



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações e  
de Computadores**

**Ferramenta para análise de implementação de redes de acesso**

Daniel Ramos de Matos Camacho

Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações

**Orientadores:**

Doutor Pedro Renato Tavares de Pinho

**Júri:**

**Presidente:**

Eng<sup>o</sup> Nuno António Fraga Juliano Cota

**Vogais:**

Doutor António Luís Campos da Silva Topa  
Doutor Pedro Renato Tavares de Pinho

**Dezembro de 2020**





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações e  
de Computadores**

**Ferramenta para análise de implementação de redes de acesso**

Daniel Ramos de Matos Camacho

Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações

**Orientadores:**

Doutor Pedro Renato Tavares de Pinho

**Júri:**

**Presidente:**

Eng<sup>o</sup> Nuno António Fraga Juliano Cota

**Vogais:**

Doutor António Luís Campos da Silva Topa  
Doutor Pedro Renato Tavares de Pinho

**Dezembro de 2020**



## Agradecimentos

Quero começar por agradecer ao meu orientador de Mestrado, Professor Doutor Pedro Pinho, pelas suas sugestões do melhor caminho a seguir, pela sua disponibilidade e material técnico disponibilizado.

Agradeço ao Instituto de Telecomunicações de Aveiro pelo suporte à realização desta dissertação, nomeadamente no material técnico disponibilizado e no apoio à realização da dissertação.

Aos meus amigos em geral, que me acompanharam ao longo da vida e partilharam comigo bons e maus momentos.

Por último e mais importante, um agradecimento muito especial aos meus pais, por proporcionar todas as condições e por todo o apoio incondicional.



## Resumo

As redes de acesso em fibra ótica têm sido consideradas uma solução definitiva para a necessidade constante de larguras de banda cada vez mais elevadas. Por essa razão, as redes PON (*Passive Optical Network*) têm tido um crescimento enorme nos últimos anos, oferecendo diversas soluções ao cliente final quer este seja residencial ou empresarial. No entanto, o projeto das redes de acesso é um processo complexo e demorado.

Pretende-se com esta dissertação, o desenvolvimento de uma aplicação que, quando usada conjuntamente com o esquemático do projeto realizado no *software AutoCad*, realize, de uma forma automática, o levantamento dos equipamentos na célula projetada, o cálculo das atenuações, bem como o estudo tecno-económico da rede. Foram realizadas diversas simulações, para testar a viabilidade do *software*, para a análise da rede para o caso de existir apenas uma operadora, mas também numa situação em que duas operadoras a partilham a mesma infraestrutura.

Em termos médios, e com suporte ao *software* desenvolvido, pode afirmar-se que o custo de implementação de uma célula ronda valores entre 250 000 e 300 000 €. Caso a rede seja projetada para uma operadora, e admitindo uma taxa de penetração de 70%, o tempo de retorno é inferior a dois anos. No caso da rede ser partilha entre operadoras, admitindo uma taxa de penetração da rede de 100%, o tempo de retorno passaria a ser quatorze meses para uma operadora e nove meses para outra, sendo estes valores dependentes da taxa de penetração dos serviços oferecidos.

Palavras-chave: PON, GPON, Fibra Ótica, Rede de Acesso, Análise Tecno-Económica.



## ***Abstract***

Fiber optic access networks have been considered a definitive solution to the constant need for increasingly higher bandwidths. For this reason, PON (Passive Optical Network) networks have grown enormously in recent years, offering different solutions to the end customer, whether it is residential or business. However, the project of access networks is a complex and time-consuming process.

It is intended with this dissertation, the design of an application that, when used together with the schematic of the project, carried out in AutoCAD software, performs the survey of the equipment in the projected cell, attenuation calculations, as well as the techno-economic study of the network. Simulations were carried out, to test the viability of the software, for an analysis of the network in case there is one or two operators sharing it.

In average terms, and with the support of the developed software, it can be said that the cost of implementing a cell ranges from 250,000 to 300,000 €. If the network is designed for an operator, with a penetration rate of 70%, the turnaround time is less than two years. If the network is shared between operators, with a network penetration rate of 100%, the return time would be fourteen months for one operator and nine months for the other, being these values dependent on the penetration rate of the services offered.

Keywords: PON, GPON, Optic Fiber, Access Network, Techno-Economic Analysis.



# Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo .....	V
Índice .....	IX
Índice de Figuras.....	XIII
Índice de Tabelas .....	XV
Lista de Acrónimos .....	XVII
1. Introdução .....	1
1.1. Motivação .....	1
1.2. Objetivo Proposto .....	3
1.3. Organização da dissertação .....	3
1.4. Contribuição da dissertação .....	4
2. Rede de telecomunicações em fibra ótica .....	5
2.1. Rede principal (Core network).....	5
2.2. Rede Metropolitana.....	6
2.3. Rede de acesso.....	6
2.4. Fibra ótica na rede de acesso e sua evolução. ....	9
2.4.1. Arquiteturas FTTx.....	11
2.4.2. Redes AON.....	13
2.4.2.1. Ethernet Ativa.....	13
2.4.3. Rede PON .....	14
2.4.3.1. APON .....	15
2.4.3.2. BPON.....	15
2.4.3.3. EPON.....	15
2.4.3.4. GPON .....	16
2.4.3.5. XG – PON .....	19
2.4.3.6. XGS – PON.....	20
2.4.3.7. NG – PON2.....	21
2.4.4. Coexistência das redes PON.....	23
2.5. Técnicas de multiplexagem.....	24

---

2.5.1. TDM-PON.....	25
2.5.2. WDM-PON .....	26
2.5.2.1. DWDM-PON.....	27
2.5.2.2. CWDM-PON .....	28
2.5.3. TWDM-PON .....	29
2.5.4. OFDM-PON .....	30
2.6. <i>Softwares</i> de planeamento de redes em fibra ótica .....	31
2.6.1. AutoCAD .....	31
2.6.2. 3-GIS .....	31
2.6.3. Hawkeye Computing .....	32
2.6.4. ITS-Fiber Engineer .....	32
2.6.5. netTerrain OSP .....	33
2.6.6. VETRO FiberMap .....	33
3. Dimensionamento de uma rede GPON .....	35
3.1. 1ª fase: <i>Survey</i> .....	37
3.2. 2ª fase: Celulização .....	38
3.3. 3ª fase: Microcelulização .....	39
3.4. 4ª fase: Construção da rede.....	41
3.4.1. Construção OSP .....	41
3.4.2. Construção ISP.....	43
3.5. 5ª fase: Ensaio na rede.....	44
3.6. 6ª fase: Entrega do projeto.....	45
3.7. 7ª fase: Comercialização e marketing.....	45
4. Preparação e realização da simulação .....	47
4.1. Nomenclatura .....	47
4.2. Atributos dos blocos .....	48
4.2.1. Central Office: .....	48
4.2.2. Junta de Fusão Ótica: .....	48
4.2.3. Junta de Splittagem Ótica: .....	49
4.2.4. Edifício: .....	49
4.2.5. PDO:.....	50

---

---

4.2.6. Cabos de fibras: .....	50
4.3 Existência de vivendas na célula .....	52
4.4. Execução da simulação de um projeto GPON em Benfica .....	53
4.4.1. Extração de dados .....	53
4.4.2. Realização da simulação.....	54
4.4.2.1. Inicialização do software .....	54
4.4.2.2. Preparação da simulação .....	54
4.4.2.3. Output do software .....	55
5. Análise tecno-económica .....	63
5.1. Análise tecno-económica para uma operadora .....	63
5.1.1 Listagem de equipamentos .....	63
5.1.1.2 Localização dos splitters.....	66
5.1.2. Power Budget .....	66
5.1.3. Tempo de retorno do investimento.....	68
5.2. Análise tecno-económica para duas operadoras .....	70
5.2.1. Listagem de equipamento.....	70
5.2.1.1. Localização dos splitters .....	73
5.2.2. Power Budget .....	74
5.2.3. Estudo do tempo de retorno para diferentes cenários .....	75
6. Conclusões e Trabalho Futuro .....	79
6.1. Conclusões .....	79
6.2. Trabalho futuro .....	81
Referências .....	83



## Índice de Figuras

Figura 1 - Dados estatísticos da rede de fibra ótica em Portugal [1] .....	2
Figura 2 - Rede de telecomunicações [2] .....	5
Figura 3 - Rede metropolitana de fibra ótica em Lisboa e Porto, em 2005 [4] .....	6
Figura 4 - Tecnologias da rede de acesso [5] .....	7
Figura 5 - Rede de pares de cobre da ITUR [8] .....	7
Figura 6 - Rede coaxial da ITUR [8] .....	8
Figura 7 - Arquitetura HFC [7] .....	8
Figura 8 - Rede de Fibra Ótica da ITUR [8] .....	9
Figura 9 - Rede de acesso móvel 3G [9] .....	9
Figura 10 - Arquitetura de rede ponto-a-ponto [11] .....	10
Figura 11 - Arquitetura de rede ponto-multiponto [11] .....	10
Figura 12 - Arquiteturas FTTx [11] .....	11
Figura 13 - Aplicação do conceito FTTO [12] .....	12
Figura 14 - Rede Ethernet Ativa [10] .....	13
Figura 15 - Topologias física de transmissão na rede PON [20] .....	14
Figura 16 - Redes PON e respectivos débitos máximo em DS [21] .....	14
Figura 17 - Espectro da rede GPON [10] .....	17
Figura 18 - Mensagem de ranging, adaptado de [32] .....	18
Figura 19 - Algoritmo DBA, adaptado de [34] .....	19
Figura 20 - Coexistência entre a rede XGPON e GPON [35] .....	20
Figura 21 - Coexistência da rede XGSPON com a rede já existente [39] .....	21
Figura 22 - coexistência com redes anteriores [45] .....	22
Figura 23 - Arquitetura da rede NG-PON2 [47] .....	22
Figura 24 - comprimentos de onda em DS das redes PON [47] .....	24
Figura 25 - comprimentos de onda em US das redes PON [47] .....	24
Figura 26 - Tecnologias e respetivas técnicas de multiplexagem [11] .....	25
Figura 27 - Técnica de multiplexagem TDM-PON, adaptado de [50] .....	26
Figura 28 - Técnica de multiplexagem WDM-PON [51] .....	26
Figura 29 - Técnica de multiplexagem DWDM [7] .....	27
Figura 30 - Esquema de arquitetura DWDM PON, adaptado de [53] .....	27
Figura 31 - Coexistência da Técnica DWDM com as redes PON [48] .....	28
Figura 32 - Técnica de multiplexagem TWDM-PON [61] .....	29
Figura 33- protótipo de sistema TWDM de 40 Gbps e a coexistência com outras redes [61] .....	29
Figura 34 - Técnica de multiplexagem OFDM-PON [65] .....	30
Figura 35 - Fluxograma das fases do projeto FTTH [11] .....	36
Figura 36 - Apresentação de dados em AutoCad [66] .....	38

---

Figura 37 - Processos de Celulização e Microcelulização, em Benfica [11] .....	40
Figura 38 - Equipamentos na rede OSP, adaptado de [11] .....	41
Figura 39 - Exemplo de equipamentos instalados no Central Office [66].....	42
Figura 40 - Módulos do PDO [11] .....	44
Figura 41 - Exemplo do uso de labels como bloco de AutoCAD.....	48
Figura 42 - Utilização de ONT em vivendas .....	52
Figura 43 - Representação da célula alvo da simulação.....	53
Figura 44 - Exemplificação da escolha de atributos a serem extraídos .....	53
Figura 45 - Ambiente inicial do software .....	54
Figura 46 - Preparação dos tarifários da operadora .....	55
Figura 47 - Ambiente gráfico da simulação .....	56
Figura 48 - Output da extração de material .....	57
Figura 49 - Contabilização dos componentes para o cálculo da atenuação teórica, adaptado de [11] .....	58
Figura 50 - Output do cálculo das atenuações teóricas .....	61
Figura 51 - Localização dos splitters na rede simulada .....	61
Figura 52 - Output da previsão financeira.....	62
Figura 53 - Previsão financeira da célula.....	69
Figura 54 - Previsão financeira das operadoras. ....	76

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Normalização GPON [29] .....	16
Tabela 2 - Débitos dos canais TWDM para NG-PON2, adaptado de [47] .....	23
Tabela 3 - Débitos dos canais TWDM para PtP WDM, adaptado de [47] .....	23
Tabela 4 - Comparação entre redes PON .....	24
Tabela 5 - Dimensões das células [11].....	38
Tabela 6 - Definição das fibras no cabo de 144 FO [11] .....	39
Tabela 7 - Limites de UAs das Microcelulas [66] .....	39
Tabela 8 - Possíveis configurações do ODF [11] .....	43
Tabela 9 - Configurações do armário agregador [66].....	43
Tabela 10 - Nomenclatura dos blocos do AutoCAD .....	47
Tabela 11 - Atributos da JFO.....	49
Tabela 12 - Atributos da JSO.....	49
Tabela 13 - Atributos do edifício .....	49
Tabela 14 - Atributos do PDO .....	50
Tabela 15 - Atributos do cabo de fibras .....	51
Tabela 16 - Nomenclatura do bloco ONT .....	52
Tabela 17 - Atributo do bloco ONT.....	52
Tabela 18 - Atenuação teórica.....	59
Tabela 19 - Valores típicos em ONT e OLT .....	60
Tabela 20 - Análise Tecno-Económica manual da célula BEN04.....	64
Tabela 21 - Localização dos splitters da rede .....	66
Tabela 22 - Output parcial do Link Loss Budget .....	67
Tabela 23 - Tarifários oferecidos .....	68
Tabela 24 - Taxa de penetração dos tarifários, simulação 1. ....	68
Tabela 25 - Rendimento acumulado a 4 anos. ....	70
Tabela 26 - Listagem de equipamentos para duas operadoras. ....	71
Tabela 27 - Localização dos splitters da rede partilhada. ....	73
Tabela 28 - Output parcial dos cálculos do loss budget. ....	74
Tabela 29 - Tarifários da operadoras A. ....	75
Tabela 30 - Tarifários da operadoras B.....	75
Tabela 31 - Taxa de penetração dos tarifários para a operadora A. ....	76
Tabela 32 - Taxa de penetração dos tarifários para a operadora B .....	76
Tabela 33 - Rendimento acumulado das operadoras. ....	77



## Lista de Acrónimos

<b>ANACOM</b>	–	Autoridade Nacional de Comunicações
<b>AON</b>	–	Active Optical Network
<b>APON</b>	–	Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network
<b>ATM</b>	–	Asynchronous Transfer Mode
<b>BPON</b>	–	Broadband Passive Optical Network
<b>CAPEX</b>	–	Capital Expenditure
<b>CO</b>	–	Central Office
<b>CV</b>	–	Câmara de Visita
<b>DBA</b>	–	Dynamic Bandwidth Assignment
<b>DBRu</b>	–	Dynamic Bandwidth Report upstream
<b>DCF</b>	–	Dispersion Compensation Fiber
<b>DS</b>	–	Downstream
<b>DSL</b>	–	Digital Subscriber Line
<b>DVB-C</b>	–	Digital Video Broadcasting - Cable
<b>DWDM PON</b>	–	Dense Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network
<b>EPON</b>	–	Ethernet Passive Optical Network
<b>FO</b>	–	Fibra ótica
<b>FSAN</b>	–	Full-Service SBU Access Network
<b>FTTB</b>	–	Fiber To The Building
<b>FTTcab</b>	–	Fiber To The Cabinet
<b>FTTCell</b>	–	Fiber To The Cell site
<b>FTTCurb</b>	–	Fiber To The Curb
<b>FTTH</b>	–	Fiber To The Home
<b>FTTN</b>	–	Fiber To The Node
<b>FTTO</b>	–	Fiber To the Office
<b>FTTP</b>	–	Fiber To The Premises
<b>FTTx</b>	–	Fiber to the x
<b>GEM</b>	–	GPON Encapsulation Method
<b>GEPON</b>	–	Gigabit Ethernet Passive Optical Network
<b>GPON</b>	–	Gigabit Passive Optical Network
<b>GTC</b>	–	GPON Transmission Convergence
<b>HFC</b>	–	Hybrid Fiber Coaxial
<b>HP</b>	–	House Planned
<b>IEEE</b>	–	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IPTV</b>	–	Internet Protocol Television
<b>ISP</b>	–	Internet Service Provider
<b>ITED</b>	–	Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios
<b>ITU</b>	–	International Telecommunication Union
<b>JFO</b>	–	Junta de Fusão Ótica
<b>JSO</b>	–	Junta de Splittagem Ótica
<b>MAN</b>	–	Metropolitan Area Network
<b>MC</b>	–	Microcélula
<b>NG-PON</b>	–	Next Generation Passive Optical Network

---

<b>NG-PON2</b>	–	Next Generation Passive Optical Network 2
<b>NG-PON3</b>	–	Next Generation Passive Optical Network 3
<b>ODF</b>	–	Optical Distribution Frame
<b>ODN</b>	–	Optical Distribution Network
<b>OFDM PON</b>	–	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Passive Optical Network
<b>OLT</b>	–	Optical Line Terminal
<b>ONT</b>	–	Optical Network Terminal
<b>OP</b>	–	Operadora
<b>OPEX</b>	–	Operational Expenditure
<b>ORAC</b>	–	Oferta de Referência de Acesso a Conduas
<b>ORAP</b>	–	Oferta de Referência de Acesso a Postes
<b>OSP</b>	–	OutSide Plant
<b>OTDR</b>	–	Optical Time-Domain Reflectometer
<b>P2MP</b>	–	Ponto-a-multiponto
<b>PDO</b>	–	Ponto de Distribuição Ótica
<b>PLOAMu</b>	–	Physical Layer Operations, Administration, and Maintenance upstream
<b>PON</b>	–	Passive Optical Network
<b>POTS</b>	–	Plain Old Telephone Service
<b>PtP WDM</b>	–	Point-to-Point Wavelength Division Multiplexing
<b>RGE</b>	–	Repartidor Geral dos Edifícios
<b>RITA</b>	–	Regulamento de Instalações Telefônicas de Assinante
<b>RN</b>	–	Remote node
<b>SONET</b>	–	Synchronous Optical Networking
<b>SP</b>	–	Service Provider
<b>T-CONT</b>	–	Transmission Containers
<b>TDM</b>	–	Time Division Multiplexing
<b>TDMA</b>	–	Time Division Multiple Access
<b>TWDM PON</b>	–	Time Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network
<b>UA</b>	–	Unidade de alojamento
<b>US</b>	–	Upstream
<b>VDSL</b>	–	Very High-speed Digital Subscriber Line
<b>VLR</b>	–	Very Long Range
<b>VoD</b>	–	Video-on-Demand
<b>VoIP</b>	–	Voice over IP
<b>WDM</b>	–	Wavelength Division Multiplexing
<b>WDM PON</b>	–	Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network
<b>XGPON</b>	–	10-Gigabit-capable Passive Optical Network 1
<b>XGPON2</b>	–	10-Gigabit-capable Passive Optical Network 2
<b>XGS-PON</b>	–	10-Gigabit-Capable Symmetric Passive Optical Network

# 1. Introdução

Atualmente vivemos num mundo interligado em que as telecomunicações fazem o encurtamento de distâncias entre continentes e pessoas. Um mundo onde o grande desafio das operadoras consiste em proporcionar a maior largura de banda possível para o maior número de utilizadores com terminais e serviços distintos.

O segmento da rede que permite a interligação entre o cliente e a operadora é designado por rede de acesso. Este segmento permite o acesso aos serviços oferecidos e a partilha de dados. As redes de acesso de banda larga, baseadas em fibra ótica, suportam taxas de transmissão de centenas de Mbps, ou mesmo Gbps.

A instalação de fibra ótica na rede acesso, com o objetivo de fornecer uma largura de banda e uma qualidade de serviço adequado para os diferentes serviços, é um processo dispendioso. Enquanto a exigência do consumidor sobre a largura de banda continua a crescer, foram estudadas soluções para o desenvolvimento das redes de acesso. A solução FTTx (*Fiber to the x*) torna-se o foco das operadoras no desenvolvimento da rede, tendo como objetivo levar a fibra o mais próximo possível dos clientes e tornar a rede compatível com as futuras tecnologias de fibra ótica.

## 1.1. Motivação

Nos últimos anos, as redes de acesso têm sofrido um grande crescimento tanto na procura como na oferta de serviços, quer em *downstream* como em *upstream*. Até há pouco tempo as infraestruturas de telecomunicações dominantes na rede de acesso eram os pares de cobre, sendo que estes demonstravam algumas limitações, tanto em termos de débito binário, como distâncias ou de ausência de potencial para emergir para novas tecnologias.

Segundo um estudo publicado pela ANACOM, estima-se que no fim do primeiro semestre de 2020, no mínimo, cerca de 5,5 milhões de alojamentos estão cablados com uma rede de alta velocidade [1]. A cobertura das redes de fibra ótica está presente em 86,5% dos alojamentos, os serviços de alta velocidade são subscritos por 70.1% das famílias portuguesas [1]. A Figura 1 representa os dados estatísticos das redes de fibra ótica em Portugal no primeiro semestre de 2020.



Figura 1 - Dados estatísticos da rede de fibra ótica em Portugal [1]

Sendo assim, a introdução de fibra ótica nas redes de acesso emergiu como a solução viável para responder ao crescimento exponencial da procura de serviços cada vez mais exigentes. Para tal, as operadoras em Portugal têm investido em grande escala na implementação da rede GPON e das suas variantes.

Para dimensionar uma rede em fibra ótica, com o intuito de aumentar a largura de banda, aumentar a distância de transmissão e o número de utilizadores é necessário ter em conta todos os parâmetros associados à sua implementação. Estas têm em vista o custo dos equipamentos, limitações de desempenho, classes dos equipamentos e os requisitos das operadoras. Sendo assim, a realização de projetos de redes de acesso torna-se num processo complexo, que torna o processo de aparecimento e crescimento das redes de fibra ótica mais lento.

## 1.2. Objetivo Proposto

O objetivo desta dissertação de mestrado é desenvolver uma aplicação de simulação para planeamento de redes PON (*Passive Optical Network*). Pretende-se que esta aplicação realize o dimensionamento e análise tecno-económica de uma rede PON para diferentes cenários.

Esta aplicação será desenvolvida em linguagem MATLAB com o objetivo de complementar a ferramenta de desenho AutoCAD. Com esta aplicação será possível, através da leitura dos ficheiros de AutoCAD, realizar o dimensionamento e uma estimativa rigorosa dos valores envolvidos na implementação da rede, possibilitando à posteriori uma análise tecno-económica da rede dimensionada.

Para esta dissertação são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar as evoluções das tecnologias PON na rede de acesso, este estudo inclui o estudo das redes PON, técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda e arquiteturas usadas (FTTx);
- Projetar uma rede GPON FTTH numa determinada área de cobertura;
- Estabelecimento de uma nova estrutura de dados para projetos realizados em AutoCAD;
- Efetuar a respetiva análise tecno-económica da rede PON dimensionada e calcular o tempo de retorno do investimento inicial, *payback*, com o *software desenvolvido*.

## 1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação é construída por 6 capítulos, com a seguinte estrutura:

**Capítulo 1 - Introdução:** Neste primeiro capítulo é descrita de forma resumida o conteúdo da dissertação, motivação, objetivos a serem cumpridos e quais as principais contribuições desta dissertação.

**Capítulo 2 - Rede de telecomunicações em fibra ótica:** Neste capítulo é apresentada uma abordagem teórica dos principais segmentos que compõem as redes de telecomunicações, com destaque para a rede de acesso. É também realizada uma abordagem teórica das principais tecnologias das redes de fibra ótica na rede de acesso. Por fim, são descritas diferentes ferramentas de realização de planeamento de redes de fibra ótica.

**Capítulo 3 - Dimensionamento da rede GPON:** Neste capítulo apresentam-se as diferentes fases do dimensionamento de uma rede GPON.

**Capítulo 4 – Desenvolvimento da aplicação:** Neste capítulo é sugerida uma nova estrutura para projetos de redes de acesso realizados em AutoCAD, de modo a que seja possível associá-lo à aplicação que se pretende desenvolver. Para tal, é proposto a introdução de nomes, atributos aos blocos do AutoCAD e *labels*. Neste capítulo é também descrito, de forma resumida, como preparar a simulação da rede de acesso dimensionada e o funcionamento da aplicação em termos teóricos.

**Capítulo 5 - Análise tecno-económica:** Neste capítulo são analisados os resultados da simulação da aplicação para uma célula em Benfica, caso exista uma ou duas operadoras, que acordaram em dividir o custo da rede. Esta análise consiste em:

- Observação da listagem de material da célula projetada, desde o CO até à rede do cliente;
- Verificação das perdas totais da rede, desde o CO até à rede do cliente;
- Análise do custo total da construção da célula em questão e determinação do período de recuperação desse investimento inicial, em função da taxa de penetração e o custo dos tarifários, para cada operadora.

**Capítulo 6 - Conclusões:** Neste capítulo são apresentadas as conclusões da dissertação e propostas de trabalho futuro.

#### 1.4. Contribuição da dissertação

A contribuição desta dissertação centra-se nos capítulos 4 e 5. Utilizou-se a ferramenta MATLAB para o desenvolvimento de uma aplicação com a finalidade de leitura e processamento de dados extraídos do AutoCAD. Tal como dito anteriormente, esta aplicação tem como objetivo principal realizar a listagem de material, cálculo de custos e o estudo tecno-económico da rede de modo a tornar este processo, que atualmente é realizado sem acesso a *software*, num processo automático, eficiente e rápido.

## 2. Rede de telecomunicações em fibra ótica

Uma rede de telecomunicações é todo o conjunto de nós que permitem que seja possível a comunicação entre uma operadora e um cliente. As telecomunicações facilitam a comunicação e a transferência de informações a grandes distâncias. Por exemplo, as empresas usam telecomunicações para expandir a sua rede. A rede de Internet, a mais relevante nos dias de hoje, conecta o mundo inteiro. Esta permite que os seus utilizadores acedam a qualquer tipo de informação a qualquer altura e em poucos segundos. Toda a rede de comunicações em fibra ótica pode ser dividida em rede core, rede metropolitana e rede de acesso. A Figura 2 demonstra a interação entre os diferentes tipos de redes.

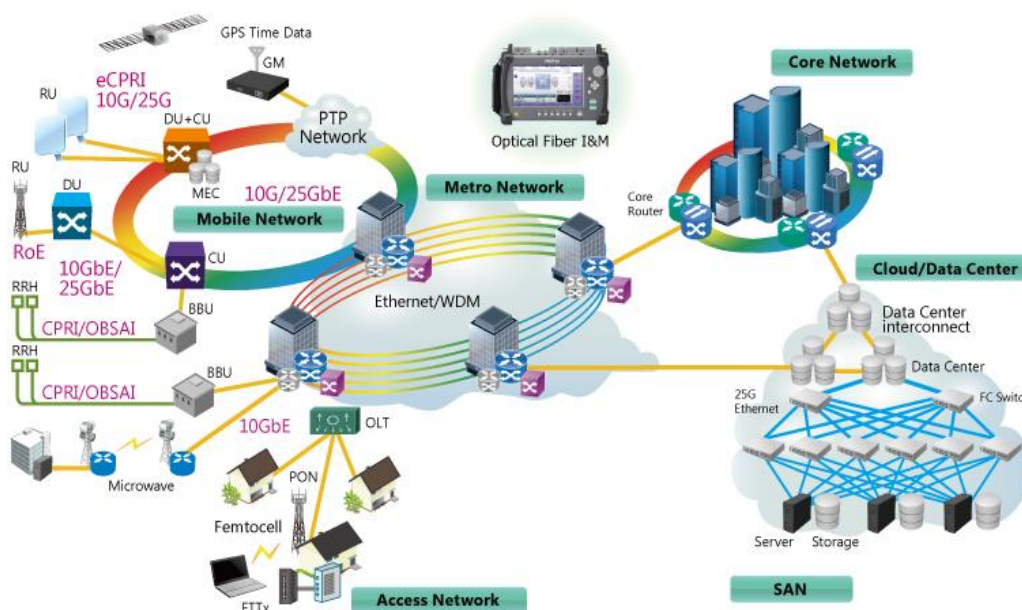


Figura 2 - Rede de telecomunicações [2]

### 2.1. Rede principal (Core network)

Uma rede principal é a parte principal de uma rede de telecomunicações que oferece os vários serviços de telefone e internet aos utilizadores interconectados nas redes de acesso. A rede *core* apresenta várias características. Esta implementa

autenticação do cliente, executa o controlo e comutação de chamadas, realiza a gestão de carga, tratando do processamento e agrupamento dos dados criados pelos vários nós da rede. E por fim, uma rede core oferece serviços de Gateway para oferecer acesso a outras redes e serviços.

Atualmente, o padrão definido pelo ITU-T para a rede *core* de fibra ótica é o OTN (Optical Transport Network) [3]. Relativamente aos padrões utilizados anteriormente, SONET e SDH, o OTN foi projetado para fornecer suporte para redes óticas WDM [3].

## 2.2. Rede Metropolitana

A rede metropolitana, também conhecida como MAN (Metropolitan Area Network), é caracterizada por ter um alcance maior que as redes de acesso abrangendo cidades inteiras e adjacentes ou regiões metropolitanas com débitos elevados. A rede metropolitana funciona sobre a segunda camada do modelo OSI (Open Systems Interconnection), a camada de *data link*. Sendo assim, uma rede metro faz a distribuição da rede por uma cidade e a interligação entre as redes de acesso, onde se situam os utilizadores, e a rede core, onde se encontram os serviços oferecidos pelo SP. Esta rede, assim como a rede de acesso, não é necessariamente pertencente a uma única operadora, podendo ser compartilhada com outras operadoras. Exemplo prático de uma rede metropolitana podem ser observada através da Figura 3. A Figura 3 representa a rede metropolitana de fibra ótica em Lisboa e no Porto em 2005 pertencente à Novis.

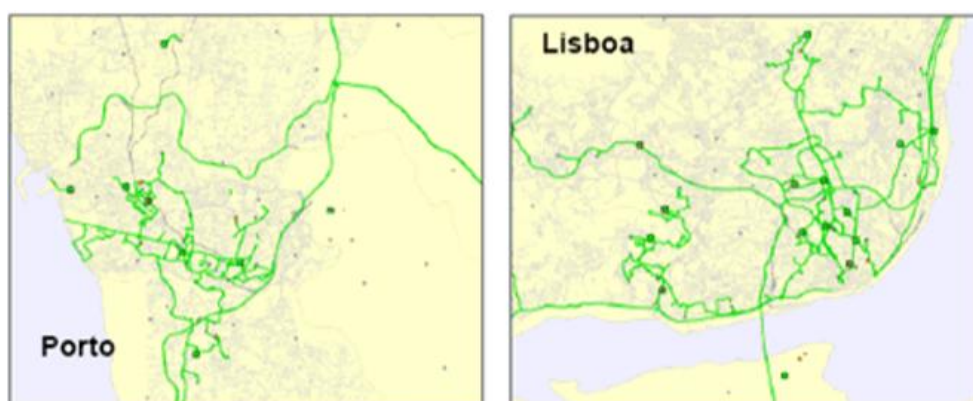


Figura 3 - Rede metropolitana de fibra ótica em Lisboa e Porto, em 2005 [4]

## 2.3. Rede de acesso

As redes de acesso fazem a ligação entre os equipamentos do cliente e os comutadores nas centrais locais do operador. Estas redes podem ser *wireless* ou podem utilizar cabos, utilizando diferentes tipos de material, espectros de frequências e

tecnologias. A Figura 4 demonstra a evolução das tecnologias da rede de acesso de 1992 até 2017.

