo de esquema de junta em Coimbra

Para realizar a georreferenciação do cabo, depois de analisadas as várias opções do mercado, a escolha recaiu sobre o *Network Engineer* ^[xvii], aplicação que corre associada ao ArcGIS e adicionando várias funcionalidades na área das redes de telecomunicações. Com este *software* é possível desenhar os traçados e emitir ordens de trabalho diretamente para as equipas no terreno. É ainda capaz de estimar, com alguma exatidão, os custos de uma determinada ligação. Contudo, sua utilização foi mais tarde descontinuada devido aos custos de licenciamento e *upgrade*. Com novas melhorias introduzidas no ArcGIS levou a que por si só fosse possível fazer tudo o que era necessário desde que devidamente adaptado. Assim, optou-se por utilizar apenas o ArcGIS, tendo para isso sido desenvolvidos novos modelos e objetos de forma a refletir a realizada da rede. Este desenvolvimento demorou cerca de três meses, desde o planeamento, criação dos objetos, adaptação da

informação existente na aplicação para o novo *template* e carregamento dos dados. O resultado final não perdeu nada em termos das funcionalidades consideradas essenciais e pouparam-se cerca de 65% dos custos anuais.

Um modelo simplificado da estrutura de dados pode ser visto na figura seguinte:

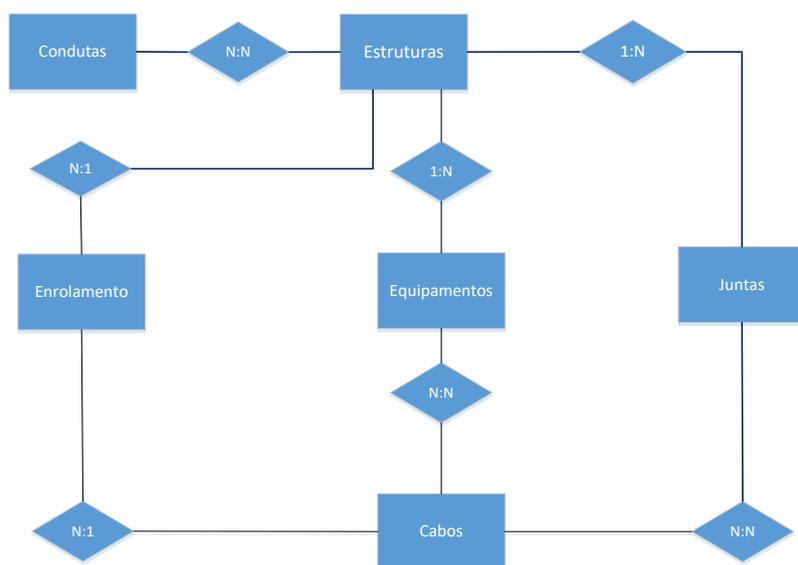


Figura 21 - Modelo de dados para georreferenciação da fibra

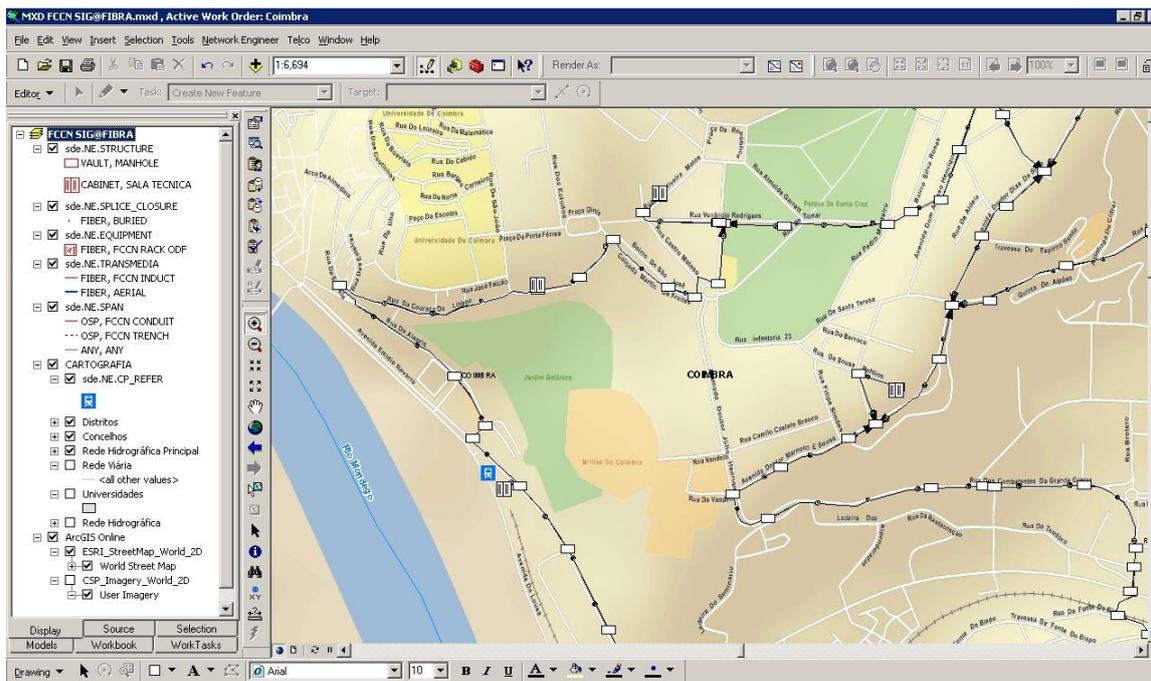


Figura 22 - Exemplo da parte da rede de Coimbra em ArcGIS

3.2 Equipamento de transmissão

No capítulo anterior foram descritas as atividades necessárias para a construção do caderno de encargos relativo ao concurso público para passagem de fibra ótica entre Lisboa e Braga. Este processo decorreu em 2004, mas a construção da rede de fibra não se ficou por aqui. Um segundo cabo foi passado entre o Porto e Valença do Minho junto à fronteira em 2006 e um terceiro entre Lisboa e a ponte José Saramago junto à fronteira com Espanha em Caia (Elvas) em 2008. Ainda em 2008 foi realizado o alargamento da rede de fibra entre Coimbra e Leiria.

Para transmitir dados sobre as fibras foram adquiridos dois sistemas de transmissão durante este período – um primeiro em 2004 com apenas um canal de 10G entre Lisboa e Porto e 2G entre Porto e Braga, Aveiro e Coimbra – e um segundo em 2008, tratando-se de um sistema de transmissão ótico DWDM com capacidade ROADM (*Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer*) que era o estado da arte àquela data.

3.2.1 Primeiro Sistema de Transmissão

Em 2004, além da passagem de fibra e construção dos lacetes locais (processos que decorreram simultaneamente), foi ainda realizada a aquisição de equipamento de transmissão. O objetivo era ligar a 10Gbps Lisboa ao Porto e a 2Gbps cada uma das instituições públicas nos diversos locais onde passava a fibra. Foram realizadas reuniões com diversas empresas e marcas de equipamento de transmissão de forma a conhecer as

opções disponíveis e custos de cada uma. Foi elaborado um RFI (*Request for Information*) onde foram definidos cenários e requisitos a cumprir, tendo havido treze respostas. Destas foram seleccionadas as seis melhores e feita uma nova ronda de negociações de forma a ultimar todos os pormenores.

Depois de lançado o processo aquisitivo, o equipamento vencedor foi o ADVA com os modelos FSP 3000 Slim Line para a ligação de 10Gbps entre Lisboa e Porto e os FSP1500 para as ligações de 2Gbps.

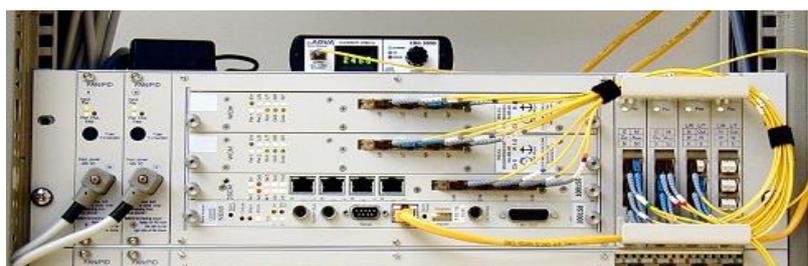


Figura 23 - Adva FSP 3000 Slim Line

Apesar dos FSP3000 de terem capacidade para DWDM, apenas usava um comprimento de onda. Estavam instalados em sete salas técnicas entre Lisboa e Porto, locais onde era feita a amplificação do sinal e regeneração do mesmo sempre que necessário. Estes equipamentos faziam a sua transmissão usando SDH (*Synchronous Optical Networking*) em STM-64 (10Gbps), sendo as interfaces de entrega 10G LAN-PHY. A ligação a 10G usava um par de fibra G.655.

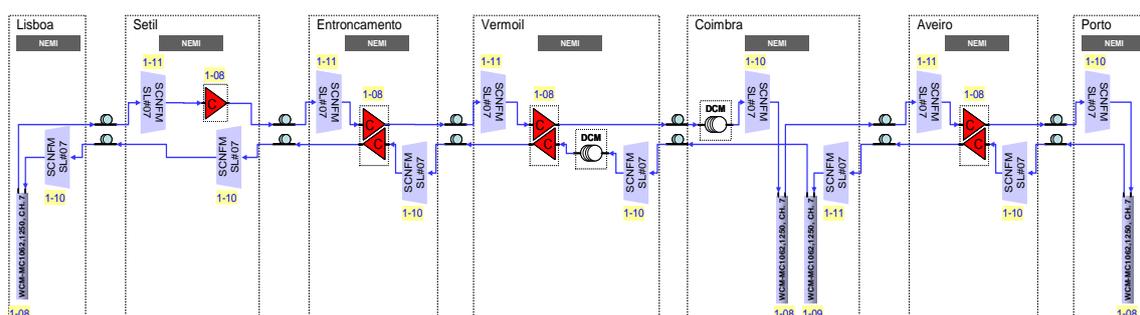


Figura 24 - FSP 3000 - Esquema dos equipamentos em cada um dos nós

Os FSP1500 eram utilizados para as ligações de 2G e serviam as Universidades de Coimbra, Aveiro e Braga e ainda o Politécnico de Coimbra. Era transmitido sobre fibra G.652.



