
Redes de Acesso Ópticas

João Pires

Instituto de Telecomunicações, DEEC, Instituto Superior Técnico,
e-mail: jpires@lx.it.pt

**Seminário sobre Redes Ópticas de Nova Geração
ISCTE, 14 de Abril de 2009**



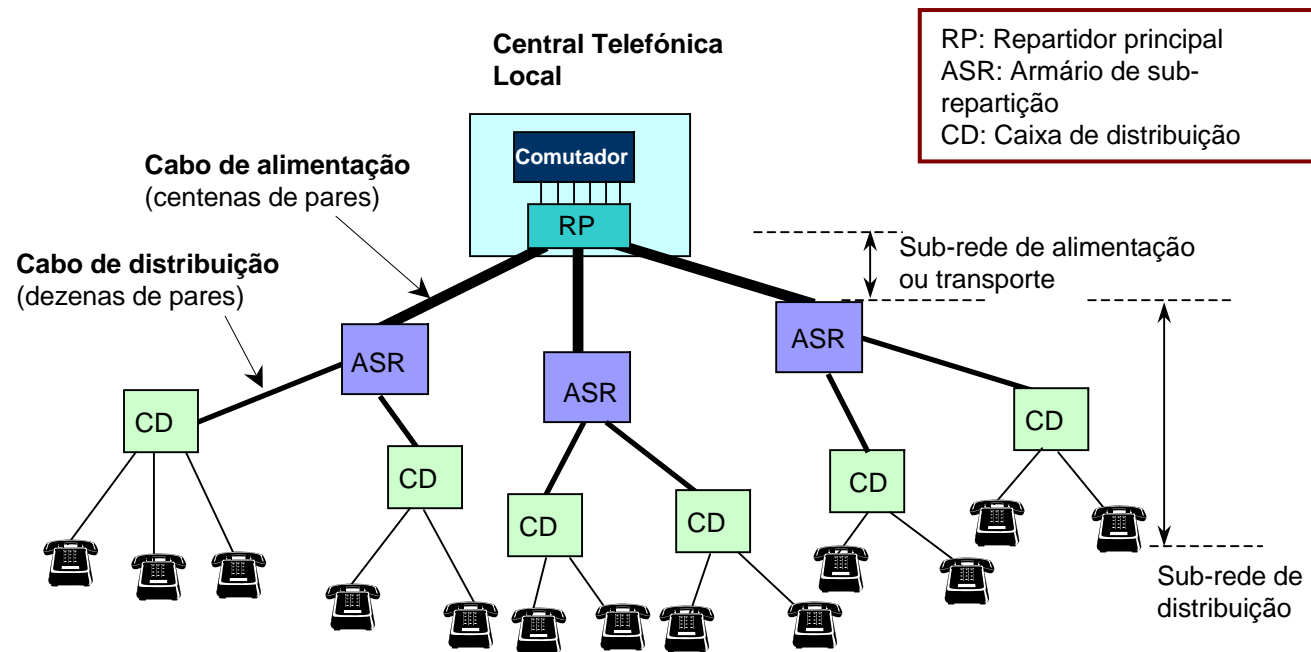
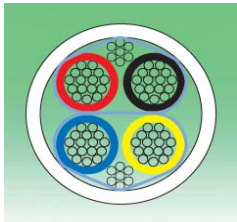
Sumário

- **Evolução da rede e dos débitos no acesso**
- **Arquitecturas e tecnologias para o acesso óptico**
- **Situação internacional e nacional da penetração da fibra no acesso**
- **Redes híbridas metro-acesso**

Evolução da Rede de Acesso

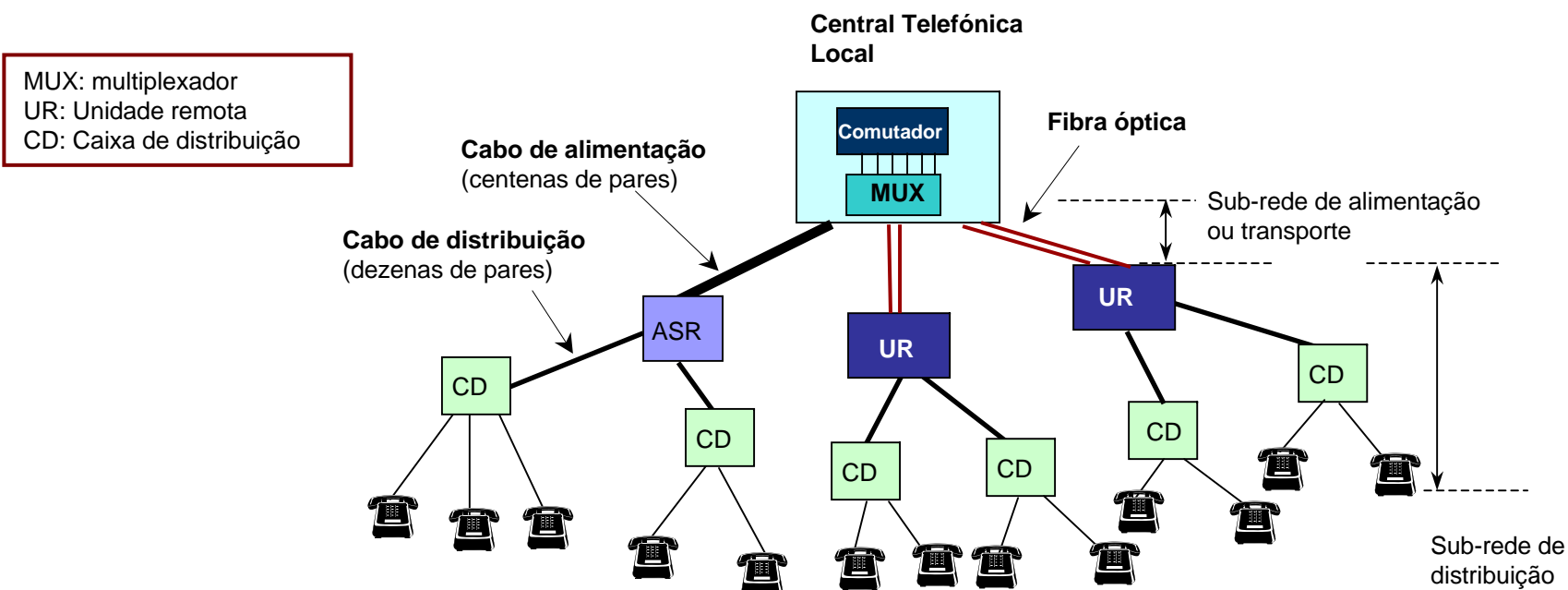
- A rede de acesso convencional das redes telefónicas públicas era constituída por uma infra-estrutura de pares de fios de cobre entrelaçados (pares simétricos) que ligavam a central telefónica local ao telefone do assinante.