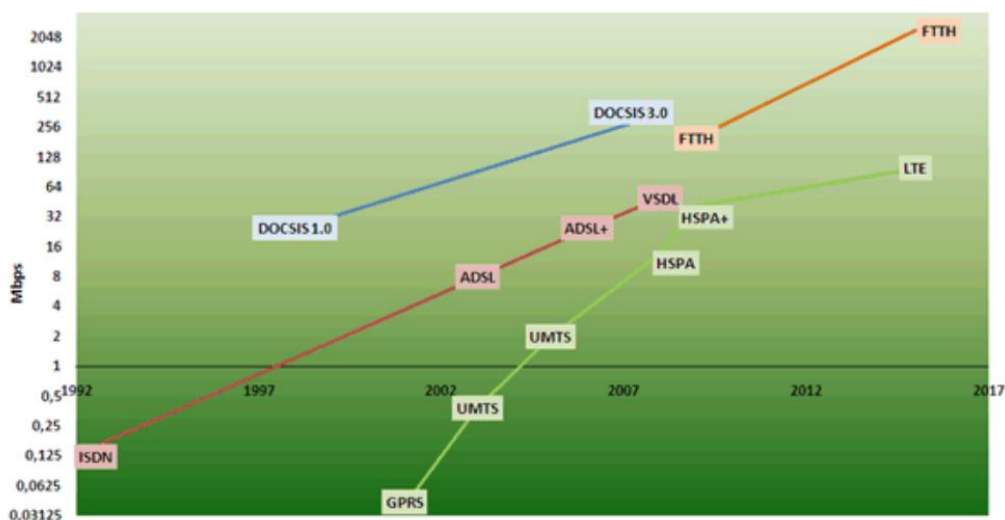


Figura 4 - Tecnologias da rede de acesso [5]

As redes de pares de cobre, usadas como redes telefônicas (POTS - Plain Old Telephony Service) e redes xDSL (Digital Subscriber Line). Esta família de tecnologias, xDSL, estabelece um circuito permanente de pares de cobre entre o utilizador e o *service provider* (SP), fornecendo uma maior velocidade de transmissão comparativamente a RDIS. Em ITUR, o projeto da rede de pares de cobre da ITUR privada deve ser elaborado assegurando uma rede em estrela entre o RU-PC, instalado no ATU, e os RG-PC no ATE, ou RC-PC no ATI (Armário de Telecomunicações Individual), conforme exemplificado a Figura 5.

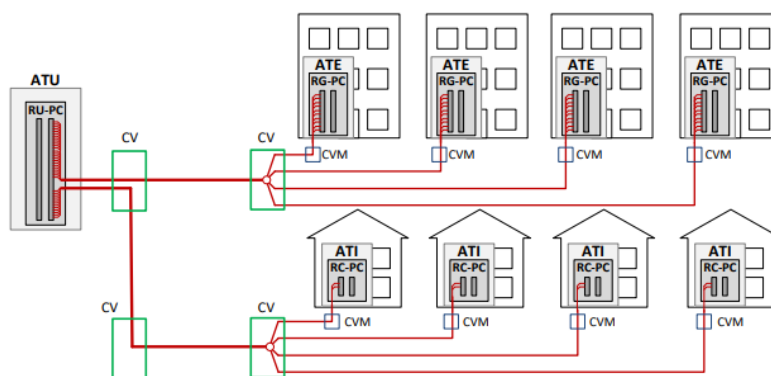


Figura 5 - Rede de pares de cobre da ITUR [8]

A rede de cabo coaxial, inicialmente usada para a transmissão de televisão, mas atualmente também usado para transmissão de dados e voz. O projetista das redes coaxiais deve adotar as soluções que melhor se adaptem às necessidades da ITUR, podendo optar por projetar as topologias em estrela, árvore ou mista. A Figura 6 ilustra os troços constituintes da rede coaxial de uma ITUR.

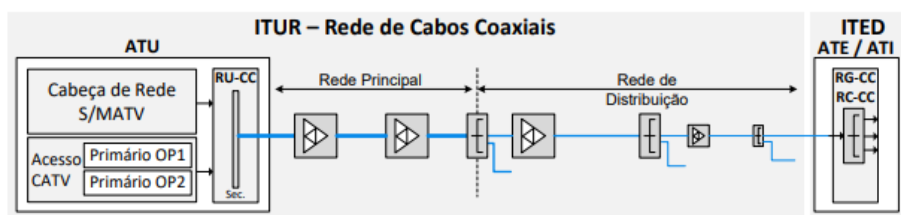


Figura 6 - Rede coaxial da ITUR [8]

Atualmente existe a necessidade de atualização das infraestruturas de telecomunicações existentes para fibra ótica, devido à elevada necessidade de débitos altos para os perfis atuais de consumo de dados. A rede de acesso das redes de difusão de televisão por cabo é, na grande maioria, uma rede híbrida – HFC (*Hybrid Fibre/Coax*), ou seja, usa uma mistura das tecnologias de cabo coaxial e fibra ótica. Uma Rede híbrida é usada tanto para TV analógica, TV digital de alta definição como para acesso à internet em alta velocidade. É uma rede com taxa de transmissão compartilhada e não dedicada como no caso da ADSL, possuindo uma taxa de transmissão de até 38Mbps por canal utilizado, que no caso de ser utilizando DOCSIS 3.0 (Data Over Cable Service Interface Specification) existe a possibilidade de usar múltiplos canais atingindo taxas de transmissão de 1Gbps em downstream [6]. A Figura 7 apresenta a arquitetura típica de uma rede de acesso HFC, onde a ligação entre o nó de acesso e a cabeça da rede é efetuado em fibra ótica e a distribuição do sinal pelos utilizadores é feita com cabo coaxial numa topologia em árvore.

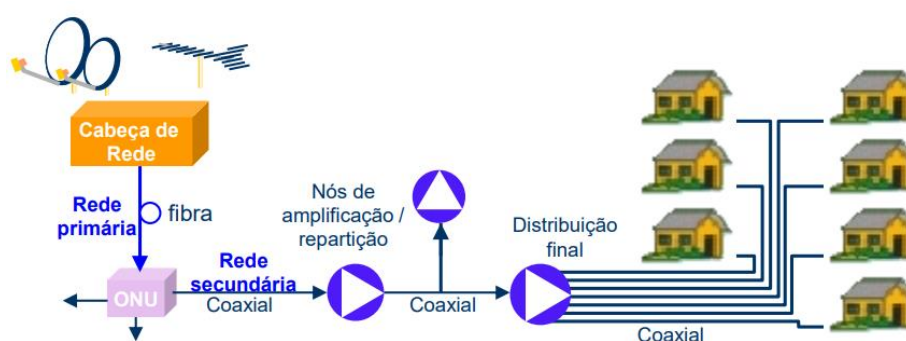


Figura 7 - Arquitetura HFC [7]

A rede de fibra ótica, inicialmente era utilizada na rede *core* para transmissões de alto débito. Atualmente esta é aplicada nas novas redes de acesso com elevados débitos para os seus utilizadores. A Figura 8 ilustra uma rede de acesso de fibra ótica da ITUR.

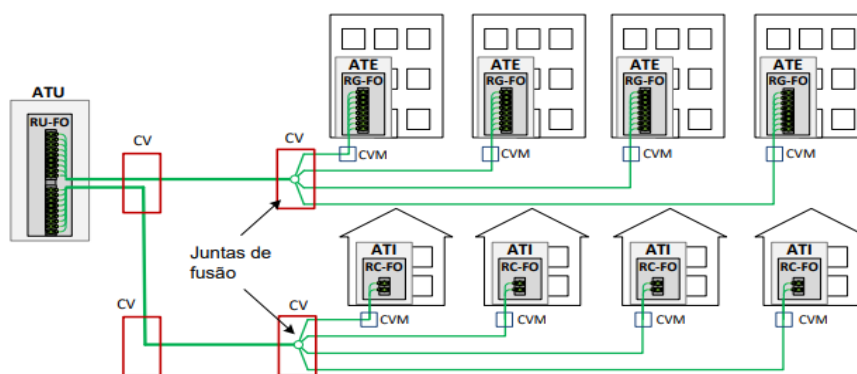


Figura 8 - Rede de Fibra Óptica da ITUR [8]

A rede *Wireless*, usada em redes de telecomunicações rádio, é uma rede distribuída em várias células, estações base, cada uma servida por pelo menos um *transceiver* de localização fixa. As estações base fornecem à célula a cobertura de rede que pode ser usada para transmissão de voz e dados. A Figura 9 ilustra uma rede de acesso *wireless*.

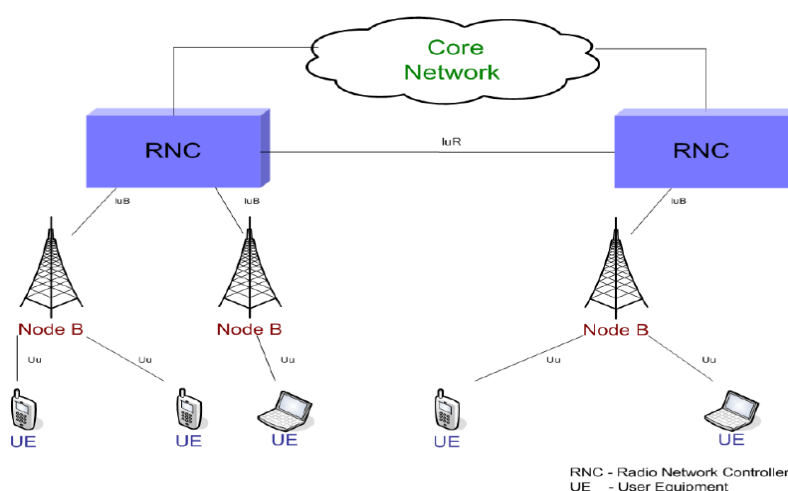


Figura 9 - Rede de acesso móvel 3G [9]

A escolha da tecnologia e meio físico adequado é dependente de largura de banda que se deseja ter, da distância que se pretende alcançar entre outros fatores.

## 2.4. Fibra óptica na rede de acesso e sua evolução.

As redes FTTx podem ser implementadas através de arquiteturas ponto-a-ponto e/ou ponto-multiponto (P2MP). A topologia ponto-a-ponto é uma rede bidirecional com base nos dois comprimentos de onda, US e DS, na mesma fibra que utiliza a topologia física em estrela. Consiste na instalação de uma fibra diretamente entre o OLT e um ONT, sem a existência de quaisquer equipamentos óticos entre os mesmos. Normalmente são utilizadas em arquitetura FTTO, para as grandes empresas que

pretendem débitos elevados, melhores prestações de serviços, visto que não há partilha de meios físicos na rede. As grandes desvantagens desta arquitetura para as operadoras estão no facto de utilizar uma fibra para cada cliente, ou seja, há um laser emissor e um recetor dedicado a cada um dos clientes, o que implica grandes custos. E no facto de existir maior consumo de energia no OLT, dado que existe um terminal de linha ótica por cliente. As grandes vantagens estão no facto de possibilitarem débitos elevados, prestação de um serviço com qualidade e maior segurança na rede, pois o OLT dedicado fica imune a possíveis perturbações provocadas por outros utilizadores [10]. Na Figura 10 está apresentada a topologia ponto-a-ponto que, como dito anteriormente, cada utilizador tem uma fibra dedicada.

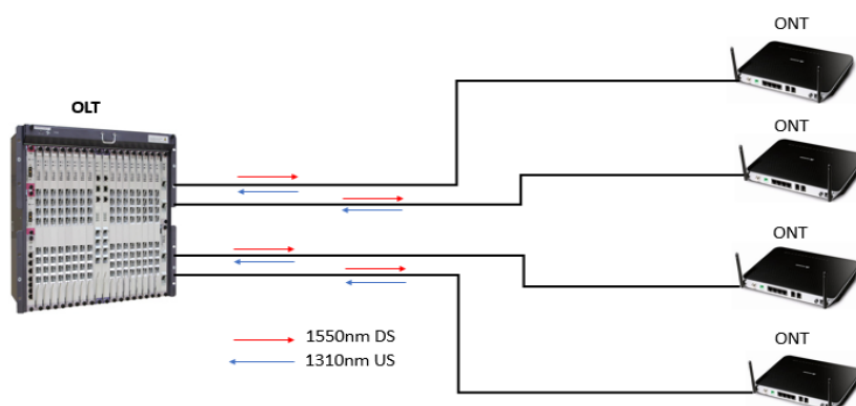


Figura 10 - Arquitetura de rede ponto-a-ponto [11]

A topologia ponto-multiponto apresentada na Figura 11, também bidirecional, é utilizada pelas operadoras para oferecer serviços aos clientes residenciais, pelo facto de esta partilhar a largura de banda entre os utilizadores e permitir débitos elevados. Permite utilizar técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda, isto é, consegue-se agregar vários serviços na mesma fibra de uma rede de acesso e distribuí-los para N utilizadores. A desvantagem em relação à arquitetura anterior está no débito oferecido, pois caso seja utilizado um comprimento de onda, o mais comum, existe a partilha de recursos entre utilizadores.

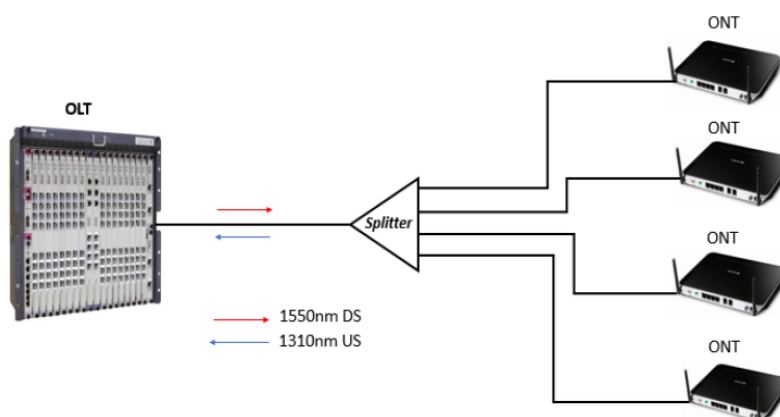


Figura 11 - Arquitetura de rede ponto-multiponto [11]

Os tráfegos em DS e US, são analisados de forma diferentes. Em DS, do sentido OLT ao ONT, o encaminhamento das tramas é feito em *broadcast* utilizando TDM (Time-division multiplexing). Enquanto no sentido US, do sentido ONT ao OLT são combinados através de um protocolo de acesso múltiplo TDMA (Time-division multiple access).

#### 2.4.1. Arquiteturas FTTx

A arquitetura para as redes de acesso de fibra ótica FTTx surgiu com o objetivo trazer a fibra mais próximo possível dos clientes, ou num dos casos até a casa dos mesmos. Em comparação com as tecnologias de acesso anteriores, esta tecnologia veio aumentar a largura de banda na rede de acesso. Ou seja, altas velocidades de internet em DS e US que permita os subscritores usufruir dos serviços de voz, vídeos e dados com qualidade adequada, uma rede com custos operacionais mais baixos e redução nos números de equipamentos ativos. A vantagem da fibra em relação ao cabo coaxial está na possibilidade de transmissão de serviços de televisão, enquanto em cabo coaxial a maior parte dos programas de televisão vem em DVB-C (*Digital Video Broadcasting - Cable*) não atingindo grandes distâncias, enquanto na fibra os canais podem ser transmitidos em IPTV ou no comprimento de onda RF Overlay.

As redes FTTx dependendo do ponto da terminação da fibra em relação aos clientes têm designações diferentes, a Figura 12 demonstra algumas das principais arquiteturas de distribuição da fibra ótica na rede de acesso.

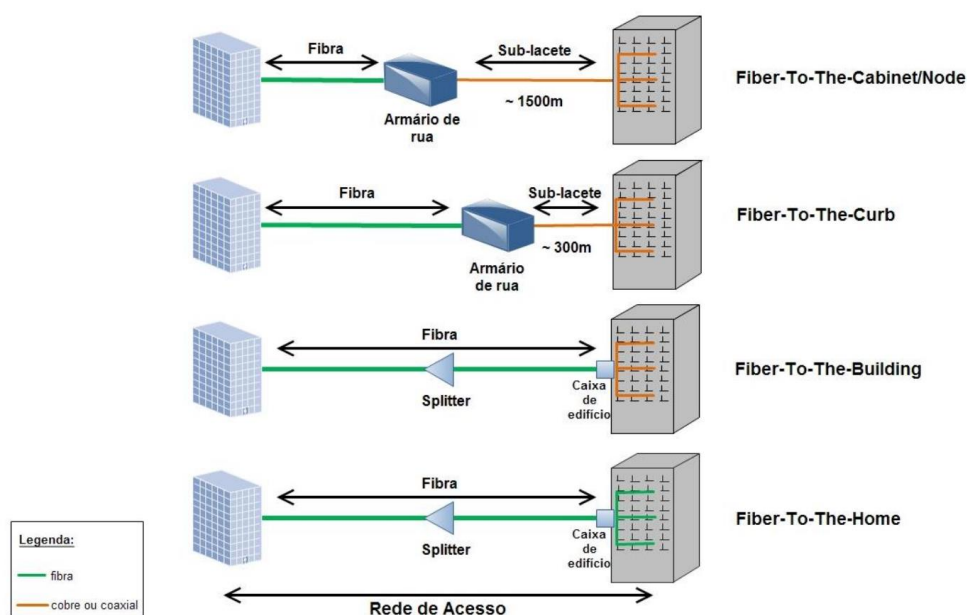


Figura 12 - Arquiteturas FTTx [11]

**FTTH (*Fiber-to-the-home*):** Leva a fibra até as instalações dos clientes, em que o ONT será instalado dentro das casas dos clientes. Atualmente, os novos edifícios estão equipados para receber esta tecnologia. Na tomada na rede do cliente liga-se um router que dá acesso aos dados (*wireless* ou ligação por cabos) e voz (POTS) e uma box que transmite os canais televisivos através da IPTV. A grande vantagem desta rede está no transporte destes serviços até à casa dos clientes, sobre uma rede totalmente passiva. Como desvantagens está no facto de ter um investimento bastante elevado em relação às outras.

**FTTO (*Fiber-to-the-office*):** Em FTTO a fibra ótica chega até o interior do mesmo escritório. Combina as vantagens da tecnologia de fibra ótica altamente eficiente com a flexibilidade do par de cobre. O cabeamento de cobre é usado exclusivamente para conectar equipamentos terminais. Tendo as vantagens de pouco volume de cablagem, sendo feita uma distribuição em fibra ótica, redundância opcional, fácil implementação, fácil administração e flexível. A Figura 13 ilustra a instalação a aplicação do conceito de FTTO a um caso de uma empresa.

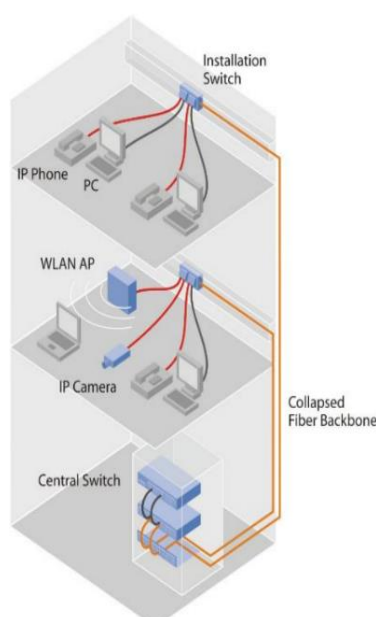


Figura 13 - Aplicação do conceito FTTO [12]

**FTTB (*Fiber-to-the-building*):** Ligação da fibra ótica vai até às instalações dos clientes, onde a divisão do sinal é feita através de um equipamento ótico passivo. Esta rede normalmente encontra-se nos antigos edifícios, ou seja, o ONT está situado à entrada dos edifícios onde existem armários de telecomunicações. O resto da ligação é feita através de pares cobre ou coaxial, por exemplo.

**FTTP (*Fiber-to-the-premises*):** Como termo genérico para designar as arquiteturas FTTH e FTTB, ou quando a rede de fibra ótica inclui tanto moradias como pequenos negócios [13][14].

As redes **FTTC (Fiber-To-The-Curb)** e **FTTN (Fiber-To-The-Node)** são designadas para as situações onde os cabos da fibra ótica terminam no armário de rua ou ONU. Estes encontram-se localizados a uma distância de aproximadamente de 300m (FTTC) ou 1500m (FTTN) da casa do cliente [15]. A partir da ONU podem ser utilizados outros meios físicos de transmissão, como pares de cobre ou cabo coaxial até a NT. Esta arquitetura é utilizada na rede VDSL, que a terminação da rede ótica se encontra num armário de rua, que será uma infraestrutura de suporte à rede de acesso de cobre existente [16]. A arquitetura FTTN também poderá ter a denominação de Fiber-To-The-cabinet.

**FTTA (Fiber-to-the-antenna)** ou **FTTCell (em XG-PON)**: Fibra até à antena é uma nova geração de conexão de alto rendimento e débito até à antena, devido à elevada exigência de serviços dos usuários da RAN (*Rádio Access Network*) de redes móveis LTE e novas gerações [17].

#### 2.4.2. Redes AON

A rede ótica ativa, ou rede AON, é uma instalação de fibras óticas até as instalações do assinante. Os dados transportados podem ir dos poucos Mbps até os Gbps [7]. A Ethernet Ativa é um exemplo das redes AON, que é uma tecnologia que implica grandes custos para as operadoras devido aos elementos ativos existente na rede de acesso, como: regeneradores, *multiplexers*, *switches* ou routers [10].

##### 2.4.2.1. Ethernet Ativa

Consiste na instalação de um equipamento ativo no ONU, que encaminha as tramas Ethernet para a rede dos clientes, como ilustra a Figura 14. O computador Ethernet tem como objetivo agregar o tráfego oriundo da rede dos clientes e enviá-lo para o OLT, e vice-versa [48]. É preciso garantir alimentação de energia e controlo de temperatura dos equipamentos ativos, o que faz com que esta rede seja mais dispendiosa da arquitetura P2MP.

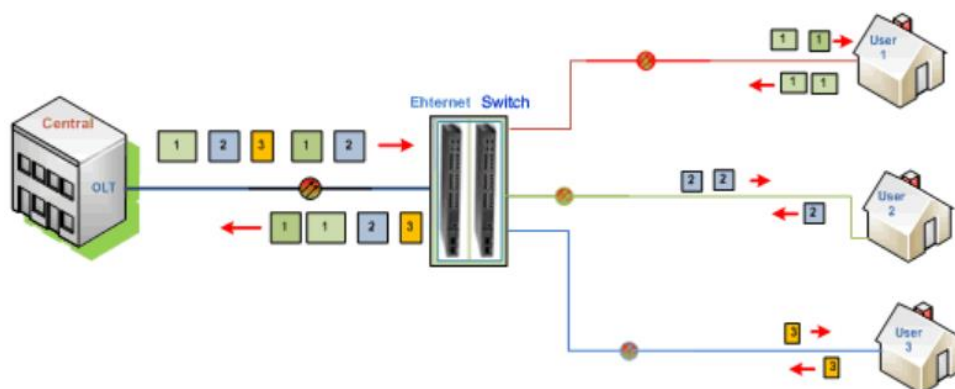


Figura 14 - Rede Ethernet Ativa [10]

### 2.4.3. Rede PON

As redes PON (Passive Optical Network) são um conjunto de tecnologias normalizadas pela ITU-T e IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Foram selecionadas pelas operadoras para transmissão de serviços, nas arquiteturas FTTx, que são os serviços POTS, VoIP (*Voice over IP*), dados e vídeo [18]. Uma rede PON é uma tecnologia de telecomunicações de fibra ótica para fornecer acesso à rede de banda larga aos clientes finais sem o uso de dispositivos ativos como regeneradores ou *switches*. A sua arquitetura implementa uma topologia ponto a multiponto, na qual uma única fibra ótica atende a vários pontos de extremidade usando divisores de fibra ótica e dispositivos passivos. As redes PON costumam ser chamadas de "última milha" entre um provedor de serviços de Internet (ISP) e seus clientes, sendo assim adotadas com as redes de acesso em fibra ótica [19]. Como dito anteriormente, em DS o tráfego é difundido em *broadcast*, enquanto no sentido US o tráfego é combinado através de um protocolo de acesso múltiplo.

Podem ser utilizadas três tipos de topologias física de transmissão: topologia física em anel, em árvore e em barramento, como mostra a Figura 15.

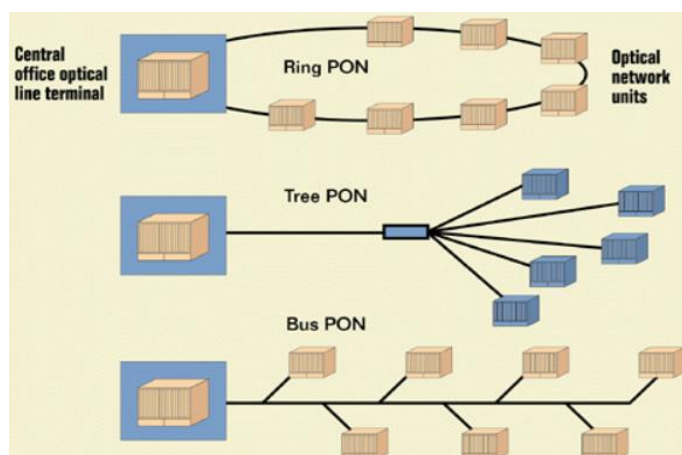


Figura 15 - Topologias física de transmissão na rede PON [20]

Na Figura 16 está apresentada a evolução das redes PON ao longo dos anos e os seus débitos máximos obtidos em DS.

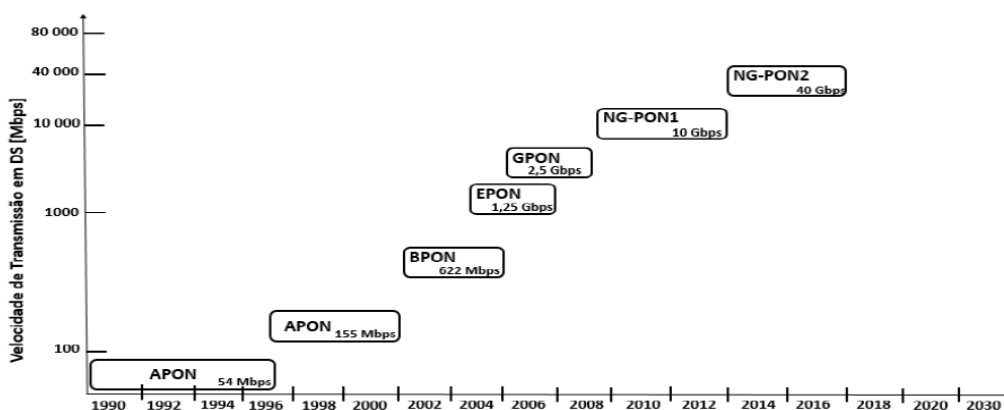


Figura 16 - Redes PON e respectivos débitos máximo em DS [21]

#### 2.4.3.1. APON

A rede APON (*Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network*) foi a primeira tecnologia da rede PON definida pelo FSAN (Full Service Access Network) em 1995, que utilizou a técnica de multiplexagem TDM-PON. Mais tarde em 1997 foi definida pela ITU-T na norma G.983, com o ritmo de transmissão baseado no modo simétrico de 155,52 Mbps. O rácio de divisão ótica máxima utilizado foi de 1:32 com comprimento de onda de 1500 nm em sentido DS e 1300 nm em sentido US [22]. O comprimento máximo de fibra entre o OLT e o ONU era de 20 km [23].

#### 2.4.3.2. BPON

A rede BPON (*Broadband Passive Optical Network*) foi uma evolução da rede APON, surgiu em 2001, inicialmente baseada em células ATM [24]. O ritmo de transmissão era baseado no modo de transmissão assimétrico, com velocidades de transmissão em DS até 622,08 Mbps e de 155,52 Mbps em sentido US [25]. O rácio de divisão ótica máximo é de 1:32, com o alcance da fibra até 20 km. Tal como a tecnologia da rede APON, a técnica de multiplexagem é a TDM-PON. A rede BPON veio fornecer técnicas de segurança avançadas de criptografia com as chaves criptográficas, que é alterada pelo menos uma vez por segundo entre o OLT e o ONT [26].

#### 2.4.3.3. EPON

A rede EPON (Ethernet Passive Optical Network), também referenciada como GePON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*), tem as suas especificações definidas no IEEE 802.3ah, aparecendo em 2004. Da mesma maneira que as tecnologias de rede anteriores a EPON também usa a técnica de multiplexagem de TDM-PON. A informação em DS é realizada nos comprimentos de onda de [1480 - 1500] nm e em US de [1260 - 1360] nm. A transmissão nesta rede é simétrica com um débito máximo de 1,25 Gbps. O rácio de divisão ótica máximo é de 1:32, com o alcance da fibra até 20 km.

Os dados em EPON são transportados em tramas Ethernet de comprimento variável e com um endereço virtual em pacotes IP entre o OLT e o ONT. O processamento das tramas Ethernet requer um controlo de tempo preciso e sincronizado, que implica um custo mais elevado na implementação dos circuitos. Isso permite aos fornecedores de serviços EPON agrupar dados, vídeo e serviços de voz na mesma infraestrutura da rede EPON e oferecer grande qualidade na oferta desses serviços [24].

Na rede EPON, o OLT é um comutador Ethernet, onde as tramas Ethernet são enviadas no sentido DS em *broadcast* para todos os ONUs [27]. Cada ONU descodifica

os pacotes destinados a ele e descarta os restantes. O descarte dos pacotes é realizado através do campo LLID (*Logical Link Identifier*), que é utilizado para identificar cada ONT.

#### 2.4.3.4. GPON

A rede GPON que foi uma evolução da rede BPON definida na norma ITU-T G.984 [28], que foi utilizada na Europa e nos EUA. A Tabela 1 apresenta as normas ITU-T, retirado de [29].

O ITU-T criou a rede GPON capaz de suportar os requisitos de largura de banda elevada para serviços empresariais e residenciais. A camada física PMD, especificada na norma ITU-T G.984.2, definiu taxas de transmissão em DS até 2,488 Gbps com comprimentos de onda a variar entre os [1480-1500] nm [22][24][30]. Em US a taxa de transmissão vai até 1,2 Gbps com comprimentos de onda entre os 1260 até os 1360 nm ( $1310 \pm 50$ ) [22][24][30]. A rede suporta um rácio de divisão ótica de 1:64 com o comprimento máximo de 20 km [23].

De acordo com a recomendação ITU-T G.984.2, existe a possibilidade da utilização de um terceiro comprimento de onda para transmissão de vídeo RF *Overlay*. Este varia entre os 1550 e os 1560 nm [26][18].

Tabela 1 - Normalização GPON [29]

Norma	Objetivos
ITU-T G.984.1	Descrição dos parâmetros da rede GPON; Requisitos sobre a proteção de rede;
ITU-T G.984.2	Especificação da camada física ou PMD ( <i>Physical Media Dependent</i> ); Especificação dos débitos binários para DS e US; <i>Link Budgets</i> ;
ITU-T G.984.3	Especificações da camada TC ( <i>Transmission Convergence</i> ) no sistema GPON e da pilha de protocolos; Tramas GTC ( <i>GPON Transmission Convergence</i> ); Registo e ativação da ONU; Especificações do DBA ( <i>Dynamic Bandwidth Assignment</i> ); Alarmes e desempenho;
ITU-T G.984.4	Formato da mensagem OMCI ( <i>ONU Management and Control Interface</i> ); Trama OMCI de gestão dos dispositivos; Princípio de funcionamento do OMCI;
ITU-T G.984.5	Coexistência com a tecnologia XGPON, NG-PON2;
ITU-T G.984.6	Especifica os parâmetros que permitem aumentar o alcance físico na rede GPON, com AO ( <i>Optical Amplifier</i> ) ou OBF ( <i>Optical Bandpass Filter</i> ), etc.
ITU-T G.984.7	Especifica o <i>Long reach</i> , variando o <i>delay</i> de propagação de DS e US.