Figura 25 - ADVA FSP 1500

Estes equipamentos usavam igualmente SDH para transmissão, mas em STM-16 (transmitindo 2.5G), extraíndo duas ligações de 1Gbps cada. A interface de entrega era, neste caso, 1Gb Ethernet. Estavam divididos em:

- três no Porto (um para ligação a Braga, outro para Aveiro e um terceiro para Coimbra)
- um em Braga para entrega de 2 x 1G
- três em Aveiro – um que termina a ligação do Porto e outro que inicia a ligação entre Aveiro e Coimbra
- Um em Coimbra – para ligar a Universidade de Coimbra e Instituto Politécnico de Coimbra

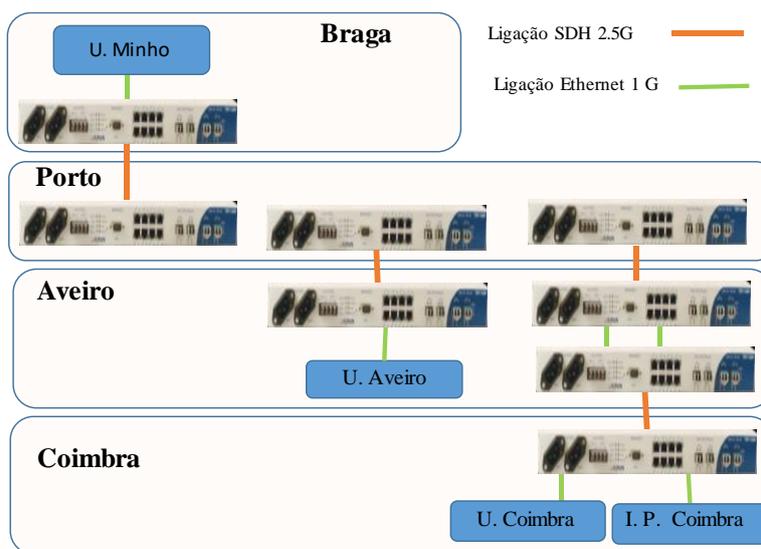


Figura 26 - Ligações de 1G em FSP 1500

Estes equipamentos eram configurados a partir da aplicação TNMS da Siemens onde era possível criar circuitos; verificar parâmetros das cartas, tais como potências emitidas e recebidas; alarmes, entre outras funcionalidades.

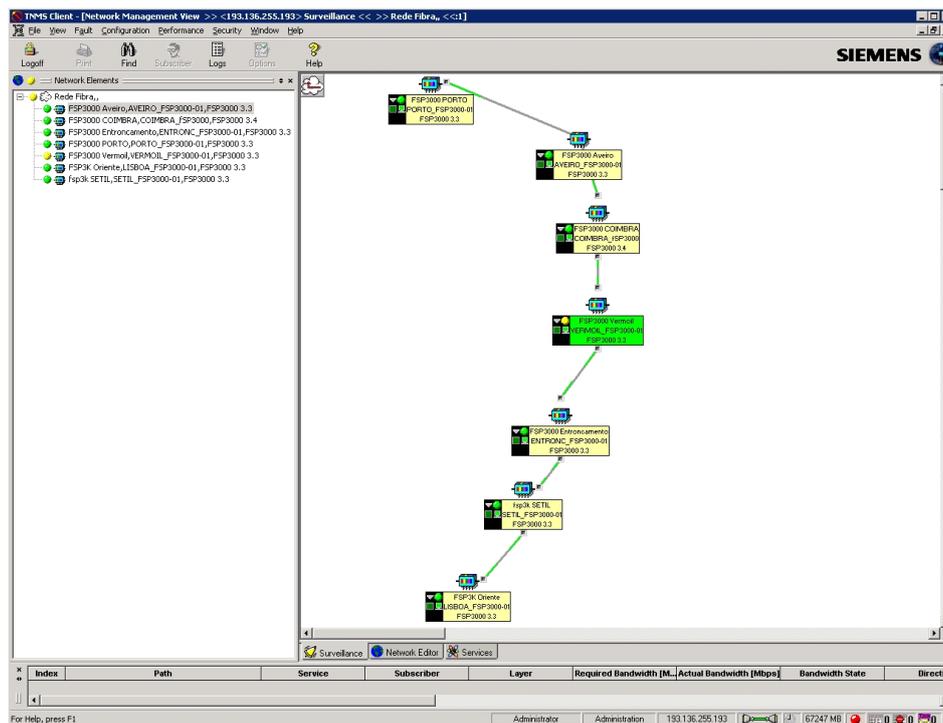


Figura 27 – Software TMNS da Siemens

Em 2004, associado à compra do equipamento de transmissão, foi necessário adquirir *routers* e *switches* com capacidade de acomodar o volume de tráfego esperado. Foram comprados três *routers* com portas a 10G, sendo colocados dois em Lisboa e um no Porto. Estes *routers* constituíam o novo core da rede despenhando ainda o papel de interface para as ligações internacionais através do Géant. Os *switches* comprados foram colocados em cada uma das salas técnicas ao longo do cabo entre Lisboa e Braga interligando-se entre si a 1G usando transceivers SFP-ZX. Este tipo de interface ótica que consegue cobrir uma distância teórica de 70km (têm um *power budget* máximo de 28dB que, para o caso das fibras usadas e pelos valores medidos, daria para distâncias até aos 110 kms). Estes equipamentos desempenhavam duas funções principais:

1. Gestão dos equipamentos de transmissão – quando os FSP3000 foram adquiridos não foi contemplada a interface de gestão *in-band*. Como tal, qualquer problema que ocorresse na rede de transmissão não se saberia a sua origem. Esta opção foi tomada porque o custo de comprar as interfaces de gestão *in-band* era mais oneroso do que montar uma rede de *switches* para monitorização;
2. Criar uma ligação de backup entre Lisboa e Braga com capacidade de 1Gbps usando estes *switches*.

Em 2006 com a passagem do cabo entre o Porto a Valença não havia equipamento de transmissão disponível para fazer as ligações até Espanha (o cabo depois de Valença segue até Tuy, terminando num *patch panel* da Telefonica). O cabo tem aberturas em Póvoa do Varzim, Viana do Castelo onde liga o Instituto Politécnico de Viana do Castelo e Valença. A forma como foram realizadas as ligações foi recorrendo a *switches* equipados com interfaces 10GBase-X2-ZR a 10G. Neste caso o débito das interfaces era de 10G. A distância coberta pelo transceiver ZR é a mesma que para o ZX, com a diferença que o primeiro é a 10G e o outro a 1G.

Em 2008 foi adjudicado um novo cabo de fibra ótica entre Lisboa e a fronteira com Espanha, perto da Ponte do rio Caia. Perto deste local há uma CVP onde termina um cabo com 24 fibras vindas da RedIRIS (NREN de Espanha). Foi feita a fusão dos dois cabos, sendo utilizadas 12 fibras G.652 e 12 G.655. Este cabo segue até à Universidade da Extremadura situada em Badajoz onde está o equipamento de transmissão espanhol.

Com os dois novos cabos (Porto-Valença e Lisboa-Badajoz) e havendo necessidade de disponibilizar 10G a todas as instituições ligadas em fibra, foi lançado um novo concurso público internacional para aquisição do equipamento de transmissão. Este teria de ter capacidade para transmitir $N \times 10G$, capaz de cobrir grandes distâncias e ter a possibilidade de ser reconfigurável ao nível das ligações e possibilitar futuros pontos de derivação na rede.

Os subcapítulos seguintes descrevem os principais componentes de um sistema de transmissão DWDM com capacidade ROADM, tal como foi pensado e adquirido pela FCCN.

3.2.2 Sistema de transmissão ROADM

Em 2008 com o objetivo de fornecer 10G às instituições ligadas à RCTS em fibra, foi necessário adquirir um novo sistema de transmissão, que na realidade foram dois – um para o *backbone* (designado de sistema de longa distância) e outro para a rede metropolitana de Lisboa, cada um com especificidades diferentes.

Sistema de Longa Distância

O sistema pretendido seria para usar as tecnologias do *estado da arte* em termos de transmissão à data de 2008. Enquanto os primeiros sistemas de transmissão eram fixos em termos de alocação de recursos, os novos permitem ser configurados por *software*, adaptando a rede às diferentes necessidades que vão surgindo.

A forma de se conseguirem transmitir diversos canais através de uma única fibra ótica é usando vários comprimentos de onda (ou lambdas) multiplexados. Este sistema é designado por WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). O sistema WDM por sua vez divide-se em dois grupos:

- CWDM (Coarse WDM) – define 18 canais pelo ITU-T ^[xviii] dos quais são geralmente usados 16. O CWDM é tipicamente usado em ligações metropolitanas;
- DWDM (Dense WDM) – Define uma grelha com o espaçamento entre canais. Começa nos 40 comprimentos de onda (espaçamento de 100 GHz), sendo os mais comuns de 80 ou 160 canais.

Uma das principais diferenças entre estes sistemas CWDM e DWDM é o espaçamento entre canais – geralmente 20nm (2500GHz) no primeiro e 0.4 a 1.6nm (100GHz a 25GHz) no segundo. A grelha com canais é definida pelo ITU-T, sendo no caso do DWDM de 40 canais com espaçamento de 100 GHz e de 160 canais com espaçamento 25 GHz.

A outra grande diferença é que os canais CWDM fazem uso do espectro entre os 1271nm e os 1611nm, enquanto o DWDM usa tipicamente a janela L, entre os 1529,55nm (196THz) e os 1560,61nm (192.1THz).

Como pode ser visto na Figura 11, a atenuação é mínima nas frequências das bandas C e L onde se situam os canais DWDM. O CWDM transmite em frequências com maior atenuação, não sendo por isso o ideal para longas distâncias. Contudo, o maior fator diferenciador tem a ver com os equipamentos de transmissão utilizados para cada um dos casos, como será visto seguidamente.

O sinal de ótico transmitido sobre uma fibra é alterado ao longo da mesma sendo um dos efeitos sofridos a atenuação. Esta é compensada através da utilização de amplificadores, sendo os EDFA (*Erbium-Doped Fiber Amplifier*) os mais comuns. Os amplificadores EDFA têm a zona de maior ganho nos 1550nm (banda C), que é precisamente a região onde se situam os canais usados pelo DWDM. Para construir um amplificador para todo o espectro usado pelo CWDM, este teria de ser bastante mais complexo e dispendioso.