Cabos de pares simétricos



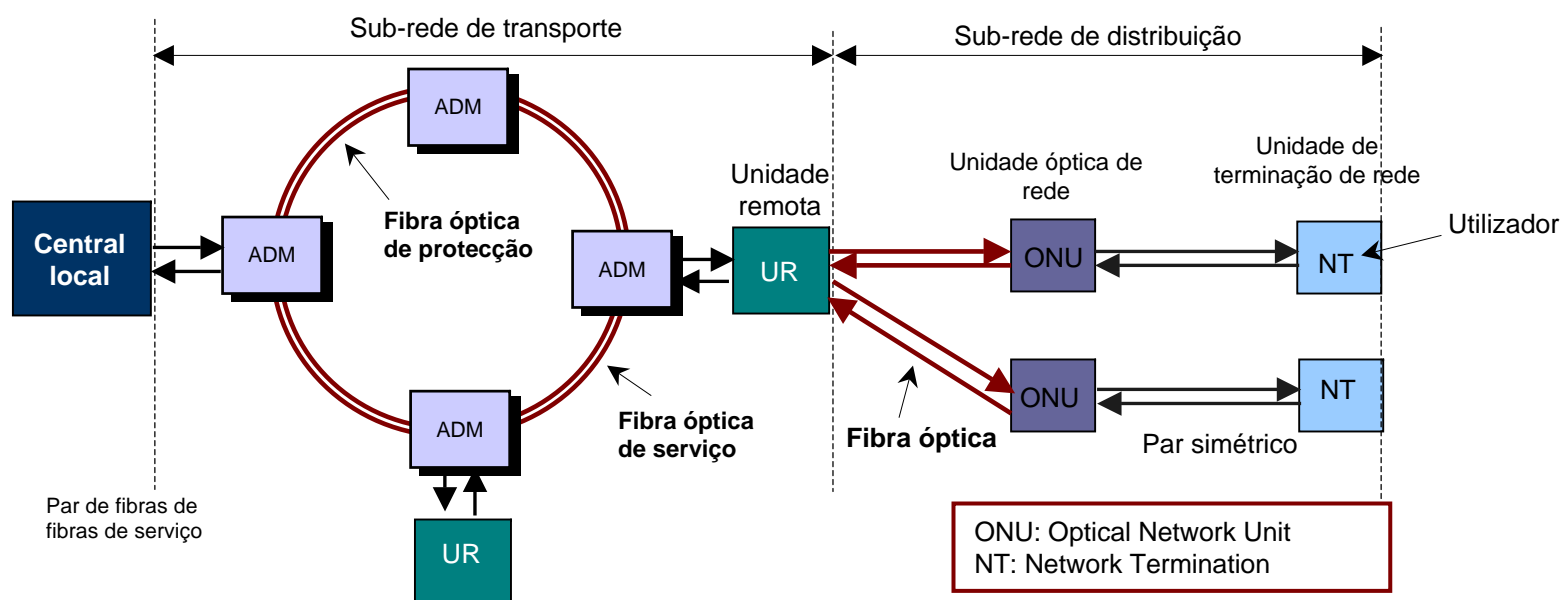
Rede de Acesso com Concentração

- Na evolução da rede alguns armários de sub-repartição foram substituídos por unidades remotas com capacidade para realizar concentração. Os cabos de alimentação foram substituídos por fibra óptica ou então por ligações via rádio (*fixed wireless access*).