A Figura 17 demonstra os comprimentos de onda em uso no espectro da rede da GPON.

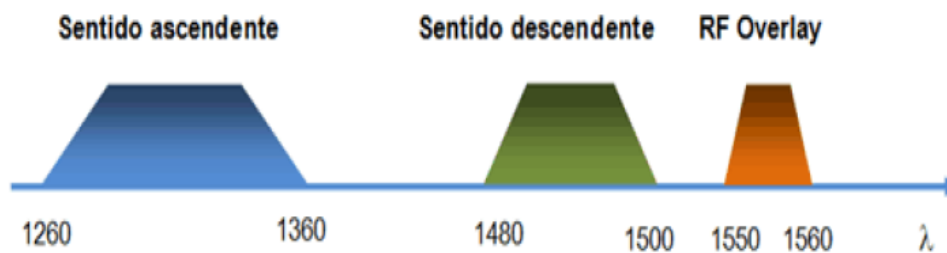


Figura 17 - Espectro da rede GPON [10]

### Tráfego em DS e US

Na camada física PMD os dados em DS são enviados pelo OLT, em *broadcast*, para todos os clientes na rede, através da técnica TDM. Cada ONT da rede descodifica os dados que lhe são destinados e descarta os restantes. Em US cada ONT transmite no seu *timeslot* através da técnica TDMA. Esta técnica garante que não existe colisões entre tramas que cheguem ao mesmo tempo no OLT.

### Alinhamento ou *Ranging*

Os ONTs estão localizados a distâncias diferentes referentes ao OLT, o que leva a tempos de propagação em *upstream* diferentes. Os dados em US devem chegar nos intervalos de tempo corretos para que nenhum erro aconteça. Para que tal aconteça, o mecanismo *ranging* cria um *delay* na transmissão em *upstream* para evitar colisões de transmissão em *upstream* entre várias ONTs.

Em *downlink*, o OLT calcula a distância de cada ONT através do tempo de propagação da trama e define um registo através da mensagem PLOAMu [7][27].

Em *uplink*, o objetivo é transmitir as rajadas de forma sequencial e sem colisões, para tal na rede GPON faz-se o *ranging* das tramas durante a ativação dos ONTs, designado de alinhamento inicial, e *ranging* contínuo, que é efetuado continuamente para compensar alterações do atraso [7].

No alinhamento inicial, o ONT fica à escuta do sinal vindo do OLT, nomeadamente do campo *Upstream Bandwidth Map* para saber em qual dos contentores é que pode realizar o envio de tramas. De seguida os ONTs entram no estado standby para decifrar a informação do cabeçalho GEM (GPON Encapsulation Method) *header*, onde é enviado o *Port\_ID*. Estes respondem enviando a informação de *serial\_number\_ONU*, entretanto o OLT com esta informação atribui o *ONT\_ID* para cada ONT [31]. A partir desta fase o OLT e os ONTs estarão prontos para a transmissão de dados.

No *ranging* contínuo, o OLT realiza o envio das mensagens de “*Synchronize to downstream signal*” de forma a evitar o *ranging delay*. Como consequência para não haver colisões nas tramas que cheguem ao OLT no mesmo instante [7], como está ilustrado na Figura 18. Quando o OLT sabe o tempo de propagação de ida e volta da trama durante a ativação, este compensa o atraso com mensagens de *ranging* [31].

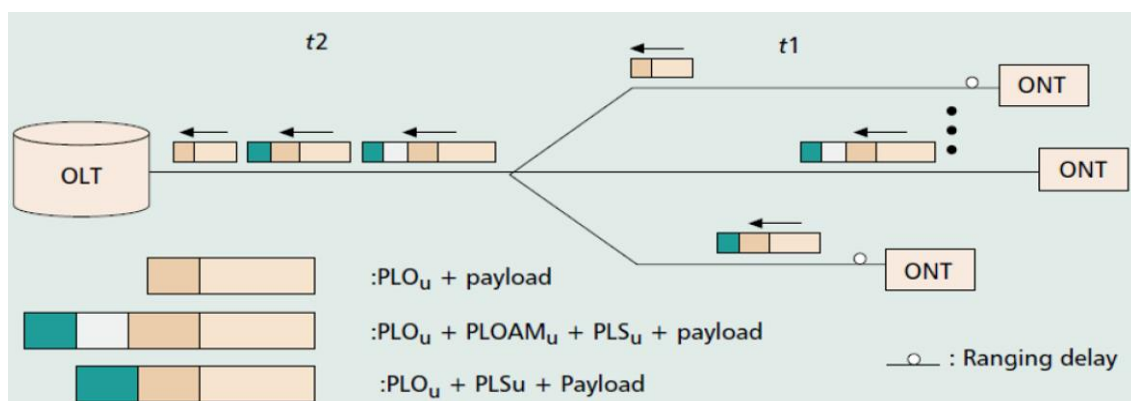


Figura 18 - Mensagem de ranging, adaptado de [32]

### Algoritmo DBA

Na rede GPON o algoritmo DBA permite a afetação dinâmica de largura de banda em intervalos de ns e  $\mu\text{s}$  [7], melhorando a utilização da largura de banda ascendente pelos portos PON, levando ao aumento de clientes suportados por porto PON. Este algoritmo, permite assim, realizar a gestão de largura de banda disponível [33].

Na Figura 19 está ilustrado o funcionamento do algoritmo DBA. Segundo [34], para determinar a quantidade de tráfego ou a percentagem de largura de banda que se deve atribuir a um determinado ONT, o OLT terá de saber qual o “*status report*” do contentor T-CONT, associado ao ONT. Ou seja, as informações do tráfego existente no *buffer* que é enviado no campo DBRu. O OLT ao receber essas informações de cada ONT, consegue alocar a largura de banda dos T-CONTs de cada ONT, de forma a estabelecer às prioridades dos serviços sensíveis aos atrasos. Caso um ONT não tenha nenhuma informação no *buffer* a espera para ser transmitida, envia uma informação *idle* para avisar que o seu *buffer* está vazio, assim permite o OLT atribuir o T-CONT aos outros ONTs. Se um ONT tiver uma longa fila para enviar, o OLT atribui vários T-CONT a esse ONT.

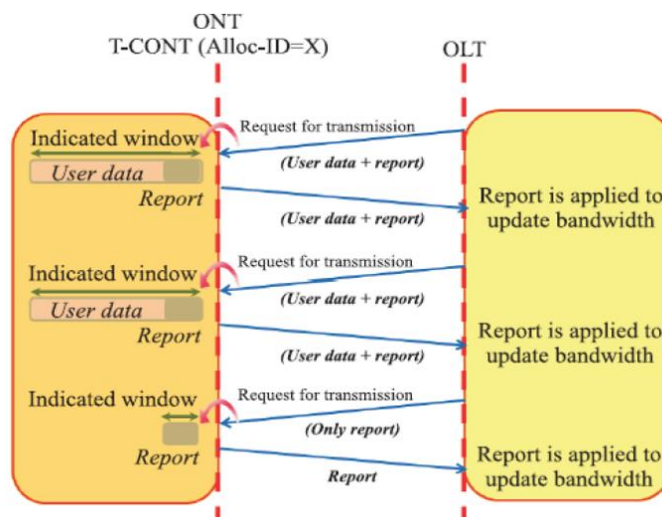


Figura 19 - Algoritmo DBA, adaptado de [34]

#### 2.4.3.5. XG – PON

As redes PON estão em evolução constante. Em 2006 começaram a ser estudadas as redes XGPON e a 10G-EPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network), acabando por serem normalizadas em 2009[35] pela FSAN e pela IEEE 802.3av, respetivamente.

A XGPON é uma evolução das redes anteriores que oferece débitos superiores em DS e US. É possível obter ritmos de transmissão até 10Gbps em DS e 2,5Gbps e US [35] e um rácio de divisão ótica superior de 1:128. Tal como tecnologias anteriores a técnica de multiplexagem em DS continua a ser TDM enquanto que em US é TDMA, continuando com uma distância máxima de 20km. Os comprimentos de onda usados nesta rede são diferentes das redes anteriores, o que permite a possibilidade da rede XGPON coexistir na mesma ODN que redes anteriores. Em DS o comprimento de onda está no intervalo de [1575-1580] nm e em US [1260-1280] nm. Ou seja, na mesma infraestrutura física de redes PON pode-se multiplexar, no OLT, os comprimentos de onda tanto da rede GPON como da rede XGPON, de forma a permitir que os clientes usufruem dos serviços das duas redes [36]. A Figura 20 demonstra a possibilidade da rede XGPON coexistir com a rede GPON. Como é possível verificar, pode-se multiplexar os 4 comprimentos de onda, 2 de US e 2 de DS, e ainda pode existir um quinto comprimento de onda utilizado em DS para vídeo RF [35].

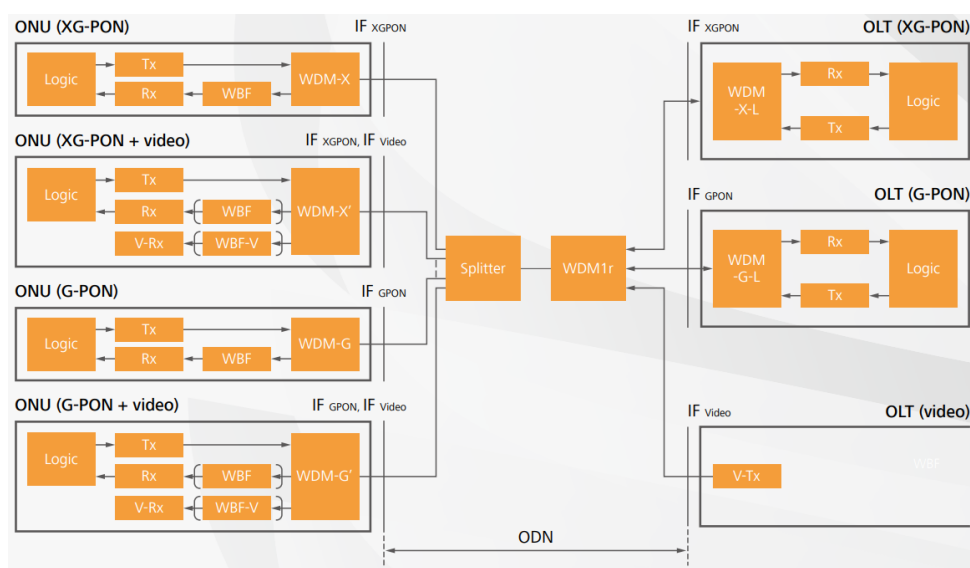


Figura 20 - Coexistência entre a rede XGPON e GPON [35]

Na prática, a XGPON reutiliza as arquiteturas FTTx utilizadas na rede GPON como, por exemplo, a FTTH, FTTB, FTTN e FTTCurb. Houve ainda a introdução de duas novas arquiteturas para serviços ponto-a-ponto, que são a FTTCell (*Fiber To The Cell site*) e a FTTO (*Fibre to the Office*) [35]. A arquitetura FTTB foi dividida em dois cenários: um que é ligada através da MDU (*Multi-dwelling units*) para clientes de serviços residenciais (POTS, VoD, IPTV, etc) e outro que é através da MTU (*Multi-tenant units*) para clientes de serviços empresariais (POTS, serviços de banda larga simétrica, linhas privadas). Para FTTCell, a ONU será designada de CBU (*Cell-site Backhauling Unit*) que vai estabelecer a conexão com a *cell-site* para serviços TDM simétrico e serviços de pacotes de banda larga com transmissão simétrico e assimétrico (3G/4G).

Em 2010 surgiu a tecnologia XGPON2 (*10-Gigabit-capable Passive Optical Network 2*) que acabou por desaparecer do *standard* por ser uma rede muito idêntica à XGPON.

#### 2.4.3.6. XGS – PON

As redes PON têm vindo a acompanhar as necessidades dos clientes residenciais e empresariais na transmissão de dados a elevados débitos tanto em DS como em US. Para tal surgiu a rede XGS-PON que visa o aumento de transmissão em US para 10 Gbps. Em 2016 foi normalizada a tecnologia XGS-PON (*10-Gigabit-Capable Symmetric Passive Optical Network*), que é uma tecnologia com taxas de transmissão simétricas de 10 Gbps em DS e US [37]. A Rec. ITU-T G.987.1 normalizou a XGS-PON que coexista com as redes já existentes da GPON e XGPON e ainda o vídeo RF [38]. Existe também a possibilidade de inserção de um quarto comprimento de onda designado de OTDR (*Optical Time-Domain Reflectometer*), que permite obter informações do sinal na fibra ótica em tempo real, como por exemplo: as atenuações no cabo, nos *splitters*, anomalias na fibra,

potência do sinal no recetor, etc [39]. A Figura 21 demonstra a possibilidade da rede XGSPON poder coexistir na rede já existente, GPON e XGPON, substituindo a XGPON. Também é demonstrado que existe a possibilidade da inserção de um quarto comprimento de onda nos 1650 nm para o uso do OTDR.

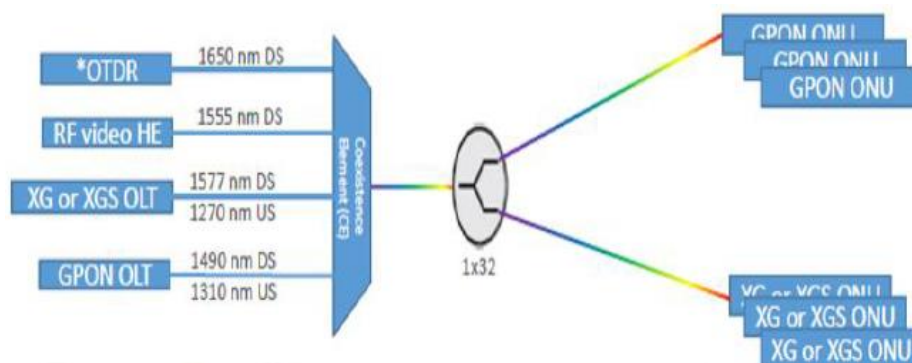


Figura 21 - Coexistência da rede XGSPON com a rede já existente [39]

Tal como as redes anteriores a técnica de multiplexagem dos comprimentos de onda em DS continua a ser TDM-PON. Os comprimentos de onda usados em US estão entre [1260-1280]nm e em DS são usados os comprimentos de onda entre [1575-1580]nm [59], sendo mais comum operar a 1577nm em DS e 1270nm em US, tal como a rede XGPON [39][40][41]. O rácio de divisão ótica mantém-se igual à rede XGPON, sendo de 1:128, e a distância máxima de ligação aumentou para 40km.

#### 2.4.3.7. NG – PON2

A NGPON-2 foi normalizada pelo ITU-T em 2013[42] para as futuras aplicações de acesso ótico. Os requisitos e a camada física da rede foram consentidos como recomendações G.989.1 e G.989.2, respetivamente. Esta nova rede utiliza a técnica de multiplexagem por divisão no tempo e por multiplexação de comprimento de onda designada de TWDM-PON (Time and Wavelength-Division Multiplexed Passive Optical Network) [43][44]. O requisito principal para esta nova rede seria a compatibilidade com as ODNs já instaladas, ou seja, a NG-PON2 deve ser capaz de operar sobre a mesma infraestrutura de rede PON, previamente definida pela GPON e XGPON. A Figura 22 demonstra a possibilidade de, para uma rede já existente, inserir a nova tecnologia de redes PON. Sendo assim, na ODN é possível ter GPON, XGPON ou XGSPON, vídeo RF e NG-PON2, incluindo Point-to-Point WDM (PtP WDM).

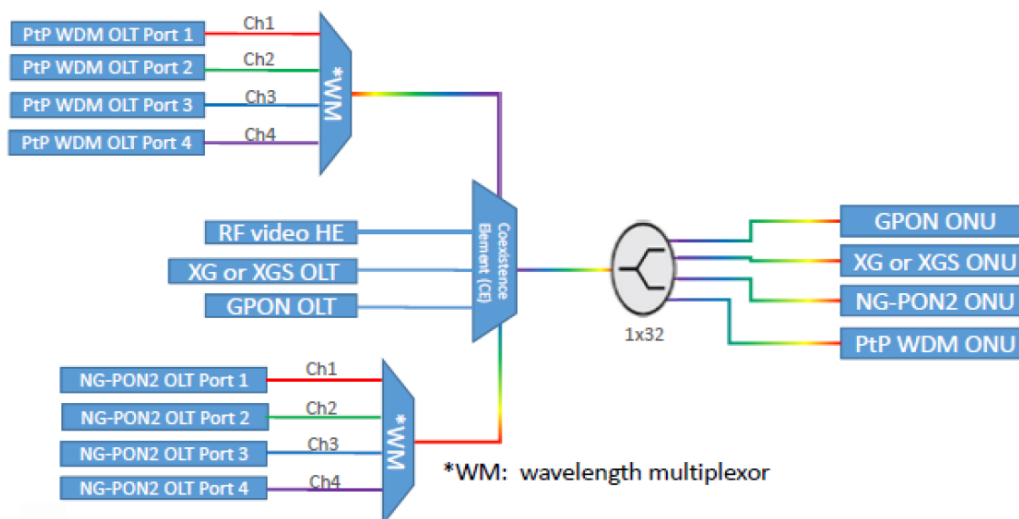


Figura 22 - coexistência com redes anteriores [45]

Os comprimentos de onda possíveis para serem usados em NG-PON2 seriam [1530-1540]nm em US e [1596-1603]nm em DS. A distância máxima para esta rede é de 40km e o rácio de divisão ótica é de 1:256 [46]. O ritmo de transmissão é de 40Gbps tanto em US como em DS, com a possibilidade de aumentar para 80Gbps caso seja usada uma nova técnica de transmissão de dados, a PtP WDM overlay channels [47]. A arquitetura da rede NG-PON2 está ilustrada na Figura 23. Nesta figura é possível verificar a existência de 4 comprimentos de onda TWDM, com débito de 10Gbps em US e DS, e 4 comprimentos de onda PtP WDM, com débito de 10Gbps em US e DS, podendo chegar a 80Gbps. O PtP WDM permite que o NG-PON2 atenda aos requisitos exigentes do operador para serviços comerciais de elevados débitos. O PtP WDM permite que um comprimento de onda dedicado seja fornecido a cada ONU [47]. Na configuração base, quatro canais US e quatro canais DS de PtP WDM são considerados para permitir a coexistência total com sistemas legados. Dependendo do cenário de implantação específico, um operador rede pode dedicar espectro não utilizado a canais PtP WDM adicionais de maneira flexível.

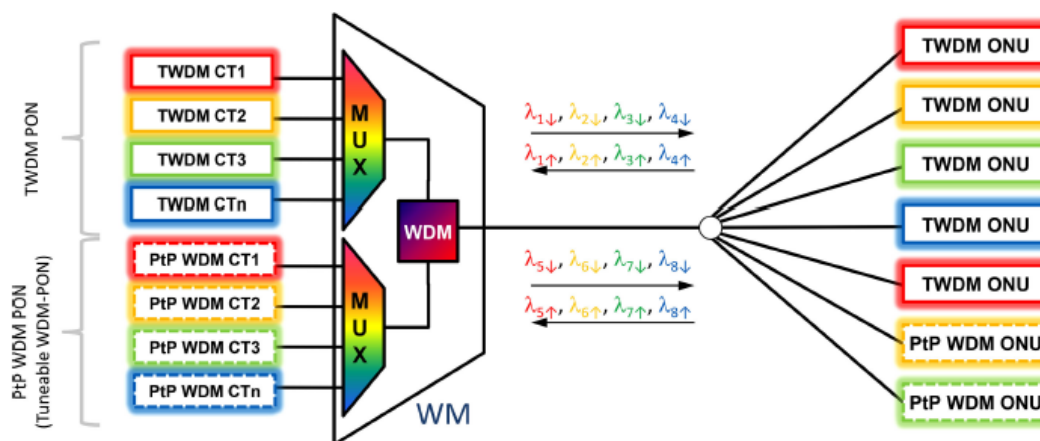


Figura 23 - Arquitetura da rede NG-PON2 [47]

Os débitos normalizados dos canais TWDM para a rede NG-PON2 estão representados na Tabela 2 [47]:

*Tabela 2 - Débitos dos canais TWDM para NG-PON2, adaptado de [47]*

TWDM	Débito DS (Gbps)	Débito US (Gbps)
Débito básico	9.95328	2.48832
Débito: Opcional 1	9.95328	9.95328
Débito: Opcional 2	2.48832	2.48832

Os débitos normalizados dos canais PtP WDM para a rede NG-PON2 estão representados na Tabela 3 [47]:

*Tabela 3 - Débitos dos canais TWDM para PtP WDM, adaptado de [47]*

PtP WDM	Débito para US e DS (Gbps)
Classe 1	1.2288–1.2500
Classe 2	2.4576–2.6660
Classe 3	9.8304–11.09
Classe 4	6.144

Uma das principais vantagens do NG-PON2, que facilita diversos cenários, é a flexibilidade espectral. Isso significa que, sempre que um específico de espectro ótico não é utilizado pelos sistemas TWDM ou redes PON, o PtP WDM pode fazer uso dessa banda específica. Essa flexibilidade pode facilitar o suporte de diferentes tipos de clientes no mesmo ODN de maneira flexível. Além disso, a flexibilidade espectral facilita uma variedade de cenários de coexistência do sistema e permite que os operadores usem novas faixas de comprimentos de onda quando os sistemas PON anteriores forem desativados [47].

#### 2.4.4. Coexistência das redes PON

Um objetivo de todas as redes PON quando implementadas passa pela possibilidade de coexistir com as redes PON já existentes. As Figuras 24 e 25 representam a gestão do espectro em DS e US, respetivamente.

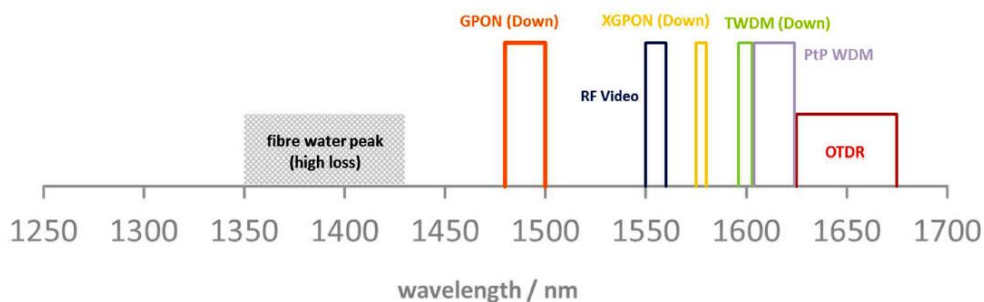


Figura 24 - comprimentos de onda em DS das redes PON [47]

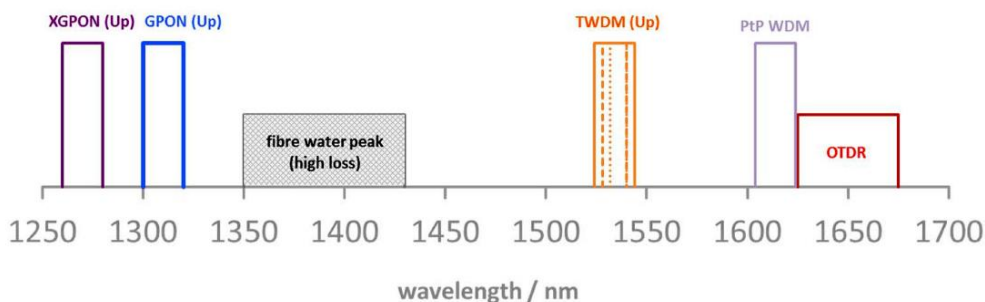


Figura 25 - comprimentos de onda em US das redes PON [47]

A Tabela 4 representa as características das redes PON. De notar que os débitos, tanto de US como DS, em NG-PON2 têm a possibilidade de serem aumentados de 40 para 80 Gbps caso seja usada a técnica PtP WDM.

Tabela 4 - Comparação entre redes PON

	A-PON	B-PON	E-PON	G-PON	XG-PON	XGS-PON	NG-PON2
<b>Débito DS [Gbps]</b>	0.155	0.622	1.25	2.488	10	10	40 (80)
<b>Débito US [Gbps]</b>	0.155	0.155	1.25	1.25	2.5	10	40 (80)
<b><math>\lambda</math> em DS [nm]</b>	1500	1500	1490	1490	1575	1575	1596
<b><math>\lambda</math> em US [nm]</b>	1300	1300	1310	1310	1270	1270	1530
<b>Distância max. [km]</b>	20	20	20	20	20	40	40
<b>Rácio de divisão ótica</b>	1:32	1:32	1:32	1:64	1:128	1:128	1:256
<b>Técnica de multiplexagem</b>	TDM-PON	TDM-PON	TDM-PON	TDM-PON	TDM-PON	TDM-PON	TWDM-PON

## 2.5. Técnicas de multiplexagem

Na Figura 26 estão representadas as tecnologias da rede de acesso em fibra ótica e respetivas técnicas de multiplexagem. São usadas as seguintes técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda nas redes PON:

- TDM-PON (*Time-division multiplexing Passive Optical Network*);
- WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network*);
- TWDM-PON (*Time- and Wavelength-Division Multiplexing Passive Optical Network*);
- OFDM-PON (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Passive Optical Network*).

A técnica dominante na rede de acesso é a TDM-PON, que é utilizada nas redes PON para transportar tráfego em *downstream*, as restantes têm surgindo com o avanço das tecnologias para transporte de altas taxas de transmissão na fibra ótica.

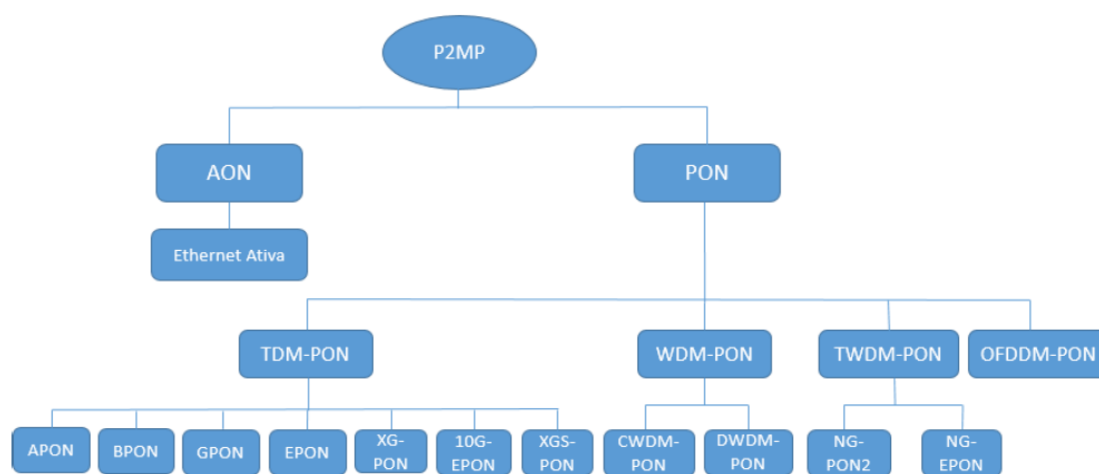


Figura 26 - Tecnologias e respetivas técnicas de multiplexagem [11]

### 2.5.1. TDM-PON

Como referido anteriormente, TDM-PON é a técnica dominante na rede de acesso de fibra ótica. Na Figura 27 está ilustrado o modo de funcionamento da técnica TDM-PON. Nesta técnica, em DS, o OLT difunde dados para todos os ONTs da rede de acesso. Cada ONT captura os dados destinados ao seu endereço, descartando todos os outros dados. Em US, o ONT partilha a largura de banda utilizando TDMA e cada ONT possui o seu *timeslot* para envio de tramas que é gerido pelo OLT através do alinhamento (*ranging*). Um canal é compartilhado com N utilizadores em US e DS, sendo assim, a rede torna-se uma solução económica, pois é utilizado no OLT um único transmissor e recetor de comprimentos de onda [48]. Como consequência permite um número limitado de ONTs, devido às atenuações impostas pelos divisores óticos e a taxa de transmissão de bits compartilhada pelos utilizadores entre o OLT e os ONTs [49]. Para tornar a técnica TDM-PON mais rentável e prática na implementação, foram definidos algoritmos de controlo de tramas e largura de banda, TDMA e o DBA (*Dynamic Bandwidth Assignment*), respetivamente.

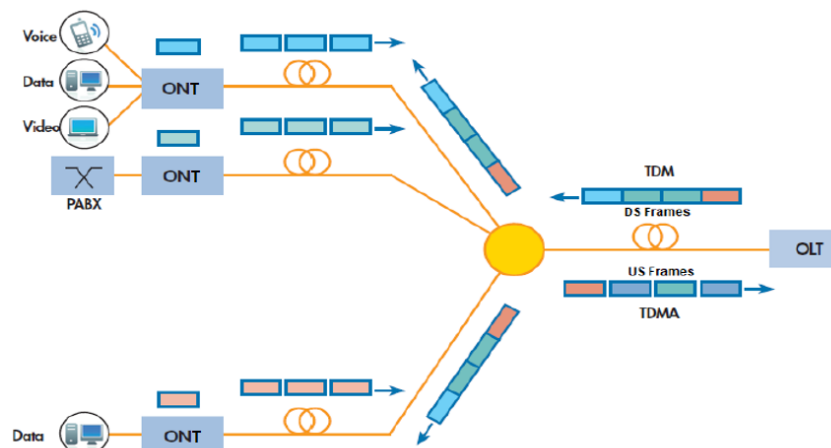


Figura 27 - Técnica de multiplexagem TDM-PON, adaptado de [50]

### 2.5.2. WDM-PON

A técnica WDM-PON suporta vários comprimentos de onda. Pode ser utilizada como uma rede ponto-a-ponto, um comprimento de onda por cliente, ou utilizada como uma rede ponto-multiponto, com várias operadoras a utilizarem a mesma rede de fibra, um comprimento de onda por operadora [10]. Nesta técnica são multiplexados vários comprimentos de onda no OLT e a cada ONT é lhe dedicado um comprimento de onda com débitos muito elevados. Em DS os comprimentos de onda são reencaminhados para os respetivos ONTs através de um combinador passivo designado de AWG (*Arrayed Waveguide Grating*). Nesta técnica, as transmissões de DS e US ocorrem em janelas de transmissões diferentes [49], o que torna a implementação desta técnica mais complexa em relação à anterior, visto que os comprimentos de onda dos ONTs são diferentes entre si. A Figura 28 apresenta a técnica WDM-PON.

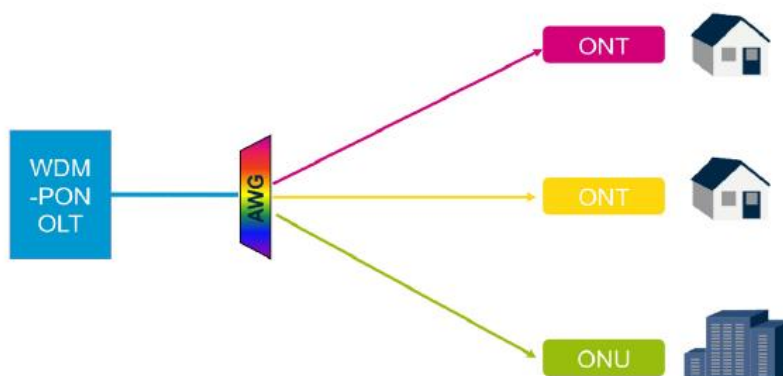


Figura 28 - Técnica de multiplexagem WDM-PON [51]

Como é possível verificar na Figura 26, esta técnica subdivide-se em DWDM-PON e CWDM-PON [10].