Como curiosidade, há sistemas que inicialmente usavam CWDM, mas devido a maiores necessidades de largura de banda tiveram de evoluir para o DWDM. Neste caso, e de forma a poderem coexistir os dois sistemas, são desativados alguns dos canais CWDM onde a frequência é a mesma que o DWDM, passando a usar-se esta última tecnologia nesse espectro.

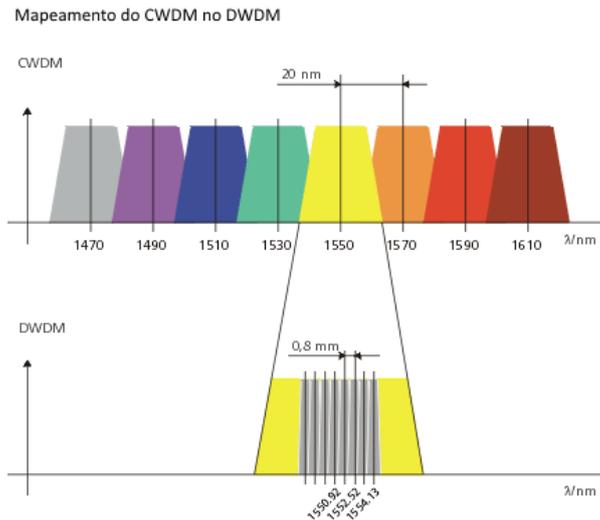


Figura 28 - Mapeamento do CWDM no DWDM
(adaptado de [xix])

Seguidamente são apresentados os componentes principais de um sistema de transmissão e, posteriormente, do sistema adquirido pela FCCN.

Os componentes comuns a um sistema de transmissão são:

1. Filtro Multiplexador/Desmultiplexador DWDM (MUX/DEMUX)
2. Amplificadores
3. OADM (*Optical Add Drop Multiplexer*)
4. Transponders

Não fazendo parte do equipamento de transmissão, os *splitters* e *couplers* são ainda componentes de um sistema, servindo para dividir o sinal ótico em várias saídas (*splitter*) ou agregação dos sinais (*coupler*). Poderão servir, por exemplo, para proteção (dividindo o sinal em dois, seguindo cada um por percursos diferentes (*splitter* 50/50)); para análise do sinal (*splitter* 99/1) em que 1% é copiada para um analisador de espectro (OSA – *Optical Spectrum Analyser*).

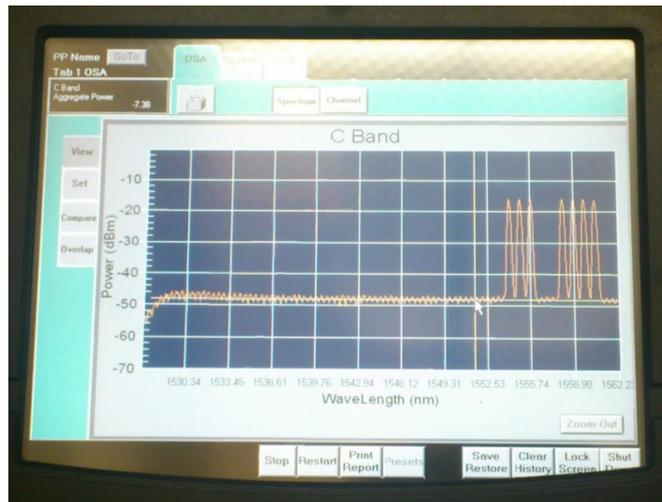


Figura 29 - Resultado da medição num OSA

Um outro exemplo de utilização de um *splitter* são os usados no FTTx (Fiber To The X) em que o sinal proveniente de um OLT (*Optical Line Terminal*) é dividido em diversas saídas, cada uma para um destino diferente onde se encontra o cliente final.

MUX/DEMUX

O Mux combina vários comprimentos de onda oriundos de diversos serviços numa única fibra. Já o Demux separa cada um dos canais que provêm da mesma fibra em saídas diferentes. Ao passo que um *splitter* copia todos os canais para todas as saídas, o Mux apenas copia um ou mais canais (dependendo da configuração) para cada uma das saídas (podendo cada saída ter uma combinação diferente de canais). Geralmente o Mux e Demux encontram-se numa mesma placa. Num sistema OOO (*All Optical - Optical-Optical-Optical*) a separação dos sinais é feita passivamente, não existindo a conversão para o domínio elétrico do canal (sistemas OEO – *Optical-Electrical-Optical*).

Como pode ser visto na Figura 30, existem vários comprimentos de onda (λ) à entrada do Mux que são depois combinados numa mesma fibra ótica. No outro extremo o Demux separa os canais em diversas fibras.

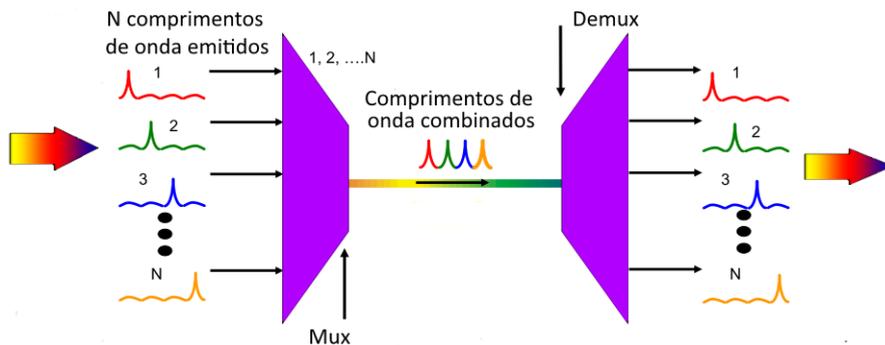


Figura 30 - Mux e Demux
(adaptado de [xx])

Amplificador

Os amplificadores, tal como foi referido, aumentam a potência do sinal de entrada. Este incremento é designado por ganho do sinal e expresso em dB. De notar que o amplificador aumenta o sinal e o ruído, pelo que se o sinal estiver degradado (fraca relação sinal/ruído) poderá ter de ser regenerado.

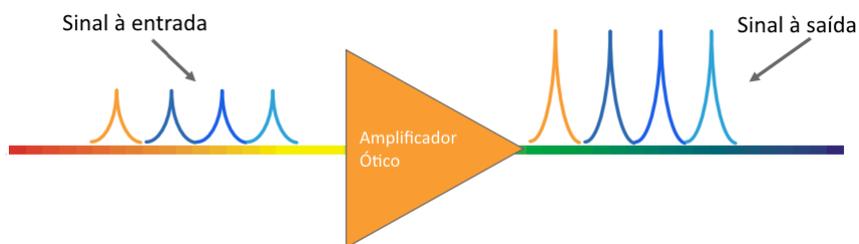


Figura 31 - Amplificador Ótico
(adaptado de [xxi])

OADM

O OADM é a componente onde é feita a extração e inserção de comprimentos de onda.

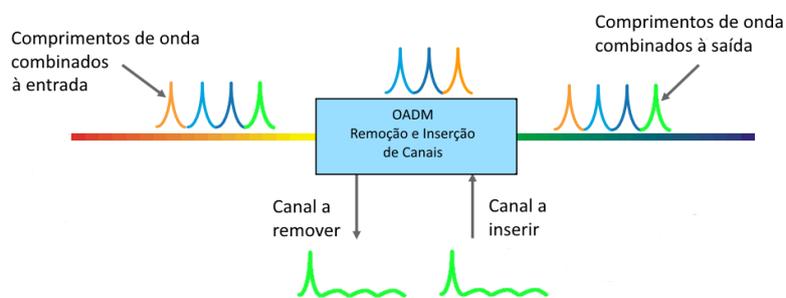


Figura 32 - OADM
(adaptado de [xxii])

Este elemento é geralmente usado para fazer os designados “graus” de um sistema de transmissão ótico. Um sistema ótico tem dois tipos de interfaces: *interfaces de linha* e *interfaces de serviço*. O primeiro designa interfaces onde são conectadas as fibras óticas que se ligam a outros sistemas de transmissão e onde são transmitidos os diversos comprimentos de onda multiplexados. O número de interfaces de linha de um equipamento é designado por graus do nó. As interfaces de serviço são onde se ligam os clientes finais. Neles termina um lambda num *transponder* que depois liga ao equipamento da instituição. Por exemplo, um equipamento de transmissão em Coimbra com ter três graus e dois interfaces de serviço. Os três graus ligariam a outros equipamentos de transmissão – um para norte para Aveiro, outro para sul para o Entroncamento e um terceiro para a Guarda. Já os dois interfaces de serviço ligariam a dois *transponders* que serviriam a Universidade de Coimbra e o Politécnico de Coimbra.

Transponder

Os *transponders* são as cartas onde é terminado um lambda e realizada a conversão eletro-ótica para um formato aceite pelos equipamentos de acesso das instituições.



Figura 33 - Transponder
(adaptado de [xxiii])

Os *transponders* têm como entrada um par de fibras com origem no Mux/Demux e saída uma interface de entrega ao cliente. No caso dos 10G Ethernet a entrega é geralmente do tipo SFP+ ou X2 que, dependendo da especificação, podem transmitir nos 850nm (10GB-SR), 1310nm (10GB-LR/LRM), 1550nm (10GB-ER/ZR) ou até mesmo numa interface elétrica (10GB-T). O transponder pode também converter o sinal ótico para outros formatos como o SDH ou WAN-PHY.