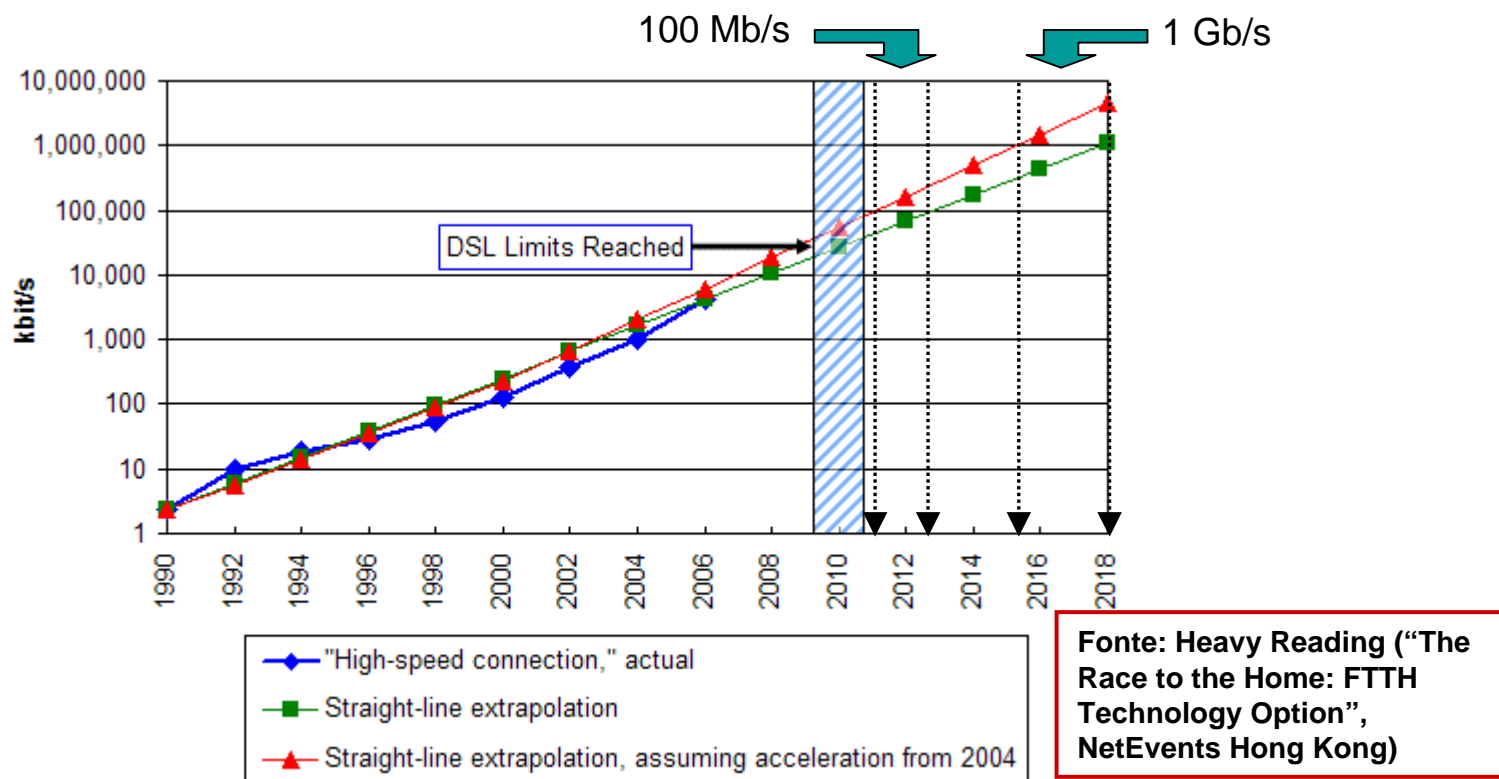
Sub-rede de Transporte com SDH

- Na sub-rede de transporte a informação é multiplexada e transmitida em formato digital normalmente sobre fibra óptica. Como alternativa à topologia física em estrela da sub-rede de transporte pode-se usar uma topologia em anel fazendo uso da SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*).



- Outra alteração de relevo consiste em introduzir também fibra na rede de distribuição. Como soluções em fibra têm-se : FTTCab, FTTC, FTTB, FTTH, dependendo da distância entre a ONU e o assinante (NT).