### 2.5.2.1. DWDM-PON

A multiplexagem DWDM é uma tecnologia de multiplexação por divisão de comprimentos de onda WDM alta densidade. Esta é caracterizada por ter espaçamento entre canais de 50GHz, 100 GHz ou 200 GHz, ou em comprimentos de onda, 0.4, 0.8 e 1.2 nm, respetivamente [52]. Na prática, esta tecnologia pode suportar até 80 canais óticos, teoricamente poderá suportar mais [7]. No caso de uma rede ter uma largura de banda de 800 Gbps de largura de banda, um sistema DWDM poderá suportar 80 comprimentos de onda, em que cada comprimento transmite 10 Gbps.

Nas figuras 29 e 30 está ilustrada a técnica de multiplexagem DWDM, onde no OLT são multiplexados vários comprimentos de onda que posteriormente serão desmultiplexados, separando os comprimentos de onda para cada ONT.

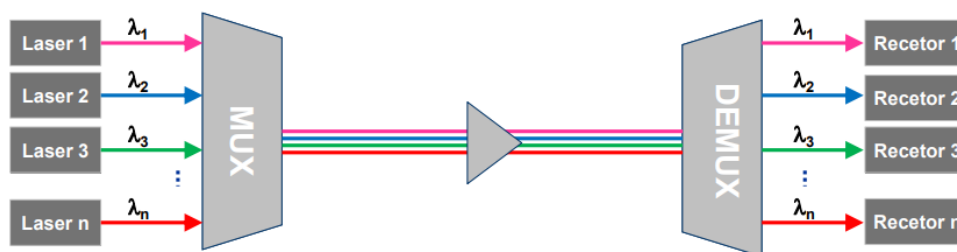


Figura 29 - Técnica de multiplexagem DWDM [7]

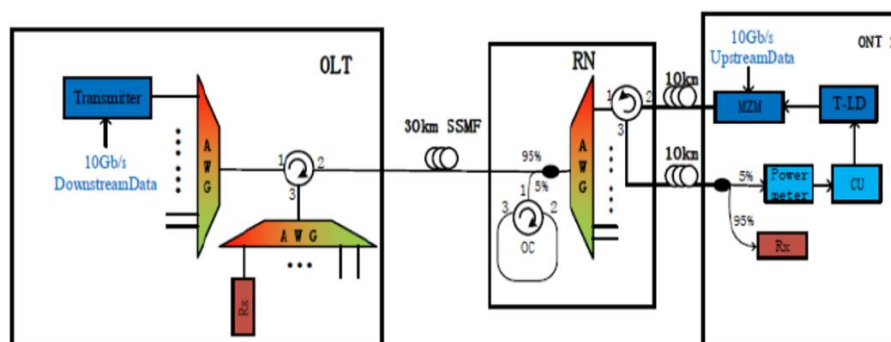


Figura 30 - Esquema de arquitetura DWDM PON, adaptado de [53]

Em redes de transmissão de fibra ótica baseadas em DWDM são utilizados diversos equipamentos passivos na rede, como: DCF (*Dispersion Compensation Fiber*), dispositivos multiplexadores/desmultiplexadores baseados em prisma, grelhas de Bragg, AWG ou grelhas difratoras, *circulators*, multiplexagem multi-andar e multiplexagem por interposição [7][54][55][56]. Estes dispositivos tornam esta técnica bastante complexa e dispendiosa. A grande vantagem desta técnica está no elevado débito transportado, sendo uma das razões por usar técnicas WDM na rede core e metropolitana.

Como se pode ver pela Figura 30, o OLT contém um *multiplexer* AWG que agrega vários comprimentos de onda de 10 Gbps de DS, um desmultiplexador AWG de

comprimentos de onda de US e um *optical circulator* que separa os mesmos. A ODN representada pela Figura 30 é composta por uma fibra monomodo (SSMF) de 30 km e um nó remoto designado de RN (*Remote Node*). Neste nó encontra-se o desmultiplexador AWG e um *circulator* que separa os comprimentos de onda na rede do cliente. No ONT encontra-se instalado um díodo laser designado de TLD (*Tunable Wavelength Laser Diode*) que emite os comprimentos de onda em US de 10 Gbps e um modulador MZM (*Mach-Zehnder Modulator*) que é usado para controlar a amplitude dos comprimentos de onda do laser [53]. Sendo assim, será possível obter débitos bidirecionais de 10 Gbps.

Através das 3 técnicas mencionadas: TDM-PON, WDM-PON e DWDM PON, é possível que diferentes redes PON possam coexistir na mesma ODN [57]. Através da Figura 31 pode-se verificar que no OLT são multiplexados, através da técnica WDM, os comprimentos de onda das redes GPON, XGPON, RF vídeo e DWDM-PON. Esta coexistência aumenta a área de cobertura na rede de acesso, permite ligar um maior número de ONTs e oferecer débitos mais elevados.

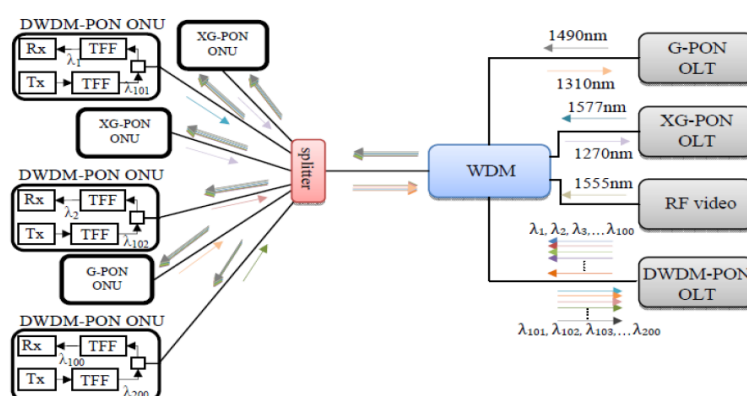


Figura 31 - Coexistência da Técnica DWDM com as redes PON [48]

### 2.5.2.2. CWDM-PON

No sistema WDM-PON, a técnica de multiplexagem de baixa densidade em termos de comprimentos de onda, CWDM-PON, é usada como soluções de baixo custo. A informação é agrupada em 18 canais óticos distanciados de 20 nm [58][59], por exemplo, para transmitir 180 Gbps na ODN, a técnica CWDM-PON, multiplexa 18 comprimentos de onda de 10 Gbps cada. As técnicas DWDM-PON e a CWDM-PON utilizam os mesmos princípios de multiplexagem de comprimentos de onda, com o intuito de aumentar a capacidade na rede.

### 2.5.3. TWDM-PON

A técnica TWDM-PON consiste na união das duas técnicas mencionadas anteriormente, WDM-PON e a TDM-PON, ou seja, os comprimentos de onda são multiplexados através da WDM, e cada um destes é partilhado entre vários ONTs, através técnica TDM-PON de múltiplo acesso [60].

Através da Figura 32 é possível verificar que no OLT são multiplexados comprimentos de onda de 10 Gbps, que posteriormente são desmultiplexados, no *Remote Node*, e em seguida os comprimentos de onda são divididos para ligar a vários ONUs. Em US o laser emite comprimentos de ondas de 2,5 Gbps, as informações são combinadas nos *splitters* e encaminhadas para o OLT através da WDM-PON.

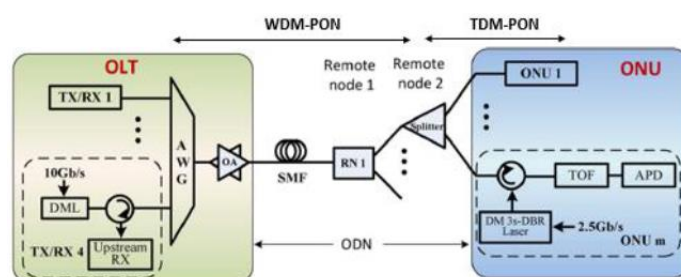


Figura 32 - Técnica de multiplexagem TWDM-PON [61]

O primeiro protótipo de um sistema TWDM-PON, de 40 Gbps, foi testado em setembro de 2011 pela China Telecom e Huawei [61]. O protótipo realizado está apresentado na Figura 33, em que foram utilizados 4 comprimentos de onda de 10 Gbps e 2,5 Gbps, em DS e US, respetivamente [62]. Esta técnica para além de utilizar os conceitos de multiplexagem das técnicas anteriores, permite a coexistência de outras redes na mesma ODN e permite também aumentar o rácio de divisão ótica para 1:512.

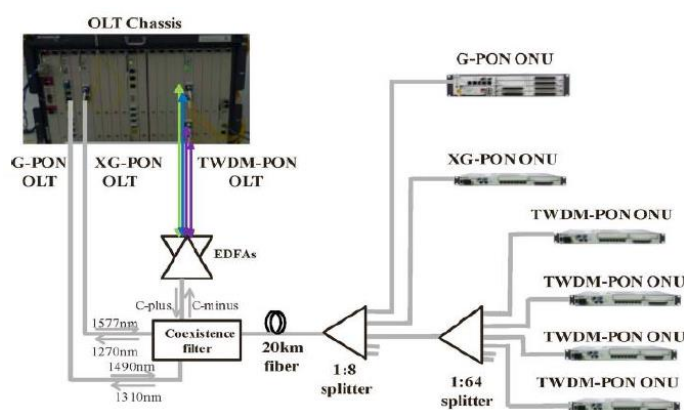


Figura 33- protótipo de sistema TWDM de 40 Gbps e a coexistência com outras redes [61]

#### 2.5.4. OFDM-PON

A técnica de multiplexagem OFDM-PON é considerada por alguns investigadores sendo a técnica acolhida para a futura rede NG-PON3, devido às suas vantagens únicas, tais como: transmissão económica, alta eficiência espectral e granularidade de largura de banda flexível [63]. Usa o método de acesso múltiplo, que é a combinação de OFDM e TDM-PON [64]. A técnica OFDM-PON será capaz de suportar débitos de transmissão simétricos, ou seja, com 40 Gbps tanto em DS como US [65].

Na Figura 34 está ilustrado o esquema da técnica de multiplexagem. Através da figura é possível verificar que, no OLT, o laser através do modulador MZM (Mach-Zehnder Modulator) produz sinal ótico designado de OCS (*Optical Carrier Signal*), este é transformado em múltiplas subportadoras devido aos moduladores MOD existentes no gerador de sinal OFDM. Estas subportadoras são amplificadas e multiplexadas na fibra ótica SMF (Single Mode Fiber). Na rede do cliente, a cada ONU é lhe dedicada uma subportadora que transporta a informação útil. O ONU é composto por PDs (*PIN photodiodes*) e detetor do sinal OFDM, que descodifica as subportadoras, e também por um laser que emite o sinal de US. Os sinais de DS e US são separadas no OLT e no ONU através dos *circulators* [65].

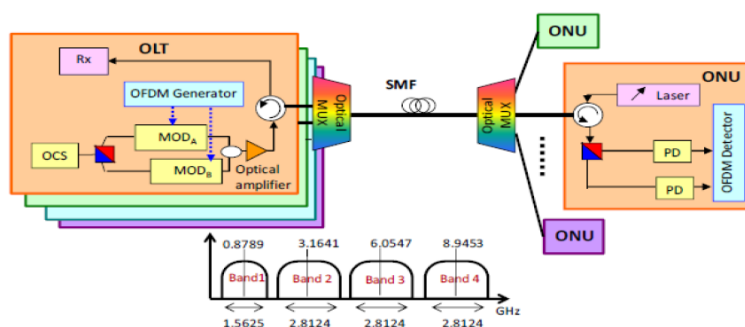


Figura 34 - Técnica de multiplexagem OFDM-PON [65]

No gerador OFDM, para gerar débitos de transmissão de 40 Gbps, é necessário utilizar um sinal OFDM, de 4 bandas, gerado por um gerador de comprimento de onda.

A banda 1 é composta por 40 subportadoras, com uma largura de banda de 1,5625 GHz para produzir uma taxa de transmissão de 6,25 Gbps, conforme mostra a Figura 34. A banda 2, 3 e 4 convertidas em frequência de 3,1641 GHz, 6,0547 GHz e 8,9453 GHz, respetivamente, usam a modulação I-Q (*In-phase and Quadrature*). Cada uma destas bandas possui 72 subportadoras, com larguras de banda de 2,8124 GHz, realizando uma taxa de transmissão de 11,2496 Gbps. As 4 bandas mencionadas dão um total de 39,9988 Gbps ( $\cong$  40 Gbps) em DS. Para ter o mesmo débito de transmissão em US, toda a rede que foi construída em DS, ilustrada na Figura 34, deverá ser instalada em sentido ascendente [65].

## 2.6. *Softwares* de planeamento de redes em fibra ótica

A seleção de novas tecnologias depende de necessidades projetadas e consequente planeamento da rede. Nos países em desenvolvimento, as necessidades podem ser substancialmente diferentes nas áreas urbanas e rurais, e os requisitos de infraestrutura e tecnologia serão diferentes. Na escolha de tecnologias para uma rede de telecomunicações nova, ou existente, é necessário considerar uma gama muito ampla de fatores. O componente mais difícil de construir da rede, e o menos económico de manter, provou ser a rede de acesso local. As tecnologias de novas gerações, por exemplo GPON, estão a ser introduzidas nas redes, acelerando o processo de convergência e obrigando os projetistas a aplicar diferentes ferramentas especializadas de planeamento atualizadas. O planeamento da rede é uma questão crítica para as operadoras e provedores de serviços num momento de globalização e intensa concorrência. O mercado atual de telecomunicações requer metodologias de planeamento de redes flexíveis e adaptáveis para evoluções futuras das arquiteturas de rede. Além disso, haverá a necessidade de ferramentas de *software* para auxiliar as operadoras no desenvolvimento de suas redes. Desta maneira, as características dos principais *softwares* usados em planeamento de redes de fibra ótica são os apresentados abaixo.

### 2.6.1. AutoCAD

O AutoCAD é um *software* de desenho auxiliado por computador. É utilizado principalmente para a elaboração de desenhos técnicos em duas dimensões e para criação de modelos tridimensionais. É amplamente utilizado nos ramos de engenharia e arquitetura. Sendo esta a principal ferramenta no planeamento de redes de acesso, o AutoCAD apenas auxilia no desenho da rede de fibra ótica. Sendo assim, a listagem de material e os cálculos de atenuação, para verificação de normas, e custo do projeto será um processo manual.

### 2.6.2. 3-GIS

Ferramenta de planeamento e gestão de rede que analisa variáveis de rede específicas, como por exemplo, infraestrutura existente, regulamentos, barreiras geográficas e custo de material para gerar as rotas de rede de fibra ponto a ponto de menor custo. Algumas das características deste *software* encontram-se nos seguintes pontos:

- Avaliação de mercado da procura e pontos de atendimento aprovados na região;
- Custos de material;
- Custos de construção;
- Documentos de construção para o processo de licenciamento;
- Possibilidade de utilização do *software* em dispositivos móveis;
- Solucionamento de problemas, por exemplo, identificação de quebras na fibra;
- Gestão dos níveis de sinal, condutas e contratos.

### 2.6.3. Hawkeye Computing

Hawkeye Computing é uma ferramenta de gestão, planeamento e design para infraestruturas de telecomunicações. Esta aplicação realiza as redes de fibra ótica, coaxial, pares de cobre e de tubagem que fornece aos projetistas e aos técnicos de terreno a possibilidade de acesso a informações através de dispositivos móveis. Algumas das características deste *software* são as seguintes:

- Identificação do número potencial de clientes na área de projeto;
- Cálculo de custos, lista de materiais, documentação do projeto;
- Informações do projeto para contratados e fornecedores;
- Manutenção e solução de problemas;
- Gestão operacional da rede ativa.

### 2.6.4. ITS-Fiber Engineer

Conjunto de *softwares* de planeamento, design e otimização de redes de fibra ótica. A ferramenta de planeamento, ITS-NetProgress™, é usado para a implantação do projeto FTTH, o planeamento e a construção de redes de fibra ótica. Esta ferramenta tem ainda acesso a um banco de dados dedicado na *cloud* e visão geral do painel em Google Earth. A ferramenta de design, ITS-NetDesign LT™, é usado como *add-on* para AutoCad para o desenho da rede FTTH e realização dos cálculos dos custos e do cabeamento. A ferramenta ITS-NetOptimus™ cria automaticamente os projetos de fibra ótica com a melhor qualidade possível, usando algoritmos de otimização. Este encontrará o melhor agrupamento de equipamentos dos utilizadores, a melhor localização dos pontos para PDO ou caixas de visita e as melhores rotas, resultando em menos custos totais de rede (materiais e instalação). As características do *software* estão apresentadas nos seguintes pontos:

- Gestão de contratos e material;
- Cálculo de custos;

- Algoritmo de agrupamento mais eficiente de utilizadores para colocação de PDO ou CV;
- Exportação para AutoCAD (.dwg) e Excel.

#### 2.6.5. netTerrain OSP

É um *software* de gestão de redes de telecomunicações. Uma das aplicações desta ferramenta é em redes de fibra ótica. Os projetistas obtêm acesso a um conjunto de diagramas e relatórios em tempo real que facilitam o alinhamento dos investimentos aos objetivos de negócios, por meio da redução de custos, melhoria dos níveis de serviço e mitigação de riscos. Algumas das características deste *software* encontram-se nos seguintes pontos:

- Modelos físicos e lógicos da rede;
- Mapeamento de ligações nos equipamentos;
- Mapeamento de condutas;
- Identificação de problemas na gestão de capacidade.

#### 2.6.6. VETRO FiberMap

Ferramenta de planeamento e gestão de redes de fibra ótica. Algumas das características deste *software* encontram-se nos seguintes pontos:

- Cálculo de custos na criação da rede;
- Avaliação dos cenários de receita esperados;
- Design automático da rede;
- Mapeamento de ligações nos equipamentos.



### 3. Dimensionamento de uma rede GPON

Esta dissertação, como referido anteriormente, tem como objetivo o desenvolvimento de um *software* de planeamento de redes de fibra ótica FTTH GPON. No caso desta implementação ser apenas propriedade de uma operadora, a taxa de penetração seria entre 70 e 80%. Estas percentagens são devido às operadoras terem a noção que seria um desperdício de fibra ótica se cada operadora projetasse a sua rede para uma taxa de penetração para 100%.

Para dimensionar uma rede GPON numa determinada zona de uma cidade, com o objetivo de disponibilizar serviços de telecomunicações, a operadora define a área que pretende cobrir e solicita ao *Service Provider* para efetuar o dimensionamento da mesma. Para tal, são fornecidos tipicamente dois ficheiros distintos:

- Ficheiro KMZ (Keyhole Markup Language) - Sendo o mapa do local, proveniente do Google Maps, com o polígono a indicar a área que se pretende dar cobertura. Haverá possibilidade de existir uma zona assinalada considerada como uma zona de futura expansão;
- Ficheiro AutoCad - Com cartografia georreferenciada do primeiro ficheiro. Este também deverá conter informações de todas as infraestruturas de telecomunicações existentes naquela zona.

O mapeamento das infraestruturas de telecomunicações, como por exemplo condutas e postes, é obtido por entidades responsáveis pelos levantamentos das mesmas. Estas entidades são o ORAC (Oferta de Referência de Acesso a Condutas) e o ORAP (Oferta de Referência de Acesso a Postes), que são geridas pela ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações).

O planeamento da rede é um processo realizado faseadamente, sendo que algumas fases devem ser aprovadas/validadas pela operadora. Um exemplo do processo de faseamento de um planeamento poderá ser o seguinte:

- 1ª fase: *Survey*;
- 2ª fase: Definição das células ou celulização;
- 3ª fase: Processo de microcelulização e elaboração de projeto;
- 4ª fase: Construção da rede;
- 5ª fase: Ensaios na rede;

- 6ª fase: Entrega do projeto;
- 7ª fase: Comercialização e marketing.

Na Figura 35 encontra-se o fluxograma, com as fases para a realização de um projeto de uma rede FTTH definidas pelo SP e as fases que são validadas pela operadora. Será de realçar que as fases do projeto são linhas de orientação de como é que a operadora pretende que a sua rede seja projetada.

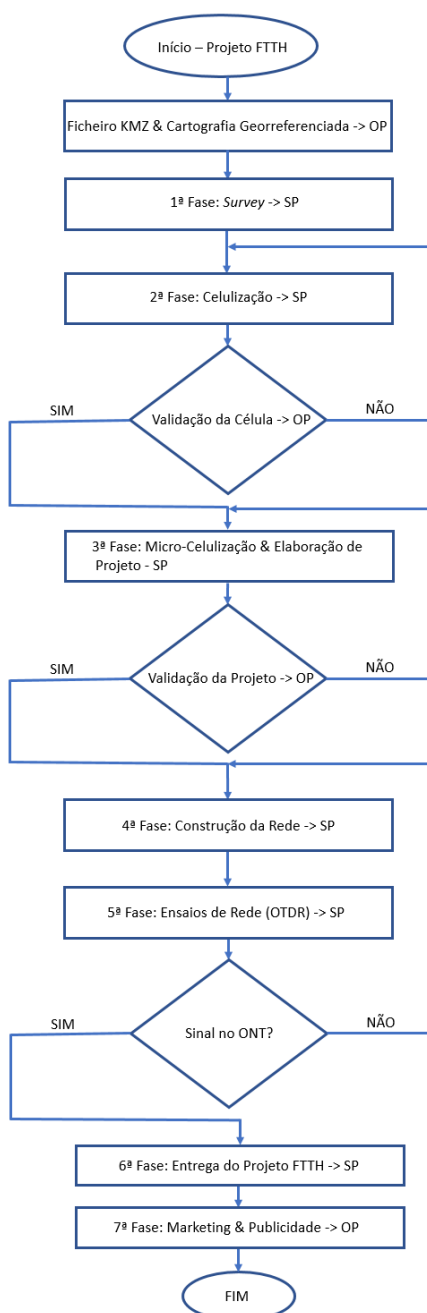


Figura 35 - Fluxograma das fases do projeto FTTH [11]

Nos subcapítulos seguintes, estas fases serão explicadas de forma mais aprofundada, dando mais ênfase às fases mais importantes.

### 3.1. 1ª fase: *Survey*

A primeira fase do projeto consiste no levantamento da área de interesse, designada de Macrocélula. Ou seja, é a obtenção de um conjunto de dados fundamentais, que permitam detalhar e conhecer profundamente a zona indicada, de modo a facilitar a execução do dimensionamento da rede. Os dados recolhidos nesta fase passam por informações da tipologia dos edifícios, como: o endereço postal, números de UAs (Unidade de alojamento) ou HP (*House Planned*), pisos, fração, tipo de alimentação do edifício, fotografia da fachada, se o edifício em estudo já possui outra operadora instalada ou não, etc.


Existem 3 tipos de *surveys*:

- *Survey* interior: É caracterizado pelos edifícios que são alimentados por PDO (Ponto de Distribuição Ótico) de interior. No interior do edifício o PDO está equipado dentro de uma caixa preparada para receber as infraestruturas de telecomunicações, RGE (Repartidor Geral dos Edifícios), em edifícios ITED (Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios). Há edifícios onde o PDO é instalado fora do RGE, em edifícios RITA (Regulamento de Instalações Telefónicas de Assinante), estando ainda dentro do edifício.
- *Survey* exterior: É caracterizado por todas as infraestruturas de telecomunicações existentes no exterior dos edifícios. Ou seja, os cabos existentes nas fachadas, nos postes e todos edifícios que são alimentados por PDOs de fachada, de poste, ou de CVP (Câmara de Visita Permanente).
- *Survey* em edifícios especiais: Caracteriza-se exclusivamente por edifícios empresariais que se dividem em quatro classificações distintas: edifício comercial, edifício industrial e edifícios empresariais.

Durante o processo de *survey*, é importante fazer o levantamento do estado de cada um dos edifícios e o tipo de alimentação dos mesmos. Este levantamento será classificado com carimbos de cores diferentes num ficheiro *AutoCad*. Isto é, edifícios com constrangimentos ou edifícios envelhecidos com possibilidade de serem demolidos apresentarão cor vermelha no carimbo, não sendo aconselhável passar cabos em fachada ou instalação de PDOs. Os sem constrangimentos e sem instalação de fibra ótica por parte de outras operadoras, deverão apresentar a cor verde nos carimbos. Os edifícios que já se encontram instalados fibra ótica de outras operadoras apresentarão

a cor laranja nos carimbos. Estes carimbos estão apresentados na Figura 36, em que são constituídos por 6 campos para o preenchimento das informações dos *surveys*.

#### IDENTIFICAÇÃO de EDIFÍCIO:



1	GeoType
2	Pisos
3	Fracções
4	Nº de Edifício
5	Nº de UAs Residenciais
6	Nº de UAs Outros
	Edf. sem Constrangimentos
	Instalação Inexequível no Edf.
	Edf. com Outro Operador Instalado

Figura 36 - Apresentação de dados em AutoCad [66]

- O campo 1 é designado de *Geo Type*, que é a relação entre o número de UAs existentes na área de cobertura sobre o número de edifícios.
- O campo 2 refere-se ao número de pisos.
- O campo 3 contém as informações da distribuição de UAs assentes no mesmo piso.
- O campo 4, é o ID do edifício, ou seja, é o identificador único do edifício naquela zona.
- Os campos 5 e 6, são os campos mais importantes para o projeto FTTH, pois definem o número de fibras ativas necessárias no cabo para aquele edifício. O campo 5 indica o número de UAs residenciais (apartamentos ou moradias) que constitui o edifício, enquanto o campo 6 é referente às UAs comerciais.

### 3.2. 2ª fase: Celulização

Após o *survey* e o preenchimento dos carimbos nos edifícios, segue-se a fase de Macrocelulização ou Celulização. Esta fase consiste na divisão da Macro célula em células, definindo do número máximo de UAs que uma célula pode ter. As dimensões de uma célula são definidas pela operadora. No exemplo da Tabela 5, as dimensões médias das células deverão ser aproximadamente 2500 UAs, podendo ter no máximo 2700 UAs. Para células adjacentes a células de futura expansão, as dimensões da célula deverão ser aproximadamente de 1800 UAs, sendo aceitável um máximo de 1900 UAs.

Tabela 5 - Dimensões das células [11]

	Dimensão média [UAs]	Dimensão máxima [UAs]
<b>Células</b>	2500	2700
<b>Zona de Futura Expansão</b>	1800	1900

Para os valores definidos pela operadora, na Tabela 5, é considerado que cada célula é alimentada por um cabo de 144 FO. Destas 144 FO, a operadora considerou que 90 FO têm como função oferecer serviços FTTH. Sendo assim, e considerando o rácio de divisão ótica de 1:32 na rede ODN, o número máximo de clientes por célula é calculado pela equação (1).

$$UAs_{máximo} = 90 FO * 32 = 2880 UAs \quad (1)$$

Na Tabela 6, encontra-se apresentada a gestão das fibras no cabo de 144 FO, que alimenta uma célula, realizada pela operadora. Das 144 FO, 90 FO têm como função oferecer serviços residenciais, 24 FO para ligações serviços Ponto-a-Ponto e as restantes 30 como fibras de reserva.

Tabela 6 - Definição das fibras no cabo de 144 FO [11]

Cabo de 144 FO	Função
90 FO	Serviços residenciais (FTTH)
24 FO	Ponto-a-Ponto (P2P)
30 FO	Reserva

### 3.3. 3ª fase: Microcelulização

Após a validação das fases anteriores, subdivide-se a célula em microcélulas, submetendo-as posteriormente para a aprovação. Para dividir a célula em microcélulas, a operadora define tipos de configurações possíveis que deverão ser aplicadas. A quantidade de ONTs que cada fibra provenientes do CO consegue ligar está diretamente ligado à divisão ótica realizada na rede.

Neste caso, é considerado o divisor ótico máximo de 1:64, sendo usado 1:2 no CO e 1:32 na rede ODN, conseguindo ligar no máximo 64 ONT. Em função deste rácio de divisão ótica, a operadora define as seguintes configurações da Tabela 7.

Tabela 7 - Limites de UAs das Microcélulas [66]

	Limite das Microcélulas		
	Limite Inferior [UAs]	Limite Médio [UAs]	Limite Superior [UAs]
Configuração 1	48	53	64
Configuração 2	110	120	128
Configuração 3	165	180	192
Configuração 4	220	240	256

Foram definidos os limites na Tabela 7 com intuito de haver menos desperdícios de fibras nas JSOs dentro das células. Isto é, por exemplo uma microcélula de

Configuração 1, com 64 UAs, e assim sucessivamente para as outras configurações. Caso uma MC seja projetada fora do limite superior, por exemplo, 136 UAs que está fora do limite estabelecido na Configuração 2, seriam necessárias 128 fibras ativas da operadora e sobram 8 UAs. Para ligar essas 8 UAs seria necessário, no mínimo, *splittar* 1 fibra em 16. Caso existam 2 operadoras teriam de ser splittadas 2 FO, o que levaria ao dobro do desperdício.

A Figura 37 representa os processos de celulização, passagem da área limitada pela linha azul para a linha vermelha, e a microcelulização, passagem da área limitada pela linha vermelha para a área limitada pela linha azul claro.

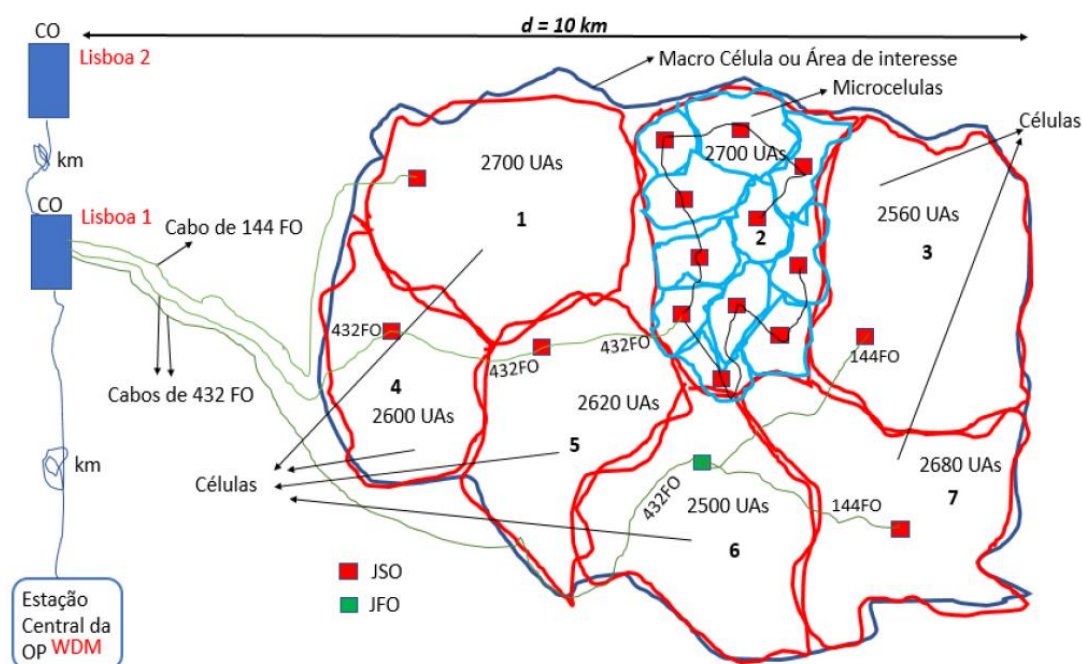


Figura 37 - Processos de Celulização e Microcelulização, em Benfica [11]

Na Figura 37 são utilizados dois cabos de 432 FO, em que cada cabo serve 3 células, e um cabo de 144 FO que serve a célula 1. É mais vantajoso, em termos económicos e de gestão de espaço nas condutas, utilizar um cabo de 432 FO em condutas para alimentar 3 células do que 3 cabos de 144 FO.