Um sistema completo:

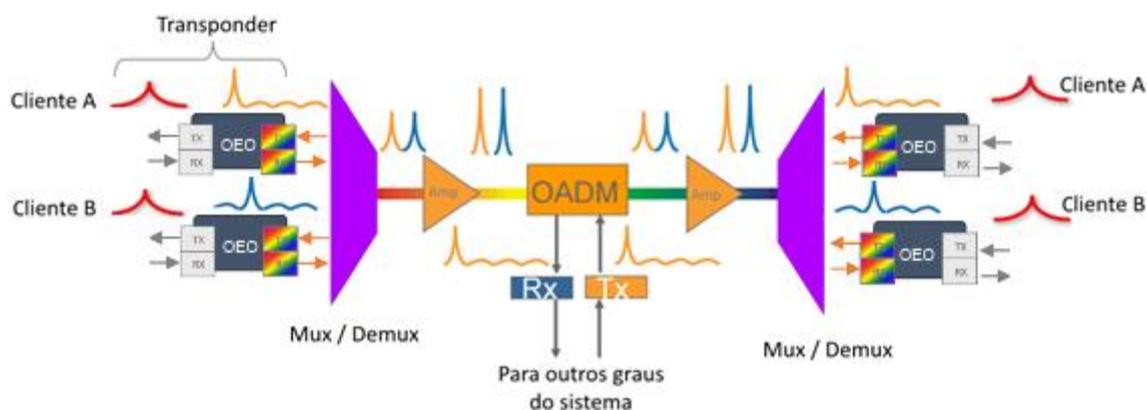


Figura 34 - Sistema DWDM completo
(adaptado de [xxiv])

Todos os componentes apresentados fazem parte dos designados sistemas “clássicos” que são pouco flexíveis. Tipicamente os equipamentos são adquiridos já com uma determinada configuração, podendo ser alterados apenas trocando o *hardware*. O sistema que se pretendia adquirir para o *long haul* deveria ser flexível e possível alterar ao longo do tempo. Para tal, os OADMs devem ser reconfiguráveis - ROADM (*Reconfigurable OADM*), deve ter *transponders* sintonizáveis (*tunable*) assim como Mux/Demux configuráveis.

Para a rede metropolitana o equipamento a usar será o “clássico”, com peças fixas e preço mais baixo. Num sistema fixo, os Mux/Demux vêm de fábrica preparados para fazer a inserção ou extração de determinados comprimentos de onda. Por exemplo, na rede metro os Mux/Demux permitem a passagem de todos os canais, fazendo a inserção/extração dos canais 1,2,3 e 4 num dos equipamentos; no seguinte dos canais 5,6,7 e 8. Os *transponders* nesses locais são fixos, isto é, aceitam a penas o canal X que convertem depois para o domínio elétrico e posteriormente para a interface de cliente. Desta forma, ao adquirir-se um equipamento todas as peças têm de ser encomendadas em consonância, havendo inúmeros *part numbers* conforme as combinações de canais se querem usar. Já nos sistemas ROADM (normalmente usa-se a designação ROADM pelo facto de ter não só os OADMs configuráveis, mas também os restantes componentes), os canais que se querem adicionar ou remover são configurados por *software*. Podemos, neste caso, ter um ROADM com uma entrada e quatro saídas, configurar a extração dos canais 1, 12, 16 e 23 ou outra combinação qualquer. Isto permite-nos uma grande flexibilidade e aproveitar da melhor forma os recursos existentes. Um ROADM deste tipo é construído internamente por switches ópticos configuráveis (WSS – *Wavelength Selectable Switch*). Estes permitem direccionar os

diversos canais para várias saídas que tanto podem ser de linha (para um novo grau), como para *transponders* (interfaces de serviço). No caso do equipamento adquirido são utilizados dois WSS em cascata, os primeiros fazem a derivação para outros graus e os segundos para as interfaces de serviço.

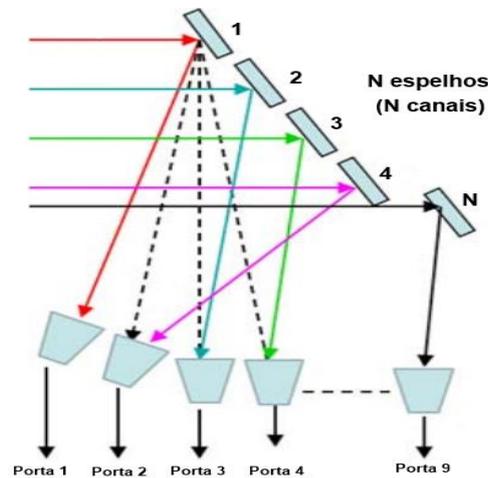


Figura 35 - Switch Óptico interno do ROADM (adaptado de [xxv])

Ainda relativamente aos sistemas de transmissão ROADM, estes podem ser agrupados em termos de níveis de flexibilidade/capacidade que proporcionam. Há dois tipos de configurações que são as mais comuns – *direction/directionless* (transponders associados ou não com uma determinada direção/grau); *Color/colorless* (transponders que permitem apenas um comprimento de onda específico ou qualquer um).

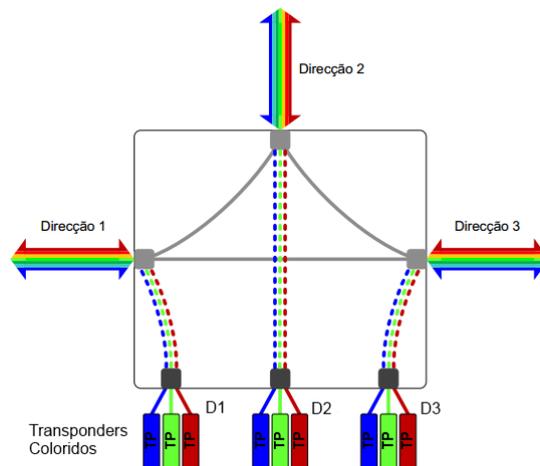


Figura 36- ROADM Colorido e Direcionado (adaptado de [xxvi])

A Figura 36 representa a versão mais simples de um sistema OADM. Neste os *transponders* suportam só um determinado comprimento de onda vindo da interface de

linha (na figura simbolizado por TP com uma cor). Cada *transponder* está ainda associado a uma direção – os D1 à direção 1, D2 à direção 2 e assim por diante.

Os *transponders* sem cor (a branco) podem aceitar um canal qualquer (sistema da Figura 37). Neste caso o *switch* óptico pode enviar um comprimento de onda qualquer para o transponder, uma vez que ele aceita qualquer um e faz a conversão eletro-ótica de qualquer canal que lhe chegue. No exemplo anterior o WSS associa um determinado canal a um transponder que tem de estar preparado para o receber. O sistema da FCCN tem esta configuração – os transponders estão associados a um determinado grau, mas podem aceitar um canal qualquer.

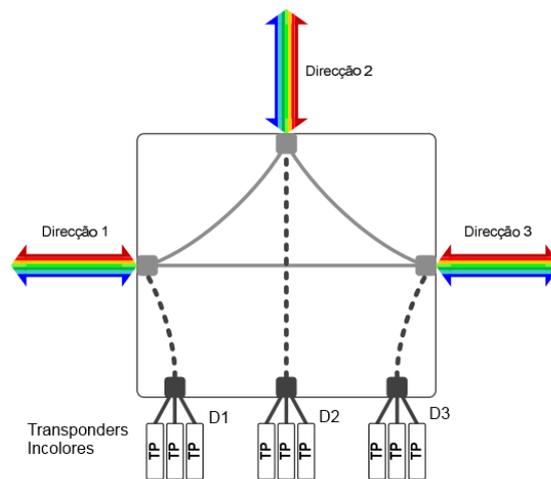


Figura 37 - ROADM com *transponders* Incolores
(adaptado de [xxvii])

Há ainda sistemas com transponders coloridos, mas sem estarem associados a uma direção (o inverso da Figura 37). Estes permitirem um maior grau de liberdade, mas a reutilização de transponders entre diversos locais nem sempre é possível.

O sistema mais flexível de todos seria incolor e sem direção. Este é o caso da Figura 38.

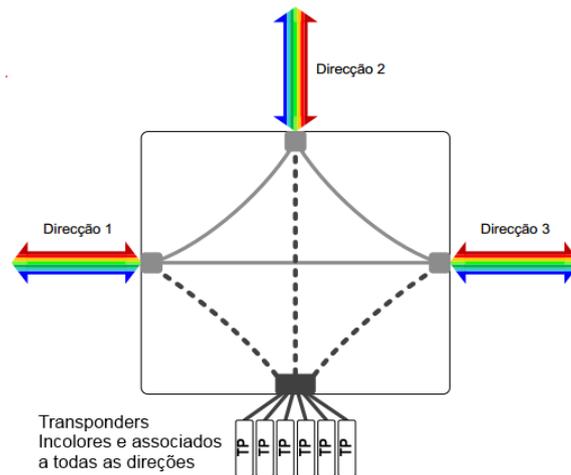


Figura 38 - ROADM Incolor e Sem Direção
(adaptado de [xxviii])

O maior grau de flexibilidade de inserção ou extração de canais óticos reduz a probabilidade de bloqueio (querer usar-se uma dada carta ou canal e não ser possível devido a limitações de hardware). Há estudos ^[xxix] onde é calculada a probabilidade de bloqueio, isto é, de ser necessário acrescentar um canal ao sistema ROADM e este não ter possibilidade de o fazer. As causas podem ser o canal não tem *transponder* com essa cor; ou tem, mas está associado a uma direção diferente ou, simplesmente, o sistema não o permite.

A utilização de um sistema sem direção e incolor seria o ideal em termos técnicos, contudo o seu custo de implementação é enorme e em 2008 ainda não era comercializado. Estes ROADMs são geralmente designados por CD ROADM (*Colorless, Directionless ROADM*). Como pode ser visto na Figura 39, a complexidade interna é muito maior neste tipo de sistemas. Têm, inclusivamente, de ser colocados amplificadores intermédios para compensar as perdas do sinal que ocorrem de cada vez que um canal entra ou sai de um dos componentes do sistema.

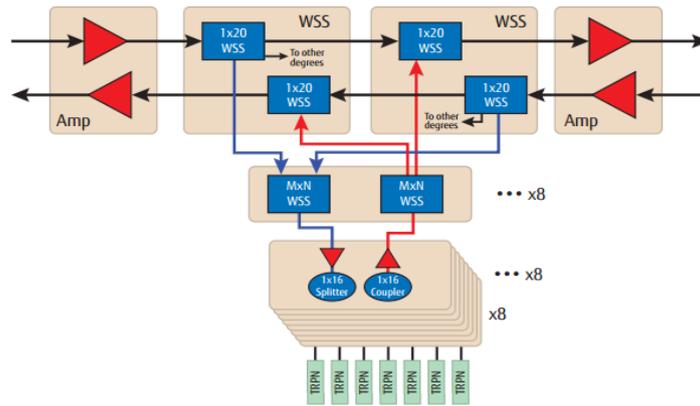


Figura 39 - CD ROADM
(adaptado de [xxx])

Como termo de comparação, um sistema CD ROADM custa cerca de 2.5x mais do que um sistema ROADM com as características do da FCCN.