Evolução dos Débitos no Acesso



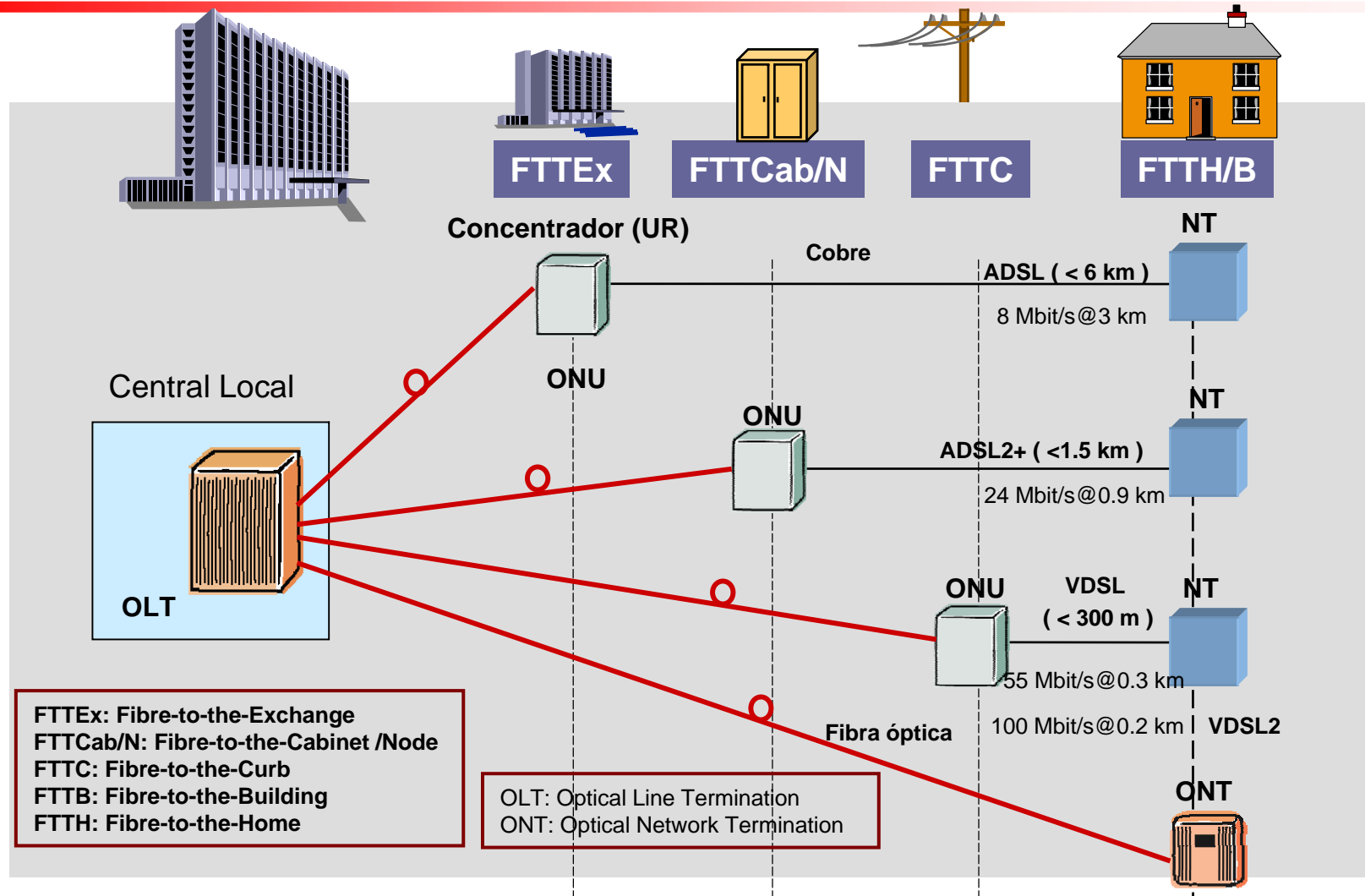
A linha a azul representa a evolução do débitos do acessos sobre cobre usando: 1) modems, com débitos entre 1.2 kb/s (1990) e 56 kb/s (1996); 2) x-DSL, que permitiu evoluir os débitos até cerca de 2Mb/s (2005).

A linha a verde extrapola a taxa de crescimento histórica: um factor crescimento de 2.29 ao ano. A linha a vermelho admite uma aceleração do crescimento a partir de 2004, para um factor de 3 ao ano.

A Fibra Óptica Como Solução

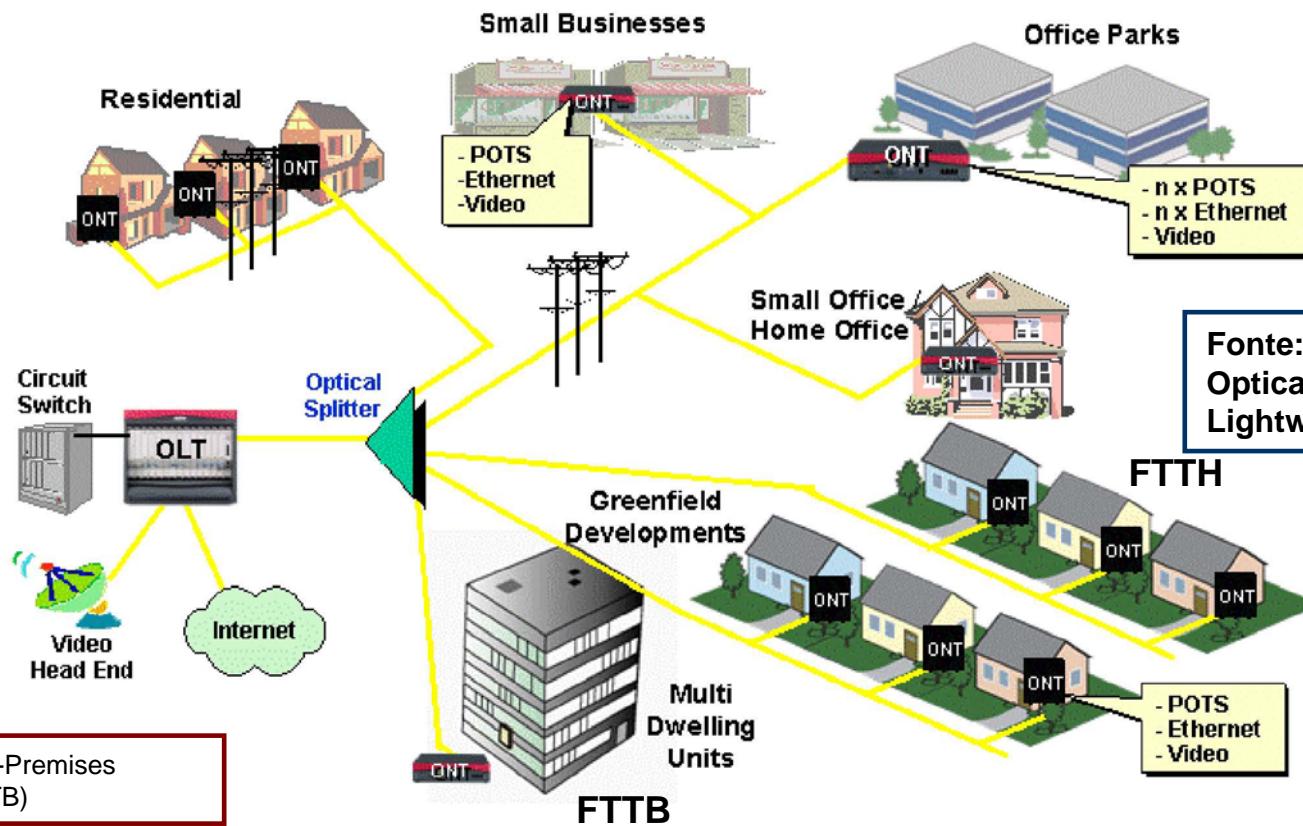
- **Dentro de 3 a 5 anos débitos de 100 Mb/s no acesso será algo trivial**
- **Se as taxas de crescimento de tráfego se mantiveram serão de esperar, daqui a 10 anos, débitos no acesso de 1 Gb/s**
- **As tecnologias x-DSL, especialmente ADSL, estão a atingir os limites: limitações de banda e assimetria**
- **A solução está na generalização da utilização de fibra óptica na rede de acesso**