No cabo de 432 FO que liga as Células 4, 5 e 2, não são feitas quaisquer fusões, ou seja, este passa nas 3 células mencionadas e em cada JSO são deixadas 144 fibras para alimentar as mesmas. No outro cabo que liga as Células 6, 7 e 3 vai até a JFO (Junta de Fusão Ótica) situada na célula 6, e nesta são feitas 144 fusões no cabo de 144 FO que liga a Célula 7 e 144 fusões no cabo de 144 FO que liga a Célula 3, as restantes 144 fibras ficam na Célula 6.

### 3.4. 4ª fase: Construção da rede

Nesta fase o instalador irá proceder à construção a rede PON. Este será inteiramente responsável e autónomo na construção da mesma. Nesta fase, todos os processos burocráticos, como processamento da obtenção das condutas, instalações e autorizações ao abrigo ORAC e ORAP, infraestruturas de outras entidades, etc, devem estar concluídas.

A construção da rede pode ser dividida em duas fases: a primeira é designada de construção OSP (*OutSide Plant*) ou construção horizontal. Esta primeira fase representa toda a construção existente desde o CO até aos ONTs. A segunda fase é designada de construção ISP (*Inside Plant*) ou construção vertical. Esta fase, aplicável a edifícios não ITED, resulta na montagem da rede do PDO de interior do edifício até a última *floorbox* instalada na coluna montante. Caso um edifício seja ITED, não será realizada a construção ISP no edifício.

#### 3.4.1. Construção OSP

A Figura 38 demonstra os equipamentos usados na rede de acesso FTTH. Estes são os equipamentos que interligam o CO e os terminais da rede ótica instalados na rede do cliente. Entre estes dois existe uma rede ótica passiva ODN, composta por cabos de fibra ótica e dispositivos que distribuem e dividem o sinal.

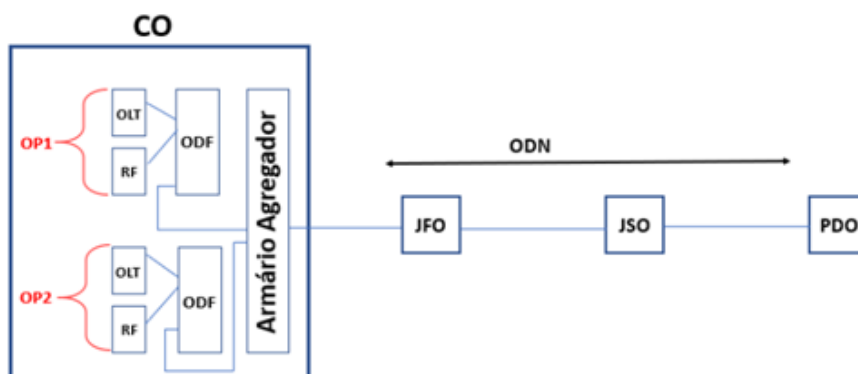


Figura 38 - Equipamentos na rede OSP, adaptado de [11]

Após a instalação dos cabos na rede inicia-se o processo da instalação dos equipamentos ativos. O OLT (*Optical Line Terminal*) transmite dados para os utilizadores. A quantidade de ONTs que uma porta do OLT pode servir dependerá do rácio de divisão ótica usado na rede. Na rede OSP, o SP constrói a rede a partir dos ODFs (*Optical Distribution Frame*) das duas operadoras até aos ONTs, no entanto a instalação dos equipamentos ativos é da responsabilidade da operadora desde o momento que as células estejam construídas. Na Figura 38 é ainda possível verificar, na rede ODN, a

presença de dois equipamentos na rede de acesso, o JSO (Junta de Splittagem Ótica) e o JFO (Junta de Fusão Ótica). A JFO permite realizar fusões de um cabo de uma capacidade para outro cabo de outra capacidade. A JSO permite a divisão ótica do cabo para, por exemplo, realizar a ligação através de cabos de menor capacidade.

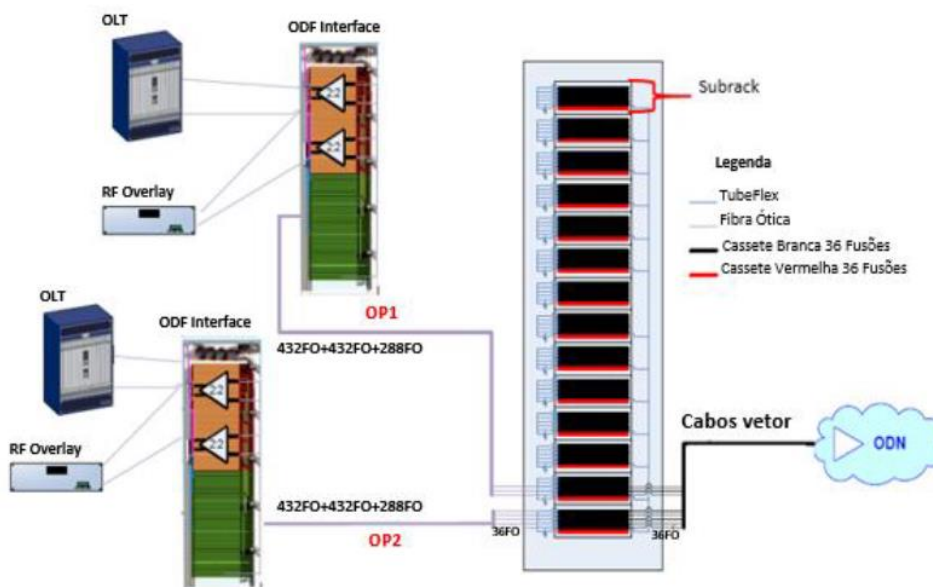


Figura 39 - Exemplo de equipamentos instalados no Central Office [66]

Na Figura 39 está ilustrado o equipamento usado no CO de uma rede de acesso de fibra ótica. O ODF é um equipamento passivo que já vem equipado do fornecedor com os *multiplexers*, para *RF overlay*, e os *splitters* de 1:2, caso sejam usados no CO. No ODF são encontrados três tipos de cassetes:

- As cassetes laranjas têm como objetivos multiplexar dois comprimentos de onda, PON OLT e *RF overlay*, e de seguida dividir o sinal no rácio de divisão ótica 1:2. As cassetes laranjas estão numeradas desde a posição 1 até a 45.
- As cassetes verdes realizam a agregação das fibras vindas das cassetes laranjas. As saídas destas cassetes são fusionadas nos cabos que saem do ODF e ligam ao Armário Agregador. As cassetes verdes estão numeradas desde a 46 até à posição 90.
- As cassetes amarelas são instaladas com o intuito de fornecer serviços ponto-a-ponto. As cassetes amarelas, caso sejam existentes, são instaladas nas posições 45 e 90 do ODF podendo haver a possibilidade de expansão para posições 44 e 89 e assim sucessivamente.

As cassetes no ODF são instaladas de acordo com o número total de UAs na área de cobertura. Sendo assim, na prática, existem 3 configurações possíveis para as instalações das mesmas presentes na Tabela 8.

Tabela 8 - Possíveis configurações do ODF [11]

Capacidade (UAs)	Cassetes laranjas	Cassetes verdes	Cassetes amarelas
2700	3	3	2
15360	20	20	2
32256	44	44	2

O armário agregador é o equipamento onde se efetuam as ligações dos cabos das operadoras existentes no CO, provenientes dos ODFs, com o cabo vetor do exterior. Ou seja, os cabos oriundos dos ODFs são fusionados diretamente para as células no Armário. Este ponto intermédio permite alocação de todas as fibras que ligam as células, bem como as fibras de reservas para zona de futura expansão.

A máxima capacidade do Armário Agregador é de 4536 fibras, isto é, permite instalar 21 *subracks*, em que cada *subrack* suporta 6 cassetes com capacidades para 36 fibras.

- As cassetes brancas têm como função o mapeamento direto das fibras óticas ativas no ODF com as fibras dos cabos vetor.
- As cassetes vermelhas são reservadas caso haja uma troca de fibras dentro do mesmo *subrack* ou com outros *subracks*.

A Tabela 9 demonstra as configurações possíveis no armário agregador.

Tabela 9 - Configurações do armário agregador [66]

Configuração	Nº ODFs	Subracks	Cassetes Brancas	Cassetes Vermelhas	Fusões	UAs Cobertura
I	1	7	35	7	1080	32256
II	2	14	70	14	2160	64512
III	3	21	105	21	3240	96768

### 3.4.2. Construção ISP

A construção do ISP consiste na construção do módulo secundário do PDO de interior, instalação do cabo de fibra ótica na coluna montante e instalações das *floorboxes* nos edifícios. Os cabos de fibra ótica utilizados na construção ISP devem respeitar a norma G.657A monomodo [66].

O PDO é dividido em dois módulos distintos, como é possível verificar pela Figura 40. O módulo primário, que é independente para cada uma das operadoras existente no edifício, e o módulo secundário, que é um módulo multioperadora. A primeira operadora

instalar a rede FTTH num edifício, deverá construir o seu módulo primário e deixar espaços para as outras operadoras construir os seus, e deverá também construir o módulo secundário que é partilhado por outras operadoras. Este último, contém os conectores de todo o edifício para o caso de o cliente querer mudar de operadora, ou querer ter duas ou mais operadoras em casa.

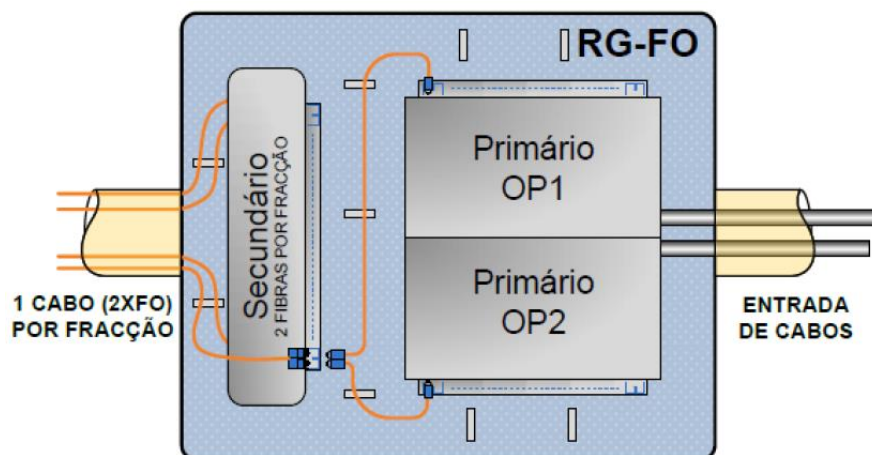


Figura 40 - Módulos do PDO [11]

O ONT (*Optical Network Terminal*) é o equipamento terminal da rede FTTH e é instalado pela operadora no momento da ativação dos serviços aos clientes.

### 3.5. 5ª fase: Ensaio na rede.

Após a construção da rede, será necessário realizar os respetivos testes para validação e certificação da mesma conforme o cadastro. Para a validação da rede realizam-se dois tipos de testes:

- Teste de encaminhamento: Nos testes de encaminhamento, validam-se todos os encaminhamentos de fibra ótica desde o CO até ao PDO. É usado um instrumento optoelectrónico designado de OTDR, com um módulo VLR (*Very Long Range*). Este emite um sinal com potência suficiente para compensar as atenuações presentes nas fibras, fusões, *splitters*, conectores existentes na rede, etc. Ou seja, o objetivo deste teste é confirmar fibra a fibra (tubo-a-tubo, cor-a-cor) conforme a rede foi projetada.
- Teste de reflectometria: É realizada a injeção do sinal do OTDR no ODF e medido no PDO. Este instrumento de teste, é utilizado na prática para medir a potência relativamente às perdas associadas, avaliando atenuações. As medidas são efetuadas nos dois extremos da ligação, em 3 comprimentos de onda: DS (1490 nm), US (1310 nm) e RF *overlay* (1550 nm).

### 3.6. 6ª fase: Entrega do projeto.

Após os ensaios na rede, o SP entrega o projeto do dimensionamento da rede FTTH das células projetadas. O SP realiza o lançamento do cadastro na plataforma da operadora fornecendo informações das fibras ativas nos PDOs, que ligam aos respectivos ONTs na rede dos clientes. Quando for necessária a ativação de serviços aos clientes, a operadora já sabe quais as fibras que foram projetadas para ligar os ONTs dos mesmos.

### 3.7. 7ª fase: Comercialização e marketing.

A última fase é da responsabilidade da operadora, onde é feita a comercialização e marketing.



## 4. Preparação e realização da simulação

Atualmente o desenho das redes de acesso em telecomunicações são realizados através do AutoCAD. Após o desenho da rede todo o processo de levantamento de material para a listagem de material da rede e, se necessário, o cálculo das atenuações para realizar o *optical power budget* é realizado manualmente, ou seja, sem qualquer tipo de programa auxiliar.

De modo a que se consiga associar um projeto de uma rede de telecomunicações, realizado em AutoCAD, ao *software*, será necessário introduzir uma nova estrutura na realização dos mesmos. Para tal, neste capítulo é proposta uma nova estrutura que implementa a introdução de nomes, atributos e *labels* para os blocos do AutoCAD. Após a introdução destes elementos propostos será possível a extração e identificação dos diferentes blocos presentes no projeto.

### 4.1. Nomenclatura

Para que seja possível a leitura correta da extração dos dados do AutoCAD, será necessário que os blocos presentes no projeto estejam de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 - Nomenclatura dos blocos do AutoCAD

Nome	Nome em AutoCAD
Central Office	CO
JFO	JXO
JSO	JXO
Edifício	EDIFICIO
PDO	PDO
Cabo de fibras	CABOS

Sendo que para a representação dos cabos das fibras, em AutoCAD, são utilizadas polilinhas, não será possível a atribuição de atributos às mesmas. Sendo assim, optou-se pela criação de um bloco que tem como objetivo rotular as fibras presentes no projeto de AutoCAD, tornando assim possível a atribuição de atributos aos cabos de fibras. A Figura 41 demonstra um exemplo da *label* criada para os cabos de fibras, em que a *label* criada para o cabo de fibras está identificada pelo retângulo verde.

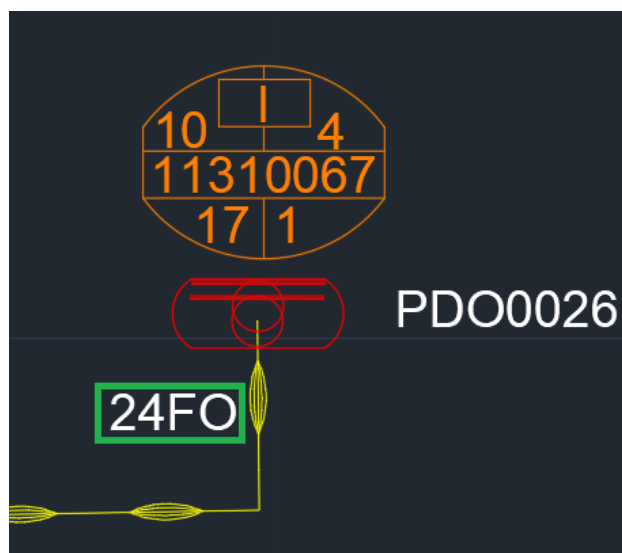


Figura 41 - Exemplo do uso de labels como bloco de AutoCAD

## 4.2. Atributos dos blocos

Após ser possível a realização da leitura e diferenciar o tipo de blocos, existe a necessidade de diferenciar o mesmo tipo de blocos. Para tal são atribuídos atributos próprios a cada tipo de bloco.

### 4.2.1. Central Office:

Para o bloco do Central Office não será necessário qualquer tipo de atributo para a simulação.

### 4.2.2. Junta de Fusão Ótica:

Os atributos da junta de fusão ótica são representados pela Tabela 11.

Tabela 11 - Atributos da JFO

Nome do atributo	Descrição
<b>IDENT</b>	Número de identificação do JFO. Esta identificação deverá cumprir a seguinte estrutura: <b>JFO[ID do JFO]</b> , exemplo: JFO0004.
<b>JXOLOCAL</b>	Identificação do local onde se situa o JFO. Este atributo toma os valores de:  <b>C</b> = Caso o JFO se situe numa conduta.  <b>F</b> = Caso o JFO se situe na fachada.  <b>P</b> = Caso o JFO se situe num Poste.

#### 4.2.3. Junta de Splittagem Ótica:

Os atributos da junta de splittagem ótica são representados pela Tabela 12:

Tabela 12 - Atributos da JSO

Nome do atributo	Descrição
<b>IDENT</b>	Número de identificação do JSO. Esta identificação deverá cumprir a seguinte estrutura: <b>JSO[ID do JSO]</b> , exemplo: JSO01.

#### 4.2.4. Edifício:

Os atributos do edifício são representados pela Tabela 13:

Tabela 13 - Atributos do edifício

Nome do atributo	Descrição
<b>UASC</b>	Número de UAs comerciais. Número mínimo: <b>0</b>
<b>UAS</b>	Número de UAs residenciais. Número mínimo: <b>0</b>
<b>PDO_IDENT</b>	Número de identificação do PDO associado ao edifício. Exemplo: <b>PDO0009</b>
<b>PISOS</b>	Número de pisos do edifício. Número mínimo: <b>1</b>

<b>FRACÇÕES</b>	Número de frações presentes por piso, no edifício. Número mínimo: <b>1</b>
<b>EDN</b>	Número em que o edifício será identificado. Exemplo: <b>11300051</b>
<b>FLAG</b>	Indicação se o edifício em causa deverá ser considerado para a colocação de serviços de telecomunicações. Este atributo toma os seguintes valores:  <b>0</b> = Considerado para instalação de serviços de telecomunicações.  <b>1</b> = Não considerado para instalação de serviços de telecomunicações.

#### 4.2.5. PDO:

Os atributos do ponto de distribuição ótica são representados pela seguinte Tabela 14:

*Tabela 14 - Atributos do PDO*

<b>Nome do atributo</b>	<b>Descrição</b>
<b>IDENT</b>	Número de identificação do PDO. Exemplo: <b>PDO0009</b>
<b>LOCALIZACAO</b>	Identificação se o PDO está localizado dentro do edifício (edifício ITED), ou fora do edifício. Este atributo toma os seguintes valores:  <b>IN</b> = PDO localizado no interior do edifício.  <b>OUT</b> = PDO localizado no exterior do edifício.

#### 4.2.6. Cabos de fibras:

Os atributos dos cabos de fibras são representados pela Tabela 15:

Tabela 15 - Atributos do cabo de fibras

Nome do atributo	Descrição
<b>EQUIPAMENTO_DESTINO</b>	Identificação do equipamento destino do cabo de fibras. Exemplo: <b>JFO0004</b> .
<b>EQUIPAMENTO_ORIGEM</b>	Identificação do equipamento de origem do cabo de fibras. Exemplo: <b>CO</b> .
<b>FIBRA_METRAGEM</b>	Quantidade de fibras presentes no cabo. Este atributo toma os valores de:  <b>1FO</b> = Cabo de 1 fibra. <b>12FO</b> = Cabo de 12 fibras. <b>24FO</b> = Cabo de 24 fibras. <b>36FO</b> = Cabo de 36 fibras. <b>48FO</b> = Cabo de 48 fibras. <b>72FO</b> = Cabo de 72 fibras. <b>96FO</b> = Cabo de 96 fibras. <b>144FO</b> = Cabo de 144 fibras. <b>288FO</b> = Cabo de 288 fibras. <b>432FO</b> = Cabo de 432 fibras.
<b>METROS_A</b>	Dimensão em metros de cabo aéreo. Dimensão mínima: <b>0</b>
<b>METROS_C</b>	Dimensão em metros de cabo de conduta. Dimensão mínima: <b>0</b>
<b>METROS_F</b>	Dimensão em metros de cabo de fachada. Dimensão mínima: <b>0</b>
<b>F_A</b>	Quantidade de transições entre cabo de fachada e cabo aéreo, e vice-versa. Quantidade mínima: <b>0</b>
<b>C_A</b>	Quantidade de transições entre cabo de conduta e cabo aéreo, e vice-versa. Quantidade mínima: <b>0</b>
<b>C_F</b>	Quantidade de transições entre cabo de conduta e cabo de fachada, e vice-versa. Quantidade mínima: <b>0</b>

### 4.3 Existência de vivendas na célula

No caso de existirem edifícios do tipo vivenda ligados ao mesmo PDO, poderá ser introduzido um novo tipo de bloco no AutoCAD. Um exemplo a sua utilização em AutoCAD está ilustrado na Figura 42.



Figura 42 - Utilização de ONT em vivendas

Este bloco irá representar o ONT da vivenda e deverá reutilizar o bloco do PDO, previamente criado. Sendo assim a nomenclatura do bloco e atributos serão apresentados nas seguintes Tabelas 16 e 17, respetivamente.

Tabela 16 - Nomenclatura do bloco ONT

Nome	Nome em AutoCAD
PDO	PDO

Tabela 17 - Atributo do bloco ONT

Nome do atributo	Descrição
<b>IDENT</b>	Número de identificação do ONT. O código deverá seguir o seguinte padrão: <b>ONT[ID do ONT]</b> , por exemplo: ONT0001.

A utilização deste bloco deve-se à necessidade de rastrear a quantidade de cabos de 1 FO, ou 2 FO em caso de ITED.

#### 4.4. Execução da simulação de um projeto GPON em Benfica

Para a realização da simulação de uma rede de acesso em fibra ótica será necessário o ficheiro *AutoCad* a cumprir a estrutura mencionada no subcapítulo anterior. A Figura 43 representa a célula que será estudada, na zona de Benfica, quando a fase 4 foi concluída. Sendo assim, os respetivos *surveys*, localização do CO, carimbos dos edifícios e os cabos de fibras já estarão presentes.



Figura 43 - Representação da célula alvo da simulação

##### 4.4.1. Extração de dados

Com auxílio do comando *dx* do AutoCAD, realiza-se a extração dos blocos presentes na rede. Nesta extração terão de ser selecionados todos os atributos sugeridos pelo subcapítulo anterior, não havendo problema caso existam atributos extra introduzidos pelo projetista. Após a escolha dos atributos, ilustrada na Figura 44, o ficheiro deverá ser guardado com extensão *comma-separated values* (.csv) para que seja possível a sua leitura.

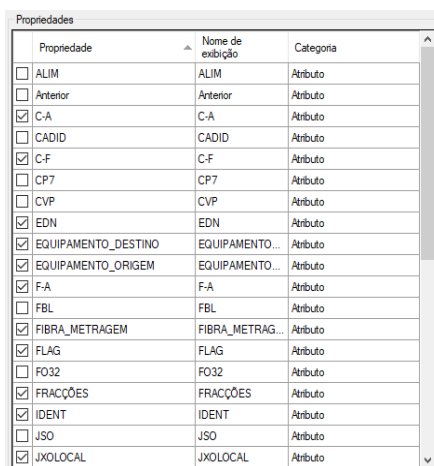


Figura 44 - Exemplificação da escolha de atributos a serem extraídos

#### 4.4.2. Realização da simulação

Quando o *software* desenvolvido for inicializado, assumindo que a preparação da simulação já foi realizada, importa-se a extração de dados do AutoCAD, no botão [Importar rede], e a listagem de material, no botão [Importar Material], presentes na Figura 45. A listagem de material, presente no anexo A, poderá ser alterada dentro do *software*, ou diretamente do Excel caso os nomes sejam mantidos.

##### 4.4.2.1. Inicialização do software

A Figura 45 demonstra o ambiente gráfico do *software* quando iniciado. Neste ambiente inicial é possível encontrar os botões, introduzidos anteriormente, e botões com dados importantes da rede, como por exemplo, a opção de escolha entre uma ou duas operadoras ou qual a taxa de penetração dos serviços da operadora na rede a ser simulada. Neste caso, não será adicionado qualquer custo às licenças de telecomunicações (licenças ORAP, ORAC, aluguer de condutas, etc).

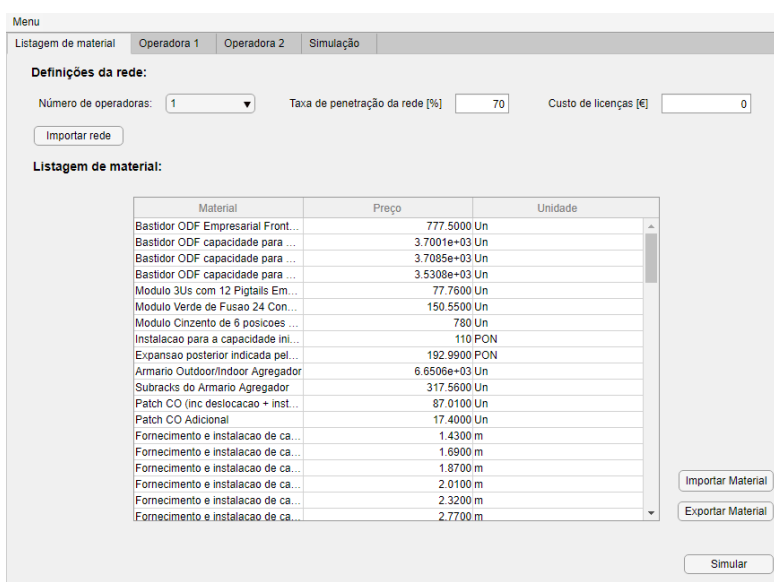


Figura 45 - Ambiente inicial do software

##### 4.4.2.2. Preparação da simulação

Assim que finalizada a primeira fase da preparação do *software*, ou seja, a importação de dados, sucede a fase de gestão da operadora. Neste simulação é realizada com o objetivo de fazer o estudo tecno económico para uma operadora. Sendo assim, a Figura 46 ilustra o segundo passo do funcionamento do *software*, que tem como base a fase de comercialização mencionada no capítulo do dimensionamento da rede.

Este processo, sendo possível realizar para 1 ou 2 operadoras, começa pela escolha do número de tarifários residenciais e se existe tarifário comercial. Após a

escolha dos tarifários procede-se para a atribuição da mensalidade para cada tarifário e a taxa de penetração de cada tarifário.

**Definições da Operadora 1:**

Número de tarifários: 4

Adicionar tarifário comercial?  
 Sim  
 Não

**Mensalidade dos tarifários [€]:**

Tarifário	Mensalidade
1	28.9
2	56.9
3	71.4
4	99

**Taxa de penetração dos tarifários [%]:**

Tarifário	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
1	16.28	30.88	33	53.12
2	4	10.56	30.84	28
3	2.44	6	4.32	8
4	0.28	2	6	9.76

**Mensalidade do tarifário comercial [€]:**

Tarifário	Mensalidade
1	600

**Taxa de penetração do tarifário comercial [%]:**

Tarifário	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
1	1	2	3	4

Simular

Figura 46 - Preparação dos tarifários da operadora

Como é possível verificar pela Figura 46, para este estudo as taxas de penetração de cada ano têm tendência de aumentar perto de 25% por ano. Isto quer dizer que, no primeiro ano da rede, a taxa de penetração dos serviços da rede estará a cobrir cerca de 25% (23% no caso da simulação) dos 70%, definidos na Figura 45, da taxa de penetração da rede definidos inicialmente. Sendo assim, é esperado que ao fim de quatro anos o número de clientes na rede seja 1478. Por outras palavras, ao fim de quatro anos é esperado que os tarifários tenham uma taxa de penetração de cerca de 100% dentro dos 70% que foram considerados inicialmente no estudo da rede composta por 2111 clientes, sendo estes os clientes aptos para receberem serviços de telecomunicações.

#### 4.4.2.3. Output do software

Após a inserção de todos os dados já se pode proceder à simulação. Quando esta for realizada os resultados irão aparecer na quarta *tab* do *software*. Na *tab* dos resultados estarão presentes vários tipos de informação:

- Listagem de material;
- *Power budget*;
- Localização dos *splitters*;
- Previsão financeira a 4 anos.

Todos estes resultados irão aparecer na quarta e última *tab* do *software*, representado na Figura 47.

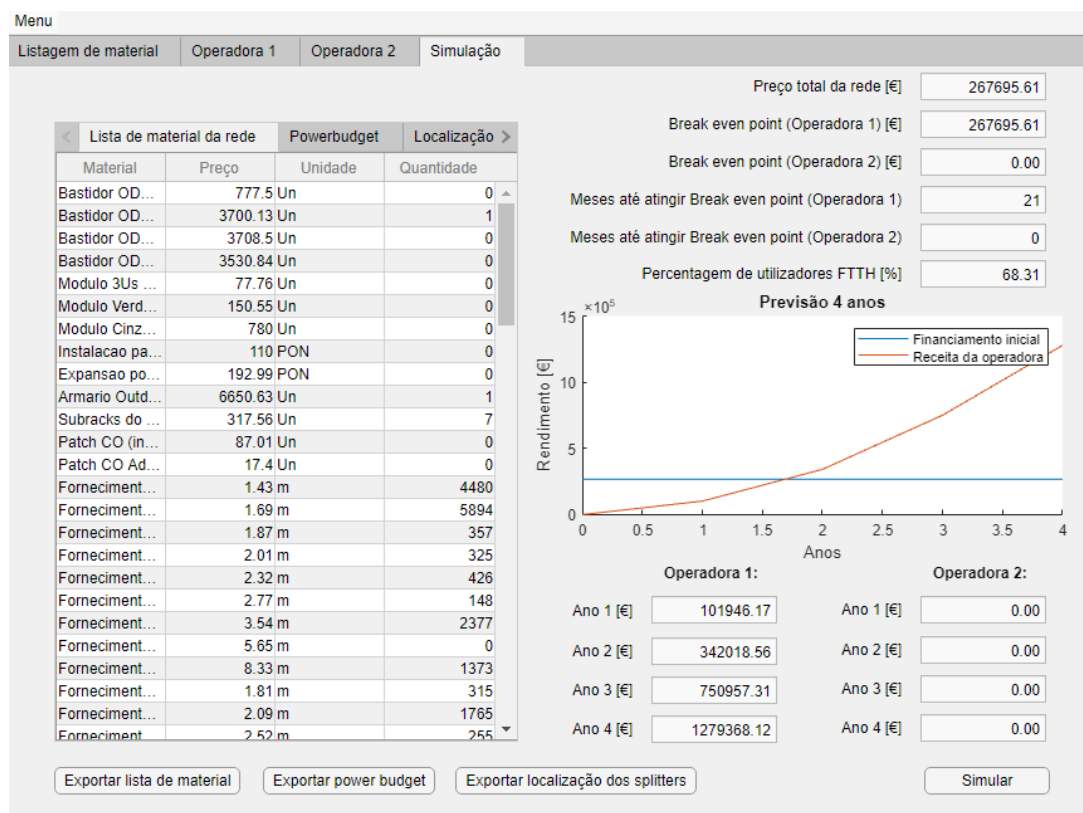


Figura 47 - Ambiente gráfico da simulação

### Output da listagem de material:

O resultado da geração da tabela de material para a simulação da rede é dado pela Figura 48. No levantamento dos materiais no CO são contabilizados os bastidores ODFs com as respetivas cassetes e o Armário Agregador, não contando com o OLT. Na construção OSP, são registados os comprimentos de cada tipo dos cabos instalados, a quantidade de PDOs instalados, *splitters* instalados nas JSOs e nos PDOs, quantidade dos tubos de subida metálicos, etc. Na construção ISP são contabilizados os módulos dos PDO instalados (primários e secundários), os comprimentos dos cabos instalados nas colunas montantes, o número das *floorboxes*, etc. Existem materiais que não são contabilizados nos levantamentos dos materiais na operadora, pois são contabilizados no valor final do custo da rede [11]. Alguns destes materiais são, por exemplo, os *patch cords*, conetores, mangas de fusões, buchas, braçadeiras para segurar os cabos nas fachadas, etiquetas de codificação dos cabos, etc.