Existem sistemas ainda mais complexos do que estes, designados por *colorless*, *directionless/contentionless* ROADM (CD/C ROADM). Estes diferem dos CD ROADMs no sentido em que nos CD ROADMs um determinado comprimento de onda quando termina num grau, não pode mais ser usado nesse mesmo grau. Tal deve-se à utilização de *splitters* que copiam todo espectro, impedindo a sua reutilização - sistemas com arquitetura *Broadcast and Select*. Já o *contentionless* (CD/C) permite a utilização desse mesmo canal desde que siga depois para um outro grau que não o anterior. Em vez dos *splitters* usam MCS (*Multicast Switch* –que são WSS) que permitem que qualquer comprimento de onda vindo de qualquer grau possa ser ligado a um qualquer transponder.

Um MCS é um componente de elevada complexidade como pode ser visto na Figura 40 - Componentes de um MCS.

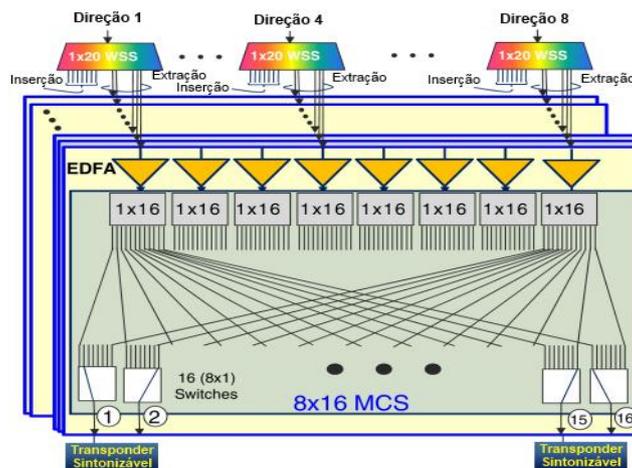


Figura 40 - Componentes de um MCS
(adaptado de [xxx])

Todavia a evolução na área da transmissão não para, e tem conhecido grandes desenvolvimentos, sendo um dos mais recentes os designados por *colorless*, *directionless/contentionless*, *gridless* ROADM (CDCG ROADM). Além de permitirem todas as funcionalidades atrás descritas, possibilitam ainda uma seleção flexível dos canais disponíveis da grelha DWDM. Tal como indicado anteriormente, existe uma grelha definida pelo ITU-T com vários espaçamentos entre canais (100GHz aos 25GHz). O *flexgrid* permite uma maior flexibilidade de alocação do espectro juntando blocos contíguos de forma a obter maior largura da banda.

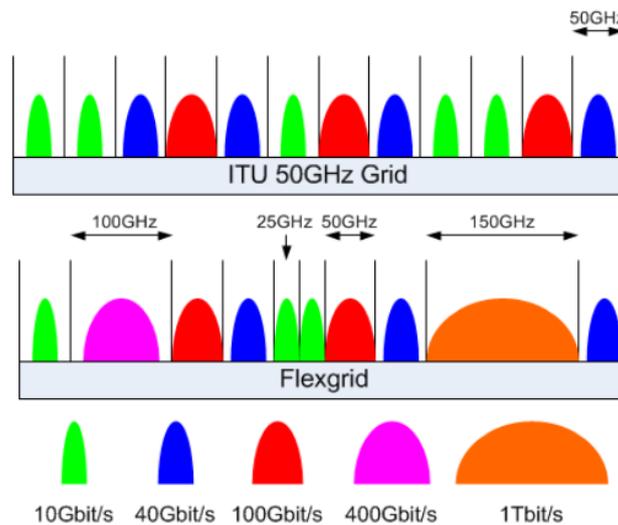


Figura 41 - Flexgrid
(adaptado de [xxxii])

Com os sistemas CDCG ROADM é possível ter lambdas com diversas capacidades a coexistirem entre si e aproveitar o espectro de forma mais eficiente.

O Sistema da FCCN

Na página seguinte é apresentado o esquema lógico de um nó do sistema DWDM da FCCN sendo apresentados cada um dos componentes.

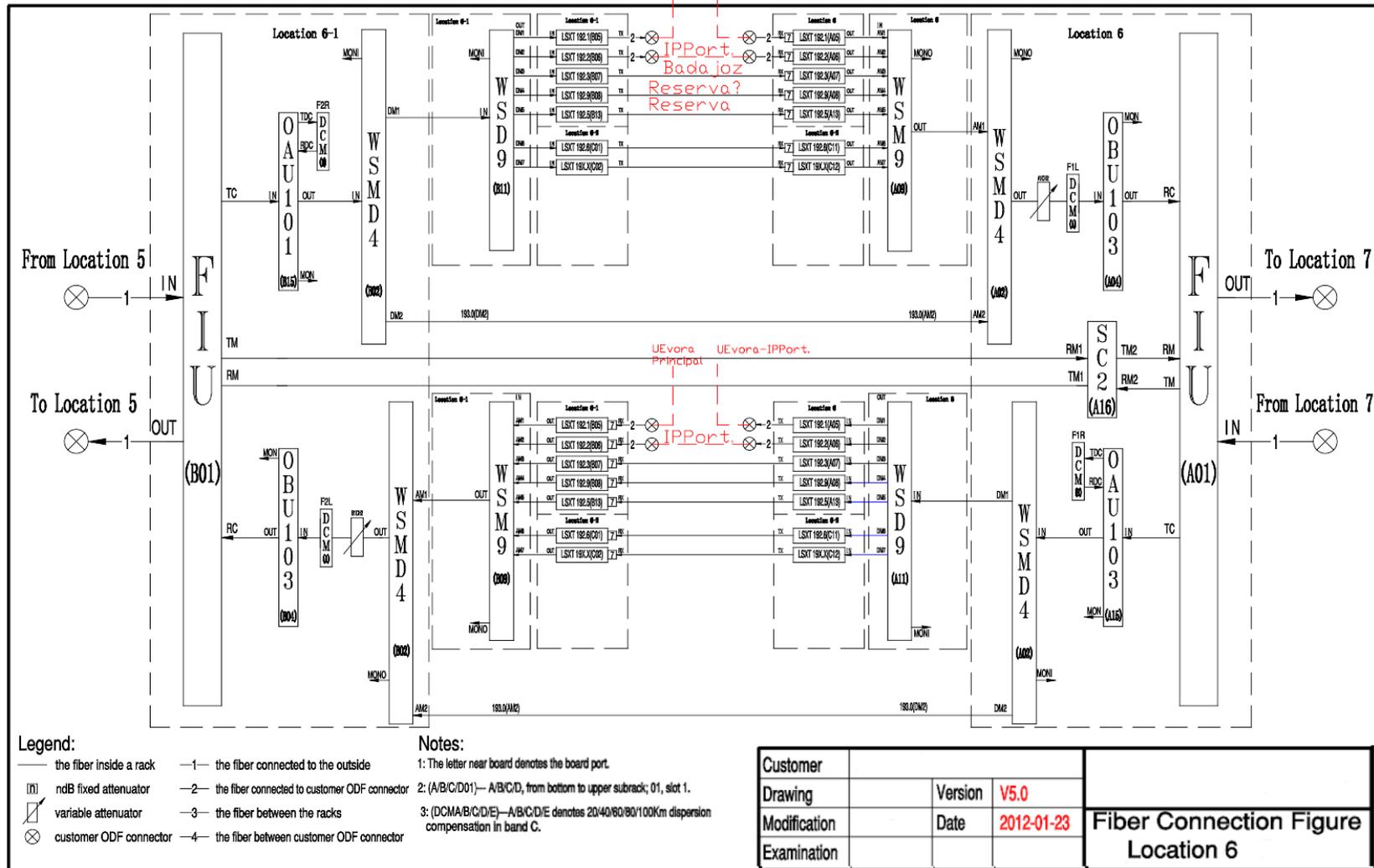


Figura 42 - Sistema de transmissão da FCCN no local 6

Como se pode ver pela Figura 42, o sistema apresentado tem mais componentes do que o da Figura 34. Seguidamente serão explicados cada um destes componentes.

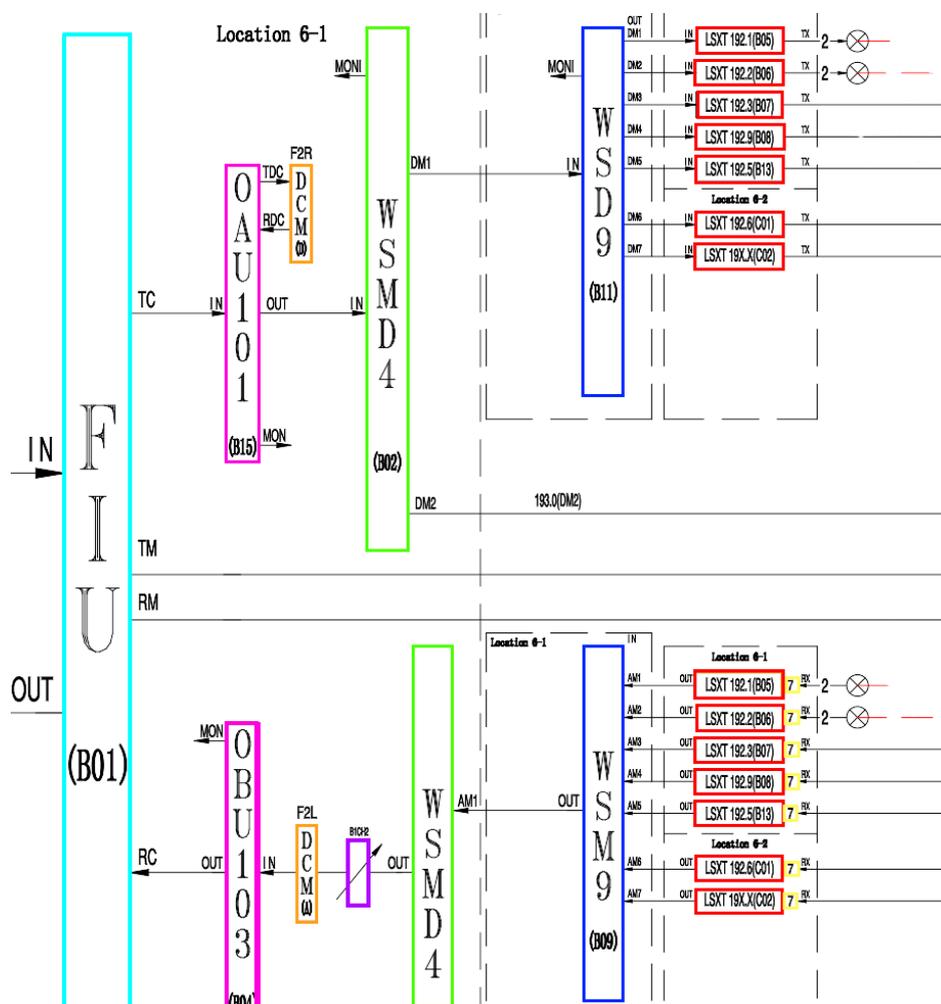


Figura 43 - Esquema parcial de um nó óptico

Na Figura 43 está representada apenas metade do sistema que compõe um nó óptico, neste caso os componentes associados à direção Oeste. Fisicamente é composto por dois chassis, o A e o B.