Soluções para o Acesso Óptico



FTTB Versus FTTH

FTTP Architecture for Homes & Businesses



Fonte: Verizon, Optical Access 08, Lightwave

FTTP: Fibre-to-the-Premises (Inclui FTTH e FTTB)



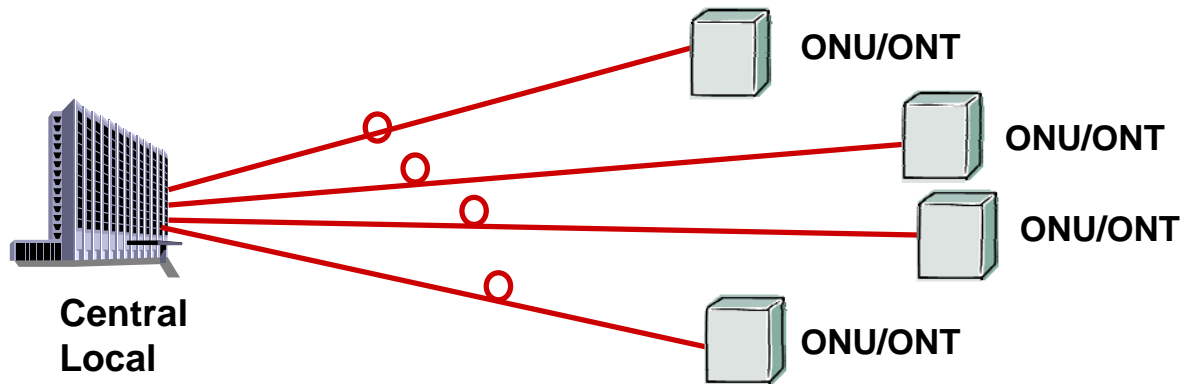
Arquitecturas de Rede

- **Ponto-a-ponto (P2P)**
Um porto OLT (conversão O/E+E/O) na central local por cada cliente

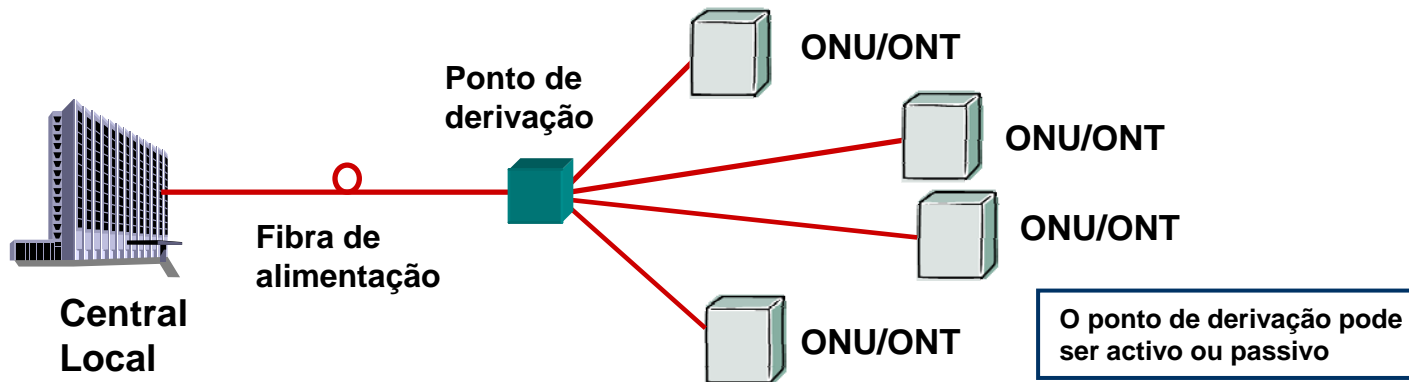
- **Ponto-Multiponto (P2MP)**
Um porto OLT na central por cada N clientes, com N tipicamente entre 8 e 64