Lista de material da rede	Powerbudget	Localização dos splitters	Preço	Unidade	Quantidade
Bastidor ODF Empresarial Fronteira			777.5000	Un	0
Bastidor ODF capacidade para alojar ate 12 Cassetes			3.7001e+03	Un	1
Bastidor ODF capacidade para alojar ate 45 Cassetes			3.7085e+03	Un	0
Bastidor ODF capacidade para alojar ate 90 Cassetes			3.5308e+03	Un	0
Modulo 3Us com 12 Pigtais Empresarial (inclui frame e encaminhador)			77.7600	Un	0
Modulo Verde de Fusao 24 Conectores LCI/APC			150.5500	Un	0
Modulo Cinzento de 6 posicoes WDM			780	Un	0
Instalacao para a capacidade inicial do CO indicada pela OP (Custo por P...			110	PON	0
Expansao posterior indicada pela VDF (custo por PON)			192.9900	PON	0
Armario Outdoor/Indoor Agregador			6.6506e+03	Un	1
Subracks do Armario Agregador			317.5600	Un	7
Patch CO (inc deslocação + instalacao 1 patch)			87.0100	Un	0
Patch CO Adicional			17.4000	Un	0
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 12 FO			1.4300	m	4480
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 24 FO			1.6900	m	5894
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 36 FO			1.8700	m	357
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 48 FO			2.0100	m	325
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 72 FO			2.3200	m	426
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 96 FO			2.7700	m	148
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 144 FO			3.5400	m	2377
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 288 FO			5.6500	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 432 FO			8.3300	m	1373
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 12 FO			1.8100	m	315
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 24 FO			2.0900	m	1765
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 36 FO			2.5200	m	255
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 48 FO			2.8300	m	50
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 72 FO			3.6400	m	65
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 96 FO			4.1900	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 144 FO			5.3300	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 12 FO			1.7400	m	1587
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 24 FO			2	m	3518
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 36 FO			2.2500	m	280
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 48 FO			2.4400	m	377
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 72 FO			3	m	45
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 96 FO			3.4300	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 144 FO			4.0500	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 12 FO			1.9700	m	40
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 24 FO			2.3900	m	84
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 36 FO			2.7100	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 48 FO			2.8200	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 72 FO			3.4800	m	28
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 96 FO			3.8100	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 144 FO			5	m	0
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 288 FO			6.7800	m	0
Juntas CVP com capacidade ate 24 fusoes - cassetes incluidas			81.5600	Un	0

Figura 48 - Output da extração de material

Esta tabela é calculada em função dos atributos vindos do AutoCAD e do input do *software*. A escolha do bastidor ODF e da quantidade de *subracks* é realizada, com o auxílio da Tabela 8, em função do cálculo do número de utilizadores totais que a rede irá suportar.

Para o cálculo da quantidade de cabo na rede OSP foram usadas as *labels* criadas em AutoCAD. A cada cabo na rede OSP e cabo de fachada na rede ISP foram adicionados 15% à dimensão dos cabos sendo que não são consideradas CV (caixas de visita).

Ainda em relação aos cabos referenciados anteriormente, são adicionados 10 metros a cada cabo por ser considerado que no final de cada cabo encontra-se sempre um equipamento ativo. Por cada troca entre cabos de conduta e de poste são adicionados 20 metros de cabo devido à altura do poste (10 metros) e à folga presente no poste (10 metros). Por cada troca entre cabos de conduta e fachada são adicionados 5 metros ao cabo de fibras e um tubo metálico de proteção. Por cada troca entre cabos de poste e de fachada são adicionados 5 metros de cabo de fibras.

O fornecimento e instalação de cabo *Raiser* é calculado apenas em edifícios não ITED, considerados estes os edifícios com rede FTTH, adicionando 5 metros por piso até à última *floorbox*, geralmente localizada no penúltimo andar do edifício. É considerado que no piso 0, entrada de um edifício não ITED, será instalado o PDO de interior e para um edifício, por exemplo, do PDO0012, composto por 10 pisos a última *floorbox* estará

localizada no piso 9. Sendo assim, e como o edifício tem 16 UAs, será montado um cabo de 24 FO na rede vertical do edifício de 40 metros de comprimento (5 metros x 8 pisos).

Para o cálculo da capacidade das juntas de fusão, e número de fusões nas mesmas, são verificados todos os cabos de fibras que têm como origem o JFO.

O levantamento da quantidade e capacidade de PDOs da rede é baseado na quantidade de possíveis usuários presentes num edifício, em função da taxa de penetração da operadora na rede.

O cálculo do número e capacidade dos *splitters* nas JSO é realizado para compensar a diferença entre a quantidade de fibras que saem do JSO e as que entram. Para tal, são realizadas divisões sucessivas optando por começar sempre por *splitters* de maior capacidade, por exemplo, *splitter* 1:32. Para evitar um número excessivo de *splitters* foi considerado um *threshold* de 0,75. Os *splitters* presentes nos PDO são calculados consoante a diferença entre o número de usuários no edifício e a capacidade do cabo de fibras que chega ao edifício.

O número total de fusões da rede é calculado intensivamente em toda a rede. Para uma melhor compreensão de como são calculadas as fusões em toda a rede, é apresentada a Figura 49 que ilustra situações distintas no planeamento de uma rede de acesso.

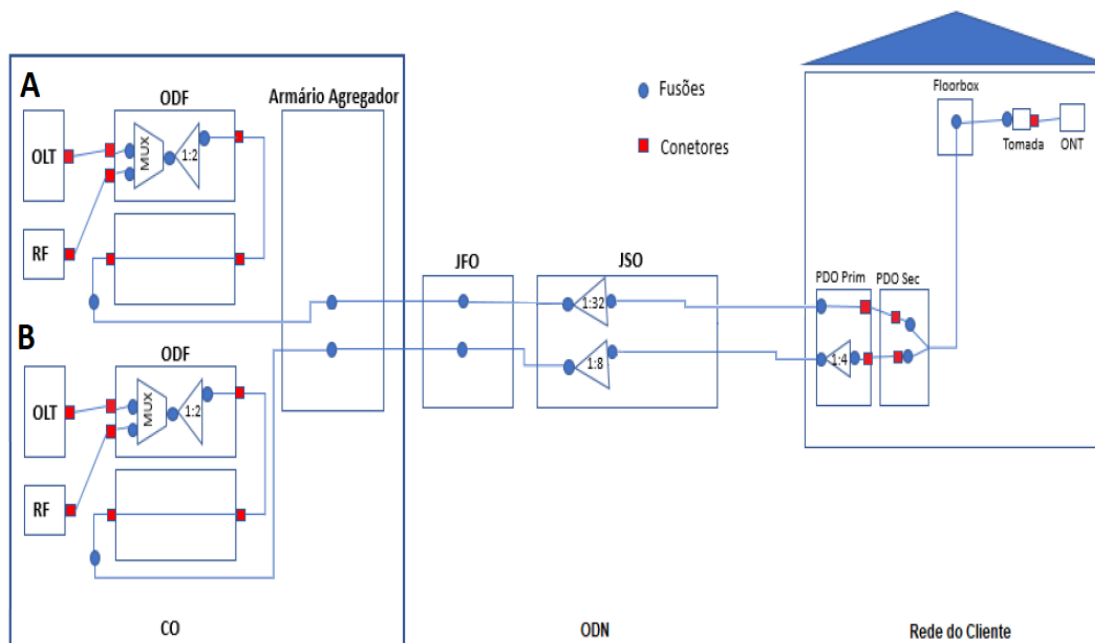


Figura 49 - Contabilização dos componentes para o cálculo da atenuação teórica, adaptado de [11]

**Output da atenuação total:**

Para ao cálculo do *power budget*, poderá também ser usada a Figura 49 como base para a compreensão do levantamento das atenuações da rede. A fórmula para o cálculo da atenuação total do percurso é dado pela seguinte expressão (2).

$$L_T = \alpha L + L_C + L_S + L_M + L_F \quad (2)$$

Em que:

- $L_T$ - Atenuação total
- $\alpha$ - Coeficiente de atenuação
- $L$ - Comprimento da fibra
- $L_C$ - Atenuação dos conectores
- $L_S$ - Atenuação dos *splitters*
- $L_M$ - Atenuação do multiplexer
- $L_F$ - Atenuação das fusões

Os valores das atenuações são dados na Tabela 18, em que os valores de atenuação dos *splitters* são dados pelas perdas máximas de inserção em [67].

*Tabela 18 - Atenuação teórica*

Componente	Atenuação
Cabo fibra ótica	0,4 dB/km
Conetor	0,3 dB
Fusão	0,05 dB
MUX	1,5 dB
<i>Splitter</i> 1:2	3,8 dB
<i>Splitter</i> 1:4	7,5 dB
<i>Splitter</i> 1:8	10,6 dB
<i>Splitter</i> 1:16	13,8 dB
<i>Splitter</i> 1:32	17 dB

Geralmente são adicionadas margens de segurança. É considerado por defeito o valor de 2 a 3 dBs de perdas para os casos de envelhecimento da fibra, fusões mal feitas, variações da temperatura e humidade. Através da equação (3) é possível calcular o power budget para um PDO, em função da atenuação total e da tabela de classes do OLT e ONT, presente na Tabela 19.

$$PB = (P_{T_{OLT}} - P_{SENS_{ONT}}) - L_T - M_{argin} \quad (3)$$

Em que:

- $PB$ - Power budget
- $P_{T_{OLT}}$ - Potência mínima de transmissão
- $P_{SENS_{ONT}}$ - Sensibilidade mínima no receptor
- $L_T$ - Atenuação total
- $M_{argin}$ - Margens de segurança

Tabela 19 - Valores típicos em ONT e OLT

	$P_T$ [dBm]	$P_{SENS}$ [dBm]	Classe
OLT	+1.5	-28	B+
ONT	+0.5	-27	
OLT	+3.5	-33	C+
ONT	+0.5	-28	

Para cálculo da atenuação total é considerada a localização do PDO. Sendo assim, para um edifício não ITED o cálculo será realizado entre OLT, situado no CO, e ONT, situado no interior da casa do cliente. Caso o PDO esteja localizado dentro das instalações do edifício, o cálculo será entre OLT, situado no CO, e PDO.

Para este cálculo são contabilizados todos os conectores, fusões, *splitters* e o comprimento total do cabo. Com auxílio da Figura 49 é possível verificar a metodologia usada, quanto ao levantamento das atenuações no percurso. Relativamente ao número de *splitters* presentes nos vários JSO do percurso até ao OLT, só será contabilizado um *splitter*, sendo este o de maior rácio presente no JSO. Sendo assim, e com auxílio das *labels* criadas no AutoCAD, é possível calcular a atenuação total para qualquer OLT presente na simulação, excluindo os edifícios que foram marcados como não apropriados a receber serviços de telecomunicações. A Figura 50 representa o cálculo das atenuações para uma porção dos OLTs, para uma operadora.

Lista de material da rede		Powerbudget	Localização dos spl
EDN	PDO	Powerbudget ...	Powerbudget OP 2
11310077	PDO0021	26.4103	
11310072	PDO0020	26.4192	
11310071	PDO0022	26.4034	
11310070	PDO0023	26.4057	
11310069	PDO0024	26.4034	
11310068	PDO0025	26.4103	
11310067	PDO0026	26.4172	
11300092	PDO0018	26.5235	
11300055	PDO0019	26.5304	
11300054	PDO0017	26.5034	
11300053	PDO0016	26.5258	
11300052	PDO0015	26.3212	
11300051	PDO0010	26.3097	
11300050	PDO0009	26.3189	
11300049	PDO0008	26.3281	
11300048	PDO0007	26.4810	
11300047	PDO0006	26.4718	
11300046	PDO0014	26.3773	
11300044	0	0	
11300043	PDO0046	43.4057	
11300020	PDO0013	26.5609	
11300019	PDO0012	26.5540	
11300018	PDO0011	26.5471	
11300017	PDO0003	26.4701	

Figura 50 - Output do cálculo das atenuações teóricas

A Figura 51 representa a localização dos *splitters* na rede. Estes *splitters* estão localizados em JSOs e PDOs, como mencionado anteriormente. Como dito anteriormente, o cálculo do número e capacidade dos *splitters* nas JSO é realizado por divisões sucessivas.

Localização	Localização dos splitters				
	Splitter 1:32	Splitter 1:16	Splitter 1:8	Splitter 1:4	Splitter 1:2
JSO08	6	1	1	0	0
JSO06	6	0	0	0	0
JSO05	7	1	0	0	0
JSO10	8	1	0	1	0
JSO01	7	1	0	0	0
JSO04	7	1	1	1	0
JSO03	4	1	1	1	0
JFO01	0	0	0	0	0
JSO09	4	1	0	0	0
JFO05	0	0	0	0	0
JSO11	1	1	0	0	0
JFO06	0	0	0	0	0
JFO03	0	0	0	0	0
JFO02	0	0	0	0	0
JSO07	4	1	0	0	0
JFO04	0	0	0	0	0
JFO004	0	0	0	0	0
JSO02	9	0	0	0	0
PDO0021	0	0	0	0	0
PDO0020	0	0	0	0	0

Figura 51 - Localização dos splitters na rede simulada

## Output do estudo económico da rede

Na parte direita do ambiente gráfico do menu de simulação estão presentes todos os detalhes sobre a parte financeira da rede. Tal como ilustrado na Figura 52, é calculado o preço total da rede, em função do material utilizado e do custo da licenças. O tempo de retorno, que é dado como o valor onde o total das receitas é igual ao total dos gastos, e os meses até ser atingido esse ponto. Caso sejam simuladas duas operadoras o preço total da rede será dividida pelas duas e o tempo de retorno será metade do preço total da rede.

A percentagem de utilizadores FTTH é dada como o rácio entre utilizadores FTTH, em que o PDO está localizado no interior das instalações do edifício, e utilizadores FTTB, em que o PDO está localizado no exterior das instalações do edifício.

O gráfico “Previsão 4 anos” representa a previsão financeira nos quatro primeiros anos da rede. Este gráfico está acompanhado por quatro pontos de interesse, para cada operadora, cada um destes pontos representa o rendimento total acumulado após cada ano.

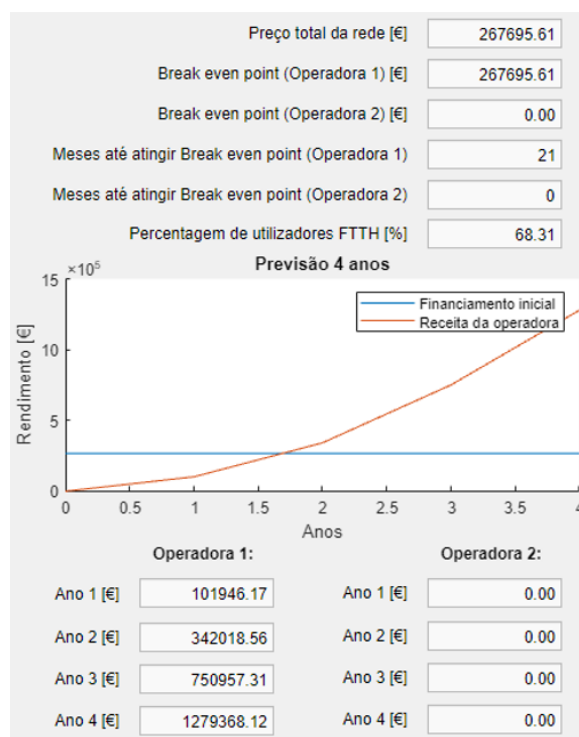


Figura 52 - Output da previsão financeira

No estudo económico na rede é tido em conta todo o tipo de custos CAPEX (*Capital Expenditure*), em que este define o custo da instalação de todo o tipo de equipamento, que a operadora terá de pagar ao SP pela construção das células. No entanto, não é tido em conta o custo OPEX (*Operational Expenditure*), em que este define o custo do aluguer de qualquer tipo de infraestrutura ou equipamento da rede e manutenção da mesma.

## 5. Análise tecno-económica

A análise tecno-económica de um projeto de uma rede de telecomunicações é fundamental para as operadoras. O objetivo é construir redes de fibra ótica para disponibilizar serviços de telecomunicações em banda larga, mas também é do interesse da operadora contabilizar o custo da rede telecomunicações na zona projetada. O custo de uma rede de telecomunicações depende de diversos fatores, tais como:

- Área total da zona a dar cobertura;
- Dimensão das células;
- Tipo de infraestruturas de telecomunicações existentes (condutas, fachadas ou postes);
- Acesso às condutas;
- Tipos de equipamentos ativos instalados no CO e na rede do cliente, e equipamentos passivos instalados na ODN;
- CAPEX;
- OPEX;
- Licenças ORAP, ORAC, etc.

### 5.1. Análise tecno-económica para uma operadora

Neste subcapítulo será realizada a análise económica de uma célula de Benfica para uma operadora.

#### 5.1.1 Listagem de equipamentos

A Tabela 20 representa a lista de equipamentos para a célula de Benfica para a simulação realizada. A lista de equipamentos representa o levantamento de todos os materiais necessários para a projeção da rede, isto é, todos os componentes que compõem a rede desde o CO, ao ODN até rede ISP. A simulação é realizada para uma operadora com uma taxa de penetração dos serviços de telecomunicações de 70%, sendo esta uma taxa de penetração otimista.

Tabela 20 - Análise Tecno-Económica manual da célula BEN04

Equipamento	Preço [€]	Unidade	Quantidade
Bastidor ODF capacidade para alojar até 12 Cassetes	3700.13	Un	1
Armário Outdoor/Indoor Agregador	6650.63	Un	1
Subracks do Armário Agregador	317.56	Un	7
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 12 FO	1.43	m	4480
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 24 FO	1.69	m	5894
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 36 FO	1.87	m	357
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 48 FO	2.01	m	325
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 72 FO	2.32	m	426
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 96 FO	2.77	m	148
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 144 FO	3.54	m	2377
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 432 FO	8.33	m	1373
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 12 FO	1.81	m	315
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 24 FO	2.09	m	1765
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 36 FO	2.52	m	255
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 48 FO	2.83	m	50
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 72 FO	3.64	m	65
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 12 FO	1.74	m	1587
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 24 FO	2	m	3518
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 36 FO	2.25	m	280
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 48 FO	2.44	m	377
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 72 FO	3	m	45
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 12 FO	1.97	m	40
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 24 FO	2.39	m	84

Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 72 FO	3.48	m	28
Juntas CVP com capacidade até 72 fusões - cassetes incluídas	91.99	Un	2
Juntas CVP com capacidade até 96 fusões - cassetes incluídas	105.27	Un	1
Juntas CVP com capacidade até 144 fusões - cassetes incluídas	315.58	Un	2
Juntas CVP com capacidade até 432 fusões - cassetes incluídas	406.39	Un	1
Juntas de fachada com capacidade até 72 fusões - cassetes incluídas	144.58	Un	1
PDO com capacidade para 12 conectores no secundário (plástico)	94.15	Un	104
PDO com capacidade para 24 conectores no secundário (plástico)	158.59	Un	40
PDO com capacidade para 36 conectores no secundário (plástico)	205.36	Un	2
PDO com capacidade para 48 conectores no secundário (plástico)	242.77	Un	1
PDO com capacidade para 72 conectores no secundário (plástico)	315.94	Un	0
<i>Floorbox</i> com capacidade para 12 fusões	31.21	Un	144
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x2	14.69	Un	36
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x4	20.25	Un	3
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x8	23.97	Un	3
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x16	78.95	Un	9
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x32	53.27	Un	63
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo 1x4	53.74	Un	1
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo 1x8	63.74	Un	1
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo 1x32	130.02	Un	1
Fusões em junta, PDO e CP	7.13	Un	14836
Instalação de <i>Patch cords</i> em PDO	4.36	Un	1483
Tubo de Subida metálico incluindo todos os acessórios necessários, sondas e instalação	81.27	Un	102
<i>Survey</i> exterior de edifícios	2.83	UAs	628
<i>Survey</i> interior de edifícios	3.42	UAs	1483
Projeto e cadastro FTTH	6.27	UAs	2113
ONT	20	Un	1478
<b>Preço total da rede [€]</b>			<b>266574.27</b>

O preço total da construção da rede de acesso projetada é o valor que a operadora irá pagar ao *Service Provider* pela construção da mesma. Para este custo não são contabilizados quaisquer custos de licenças, por exemplo, do aluguer das

infraestruturas de telecomunicações das entidades públicas (Câmaras Municipais) ou privadas, como por exemplo, as condutas ou postes.

Conclui-se assim que, para a construção da célula, a operadora irá pagar ao SP um valor de aproximadamente 266 574,27 €. A esse valor falta ainda contabilizar o custo dos equipamentos ativos a instalar no CO (OLT e RF *overlay*) e contabilizar o custo do aluguer das infraestruturas de telecomunicações (condutas, ORAP, ORAC, etc).

#### 5.1.1.2 Localização dos splitters

Para suporte na construção da rede existe uma característica no *software* que fornece informações da localização de todos os *splitters* calculados na rede, em cada JSO e PDO. A Tabela 21 representa a localização dos *splitters* calculados na simulação da rede. Esta tabela corresponde ao tratamento do output do *software* presente no Anexo B.

Tabela 21 - Localização dos splitters da rede

Localização	1:32	1:16	1:8	1:4	1:2
JSO08	6	1	1	0	0
JSO06	6	0	0	0	0
JSO05	7	1	0	0	0
JSO10	8	1	0	1	0
JSO01	7	1	0	0	0
JSO04	7	1	1	1	0
JSO03	4	1	1	1	0
JSO09	4	1	0	0	0
JSO11	1	1	0	0	0
JSO07	4	1	0	0	0
JSO02	9	0	0	0	0
PDO0046	1	0	0	0	0
PDO0032	0	0	1	1	0

#### 5.1.2. Power Budget

O *optical power budget* é a quantidade de potência necessária para transmitir sinais com sucesso à distância, por meio de uma conexão de fibra ótica. A Tabela 22 representa parte do output do cálculo das atenuações do percurso, encontrado na sua íntegra no Anexo C, calculada através das atenuações da Tabela 18.

Tabela 22 - Output parcial do Link Loss Budget

EDN	PDO	Link Loss
11300046	PDO0014	26.3773
11300044	0	0
11300043	PDO0046	43.4057
11300020	PDO0013	26.5609
11300019	PDO0012	26.554
11300018	PDO0011	26.5471
11300017	PDO0003	26.4701
11300016	PDO0002	26.4632
11300015	PDO0001	26.4563
11300002	PDO0005	26.4589
11300001	PDO0004	26.4586
11200124	PDO0067	26.0869
11200123	PDO0081	26.1961
11200122	PDO0096	26.2076
11200121	PDO0102	26.2191
11200120	PDO0116	27.1832
11200115	PDO0115	26.3771
11200114	PDO0072	26.0984
11200113	PDO0084	26.1053
11200112	PDO0072	26.0984
11200111	PDO0028	25.6087
11200110	PDO0031	25.5857
11200109	PDO0031	25.5857
11200108	PDO0031	25.5857
11200107	PDO0032	25.5673
11200106	PDO0032	25.5673

Após análise da tabela do output do cálculo das atenuações totais do percurso, pode-se verificar que existe um edifício, que é servido pelo PDO0046, que se encontra com uma atenuação de 43.4057 dB. Nenhuma classe de OLT/ONT poderá cobrir este edifício devido à elevada atenuação causada pela presença de um *splitter* 1:32 no PDO. Sendo este o edifício mais populoso o ideal seria a introdução de um cabo de maior quantidade de fibras. Atualmente o cabo que chega ao edifício é constituído por 12 fibras para um total de 59 clientes, sendo assim necessário uma otimização neste local da rede por parte do projetista.

Para o resto dos edifícios, caso não seja usada margem de segurança, poderão ser usados OLT e ONT de classe B+, segundo o cálculo com base na expressão (2) para o edifício de EDN 11200120:

$$PB = (1.5 - (-28)) - 27.1832 > 0$$

### 5.1.3. Tempo de retorno do investimento

O tempo de retorno, calcula o período que a operadora irá precisar para recuperar o capital investido na construção das células. Sendo assim, o tempo de retorno é sempre estudado na fase 7, ou seja, comercialização e marketing. Após a construção das células, a operadora faz a comercialização da rede de fibra ótica construída com diferentes tarifários oferecidos aos seus clientes. Os tarifários usados na simulação estão presentes na seguinte Tabela 23:

Tabela 23 - Tarifários oferecidos

	Tarifário	Mensalidade
<b>Tarifário Residencial</b>	R1	29.00€
	R2	57.00€
	R3	71.00 €
	R4	100.00€
<b>Tarifário comercial</b>	C5	600.00€

A célula simulada é composta por 2113 usuários, sendo 1925 residenciais e 188 comerciais, em que a operadora irá oferecer serviços de telecomunicações a 1478 usuários, devido à taxa de penetração da rede.

A taxa de penetração dos diferentes serviços solicitados pelos clientes será contabilizada ao longo dos anos, ou seja, serão ativados os serviços aos clientes residenciais e empresariais, a medida que estes aderem aos serviços de fibra ótica. Este estudo é realizado para um período de 4 anos, com uma taxa de penetração de serviços final aproximadamente de 100%. Para tal, simulou-se, com auxílio do *software* desenvolvido, o seguinte caso presente na Tabela 24.

Tabela 24 - Taxa de penetração dos tarifários, simulação 1.

Tarifário	Ano 1 [%]	Ano 2 [%]	Ano 3 [%]	Ano 4 [%]
<b>R1</b>	16,28	30,88	33	53,12
<b>R2</b>	4	10,56	30,84	28
<b>R3</b>	2,44	6	4,32	8
<b>R4</b>	0,28	2	6	9,76
<b>Total Residencial</b>	22,72	49,44	74,16	98,88
<b>C5</b>	1	2	3	4

Tal como referido anteriormente, as percentagens de penetração de um tarifário são referentes ao número de clientes abrangidos pelos 70% de cobertura do planeamento. Concluindo-se assim que, ao fim de 4 anos 98,88% dos clientes residenciais irão aderir à rede.

O tarifário C5 representa o tarifário pertencente aos clientes empresariais, clientes com necessidade de maiores débitos comparativamente a um cliente residencial. A taxa de penetração deste tarifário será apenas correspondente ao número de clientes comerciais. Para os 4 anos foram consideradas uma taxa de penetração de 4% no tarifário comercial, ou seja, assumiu-se que ao fim de 4 anos serão ativados os serviços a 8 clientes empresariais.

Com as taxas de penetração de serviços e as mensalidades é possível obter o seguinte gráfico da Figura 53.

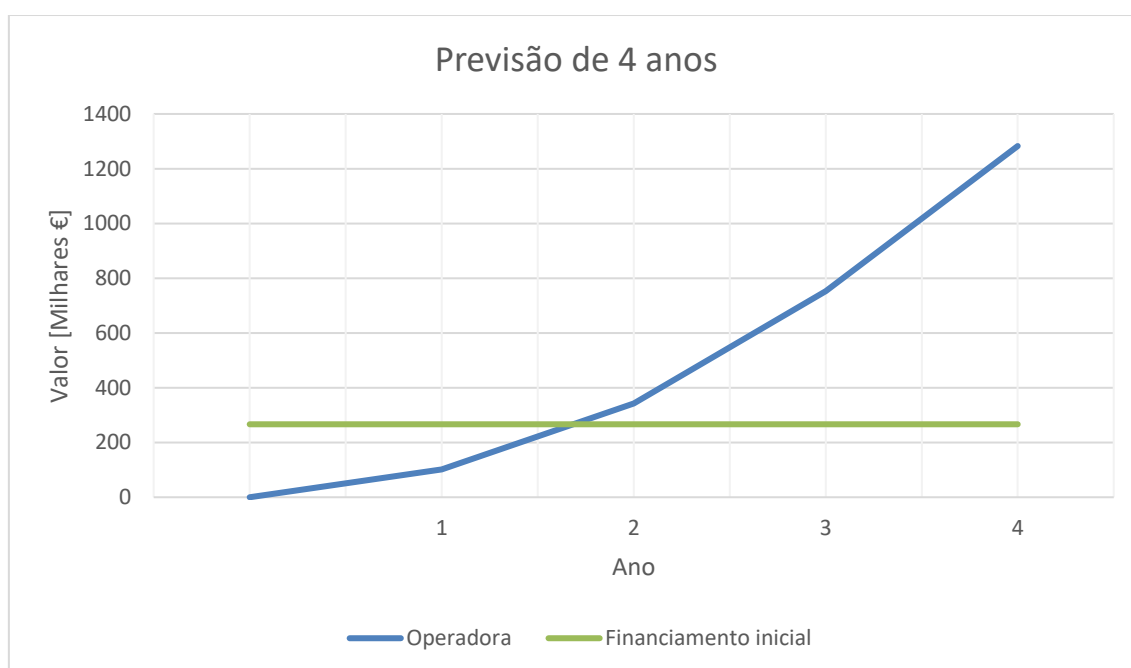


Figura 53 - Previsão financeira da célula.

Após a análise da Figura 53, e sabendo que o montante investido foi de 267 695,91€, conclui-se que o *tempo de retorno*, retorno do investimento, será após 21 meses da rede estar ativa, ou seja, após 1 ano e 9 meses, para as taxas de penetração utilizadas. Ao fim de 4 anos, o rendimento total será superior a um milhão e duzentos mil euros.

Para suporte da leitura da figura, a Tabela 25 representa dos valores do rendimento total acumulado após cada ano.

*Tabela 25 - Rendimento acumulado a 4 anos.*

Ano	1	2	3	4
Rendimento [€]	102 096.94	342 593.11	752 738.02	1 282 809.55

Conclui-se assim que, o tempo de retorno do investimento da célula projetada, será de 1 ano e 9 meses. O tempo de retorno de investimento depende principalmente da taxa de penetração de serviços de telecomunicações aos clientes. Se esta simulação, considerada pessimista, for realizada com a mesma taxa de penetração da rede, mas com taxas de penetração de serviços de telecomunicações aos clientes otimistas, o tempo de retorno descerá drasticamente.

## 5.2. Análise tecno-económica para duas operadoras

Neste subcapítulo será realizada uma simulação, na mesma célula de Benfica, mas para duas operadoras, que partilham a mesma infraestrutura. Tal como anteriormente, o objetivo é construir uma rede de fibra ótica para disponibilizar serviços de telecomunicações em banda larga. A construção da rede poderá ser paga por uma operadora ao SP, e posteriormente ser alugada à segunda operadora, ou ser construída por ambas as operadoras. No caso desta simulação foi acordado que os gastos da construção da rede serão divididos igualmente por ambas as partes.

Para a seguinte simulação foi considerada uma taxa de penetração da rede de 100%, sendo assim 50% de clientes abrangidos na rede por cada operadora.