A vermelho estão identificados os *transponders*. Os mesmos aparecem duas vezes no esquema, apesar de se tratar do mesmo componente. Os da parte superior representam a parte de transmissão (Tx) e os de baixo dos recetores (Rx). São nestas placas onde é convertido o sinal que chega do WSD-9 (*Wavelength Selective Demultiplexer*) para elétrico e posteriormente para um formato aceite pelo equipamento da instituição. De igual forma, recebe o sinal do cliente final, converte-o para elétrico e transforma-o em ótico, no comprimento de onda associado ao serviço, passando-o para a placa WSM9. No Rx está representado a amarelo um atenuador de 7dB. Este serve para atenuar o sinal vindo do

cliente. A razão é que, tratando-se de lasers LR (Long Reach), estes emitem uma potência máxima de 0.5dBm e podem receber potências entre os 0.5dBm e -8.4 dBm [xxxiii]. Apesar da potência máxima emitida coincidir com a máxima permitida à entrada, não é conveniente fazê-lo, pois reduz o tempo de vida útil do circuito recetor. O valor ideal deverá rondar metade deste valor -4.45dBm. Ao introduzir-se um atenuador de 7dB, garante-se que o valo no recetor nunca será maior do que -6.5dBm. Os valores recebidos no recetor são depois verificados por *software*, podendo alterar-se o tipo de atenuador a colocar. De notar que o atenuador deve ser sempre colocado no recetor e nunca no emissor, pois poderia haver o risco de o danificar devido às perdas de retorno.

O WSD-9 (a azul escuro) é um *switch* ótico reconfigurável (que faz apenas o Demux, daí o D na sigla). Recebe o sinal ótico com todos os canais podendo depois, por *software*, reencaminhá-lo para cada uma das suas 9 portas de saída. Pode, por exemplo, fazer sair o canal 1 pela porta de saída *DMI Out*. O *transponder* LSXT (a vermelho e que é sintonizável) tem de estar configurado para aceitar o canal 1 na sua entrada, convertê-lo para elétrico e entrega-lo ao cliente. O WSM-9 (*Wavelength Selective Multiplexer*) é também um *switch* ótico, mas que faz de Mux, ou seja, pega nos sinais de entrada de cada um dos transponders vindos de portas diferentes e agrega-os numa só fibra que encaminha para o WSMD-4. O WSM-9 e WSD-9 são duas placas diferentes, estando as duas no chassis B, nos *slots* 11 e 9 respetivamente (ver nomenclatura dentro de parêntesis no esquema da placa).

As placas WSMD-4 (*Wavelength Selective Multiplexer Demultiplexer* a verde) são as responsáveis por ser possível ter vários graus num nó. Neste caso existem apenas dois graus – Este e Oeste. As restantes duas podiam ser usadas para mais direcções. As D/AM-1 não são usadas como porta de grau uma vez que estão ligadas às placas WSD-9 e WSM-9 que fazem entrega do serviço no local. As portas D/AM-2 fazem o que é designado por *passthrough* dos canais, isto é, deixa passar todos os canais que não vão ser extraídos localmente e que seguem em frente até ao outro WSMD-4 de saída para outro grau.

A cor de laranja aparece o DCM (*Dispersion Compensation Module*) que é um compensador de dispersão cromática. Tal como previamente descrito, as fibras têm uma dispersão cromática associada e que é tipificada conforme o tipo de fibra. Por exemplo, num troço de 60Kms, é esperada uma dispersão cromática para uma fibra G.652 de 5.5 ps/nm². Esta tem de ser compensada através da introdução de um ou mais DCMs que tenham uma dispersão negativa 5.5 ps/nm² de forma a anular esse efeito. Na prática coloca-se um DCM para compensar 40 kms (3.7 ps/nm²) junto ao emissor e um DCM para 20 kms

(de 1.8 ps/nm^2) no recetor que faz o efeito pretendido. Um DCM por dentro não é mais do que de fibra enrolada, fibra essa com dispersão cromática negativa. A passagem do sinal por esta fibra reduz o efeito da dispersão cromática, mas aumenta a atenuação do sinal que terá de ser amplificado.

Os amplificadores EDFA estão identificados a lilás. A nomenclatura dos mesmos é OAU (*Optical Amplifier Unit*) e OBU (*Optical Booster Unit*). Internamente são semelhantes, sendo a sua função amplificar o sinal. A diferença, no caso da marca que implementa esta solução (Huawei), é que o OAU permite a configurar da potência a aplicar ao sinal e o OBU aplica uma potência fixa. Os OAU são designados de amplificadores e os OBU de *boosters*. A diferença é lógica – o *booster* amplifica o sinal à saída do sistema, o amplificador (também designado por pré-amplificador) aumenta o sinal à entrada do sistema antes de o enviar para o DCM.

A roxo está representado um VOA – *Variable Optical Attenuator*. É um atenuador, mas ao contrário dos anteriormente referidos que atenuavam 7dB fixos, este permite alterar a atenuação. Este em concreto, não permite a configuração por software (também há este componente), mas sim usando uma chave de fendas que apertando ou desapertando altera o valor. É utilizado à saída porque, como indicado, o OBU não permite configurar o ganho. Finalmente a FIU (*Fiber Interface Unit* a azul claro) tem uma função que até agora não foi mencionada e que responde à questão – como é feita a gestão destes equipamentos? Há duas formas de a fazer - uma designada por *in-band* e a outra por *out-band*. A primeira é a mais usada, sendo a outra só utilizada quando a primeira falha. No caso do *in-band* e gestão é feita através da própria fibra que interliga os equipamentos. Além dos canais DWDM é usado um canal extra, fora da grelha DWDM, que tem um menor débito (logo mais imune a erros) através do qual é feita a gestão do equipamento. Normalmente o canal é designado por OSC – *Optical Supervisory Channel*. Este canal tem de ser separado dos restantes (tarefa realizada pela FIU) e direcionado para a carta onde é feita a gestão do equipamento. Na Figura 42 pode ver-se que a FIU liga ao SC2 (*Supervisory Channel*). Trata-se de uma carta que faz o processamento do canal de supervisão.

A configuração de todo sistema é feita usando o *software* T2000, mais tarde substituído pelo U2000. Na Figura 44 pode ser visto o *layout* do equipamento no U2000.

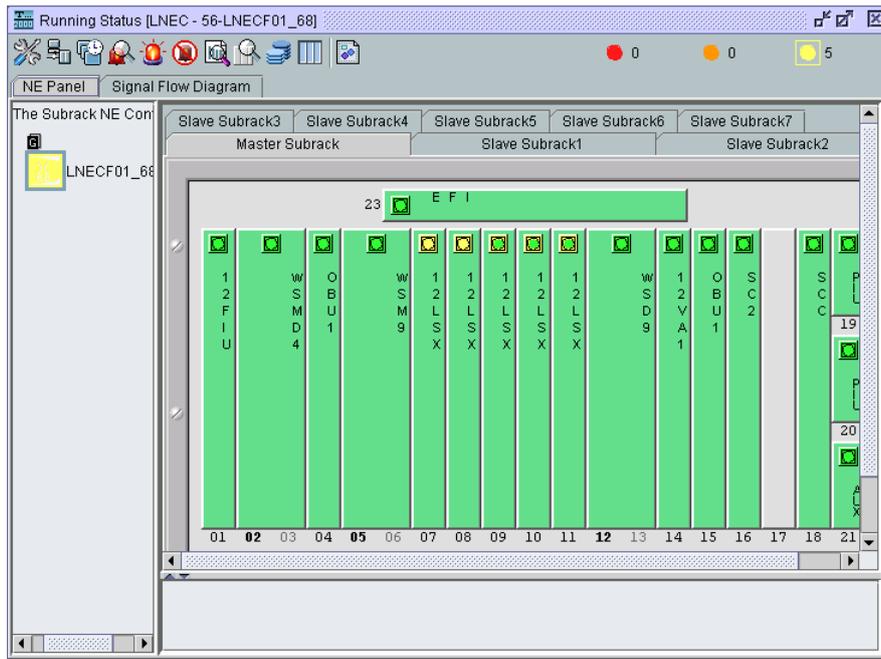


Figura 44 - Vista de um chassis

Cada carta tem um menu de configuração distinto, pelo que *layout* das configurações altera-se conforme a placa que foi seleccionada para configurar. Por exemplo, uma placa WSDM-4 permite indicar quais os canais que passam em cada uma das portas assim como a atenuação que queremos colocar em cada uma delas. A configuração das atenuações é muito importante pois um desequilíbrio entre canais gera erros. Ao alterar-se a potência de um canal, a potência do sistema como um todo é também mudada, podendo causar o colapso de toda a rede. Qualquer configuração ao nível das interfaces de linha tem de ser vista como global, pois influencia outros equipamentos ao qual está ligado ao longo de todo o percurso.