Arquitecturas de Rede(II)

- P2P

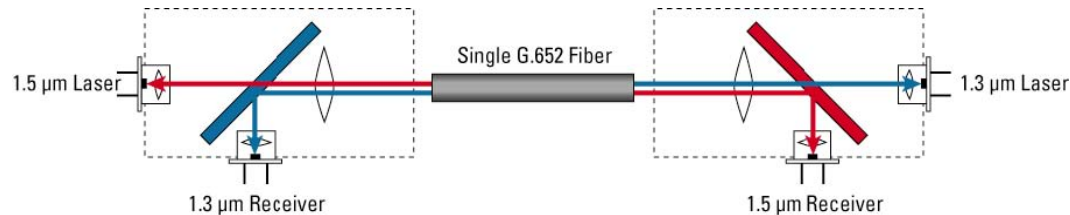


- P2MP



Ponto-a-Ponto

- **Duas fibras (Ex: IEEE 802.3z 1000BASE-LX)**
Uma fibra por cada direcção de transmissão (10 km @ 1 Gbps)
- **Uma fibra (IEEE 802.3ah, 1000BASE-BX10-D e BX10-U)**



Fonte: Cisco SFP
Optics for Gigabit
Ethernet Applications

Norma	Tx_lambda (nm)	Rx_lambda (nm)	Débito (linha)	Distância (km)	Potência Óptica Tx (dBm)
1000 Base-BX10-D	1490	1310	1.25 Gb/s	10	-3 a -9
1000 Base-BX10-U	1310	1490	1.25 Gb/s	10	-3 a -9

Ponto-Multiponto

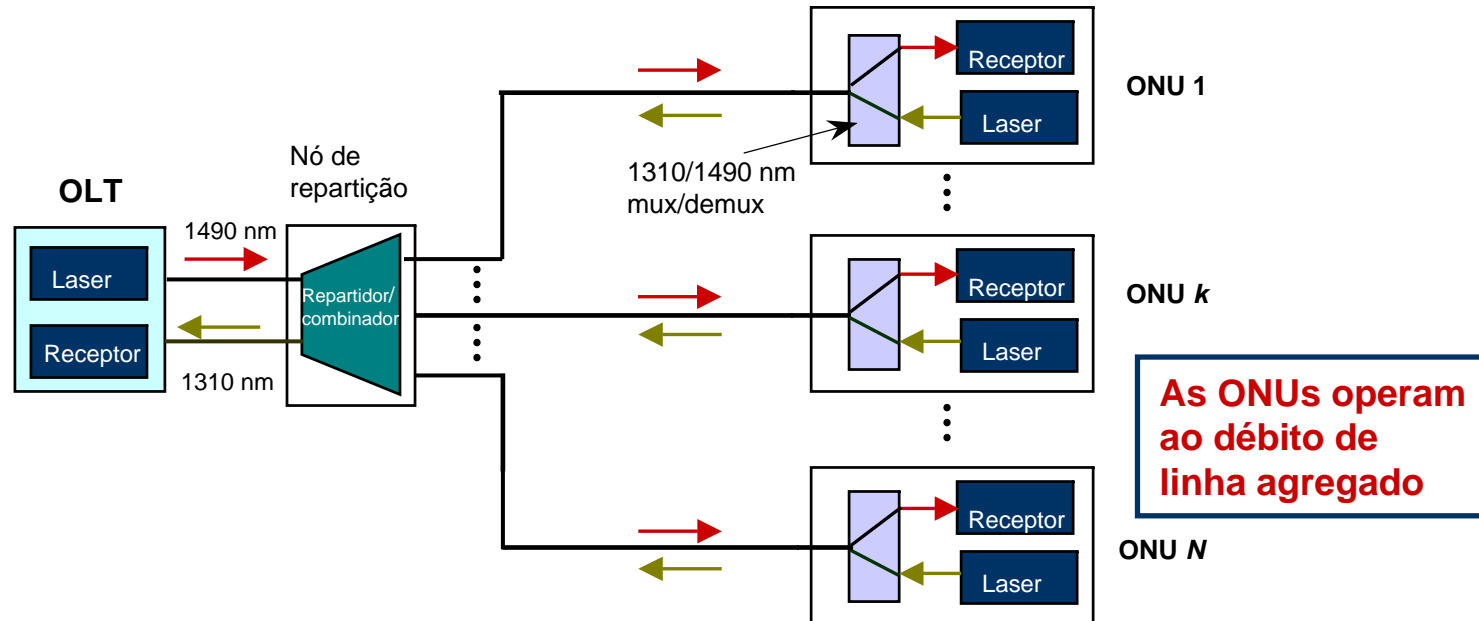
- **Estrela Activa (Ethernet Activa)**
O ponto de derivação é um nó activo, normalmente um switch Ethernet, que é usado para agregar tráfego proveniente de diferentes ONUs/ONTs: Ethernet comutada+ ponto-a-ponto
- **Estrela Passiva (PON)**
O ponto de derivação é passivo, ou seja é constituído por um *splitter*/combinador óptico passivo: **Passive Optical Network (PON)**

Tipos de PONs

- Como todos os ONUs partilham a mesma fibra de alimentação e o mesmo porto na OLT, é necessário usar **técnicas de acesso múltiplo** para evitar colisões na comunicação cliente-central
- **TDM/PON**: O acesso múltiplo opera no domínio do tempo (TDMA: Time Division Multiple Access), ou seja não é permitido a duas ONUs transmitirem no mesmo instante
- **WDM/PON**: O acesso múltiplo opera no domínio do comprimento de onda (WDMA: Wavelength Division Multiple Access), ou seja não é permitido a duas ONUs transmitirem no mesmo comprimento de onda

Arquitectura TDM-PON

- A ligação descendente (OLT-ONU) é feita no comprimento de onda de 1490 ± 10 nm e a ascendente (ONU-OLT) no comprimento de onda de 1310 ± 50 nm.