### 5.2.1. Listagem de equipamento

A Tabela 26 representa a listagem do equipamento para a célula de Benfica da simulação realizada, para duas operadoras. A listagem de equipamento representa o levantamento de todos os materiais necessários para a projeção da rede, isto é, todos os componentes que compõem a rede desde o CO até à rede ISP, excluindo o OLT, para duas operadoras com 100% de taxa de penetração dos serviços de telecomunicações na célula.

Tabela 26 - Listagem de equipamentos para duas operadoras.

Equipamento	PrecoFinal	Unidade	Quantidade
Bastidor ODF capacidade para alojar até 12 Cassetes	3700.13	Un	2
Armário Outdoor/Indoor Agregador	6650.63	Un	1
Subracks do Armário Agregador	317.56	Un	14
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 12 FO	1.43	m	4480
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 24 FO	1.69	m	5894
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 36 FO	1.87	m	357
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 48 FO	2.01	m	325
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 72 FO	2.32	m	426
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 96 FO	2.77	m	148
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 144 FO	3.54	m	2377
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 432 FO	8.33	m	1373
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 12 FO	1.81	m	315
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 24 FO	2.09	m	1765
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 36 FO	2.52	m	255
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 48 FO	2.83	m	50
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 72 FO	3.64	m	65
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 12 FO	1.74	m	1587
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 24 FO	2	m	3518
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 36 FO	2.25	m	280
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 48 FO	2.44	m	377
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 72 FO	3	m	45
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 12 FO	1.97	m	40
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 24 FO	2.39	m	84
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 72 FO	3.48	m	28
Juntas CVP com capacidade até 72 fusões - cassetes incluídas	91.99	Un	2
Juntas CVP com capacidade até 96 fusões - cassetes incluídas	105.27	Un	1
Juntas CVP com capacidade até 144 fusões - cassetes incluídas	315.58	Un	2

Juntas CVP com capacidade até 432 fusões - cassetes incluídas	406.39	Un	1
Juntas de fachada com capacidade até 72 fusões - cassetes incluídas	144.58	Un	1
PDO com capacidade para 12 conectores no secundário (plástico)	94.15	Un	73
PDO com capacidade para 24 conectores no secundário (plástico)	158.59	Un	66
PDO com capacidade para 36 conectores no secundário (plástico)	205.36	Un	6
PDO com capacidade para 48 conectores no secundário (plástico)	242.77	Un	1
PDO com capacidade para 72 conectores no secundário (plástico)	315.94	Un	1
CP com capacidade para 12 fusões	31.21	Un	144
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x2	14.69	Un	36
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x4	20.25	Un	3
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x8	23.97	Un	3
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x16	78.95	Un	9
<i>Splitter</i> Junta modelo 1x32	53.27	Un	63
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo 1x2	33.74	Un	5
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo 1x4	53.74	Un	2
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo 1x8	63.74	Un	3
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo 1x16	78.95	Un	2
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo 1x32	130.02	Un	1
Fusões em junta, PDO e CP	7.13	Un	14836
Instalação de <i>Patch cords</i> em PDO	4.36	Un	1483
Tubo de Subida metálico incluindo todos os acessórios necessários, sondas e instalação	81.27	Un	102
<i>Survey</i> exterior de edifícios	2.83	UAs	628
<i>Survey</i> interior de edifícios	3.42	UAs	1483
Projeto e cadastro FTTH	6.27	UAs	2113
ONT	20	Un	2111
<b>Preço total da rede [€]</b>			288007.21

O preço total da construção da rede de acesso projetada é o valor que as operadoras irão pagar ao *Service Provider* pela construção da mesma. Tal como referido anteriormente, é acordado entre as operadoras que o custo da rede será dividido pelas mesmas. Para este custo não são contabilizados quaisquer custos de licenças, por exemplo, do aluguer das infraestruturas de telecomunicações das entidades públicas (Câmaras Municipais) ou privadas, como por exemplo, as condutas ou postes e a instalação de equipamentos ativos no CO (OLT e RF *overlay*).

Conclui-se assim que, para a construção da rede na célula e para duas operadoras, terá de ser pago ao SP um valor de aproximadamente 288 007,21€. Ou seja, cada operadora terá de pagar aproximadamente 144 003,60 € ao SP. Este valor acaba por ser superior comparativamente ao dimensionamento da rede realizado por uma operadora. Isto deve-se à taxa de penetração da rede ser total, havendo assim uma maior quantidade de ONTs na rede, e devido à composição do CO para suportar duas operadoras, havendo assim um bastidor ODF extra e 7 subracks do armário agregador extra.

#### 5.2.1.1. Localização dos splitters

A Tabela 27 representa a localização dos *splitters* calculados na simulação da rede. Esta tabela corresponde ao tratamento do output do *software* presente no Anexo D.

Tabela 27 - Localização dos splitters da rede partilhada.

Localização	1:32	1:16	1:8	1:4	1:2
JSO08	6	1	1	0	0
JSO06	6	0	0	0	0
JSO05	7	1	0	0	0
JSO10	8	1	0	1	0
JSO01	7	1	0	0	0
JSO04	7	1	1	1	0
JSO03	4	1	1	1	0
JSO09	4	1	0	0	0
JSO11	1	1	0	0	0
JSO07	4	1	0	0	0
JSO02	9	0	0	0	0
PDO0006	0	0	0	0	1
PDO0046	1	1	0	0	0
PDO0116	0	0	0	0	1
PDO0084	0	0	0	0	1
PDO0032	0	0	1	0	0
PDO0032	0	1	0	0	0
PDO0107	0	0	1	0	0
PDO0109	0	0	0	0	1
PDO0090	0	0	0	1	0
PDO0122	0	0	0	1	0
PDO0123	0	0	1	0	0
PDO0039	0	0	0	0	1

Através da análise da Tabela 27, e comparando com a simulação realizada no subcapítulo anterior, para uma operadora, é possível verificar que o número de *splitters* aumentou na rede. Isto deve-se ao aumento da taxa de penetração da rede ter aumentado de 70% para 100% e assim oferecendo uma cobertura a todos os clientes presentes na rede. Caso haja a necessidade de redução do número de *splitters*, especialmente nos PDO, é aconselhado o dimensionamento de uma maior quantidade de cabos de fibra destinados aos PDO.

### 5.2.2. Power Budget

A tabela 26 representa parte do output do cálculo das atenuações, encontrado na sua íntegra no Anexo E, calculada através das atenuações da Tabela 28.

*Tabela 28 - Output parcial dos cálculos do loss budget.*

EDN	PDO	Loss budget A	Loss budget B
11200027	PDO0083	26.9544	26.9544
11200026	PDO0094	27.0679	27.0679
11200025	PDO0047	26.8245	26.8245
11200024	PDO0048	26.8153	26.8153
11200023	PDO0049	26.813	26.813
11200022	PDO0050	26.8222	26.8222
11200021	PDO0052	26.836	26.836
11200020	PDO0063	26.8475	26.8475
11200019	PDO0064	26.8426	26.8426
11200018	PDO0117	27.1788	27.1788
11200017	PDO0118	27.1762	27.1762
11200016	PDO0119	27.1696	27.1696
11200015	PDO0120	27.1742	27.1742
11200014	PDO0121	27.1811	27.1811
11200013	PDO0122	34.7472	34.7472
11200012	PDO0123	37.863	37.863

Após análise da tabela do output do *loss budget* pode-se verificar que para ambas as operadoras o valor do *loss budgets* é idêntico devido à partilha da mesma rede e da mesma arquitetura de divisão ótica. Quando existe a partilha de redes de acesso entre operadoras existe a possibilidade de cada operadora usar um tipo diferente de *splitters*, obtendo assim um rácio de divisão ótica diferente para cada operadora, logo, *loss budgets* diferentes entre operadoras.

Em modo geral os valores do *loss budget* são maiores, comparativamente à simulação do capítulo anterior, devido à introdução de uma maior quantidade de *splitters* na rede para possibilitar dar cobertura a 100% dos clientes presentes na rede. Sendo assim, haveria possibilidade de usar um conjunto de OLT e ONT de classe C+ para

valores de loss budget até 31.5 dB. Para valores superiores ao mencionado anteriormente não será possível fornecer serviços de telecomunicações e será necessário uma otimização da rede por parte do projetista.

### 5.2.3. Estudo do tempo de retorno para diferentes cenários

A célula simulada, tal como referido anteriormente, é composta por 2113 usuários, sendo 1925 residenciais e 188 comerciais. Tendo duas operadoras a fazer a cobertura da célula irão ser oferecidos serviços de telecomunicações a 100% dos clientes da rede 2111 usuários, devido à não contabilização de um edifício por não estar apto a receber infraestruturas de telecomunicações.

As tabelas 29 e 30 representam as mensalidades das operadoras A e B, respetivamente.

*Tabela 29 - Tarifários da operadoras A.*

<b>Operadora A</b>	<b>Tarifário</b>	<b>Mensalidade</b>
<b>Tarifário Residencial</b>	R1	24.99€
	R2	59.99€
<b>Tarifário comercial</b>	C3	500.--€

*Tabela 30 - Tarifários da operadoras B.*

<b>Operadora B</b>	<b>Tarifário</b>	<b>Mensalidade</b>
<b>Tarifário Residencial</b>	R1	19.99€
	R2	44.99€
<b>Tarifário comercial</b>	C3	500.--€

A taxa de penetração dos diferentes serviços solicitados pelos clientes será contabilizada ao longo dos anos, ou seja, serão ativados os serviços aos clientes residenciais e empresariais, a medida que estes aderem aos serviços de fibra ótica. A simulação realizada irá estudar o impacto, para um período de 4 anos.

As tabelas 31 e 32 representam as taxas de penetração dos tarifários das operadoras A e B, respetivamente, em função dos anos.

Tabela 31 - Taxa de penetração dos tarifários para a operadora A.

Tarifário	Ano 1 [%]	Ano 2 [%]	Ano 3 [%]	Ano 4 [%]
R1	12.5	25	39	60
R2	12	25	34	40
<b>Total Residencial</b>	24.5	50	73	100
C3	1	2	3	4

Tabela 32 - Taxa de penetração dos tarifários para a operadora B

Tarifário	Ano 1 [%]	Ano 2 [%]	Ano 3 [%]	Ano 4 [%]
R1	35	40	45	55
R2	25	35	40	45
<b>Total Residencial</b>	60	75	85	100
C3	4	6	8	10

Com as taxas de penetração de serviços e as mensalidades é possível obter o seguinte gráfico da Figura 54.

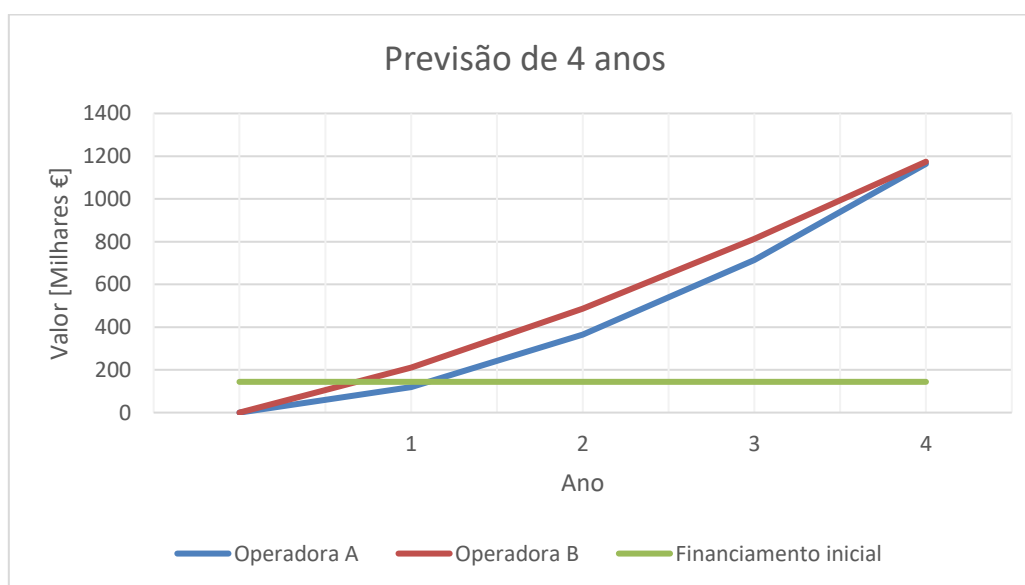


Figura 54 - Previsão financeira das operadoras.

Após a análise da Figura 54, e sabendo que o montante investido por cada operadora foi de 144 003,60 €. Sendo assim, tendo em conta as mensalidades e taxas de penetração dos serviços conclui-se que o tempo de retorno, retorno do investimento, será após 14 e 9 meses da rede estar ativa para as operadoras A e B, respetivamente. Ao fim de 4 anos, o rendimento total será superior a um milhão e cem mil euros para ambas as operadoras.

Para suporte da leitura da figura, a Tabela 33 representa dos valores do rendimento total acumulado após cada ano, para ambas as operadoras.

*Tabela 33 - Rendimento acumulado das operadoras.*

<b>Anos</b>	<b>Rendimento da operadora A [€]</b>	<b>Rendimento da operadora B [€]</b>
1	119347.39	211067.66
2	364974.61	485795.99
3	713483.65	812634.77
4	1164292.1	1174244.2

Conclui-se assim que, o tempo de retorno do investimento da célula projetada depende principalmente da taxa de penetração de serviços de telecomunicações aos clientes. A operadora B, mesmo tendo mensalidades significativamente mais baixas que a operadora A, conseguiu pagar a rede em menos de um ano devido à taxa de penetração dos serviços de telecomunicações oferecidos.



## 6. Conclusões e Trabalho Futuro

Neste último capítulo são reunidas as principais conclusões relativas à dissertação e sugeridas algumas propostas de desenvolvimento futuro em relação à aplicação realizada.

### 6.1. Conclusões

A presente dissertação teve como motivação base o desenvolvimento de uma aplicação, com o intuito de realizar uma análise tecno-económica de uma rede de acesso em fibra ótica e verificar se esta cumpre os requisitos mínimos de implementação. Para tal, os objetivos principais da mesma é o desenvolvimento de um *software* que fosse capaz de ler esquemáticos de AutoCAD e realizar o levantamento do equipamento, cálculo de atenuações e calcular o tempo que a operadora irá precisar para recuperar o investimento inicial da rede projetada.

Para atingir tal objetivo, fez-se o estudo do estado da arte das redes de acesso, nomeadas PON. Nas redes de acesso PON, começou-se por abordar arquitetura FTTx, de seguida as evoluções das redes PON a e por fim as técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda em redes PON. Após o estudo do estado de arte concluiu-se que, com a crescente necessidade de largura de banda por parte dos utilizadores residenciais e empresariais, a instalação de fibra ótica estendido até às instalações dos clientes emergiu como uma solução viável para o crescimento exponencial dos serviços de banda larga. É possível também verificar que, com o avanço das redes PON, é possível utilizar outras técnicas de multiplexagem de comprimento de onda, técnicas como WDM-PON por exemplo, que permitem utilizar um comprimento de onda por cliente ou mesmo tornar possível a coexistência de tecnologias PON diferentes dentro da mesma ODN.

Após esta análise, começou o processo do estudo e implementação de uma nova estrutura para a criação de projetos em AutoCAD. O principal desafio neste processo passou por arranjar um método de extração dos dados do esquemático, aproveitando muitos dos atributos já presentes em projetos, como por exemplo, a descrição do edifício. Para tal, foram criados vários atributos nos vários blocos para que seja possível a leitura e execução do *software* desenvolvido. A principal dificuldade neste processo passou por conseguir fazer os rastreamento da quantidade/tipo de fibra presente no esquemático, devido à representação das fibras ser feita através de polilinhas, e não de blocos. Para tal, foi criado um sistema de *labels* para ser usados por fibra.

Assim que a estruturação do ficheiro AutoCAD for finalizada, passou-se para a fase de desenvolvimento do *software*. Como dito anteriormente, o objetivo do *software* seria tornar o processo de cálculo de atenuações, levantamento do equipamento,

cálculo do custo da rede e do tempo de retorno, num processo automatizado. No levantamento do equipamento não são considerados os OLTs, devido ao dimensionamento dos mesmos estar relacionado com o rácio de divisão ótica da rede e número de clientes. Por exemplo, num caso em que uma operadora dimensiona uma rede com um rácio de divisão ótica de 64 (*splitter* 1:2 no CO e 1:32 na rede ODN), cada porta do OLT poderá servir 64 clientes. No caso da aplicação, os *splitters* são calculados em cada ponto da rede em função do rácio do número de fibras à saída e à entrada, calculando assim, de forma dinâmica e eficiente, os *splitters* usados na rede. A segunda razão de não ser dimensionado o OLT da rede é devido às classes do mesmo. Tal como abordado no capítulo de simulação, capítulo 5, a escolha da classe do OLT e do ONT deverá ser realizada em função das atenuações da rede e da consideração ou não de margens de segurança para conseguir garantir um *power budget* que cumpra com as normas.

A análise tecno-económica da célula simulada, na zona de Benfica, depende de diversos fatores, como dimensão da célula, tipo de infraestrutura existentes, acesso às condutas, licenças ORAP e ORAC, tipos de equipamentos instalados, CAPEX e OPEX. No caso da rede ser utilizada por duas operadoras, existe a possibilidade de uma operadora alugar as infraestruturas de telecomunicações ou acordarem em dividir o custo da rede pelas duas. Nas simulações para duas operadoras é sempre considerado que o custo total da rede por pagar ao SP é dividido pelas duas operadoras.

O custo de implementação de uma célula, sendo ou não partilhada por duas operadoras, na prática ronda valores entre 250 000 € e 300 000 €.

A célula projetada, quando simulada para uma operadora, teve um custo de 266 574.27€. Para tal, determinou-se que o tempo de retorno aconteceria após 21 meses da rede estar ativa. Esta simulação acontece tendo uma perspetiva pessimista da rede, ou seja, a taxa de penetração da rede é 70%, mas durante os dois primeiros anos só cerca de 23% e 50% dos clientes potenciais são considerados, respetivamente. No caso das mensalidades, por exemplo o Tarifário 1, é um preço bastante abaixo de qualquer concorrente, tendo assim o objetivo de aliciar qualquer potencial cliente, no entanto uma redução significativa no rendimento. No fim de quatro anos, cerca de 100% dos clientes potenciais são considerados como clientes da operadora e a rede renderia 1 282 809.55€.

A célula projetada, quando simulada para duas operadoras, teve um custo de 288 007.21€. Tendo em conta este custo, foi considerado que cada operadora iria pagar metade da rede. Sendo assim, determinou-se que o *tempo de retorno* aconteceria após 14 meses para a operadora A e 9 meses para a operadora B após a rede estar ativa. Para esta simulação considerou-se a taxa de penetração da rede de 50% para cada operadora. Para a operadora A foi considerada uma previsão mais pessimista,

considerando que após os dois primeiros anos da rede apenas cerca de 25% e 50% dos clientes potenciais seriam clientes da operadora, enquanto para a operadora B foi considerada uma previsão mais otimista, conseguindo obter 60% dos clientes potenciais após o primeiro ano. A operadora A mesmo tendo os tarifários mais altos do que a operadora B, demorou mais 5 meses a atingir o tempo de retorno do seu investimento, podendo assim verificar a importância da taxa de penetração dos serviços. Ao fim de quatro anos, ambas operadoras possuem 100% dos clientes potenciais e a rede renderia 1 164 292.1€ para a operadora A e 1 174 244.2€ para a operadora B.

Pode-se concluir que, no dimensionamento de uma rede de acesso, um dos pontos mais importantes numa análise tecno-económica é a taxa de penetração da rede, sendo esta a variável que indica quantos clientes a operadora possui na rede. Como foi possível verificar através das simulações, uma operadora mesmo tendo tarifários mais caros, mas com uma taxa de penetração mais baixa, demorará mais tempo até atingir o tempo de retorno. Também é importante ter em conta boas práticas na projeção de redes de acesso, por exemplo, no dimensionamento da quantidade de fibras existentes na rede, de modo a que não seja necessário o uso de *splitters*, sendo estes os elementos de maior peso no cálculo das atenuações.

## 6.2. Trabalho futuro

Como foi mencionado anteriormente, o objetivo principal desta dissertação foi cumprido, que passou por realizar a análise tecno-económica da uma rede GPON. No entanto, apresentam-se algumas sugestões para trabalho futuro que podem dar continuidade ao trabalho realizado nesta dissertação:

- Conseguir calcular o comprimento e dimensões das condutas, para que seja possível calcular o custo da realização das mesmas;
- Realizar o dimensionamento do número de portas no OLT e definição da classe dos equipamentos ativos OLT e ONT.



## Referências

- [1] ANACOM, Redes e serviços de alta velocidade em local fixo (FTTH e HFC) - 1.º semestre de 2020. Acedido em 23 de Setembro de 2020. Disponível em: <https://anacom.pt/render.jsp?contentId=1563170>
- [2] Anritsu. Acedido em 23 de Outubro de 2019. Disponível em: <https://www.anritsu.com/en-gb/testmeasurement/solutions/mt9085series-501/index>.
- [3] ITU-T, Optical Transport Network (OTN) Tutorial. Acedido em 30 de Outubro de 2020. Disponível em: <https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com15/otn/OTNtutorial.pdf>
- [4] ANACOM, A área abrangida por uma rede. Acedido em 23 de Outubro de 2019. Disponível em: <https://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=339120>.
- [5] <https://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=340442> [6] Wikipedia, DOCSIS. Acedido em 29 de Outubro de 2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/DOCSIS>
- [7] Cota, Nuno, "Slides de Sistemas de telecomunicações" Apontamentos de Sistemas de Telecomunicações, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015/2016.
- [8] ANACOM, Manual ITUR, 3.ª edição 2019
- [9] sdxcentral, What is the Radio Access Network. Acedido em 29 de Outubro de 2019. Disponível em: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/radio-access-network/>.
- [10] Anacom, Redes FTTH/B/P. Acedido em 5 de Novembro de 2019. Disponível em: <https://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=340463#.WCsRiuaLTIU>.
- [11] Oliveira, A. (Outubro de 2017). Redes de Acesso em Fibra Ótica: Situação Atual e Evolução (Tese de mestrado). Instituto superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- [12] Microsens, Accessories for FTTO Installation Components, Acedido em 16 de fevereiro de 2020. Disponível em: <https://www.dgroup.no/file/standardmappe-uni/installasjonen.pdf>
- [13] Tim Poulus, "FTTH networking: Active Ethernet versus Passive Optical Networking and point-to-point vs. point-to-multipoint", *Telecompaper*, 17 November 2010.
- [14] Ed Gubbins, "Active Ethernet grows in PON's shadow", *Wayback Machine, NXTcomm Daily News*, Penton Media, 13 May 2008.
- [15] Newton, Thomas. "Fibre Broadband: What is FTTC aka Fibre to the Cabinet and what does it mean?". *Consultado em 10 de Novembro de 2019*. Disponível em:

[https://recombu.com/digital/article/fibre-broadband-what-is-fttc-aka-fibre-to-the-cabinet\\_M10851.html](https://recombu.com/digital/article/fibre-broadband-what-is-fttc-aka-fibre-to-the-cabinet_M10851.html)

[16] Anacom, tecnologias xDSL. Acedido em 10 de Novembro de 2016 [Online]. Disponível em: <http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=340462#.WB39QfqLTIV>.

[17] FTTA, RRH e DÁS: A nova extensão das redes inalámbricas. Consultado em 12 de Março de 2020. Disponível em: <http://Exfo.com>.

[18] - PON Architectures – Springer, Chapter 2 PON Architectures.

[19] - "[WhatisEPON](#)". *New Wave Design & Verification*. Acedido em 30 de Janeiro de 2020. Disponível em: <http://newwavedv.com/markets/telecommunications/what-is-epon/>

[20] – AllOptic. PON Passive Optical Network. Acedido em 30 de Janeiro de 2020. Disponível em: <http://www.reachoptics.com/pon-passive-optical-network-n106.html>

[21] - Lee, C., Sorin, V. and Kim, B. – “Fiber to the Home Using a PON Infrastructure”, *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 24, Nº 12, December 2006.

[22] - Koonem, T. – “Optical Transmission Systems in the Telenor Network: Fiber-Optic Techniques for Broadband Access Networks”, *Teletronikk*, Volume 101 No. 2 – 2005 ISSN 0085-7130.

[23] - Koonen, T. – “Fiber to the home/fiber to the premises: What, Where, and When?”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, Nº5, pp. 911-934, May 2006.

[24] - Gutierrez, D., Shaw, W., An, F., Hsueh, Y., Rogge, M., Wong, G., and Kazovsky, L. – “Next Generation Optical Access Networks”, *Photonics and Networking Research Laboratory, Stanford University, Stanford CA 94305, USA*.

[25] - PON - Passive Optical Network. Acedido em 20 de Novembro de 2020 [Online]. Disponível em: <http://www.infocellar.com/networks/new-tech/PON/PON-real.html>.

[26] - PON Architectures – Springer, Chapter 2 PON Architectures.

[27] - GPON - EPON Comparison, CommScope Solutions Marketing, October 2013.

[28] - ITU-T The leader on G-PON standards. Acedido em 20 de Novembro de 2020. Disponível em: <http://www.itu.int/itudoc/gs/promo/tsb/85155.pdf>.

[29] - ITU-T Rec. G.983.1 – “Broadband Optical Access Systems Based on Passive Optical Networks (PON)”, *Digital Sections and Digital Line System – Optical Line Systems for Local and Access Networks*, 01/2005.

- [30] - Emmendorfer, M. – “Comparing IEEE EPON & FSAN/ITU-T GPON Family of Technologies”.
- [31] - Hood, D. and Trojer, E. – “Gigabit-Capable Passive Optical Networks”, published by John Wiley & Sons, 2012.
- [32] - Angelopoulos, J., Leligou, H., Argyriou, T. and Zontos, S. – “Efficient Transport of Packets with QoS in an FSAN-Aligned GPON”, Topics in Broadband Access, National Technical University of Athens.
- [33] - ITU-T Rec. G.984.3 – “Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification”, 03/2008.
- [34] - Sultan, D. and Arefin, Md. – “GPON, the Ultimate Pertinent of Next Generation Triple-play Bandwidth Resolution”, Journal of Telecommunications and Information Technology, 2/2011.
- [35] - Next-Generation PON Evolution, Huawei Technologies Co., Ltd. 2010.
- [36] - Effenberger, F. – “XGPON versus NG-PON2: Which One Will Win?”, ECOC Technical Digest, 2012, OSA.
- [37] - Kai, H. – “A Discussion of NG-PON: Evolution Trends”, FN Product Planning Manager, ZTE Corporation, August 2015.
- [38] - ITU-T Rec. G.987.1 – “10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON): Optical line systems for local and access networks” – Access networks, 06/2016.
- [39] - Pflum, M. – “10G-PON”, ACE: Association of Communication Engineers, RVW, Inc.
- [40] - ViaVi, XGS-PON. Acedido em 23 de Fevereiro de 2020. Disponível em: <https://www.viavisolutions.com/en-us/xgs-pon>
- [41] - BROADBANDlibrary, 10 Gbps Symmetrical with XGS-PON. Acedido em 23 de Fevereiro de 2020. Disponível em: <https://broadbandlibrary.com/10-gbps-symmetrical-with-xgs-pon/>
- [42] ITU-T Rec. G.989.1 – “40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (NG-PON2): General Requirements: Digital Sections and Digital Line System – Optical line Systems for Local and Access Networks”, 03/2013.
- [43] Fujiwara, M. – “Burst-Mode Optical Amplifier Technologies for TWDM-PON”, 42nd European Conference and Exhibition on Optical Communications, September 2016.

- [44] - J.-I. Kani, F. Bourgart, A. Cui, A. Rafel, M. Campbell, R. Davey, and S. Rodrigues, "Next-generation PON part I—technology roadmap and general requirements," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 11, pp. 43–49, Nov. 2009.
- [45] - Pflum, M. – "10G-PON", ACE: Association of Communication Engineers, RVW, Inc.
- [46] - ITU-T Recommendation G.989.2:40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specifications.
- [47]- Nettet, D. – "NG-PON2 technology and standards", Senior Member, IEEE, *Journal of Lightwave Technology*, July 2016.
- [48] Lee, C., Sorin, V. and Kim, B. – "Fiber to the Home Using a PON Infrastructure", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 24, Nº 12, December 2006.
- [49] Banerjee, A., Park, Y., Clarke, F., Song, H., Yang, S., Kramer, G., Kim, K. and Mukherjee, B. – "Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access", November 2005, Vol. 4, No. 11, *JOURNAL OF OPTICAL NETWORKING*.
- [50] GPON - EPON Comparison, CommScope Solutions Marketing, October 2013.
- [51] Whitewave paper – "WDM-PON: A key Component in Next Generation Access". Acedido em 23 de Fevereiro de 2020. Disponível em: <https://www.lightwaveonline.com/fttx/pon-systems/article/16649721/wdmpon-is-a-key-component-in-next-generation-access>.
- [52] ITU-T Rec. G.694.1 – "Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid", 02/2012.
- [53] Jiang, X., Zhang, Z., Wang, J. and Chen, X. – "A Back Reflection Optical Signal Detection-Based Automatic Wavelength Allocation Method for Channel-Reuse DWDM-PON with Tunable Lasers", *International Conference on Optical Communications and Networks*, 2015, China.
- [54] Kachhatiya, V. and Prince, S. – "Wavelength Division Multiplexing-Dense Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (WDM-DWDM-PON) for Long Reach Terrain Connectivity", *International Conference on Communication and Signal Processing*, April /2016, India.
- [55] Chi, Y., Lin, C., Lin, S. and Lin, G. – "The Reuse of Downstream Carrier Data Erased by Self-Feedback SOA for Bidirectional DWDM-PON Transmission", Senior Member, IEEE, *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, VOL. 30, N19, OCTOBER/2012.