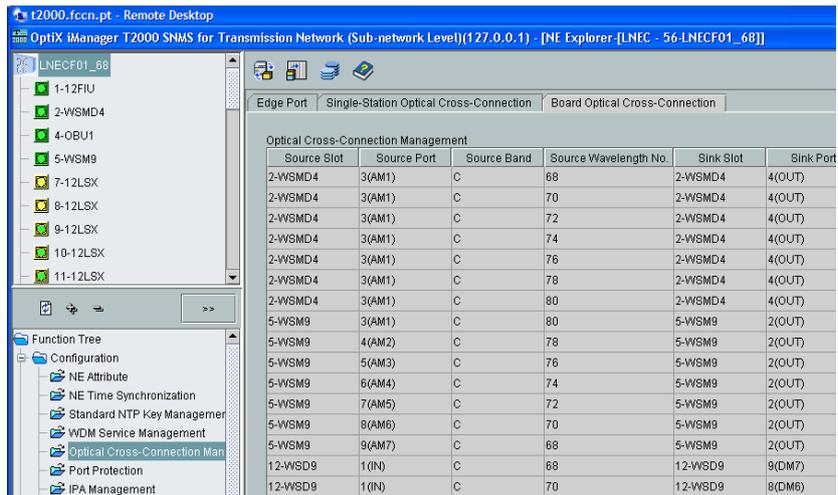


Figura 45 - Configuração de um *Cross-connect*

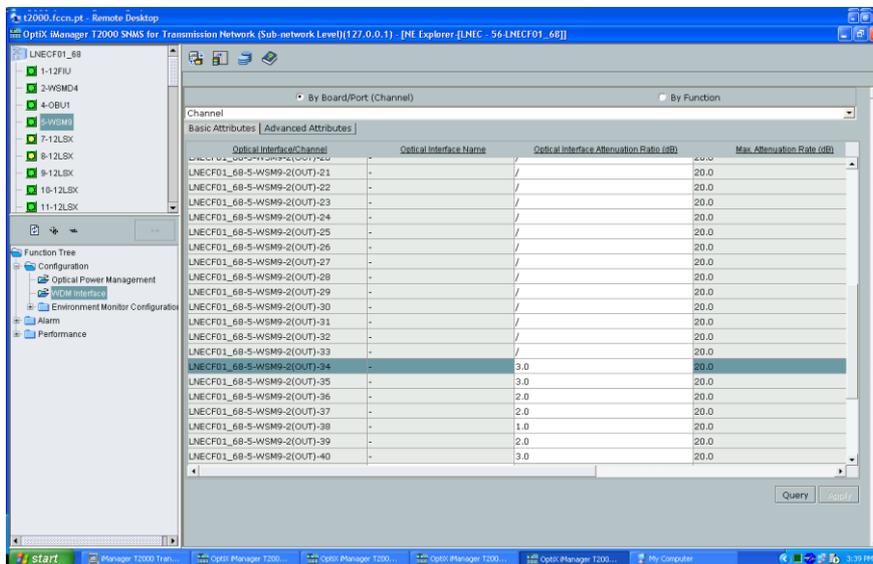


Figura 46 - Configuração das atenuações numa WSM-9



Figura 47 - Fotos dos equipamentos a que se refere o esquema

Tal como acontece para a rede de fibra, foi necessário fazer um contrato de manutenção para o equipamento de transmissão, assim como para atualizações do *software* de gestão.

3.2.3 Anúncio do serviço

A criação da rede de fibra e ativação do sistema transmissão permitiu à RCTS passar a disponibilizar débitos de 10G às instituições a si ligadas. Como a capacidade do sistema de transmissão é grande (o sistema permite 40 canais a 40G, podendo ser expandida a 80), foi criado um novo serviço – o RCTS Lambda ^[xxxiv]. Este permite estabelecer ligações fim-a-fim para débitos de 1G ou 10G com uma qualidade inigualável ao nível de atrasos e *jitter*. Infelizmente ainda nem toda a comunidade tem acesso ao mesmo, mas é intenção da FCCN futuramente conseguir disponibilizar o RCTS Lambda a todas as instituições ligadas.

3.2.4 Análise dos custos

A criação de uma rede de transmissão implica um elevado custo, não só no ato de aquisição e instalação da mesma, assim como na manutenção futura.

Antes de se avançar com este projeto foram estudadas diversas outras hipóteses, como aluguer de circuitos a operadores, aluguer de fibra, compra de fibra ou cabo, etc. Foram ainda tidos em conta os programas europeus que disponibilizavam financiamento para a criação de uma rede desta envergadura, qual o seu enquadramento legal e a melhor forma de se poderem aceder aos fundos. A conclusão foi que, face ao preço dos circuitos, custo das aquisições da fibra (duração espectável de 18 anos), custo do equipamento de transmissão (duração de 7 ou 8 anos) e das respetivas manutenções (fibra e equipamento), o *break even* do projeto rede seria ao fim de quatro anos. O hoje em dia o projeto é considerado um sucesso – aumentou a capacidade da rede e baixou os custos da mesma. De lamentar é apenas o facto de não estar ainda implementado em todo o país, não servindo ainda instituições do interior de Portugal.

4 Conclusão

O relatório de atividade apresentado faz um resumo de alguns dos trabalhos realizados ao longo da minha vida profissional, com maior enfoque no período em que fui colaborador na FCCN. Não pretende ser um relato exaustivo de tudo o que foi feito, mas sim mostrar os diversos conhecimentos que são necessários para o desempenho das funções na área da Engenharia de Redes. Estes vão desde a programação, investigação operacional, contabilidade, planeamento e gestão até aos conhecimentos jurídicos e gestão de pessoas. Como qualquer área da engenharia, esta não se esgota em si mesma. Procura não só a concretização de um projeto, mas também otimizar as várias componentes tais como o tempo de execução, custo de implementação e o cumprimento dos requisitos.

Enquanto trabalhador na FCCN tive a hipótese de desenvolver diversos projetos na área das redes, sendo que o mais desafiante foi o da construção de raiz de uma rede de fibra ótica de âmbito nacional. Com apoio das chefias e em conjunto com a equipa que coordenei, foi possível mudar o panorama nacional da interligação das instituições de ensino superior à Internet e coloca-las ao nível das congéneres europeias. A participação de professores e alunos em projetos europeus de investigação tornou-se mais fácil, o acesso à B-ON melhorou, permitiu o aparecimento de outros novos projetos que até aí não eram possíveis, tais como a utilização de salas imersivas ou o VoIP@RCTS. Ainda ficaram objetivos por cumprir, havendo anos em que, devido ao menor financiamento disponível, não foi possível fazer a rede crescer como desejaríamos. Estes factos trouxeram-me alguma desmotivação e levaram-me a procurar novos desafios.

Ao cessar a minha colaboração com a FCCN em 2013, deixei de trabalhar na área de transmissão, regressando novamente à componente de *routing/switching*. Ao contrário da anterior arquitetura de rede que era baseada em *Carrier Ethernet* e protocolos de *Layer 2* (QinQ/Mac-in-Mac), a tecnologia usada na rede da TMN é o MPLS. Esta transição obrigou a muito estudo da minha parte, aprender novos conceitos e arquiteturas de rede. A principal mudança foi, contudo, a alteração da metodologia de trabalho, inerente a uma rede de operador de escala nacional com milhares de equipamentos.

No que toca à formação, desde que terminei o curso na Universidade do Minho tenho tentado todos os anos frequentar um ou mais cursos de forma a complementar os conhecimentos adquiridos. A maioria deles tem como objetivo complementar lacunas que reconheço em mim mesmo e que precisam de ser colmatadas para, poder realizar um trabalho que considero ser de qualidade. Um dos casos foi a pós-graduação em

telecomunicações que veio aumentar as competências que tinha ao nível da transmissão ótica e redes móveis. Outros, como os cursos Cisco ou Alcatel e respetivas certificações, têm como objetivo ser visto no mercado de trabalho como alguém que domina as mais recentes tecnologias. O processo de certificação trás consigo o reconhecimento por parte das marcas de referência como sendo um profissional qualificado.

A área das redes está neste momento a evoluir para novos conceitos como o NFV ou SDN. A sua implementação obriga a terem-se conhecimentos profundos tanto de telecomunicações, como de informática. Cada vez mais as virtualizações vão ser o futuro, o que vai mudar totalmente o panorama das redes tal como as conhecemos hoje. Questões como a privacidade, segurança, proteção de dados, análise de risco, assim como temas relacionados com o *governance* e boas práticas, serão igualmente áreas em que continuará a haver necessidade de profissionais.

Ao fim de dezoito anos a exercer na área de redes, quando olho para o futuro, sei que ainda não cheguei a metade do tempo em que irei estar profissionalmente ativo - quero e tenho de aprender muito mais. Tenho o privilégio de trabalhar numa área que gosto e sei que para continuar a fazê-lo terei de manter o empenho e continuar a estudar. São estas as razões que me levam a estudar e a fazer este mestrado, cuja elaboração do relatório me levou a reviver algumas decisões tomadas e a olhar para o futuro com outros olhos.

Espero continuar a trabalhar nesta área e poder usar o conhecimento acumulado até agora no desenvolvimento de novas soluções e melhoramento das atuais. Afinal, é isto que se pretende de um Engenheiro de Redes e Serviços Telemáticos.