- As variantes da TDM-PON mais usadas são a GPON (Gigabit PON) e EPON (Ethernet PON). A primeira opera a um débito de linha agregado de 2.488/1.244 Gb/s e a segunda a 1.25 Gb/s.

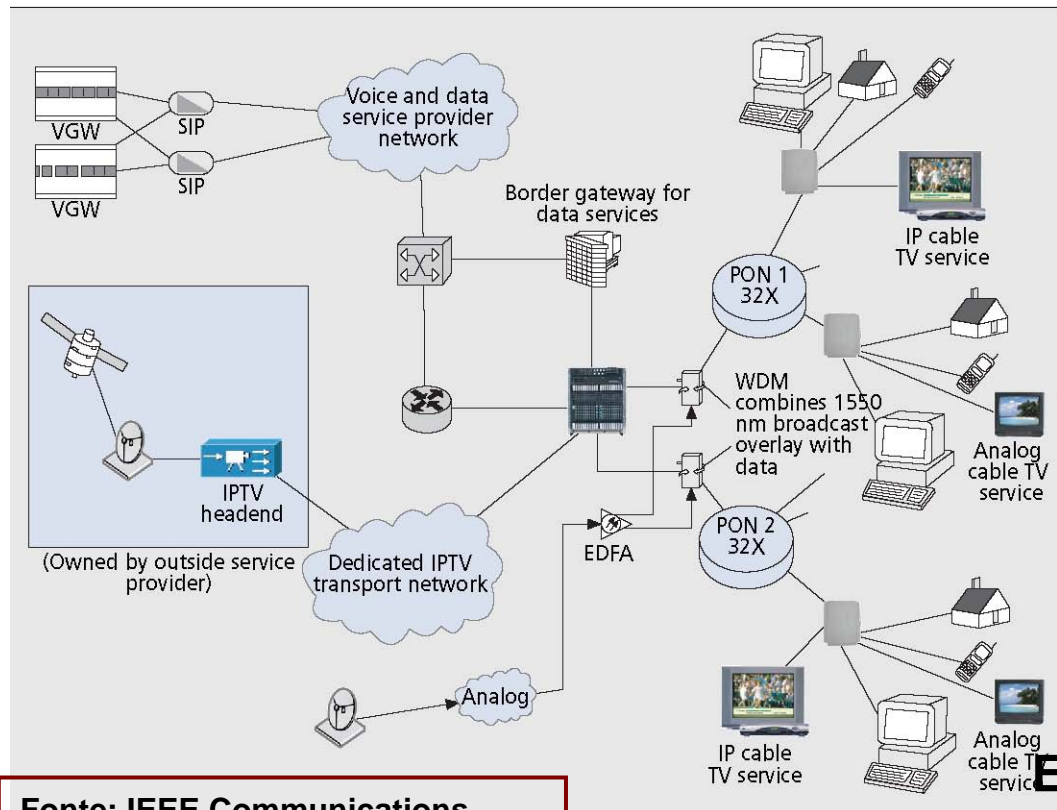
GPON vs EPON

	GPON	EPON
Norma	ITU-T G984	IEEE 802.3ah
Débito de linha descendente	1244, 2448 Mb/s	1250 Mb/s (1 Gb/s Eth)
Débito de linha ascendente	155, 622, 1244, 2448 Mb/s	1250 Mb/s ((1 Gb/s Eth)
Derivação máxima	1:64	1:32 ; 1:16 (típica)
Máximo alcance	10/20 km	10/20 km
Atenuação máxima	15/20/25 dB	15/20 dB
Eficiência média (ϵ)	$\approx 93\%$	$\approx 55\%$
Tráfego suportado	Ethernet, ATM, TDM	Ethernet
Débito médio por ONU	$\approx 70 \text{ Mb/s @ } 1:32 (\epsilon=92\%)$	$\approx 45 \text{ Mb/s @ } 1:16 (\epsilon=72\%)$