- [56] Pires, J. – “Redes de Transporte WDM”. Apontamentos de Sistemas de Comunicação Ótica, Instituto Superior Técnico.
- [57] Scholts, L., Korcek, D. and Mullerová, J. – “Design of a Novel Wavelength Scheme for DWDM-PON Coexisting with Current PON Technologies and Protected Against Signal Interference”, Institute of Aurel Stodola, Faculty of Electrical Engineering, University of Žilina, Slovak Republic.
- [58] ITU-T Rec. G.694.2 – “Spectral Grids for WDM Applications: CWDM Wavelength Grid”, 12/2003.
- [59] Salleh, M., Manaf, Z., Khairi, K., Mohamad, R. and Lambak, Z. – “The Challenge for Active and Passive Components Design in CWDM PON System Co-Exist in GEPON and 10 GEPON Architecture”, TM Innovation Center, Lingkaran Teknokrat Timur, 63000 Cyberjaya, Selangor, Malaysia.
- [60] ITU-T Rec. G.989.1 – “40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (NG-PON2): General Requirements: Digital Sections and Digital Line System – Optical line Systems for Local and Access Networks”, 03/2013.
- [61] Luo, Y., Zhou, X., Effenberger, F., Yan, X., Peng, G., Qian, Y. and Ma, Y. – “Time- and Wavelength-Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON) for Next-Generation PON Stage 2 (NG-PON2)”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 31, Nº 4, February 15, 2013.
- [62] Zhao, H., Hu, S., Zhao, J., Yu, Y. and Barry, L. – “Chirp-Compensated DBR Lasers for TWDM-PON Applications”, IEEE Photonics Journal, Vol. 7, Nº 1, February 2015.
- [63] M. Bi, H. He, S. Xiao, and J. Li, “A New Symbol Timing Synchronization Scheme for Direct Modulation Optical OFDM PON”, in Proc. Asia Commun. Photon. Conf., Shanghai, China, 2011, pp. 1–6.
- [64] Yu, Q., Yu, X., Wu, X., Wang, L. and Zheng, B. – “Sleeping-time Analysis for Cognitive OFDM-PON”, Global Energy Interconnection Research Institute, Nanjing, China.
- [65] Chow, C., Yeh, C. and Sung, Y. – “OFDM RF Power-Fading Circumvention for Long Reach WDM-PON”, Department of Photonics and Institute of Electro-Optical Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, 30010, Taiwan.
- [66] - Manual do Projeto FTTH, Relatórios Internos da Empresa de Projetos e Engenharia em Telecomunicações – CBE.
- [67] - Huawei, Optical Power Loss and Budget. Acedido em 9 de Agosto de 2020. Disponível em: <https://support.huawei.com/huaweiconnect/carrier/en/thread-446053.html>



**Anexo A.** Lista de material do *software* (.csv)

<b>Material</b>	<b>Preço Final</b>	<b>Unidade</b>
Bastidor ODF Empresarial Fronteira	777.5	Un
Bastidor ODF capacidade para alojar ate 12 Cassetes	3700.13	Un
Bastidor ODF capacidade para alojar ate 45 Cassetes	3708.5	Un
Bastidor ODF capacidade para alojar ate 90 Cassetes	3530.84	Un
Armario Outdoor/Indoor Agregador	6650.63	Un
Subracks do Armario Agregador	317.56	Un
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 12 FO	1.43	m
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 24 FO	1.69	m
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 36 FO	1.87	m
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 48 FO	2.01	m
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 72 FO	2.32	m
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 96 FO	2.77	m
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 144 FO	3.54	m
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 288 FO	5.65	m
Fornecimento e instalacao de cabo de conduta (OSP) 432 FO	8.33	m
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 12 FO	1.81	m
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 24 FO	2.09	m
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 36 FO	2.52	m
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 48 FO	2.83	m
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 72 FO	3.64	m
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 96 FO	4.19	m
Fornecimento e instalacao de cabo Raiser (ISP) 144 FO	5.33	m
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 12 FO	1.74	m
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 24 FO	2	m

Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 36 FO	2.25	m
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 48 FO	2.44	m
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 72 FO	3	m
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 96 FO	3.43	m
Fornecimento e instalacao de cabo de fachada (ISP) 144 FO	4.05	m
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 12 FO	1.97	m
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 24 FO	2.39	m
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 36 FO	2.71	m
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 48 FO	2.82	m
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 72 FO	3.48	m
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 96 FO	3.81	m
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 144 FO	5	m
Fornecimento e instalacao de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 288 FO	6.78	m
Juntas CVP com capacidade ate 24 fusoes - cassetes incluidas	81.56	Un
Juntas CVP com capacidade ate 48 fusoes - cassetes incluidas	87.25	Un
Juntas CVP com capacidade ate 72 fusoes - cassetes incluidas	91.99	Un
Juntas CVP com capacidade ate 96 fusoes - cassetes incluidas	105.27	Un
Juntas CVP com capacidade ate 120 fusoes - cassetes incluidas	110.02	Un
Juntas CVP com capacidade ate 144 fusoes - cassetes incluidas	315.58	Un
Juntas CVP com capacidade ate 288 fusoes - cassetes incluidas	342.28	Un
Juntas CVP com capacidade ate 432 fusoes - cassetes incluidas	406.39	Un
Juntas de fachada com capacidade ate 12 fusoes - cassetes incluidas	60.22	Un
Juntas de fachada com capacidade ate 24 fusoes - cassetes incluidas	66.75	Un
Juntas de fachada com capacidade ate 36 fusoes - cassetes incluidas	73.64	Un
Juntas de fachada com capacidade ate 48 fusoes - cassetes incluidas	131.97	Un

Juntas de fachada com capacidade ate 72 fusoes - cassetes incluidas	144.58	Un
Juntas de fachada com capacidade ate 96 fusoes - cassetes incluidas	151.59	Un
Juntas de fachada com capacidade ate 144 fusoes - cassetes incluidas	175.25	Un
Juntas de poste com capacidade ate 12 fusoes - cassetes incluidas	73.49	Un
Juntas de poste com capacidade ate 24 fusoes - cassetes incluidas	79.95	Un
Juntas de poste com capacidade ate 36 fusoes - cassetes incluidas	86.46	Un
Juntas de poste com capacidade ate 48 fusoes - cassetes incluidas	151.53	Un
Juntas de poste com capacidade ate 72 fusoes - cassetes incluidas	161.91	Un
Juntas de poste com capacidade ate 96 fusoes - cassetes incluidas	170.66	Un
Juntas de poste com capacidade ate 144 fusoes - cassetes incluidas	181.16	Un
Juntas torpedo em poste com capacidade ate 144 fusoes	315.58	Un
PDO com capacidade para 12 conectores no secundario (plastico)	94.15	Un
PDO com capacidade para 24 conectores no secundario (plastico)	158.59	Un
PDO com capacidade para 36 conectores no secundario (plastico)	205.36	Un
PDO com capacidade para 48 conectores no secundario (plastico)	242.77	Un
PDO com capacidade para 72 conectores no secundario (plastico)	315.94	Un
PDO com capacidade para 96 conectores no secundario (plastico)	397.28	Un
CP com capacidade para 4 fusoes	25.74	Un
CP com capacidade para 12 fusoes	31.21	Un
Splitter Junta modelo 1x2	14.69	Un
Splitter Junta modelo 1x4	20.25	Un
Splitter Junta modelo 1x8	23.97	Un
Splitter Junta modelo 1x16	78.95	Un
Splitter Junta modelo 1x32	53.27	Un
Splitter PDO Interior modelo 1x2	33.74	Un
Splitter PDO Interior modelo 1x4	53.74	Un
Splitter PDO Interior modelo 1x8	63.74	Un
Splitter PDO Interior modelo 1x16	78.95	Un
Splitter PDO Interior modelo 1x32	130.02	Un
Fusoes em junta, PDO e CP	7.13	Un
Instalacao de Patchcoords em PDO	4.36	Un

Tubo de Subida metalico incluindo todos os acessorios necessarios, sondas e instalacao	81.27	Un
Survey exterior de edificios	2.83	UAs
Survey interior de edificios	3.42	UAs
Projecto e cadastro FTTH	6.27	UAs
ONT	20	Un
Licencas	1	Eur

**Anexo B.** Output da localização dos *splitters* na rede simulada.

	Tsplit32	Tsplit16	Tsplit8	Tsplit4	Tsplit2
JSO08	6	1	1	0	0
JSO06	6	0	0	0	0
JSO05	7	1	0	0	0
JSO10	8	1	0	1	0
JSO01	7	1	0	0	0
JSO04	7	1	1	1	0
JSO03	4	1	1	1	0
JFO01	0	0	0	0	0
JSO09	4	1	0	0	0
JFO05	0	0	0	0	0
JSO11	1	1	0	0	0
JFO06	0	0	0	0	0
JFO03	0	0	0	0	0
JFO02	0	0	0	0	0
JSO07	4	1	0	0	0
JFO04	0	0	0	0	0
JFO0004	0	0	0	0	0
JSO02	9	0	0	0	0
PDO0021	0	0	0	0	0
PDO0020	0	0	0	0	0
PDO0022	0	0	0	0	0
PDO0023	0	0	0	0	0
PDO0024	0	0	0	0	0
PDO0025	0	0	0	0	0
PDO0026	0	0	0	0	0
PDO0018	0	0	0	0	0
PDO0019	0	0	0	0	0
PDO0017	0	0	0	0	0
PDO0016	0	0	0	0	0
PDO0015	0	0	0	0	0
PDO0010	0	0	0	0	0
PDO0009	0	0	0	0	0
PDO0008	0	0	0	0	0
PDO0007	0	0	0	0	0
PDO0006	0	0	0	0	0
PDO0014	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
PDO0046	1	0	0	0	0
PDO0013	0	0	0	0	0
PDO0012	0	0	0	0	0
PDO0011	0	0	0	0	0

PDO0003	0	0	0	0	0
PDO0002	0	0	0	0	0
PDO0001	0	0	0	0	0
PDO0005	0	0	0	0	0
PDO0004	0	0	0	0	0
PDO0067	0	0	0	0	0
PDO0081	0	0	0	0	0
PDO0096	0	0	0	0	0
PDO0102	0	0	0	0	0
PDO0116	0	0	0	0	0
PDO0115	0	0	0	0	0
PDO0072	0	0	0	0	0
PDO0084	0	0	0	0	0
PDO0072	0	0	0	0	0
PDO0028	0	0	0	0	0
PDO0031	0	0	0	0	0
PDO0031	0	0	0	0	0
PDO0031	0	0	0	0	0
PDO0032	0	0	0	1	0
PDO0032	0	0	1	0	0
PDO0060	0	0	0	0	0
PDO0060	0	0	0	0	0
PDO0060	0	0	0	0	0
PDO0062	0	0	0	0	0
PDO0051	0	0	0	0	0
PDO0040	0	0	0	0	0
PDO0041	0	0	0	0	0
PDO0042	0	0	0	0	0
PDO0043	0	0	0	0	0
PDO0044	0	0	0	0	0
PDO0053	0	0	0	0	0
PDO0054	0	0	0	0	0
PDO0055	0	0	0	0	0
PDO0056	0	0	0	0	0
PDO0057	0	0	0	0	0
PDO0057	0	0	0	0	0
PDO0058	0	0	0	0	0
PDO0058	0	0	0	0	0
PDO0059	0	0	0	0	0
PDO0059	0	0	0	0	0
PDO0066	0	0	0	0	0
PDO0065	0	0	0	0	0
PDO0065	0	0	0	0	0
PDO0067	0	0	0	0	0

PDO0068	0	0	0	0	0
PDO0082	0	0	0	0	0
PDO0081	0	0	0	0	0
PDO0080	0	0	0	0	0
PDO0080	0	0	0	0	0
PDO0095	0	0	0	0	0
PDO0095	0	0	0	0	0
PDO0096	0	0	0	0	0
PDO0097	0	0	0	0	0
PDO0097	0	0	0	0	0
PDO0098	0	0	0	0	0
PDO0098	0	0	0	0	0
PDO0099	0	0	0	0	0
PDO0115	0	0	0	0	0
PDO0115	0	0	0	0	0
PDO0107	0	0	0	0	0
PDO0106	0	0	0	0	0
PDO0105	0	0	0	0	0
PDO0105	0	0	0	0	0
PDO0104	0	0	0	0	0
PDO0104	0	0	0	0	0
PDO0103	0	0	0	0	0
PDO0103	0	0	0	0	0
PDO0102	0	0	0	0	0
PDO0108	0	0	0	0	0
PDO0109	0	0	0	0	0
PDO0110	0	0	0	0	0
PDO0111	0	0	0	0	0
PDO0112	0	0	0	0	0
PDO0113	0	0	0	0	0
PDO0114	0	0	0	0	0
PDO0101	0	0	0	0	0
PDO0100	0	0	0	0	0
PDO0073	0	0	0	0	0
PDO0074	0	0	0	0	0
PDO0077	0	0	0	0	0
PDO0075	0	0	0	0	0
PDO0078	0	0	0	0	0
PDO0076	0	0	0	0	0
PDO0079	0	0	0	0	0
PDO0061	0	0	0	0	0
PDO0071	0	0	0	0	0
PDO0070	0	0	0	0	0
PDO0069	0	0	0	0	0

PDO0088	0	0	0	0	0
PDO0087	0	0	0	0	0
PDO0089	0	0	0	0	0
PDO0086	0	0	0	0	0
PDO0090	0	0	0	0	0
PDO0091	0	0	0	0	0
PDO0085	0	0	0	0	0
PDO0092	0	0	0	0	0
PDO0093	0	0	0	0	0
PDO0083	0	0	0	0	0
PDO0094	0	0	0	0	0
PDO0047	0	0	0	0	0
PDO0048	0	0	0	0	0
PDO0049	0	0	0	0	0
PDO0050	0	0	0	0	0
PDO0052	0	0	0	0	0
PDO0063	0	0	0	0	0
PDO0064	0	0	0	0	0
PDO0117	0	0	0	0	0
PDO0118	0	0	0	0	0
PDO0119	0	0	0	0	0
PDO0120	0	0	0	0	0
PDO0121	0	0	0	0	0
PDO0122	0	0	0	0	0
PDO0123	0	0	0	0	0
PDO0027	0	0	0	0	0
PDO0039	0	0	0	0	0
PDO0038	0	0	0	0	0
PDO0037	0	0	0	0	0
PDO0036	0	0	0	0	0
PDO0035	0	0	0	0	0
PDO0034	0	0	0	0	0
PDO0033	0	0	0	0	0
PDO0045	0	0	0	0	0
PDO0030	0	0	0	0	0
PDO0029	0	0	0	0	0

**Anexo C. Link Loss Budget.**

EDN	PDO	Link Loss
11310077	PDO0021	26.4103
11310072	PDO0020	26.4192
11310071	PDO0022	26.4034
11310070	PDO0023	26.4057
11310069	PDO0024	26.4034
11310068	PDO0025	26.4103
11310067	PDO0026	26.4172
11300092	PDO0018	26.5235
11300055	PDO0019	26.5304
11300054	PDO0017	26.5034
11300053	PDO0016	26.5258
11300052	PDO0015	26.3212
11300051	PDO0010	26.3097
11300050	PDO0009	26.3189
11300049	PDO0008	26.3281
11300048	PDO0007	26.481
11300047	PDO0006	26.4718
11300046	PDO0014	26.3773
11300044	0	0
11300043	PDO0046	43.4057
11300020	PDO0013	26.5609
11300019	PDO0012	26.554
11300018	PDO0011	26.5471
11300017	PDO0003	26.4701
11300016	PDO0002	26.4632
11300015	PDO0001	26.4563
11300002	PDO0005	26.4589
11300001	PDO0004	26.4586
11200124	PDO0067	26.0869
11200123	PDO0081	26.1961
11200122	PDO0096	26.2076
11200121	PDO0102	26.2191
11200120	PDO0116	27.1832
11200115	PDO0115	26.3771
11200114	PDO0072	26.0984
11200113	PDO0084	26.1053
11200112	PDO0072	26.0984
11200111	PDO0028	25.6087
11200110	PDO0031	25.5857
11200109	PDO0031	25.5857
11200108	PDO0031	25.5857

11200107	PDO0032	25.5673
11200106	PDO0032	25.5673
11200105	PDO0060	26.0099
11200104	PDO0060	26.0099
11200103	PDO0060	26.0099
11200102	PDO0062	26.0007
11200101	PDO0051	25.9731
11200100	PDO0040	25.7363
11200099	PDO0041	25.7524
11200098	PDO0042	25.7662
11200097	PDO0043	25.78
11200096	PDO0044	25.8593
11200095	PDO0053	25.8708
11200094	PDO0054	25.8846
11200093	PDO0055	25.9145
11200092	PDO0056	25.9283
11200091	PDO0057	25.9306
11200090	PDO0057	25.9306
11200089	PDO0058	26.0099
11200088	PDO0058	26.0099
11200087	PDO0059	26.0915
11200086	PDO0059	26.0915
11200085	PDO0066	26.0524
11200084	PDO0065	25.9754
11200083	PDO0065	25.9754
11200082	PDO0067	26.0869
11200081	PDO0068	26.0053
11200079	PDO0082	26.2731
11200078	PDO0081	26.1961
11200077	PDO0080	26.1145
11200076	PDO0080	26.1145
11200075	PDO0095	26.2214
11200074	PDO0095	26.2214
11200073	PDO0096	26.2076
11200072	PDO0097	26.1786
11200071	PDO0097	26.1786
11200070	PDO0098	26.1993
11200069	PDO0098	26.1993
11200068	PDO0099	26.2214
11200067	PDO0115	26.3771
11200066	PDO0115	26.3771
11200065	PDO0107	26.3855

11200064	PDO0106	26.3085
11200063	PDO0105	26.2421
11200062	PDO0105	26.2421
11200061	PDO0104	26.2283
11200060	PDO0104	26.2283
11200059	PDO0103	26.2099
11200058	PDO0103	26.2099
11200057	PDO0102	26.2191
11200056	PDO0108	27.186
11200055	PDO0109	27.1889
11200054	PDO0110	27.2033
11200053	PDO0111	27.2217
11200052	PDO0112	27.2332
11200051	PDO0113	27.2424
11200050	PDO0114	27.2447
11200049	PDO0101	27.0952
11200048	PDO0100	27.0906
11200047	PDO0073	27.0067
11200046	PDO0074	26.9998
11200045	PDO0077	26.9814
11200044	PDO0075	26.9906
11200043	PDO0078	26.9745
11200042	PDO0076	26.9834
11200041	PDO0079	26.965
11200040	PDO0061	26.861
11200039	PDO0071	26.8728
11200038	PDO0070	26.8659
11200037	PDO0069	26.8484
11200036	PDO0088	27.0886
11200035	PDO0087	27.0794
11200034	PDO0089	27.0975
11200033	PDO0086	27.0745

11200032	PDO0090	27.0903
11200031	PDO0091	27.0771
11200030	PDO0085	26.9705
11200029	PDO0092	27.084
11200028	PDO0093	27.0728
11200027	PDO0083	26.9544
11200026	PDO0094	27.0679
11200025	PDO0047	26.8245
11200024	PDO0048	26.8153
11200023	PDO0049	26.813
11200022	PDO0050	26.8222
11200021	PDO0052	26.836
11200020	PDO0063	26.8475
11200019	PDO0064	26.8426
11200018	PDO0117	27.1788
11200017	PDO0118	27.1762
11200016	PDO0119	27.1696
11200015	PDO0120	27.1742
11200014	PDO0121	27.1811
11200013	PDO0122	27.1972
11200012	PDO0123	27.213
11200011	PDO0027	26.4733
11200010	PDO0039	26.5638
11200009	PDO0038	26.5526
11200008	PDO0037	26.5664
11200007	PDO0036	26.5664
11200006	PDO0035	26.5822
11200005	PDO0034	26.5848
11200004	PDO0033	26.594
11200003	PDO0045	26.48022
11200002	PDO0030	26.4578
11200001	PDO0029	26.4595

**Anexo D: Splitters da rede partilhada**

Tsplit	Tsplit32	Tsplit16	Tsplit8	Tsplit4	Tsplit2
JSO08	6	1	1	0	0
JSO06	6	0	0	0	0
JSO05	7	1	0	0	0
JSO10	8	1	0	1	0
JSO01	7	1	0	0	0
JSO04	7	1	1	1	0
JSO03	4	1	1	1	0
JFO01	0	0	0	0	0
JSO09	4	1	0	0	0
JFO05	0	0	0	0	0
JSO11	1	1	0	0	0
JFO06	0	0	0	0	0
JFO03	0	0	0	0	0
JFO02	0	0	0	0	0
JSO07	4	1	0	0	0
JFO04	0	0	0	0	0
JFO0004	0	0	0	0	0
JSO02	9	0	0	0	0
PDO0021	0	0	0	0	0
PDO0020	0	0	0	0	0
PDO0022	0	0	0	0	0
PDO0023	0	0	0	0	0
PDO0024	0	0	0	0	0
PDO0025	0	0	0	0	0
PDO0026	0	0	0	0	0
PDO0018	0	0	0	0	0
PDO0019	0	0	0	0	0
PDO0017	0	0	0	0	0
PDO0016	0	0	0	0	0
PDO0015	0	0	0	0	0
PDO0010	0	0	0	0	0
PDO0009	0	0	0	0	0
PDO0008	0	0	0	0	0
PDO0007	0	0	0	0	0
PDO0006	0	0	0	0	1
PDO0014	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
PDO0046	1	1	0	0	0
PDO0013	0	0	0	0	0
PDO0012	0	0	0	0	0

PDO0011	0	0	0	0	0
PDO0003	0	0	0	0	0
PDO0002	0	0	0	0	0
PDO0001	0	0	0	0	0
PDO0005	0	0	0	0	0
PDO0004	0	0	0	0	0
PDO0067	0	0	0	0	0
PDO0081	0	0	0	0	0
PDO0096	0	0	0	0	0
PDO0102	0	0	0	0	0
PDO0116	0	0	0	0	1
PDO0115	0	0	0	0	0
PDO0072	0	0	0	0	0
PDO0084	0	0	0	0	1
PDO0072	0	0	0	0	0
PDO0028	0	0	0	0	0
PDO0031	0	0	0	0	0
PDO0031	0	0	0	0	0
PDO0031	0	0	0	0	0
PDO0032	0	0	1	0	0
PDO0032	0	1	0	0	0
PDO0060	0	0	0	0	0
PDO0060	0	0	0	0	0
PDO0060	0	0	0	0	0
PDO0062	0	0	0	0	0
PDO0051	0	0	0	0	0
PDO0040	0	0	0	0	0
PDO0041	0	0	0	0	0
PDO0042	0	0	0	0	0
PDO0043	0	0	0	0	0
PDO0044	0	0	0	0	0
PDO0053	0	0	0	0	0
PDO0054	0	0	0	0	0
PDO0055	0	0	0	0	0
PDO0056	0	0	0	0	0
PDO0057	0	0	0	0	0
PDO0057	0	0	0	0	0
PDO0058	0	0	0	0	0
PDO0058	0	0	0	0	0
PDO0059	0	0	0	0	0
PDO0059	0	0	0	0	0
PDO0066	0	0	0	0	0
PDO0065	0	0	0	0	0

PDO0065	0	0	0	0	0
PDO0067	0	0	0	0	0
PDO0068	0	0	0	0	0
PDO0082	0	0	0	0	0
PDO0081	0	0	0	0	0
PDO0080	0	0	0	0	0
PDO0080	0	0	0	0	0
PDO0095	0	0	0	0	0
PDO0095	0	0	0	0	0
PDO0096	0	0	0	0	0
PDO0097	0	0	0	0	0
PDO0097	0	0	0	0	0
PDO0098	0	0	0	0	0
PDO0098	0	0	0	0	0
PDO0099	0	0	0	0	0
PDO0115	0	0	0	0	0
PDO0115	0	0	0	0	0
PDO0107	0	0	1	0	0
PDO0106	0	0	0	0	0
PDO0105	0	0	0	0	0
PDO0105	0	0	0	0	0
PDO0104	0	0	0	0	0
PDO0104	0	0	0	0	0
PDO0103	0	0	0	0	0
PDO0103	0	0	0	0	0
PDO0102	0	0	0	0	0
PDO0108	0	0	0	0	0
PDO0109	0	0	0	0	1
PDO0110	0	0	0	0	0
PDO0111	0	0	0	0	0
PDO0112	0	0	0	0	0
PDO0113	0	0	0	0	0
PDO0114	0	0	0	0	0
PDO0101	0	0	0	0	0
PDO0100	0	0	0	0	0
PDO0073	0	0	0	0	0
PDO0074	0	0	0	0	0
PDO0077	0	0	0	0	0
PDO0075	0	0	0	0	0
PDO0078	0	0	0	0	0
PDO0076	0	0	0	0	0
PDO0079	0	0	0	0	0
PDO0061	0	0	0	0	0

PDO0071	0	0	0	0	0
PDO0070	0	0	0	0	0
PDO0069	0	0	0	0	0
PDO0088	0	0	0	0	0
PDO0087	0	0	0	0	0
PDO0089	0	0	0	0	0
PDO0086	0	0	0	0	0
PDO0090	0	0	0	1	0
PDO0091	0	0	0	0	0
PDO0085	0	0	0	0	0
PDO0092	0	0	0	0	0
PDO0093	0	0	0	0	0
PDO0083	0	0	0	0	0
PDO0094	0	0	0	0	0
PDO0047	0	0	0	0	0
PDO0048	0	0	0	0	0
PDO0049	0	0	0	0	0
PDO0050	0	0	0	0	0
PDO0052	0	0	0	0	0
PDO0063	0	0	0	0	0
PDO0064	0	0	0	0	0
PDO0117	0	0	0	0	0
PDO0118	0	0	0	0	0
PDO0119	0	0	0	0	0
PDO0120	0	0	0	0	0
PDO0121	0	0	0	0	0
PDO0122	0	0	0	1	0
PDO0123	0	0	1	0	0
PDO0027	0	0	0	0	0
PDO0039	0	0	0	0	1
PDO0038	0	0	0	0	0
PDO0037	0	0	0	0	0
PDO0036	0	0	0	0	0
PDO0035	0	0	0	0	0
PDO0034	0	0	0	0	0
PDO0033	0	0	0	0	0
PDO0045	0	0	0	0	0
PDO0030	0	0	0	0	0
PDO0029	0	0	0	0	0

**Anexo E: Loss budget para operadora A e B**

EDN	PDO	Loss budget A	Loss budget B
11310077	PDO0021	26.4103	26.4103
11310072	PDO0020	26.4192	26.4192
11310071	PDO0022	26.4034	26.4034
11310070	PDO0023	26.4057	26.4057
11310069	PDO0024	26.4034	26.4034
11310068	PDO0025	26.4103	26.4103
11310067	PDO0026	26.4172	26.4172
11300092	PDO0018	26.5235	26.5235
11300055	PDO0019	26.5304	26.5304
11300054	PDO0017	26.5034	26.5034
11300053	PDO0016	26.5258	26.5258
11300052	PDO0015	26.3212	26.3212
11300051	PDO0010	26.3097	26.3097
11300050	PDO0009	26.3189	26.3189
11300049	PDO0008	26.3281	26.3281
11300048	PDO0007	26.481	26.481
11300047	PDO0006	30.3218	30.3218
11300046	PDO0014	26.3773	26.3773
11300044	0	0	0
11300043	PDO0046	43.4057	43.4057
11300020	PDO0013	26.5609	26.5609
11300019	PDO0012	26.554	26.554
11300018	PDO0011	26.5471	26.5471
11300017	PDO0003	26.4701	26.4701
11300016	PDO0002	26.4632	26.4632
11300015	PDO0001	26.4563	26.4563
11300002	PDO0005	26.4589	26.4589
11300001	PDO0004	26.4586	26.4586
11200124	PDO0067	26.0869	26.0869
11200123	PDO0081	26.1961	26.1961
11200122	PDO0096	26.2076	26.2076
11200121	PDO0102	26.2191	26.2191
11200120	PDO0116	31.0332	31.0332
11200115	PDO0115	26.3771	26.3771
11200114	PDO0072	26.0984	26.0984
11200113	PDO0084	26.1053	26.1053
11200112	PDO0072	26.0984	26.0984
11200111	PDO0028	25.6087	25.6087
11200110	PDO0031	25.5857	25.5857
11200109	PDO0031	25.5857	25.5857
11200108	PDO0031	25.5857	25.5857
11200107	PDO0032	25.5673	25.5673
11200106	PDO0032	25.5673	25.5673
11200105	PDO0060	26.0099	26.0099
11200104	PDO0060	26.0099	26.0099
11200103	PDO0060	26.0099	26.0099
11200102	PDO0062	26.0007	26.0007
11200101	PDO0051	25.9731	25.9731
11200100	PDO0040	25.7363	25.7363
11200099	PDO0041	25.7524	25.7524
11200098	PDO0042	25.7662	25.7662
11200097	PDO0043	25.78	25.78
11200096	PDO0044	25.8593	25.8593
11200095	PDO0053	25.8708	25.8708
11200094	PDO0054	25.8846	25.8846
11200093	PDO0055	25.9145	25.9145
11200092	PDO0056	25.9283	25.9283
11200091	PDO0057	25.9306	25.9306
11200090	PDO0057	25.9306	25.9306
11200089	PDO0058	26.0099	26.0099
11200088	PDO0058	26.0099	26.0099
11200087	PDO0059	26.0915	26.0915
11200086	PDO0059	26.0915	26.0915
11200085	PDO0066	26.0524	26.0524
11200084	PDO0065	25.9754	25.9754
11200083	PDO0065	25.9754	25.9754
11200082	PDO0067	26.0869	26.0869
11200081	PDO0068	26.0053	26.0053
11200079	PDO0082	26.2731	26.2731
11200078	PDO0081	26.1961	26.1961
11200077	PDO0080	26.1145	26.1145
11200076	PDO0080	26.1145	26.1145
11200075	PDO0095	26.2214	26.2214
11200074	PDO0095	26.2214	26.2214
11200073	PDO0096	26.2076	26.2076
11200072	PDO0097	26.1786	26.1786
11200071	PDO0097	26.1786	26.1786
11200070	PDO0098	26.1993	26.1993
11200069	PDO0098	26.1993	26.1993
11200068	PDO0099	26.2214	26.2214
11200067	PDO0115	26.3771	26.3771
11200066	PDO0115	26.3771	26.3771
11200065	PDO0107	26.3855	26.3855

11200064	PDO0106	26.3085	26.3085
11200063	PDO0105	26.2421	26.2421
11200062	PDO0105	26.2421	26.2421
11200061	PDO0104	26.2283	26.2283
11200060	PDO0104	26.2283	26.2283
11200059	PDO0103	26.2099	26.2099
11200058	PDO0103	26.2099	26.2099
11200057	PDO0102	26.2191	26.2191
11200056	PDO0108	27.186	27.186
11200055	PDO0109	31.0389	31.0389
11200054	PDO0110	27.2033	27.2033
11200053	PDO0111	27.2217	27.2217
11200052	PDO0112	27.2332	27.2332
11200051	PDO0113	27.2424	27.2424
11200050	PDO0114	27.2447	27.2447
11200049	PDO0101	27.0952	27.0952
11200048	PDO0100	27.0906	27.0906
11200047	PDO0073	27.0067	27.0067
11200046	PDO0074	26.9998	26.9998
11200045	PDO0077	26.9814	26.9814
11200044	PDO0075	26.9906	26.9906
11200043	PDO0078	26.9745	26.9745
11200042	PDO0076	26.9834	26.9834
11200041	PDO0079	26.965	26.965
11200040	PDO0061	26.861	26.861
11200039	PDO0071	26.8728	26.8728
11200038	PDO0070	26.8659	26.8659
11200037	PDO0069	26.8484	26.8484
11200036	PDO0088	27.0886	27.0886
11200035	PDO0087	27.0794	27.0794
11200034	PDO0089	27.0975	27.0975
11200033	PDO0086	27.0745	27.0745

11200032	PDO0090	34.6403	34.6403
11200031	PDO0091	27.0771	27.0771
11200030	PDO0085	26.9705	26.9705
11200029	PDO0092	27.084	27.084
11200028	PDO0093	27.0728	27.0728
11200027	PDO0083	26.9544	26.9544
11200026	PDO0094	27.0679	27.0679
11200025	PDO0047	26.8245	26.8245
11200024	PDO0048	26.8153	26.8153
11200023	PDO0049	26.813	26.813
11200022	PDO0050	26.8222	26.8222
11200021	PDO0052	26.836	26.836
11200020	PDO0063	26.8475	26.8475
11200019	PDO0064	26.8426	26.8426
11200018	PDO0117	27.1788	27.1788
11200017	PDO0118	27.1762	27.1762
11200016	PDO0119	27.1696	27.1696
11200015	PDO0120	27.1742	27.1742
11200014	PDO0121	27.1811	27.1811
11200013	PDO0122	34.7472	34.7472
11200012	PDO0123	37.863	37.863
11200011	PDO0027	26.4733	26.4733
11200010	PDO0039	30.4138	30.4138
11200009	PDO0038	26.5526	26.5526
11200008	PDO0037	26.5664	26.5664
11200007	PDO0036	26.5664	26.5664
11200006	PDO0035	26.5822	26.5822
11200005	PDO0034	26.5848	26.5848
11200004	PDO0033	26.594	26.594
11200003	PDO0045	26.48022	26.48022
11200002	PDO0030	26.4578	26.4578
11200001	PDO0029	26.4595	26.4595