Referências

- [i] - Andrew S. Tanenbaum, “Computer Networks”, Prentice Hall – 3rd Edition, 1996
- [ii] - Jon Postel Ed., “Internet Protocol - DARPA Internet Program, Protocol Specification”, RFC 791, September 1981
- [iii] - R. Hinden, R. Fink, Jon Postel Ed., “IPv6 Testing Address Allocation”, RFC 2471, December 1998
- [iv] - R. Hinden, M. O'Dell, S. Deering Ed., “An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format”, RFC 2374, July 1998
- [v] - R. Hinden Ed., “Proposed TLA and NLA Assignment Rules”, RFC 2450, December 1998
- [vi] - R. Hinden, S. Deering Ed., “IP Version 6 Addressing Architecture”, RFC 2373, July 1998
- [vii] e [viii] - FCCN, “Plano de endereçamento IPv6 da RCTS”, (2000), Available: <http://www.ipv6-tf.com.pt/documentos/planos/planoRCTS.pdf> (last visited 2016/09/19)
- [ix] - 6Diss – “South & Central America IPv6 Training Workshop, Quito, Ecuador”, July 2006, Available: <https://www.6diss.org/workshops/sca/> (last visited 2016/09/19) and “Central American IPv6 Training Workshop, Guatemala City, Guatemala”, January 2007, Available: <https://www.6diss.org/workshops/ca/> (last visited 2016/09/19)
- [x] - Jérôme Selles, “Organización de la red, nuevas tendencias en la arquitectura de la red”, Available: <https://upcjerome.wordpress.com/> (last visited 07/12/2016)
- [xi] - Luís M. Correia, “Sistemas de Comunicações Móveis”, *Cadeira de Sistemas de Comunicações Móveis e Sem Fios*, DEEC/IST 2011
- [xii] - Omnitron Systems, “CWDM Overview”, Available: <http://www.omnitron-systems.com/iconverter-single-fiber-cwdm-multiplexers-and-add-drop.php> (last visited 2016/09/19)
- [xiii] - Joaquim Anacleto, Modesto Morais, “PMD and CD Measurement on Optical Cables for Bandwidth Computation”, February 2007. Available: <http://www.fiberwork.net/docs/OPGW-2007-02-16.pdf> (last visited 2016/09/19)
- [xiv] - Optical Systems Design's, “Angled Physical Contact (APC) Connectors”, April 2013, Available: <http://www.l-com.com/content/Article.aspx?Type=N&ID=9947> (last visited 2016/09/19)
- [xv] - Odasco, “Fiber Optic In Sewer Lines”, October 2009, Available: <http://www.odasco.com/innovations/first/> (last visited 2016/09/20)
- [xvi] - FOA - The Fiber Optic Association, “Fiber Optic Installation By Microtrenching”, 2010, Available: <http://thefoa.org/tech/ref/install/Microtrenching/index.html> (last visited 2016/09/2016)
- [xvii] - Ericsson – “Ericsson Network Engineer”, Available: <https://www.ericsson.com/ourportfolio/products/network-engineer> (last visited 2016/09/2016)
- [xviii] - ITU-T, Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks, “Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid”, G.694.2, December 2003,
- [xix] - Teramile, “Migration from CWDM to DWDM”, Available: http://www.teramile.de/microsens/de/presse/art_ik_dwdm3.htm (last visited 2016/09/20)
- [xx], [xxi], [xxii], [xxiii] e [xxiv] - Reena Antil, Pinki, Mrs. Sonal Beniwal, “An Overview of DWDM Technology & Network”, *International Journal of Scientific & Technology research*, Vol. 1, Issue 11, December 2012

[xxv] - Richard A Steenbergen, “Everything You Always Wanted to Know About Optical Networking – But Were Afraid to Ask”, 48 NANOG conference, February 2010

[xxvi] e [xxvii] e [xxviii] – João Pires, João Pedro, “Planeamento de Redes”, *Cadeira de Planeamento de Redes*, IST/IT 2011

[xxix] - Joao Pedro e Silvia Pato, “Towards Fully Flexible Optical Node Architectures: Impact on Blocking Performance of DWDM Transport Networks”, IEEE ICTON, June 2011

[xxx] – Fujitsu, “CD ROADM – Fact or Fiction, Flexibility at a Price”, 2012. Available: <https://www.fujitsu.com/us/Images/CD-ROADMpt2-wp.pdf> (last visited 2016/09/20)

[xxxi] – JDSU – “The Next Generation of ROADM Devices for Evolving Network Applications”, ECOC, September 2011

[xxxii] - Paul Wright, Andrew Lord, Luis Velasco, “The Network Capacity Benefits of Flexgrid”, IEEE, Optical Network Design and Modeling, April 2013

[xxxiii] - Cisco, “Cisco 10GBASE SFP+ Modules Data Sheet”, April 2016, Available: http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/transceiver-modules/data_sheet_c78-455693.html (last visited 2016/07/20)

[xxxiv] – FCCN – “RCTS Lambda - Ligações ponto-a-ponto com 1 ou 10Gbit/s de capacidade assegurada”, 2010, Available: <https://www.fccn.pt/pt/servicos/conectividade-e-infraestrutura/rcts-lambda/> (last visited 2016/07/20)

Anexos

Anexo A – Pós Graduação em Telecomunicações e Tecnologias de Informação



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

| | |
|--------------|-----------|
| Impresso.... | 0,24 Eur |
| Enº de Cert. | 32,00 Eur |
| Urgência.... | 0,00 Eur |
| Total | 32,24 Eur |

Núcleo de Pós-Graduação e Formação Contínua

Júlia da Conceição Pacífico de Oliveira, Coordenadora do(a) NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E FORMAÇÃO CONTÍNUA do INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

CERTIFICA que,

PEDRO MIGUEL LORGA MONTEIRO MARQUES -----
com Bilhete de Identidade N° 10379801 -----
natural de Abrantes -----
e nacionalidade PORTUGUESA -----

concluiu o curso conducente ao DIPLOMA DE FORMAÇÃO AVANÇADA (3º Ciclo) em TELECOMUNICAÇÕES E TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO, em 30 Junho 2011, com a classificação final de 17 (dezassete) valores tendo obtido o total de 36.0 ECTS com aproveitamento nas seguintes unidades curriculares:

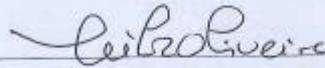
| | |
|--|--|
| ASPECTOS DE BASES DE DADOS - 3.0 ECTS, com 18 (dezoito) valores | |
| ASPECTOS DE SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES ----- | |
| ----- 3.0 ECTS, com 16 (dezasseis) valores | |
| MODELOS DE ENGENHARIA E GESTÃO ----- | |
| ----- 3.0 ECTS, com 14 (catorze) valores | |
| POLÍTICAS E REGULAÇÃO ----- 3.0 ECTS, com 16 (dezasseis) valores | |
| REDES DE TELECOMUNICAÇÕES DE NOVA GERAÇÃO ----- | |
| ----- 3.0 ECTS, com 19 (dezanove) valores | |
| REDES IP ----- 3.0 ECTS, com 19 (dezanove) valores | |

Aluno N° 70901
Identificador Fedido 22086/2011
Verificado por: Cato

Pág. 1 de 2

Luz

MIDDLEWARE ----- 3.0 ECTS, com 14 (catorze) valores
PLANEAMENTO DE REDES ----- 3.0 ECTS, com 17 (dezassete) valores
PROCESSAMENTO DE CONTEÚDOS - 3.0 ECTS, com 16 (dezasseis) valores
REDES INTEGRADAS ----- 3.0 ECTS, com 15 (quinze) valores
SEGURANÇA EM REDES E SISTEMAS -----
----- 3.0 ECTS, com 18 (dezoito) valores
SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS E SEM FIOS -----
----- 3.0 ECTS, com 17 (dezassete) valores



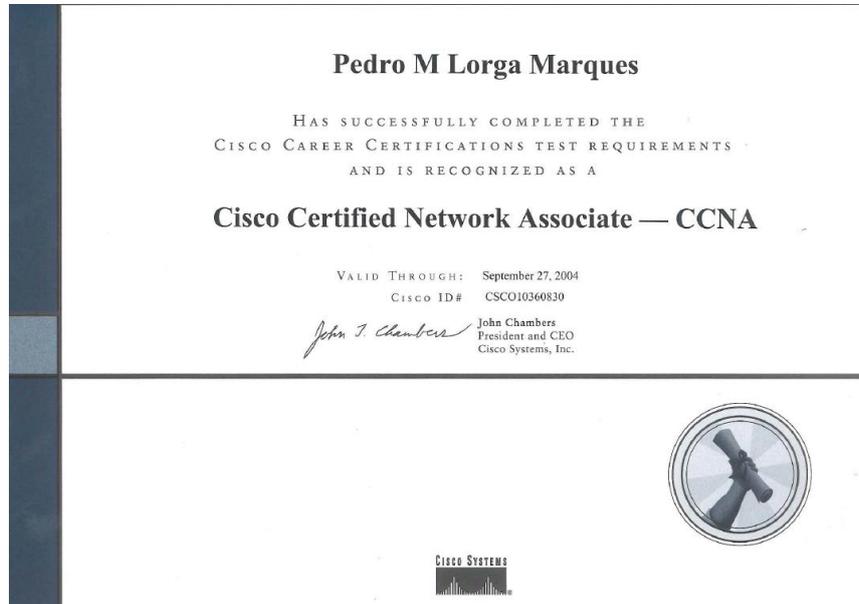
Júlia da Conceição Pacífico de Oliveira
Coordenadora do(a) Núcleo de Pós-Graduação e Formação Contínua

Instituto Superior Técnico, em Lisboa, 02 Dezembro 2011

Anexo B – Certificações Cisco

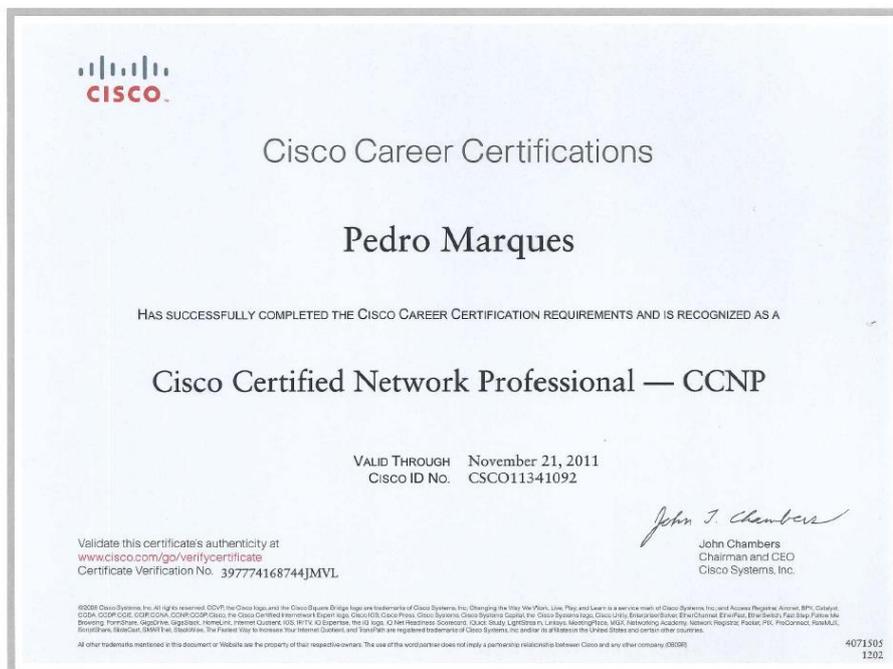
CCNA

(Recertificado em 2007)



CCNP

(Recertificado em 2011 e 2014)



CCDA



CCDP



Anexo C – Certificação Alcatel

NRS-1