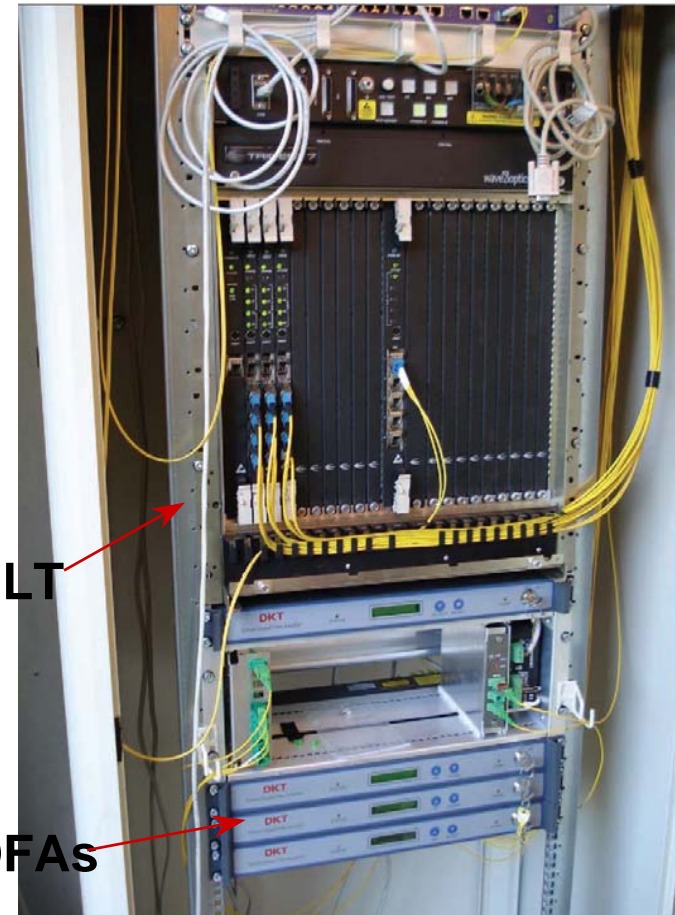
A eficiência da tecnologia refere-se à fracção do débito usada para transporte de dados. A menor eficiência da EPON resulta de tempos de guarda maiores e uma maior cabeçalho dedicada para correcção de erros e outras funções. No cálculo do débito médio considerou-se um utilização completa e sem bloqueio da PON.

PONs com vídeo “overlay”

As PON com suporte de vídeo “overlay” usam um lambda adicional (1550 nm) para difusão de vídeo em RF.



Fonte: IEEE Communications Magazine, Junho 2008, p. 138, 144



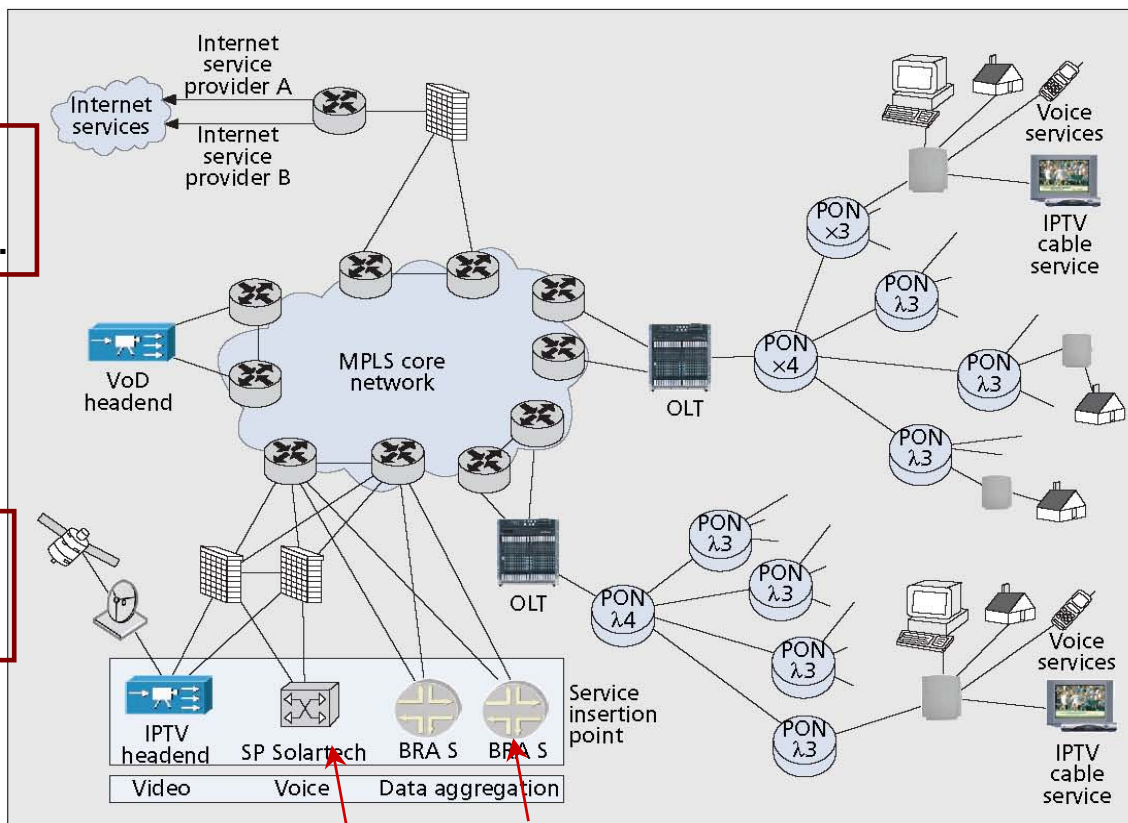
Repartição multi-andar: Exemplo rede STA

Arquitectura da rede Triple Play da STA (Servei de Telecomunicacions d'Andorra)

Usa EPONs 1:32, com dois níveis de repartição: 1) 1:4; 2) 1:8.

Objectivo: Ter em 2011, uma penetração FTTH de 100 % .

Fonte: IEEE Communications Magazine, Junho 2008, p. 140



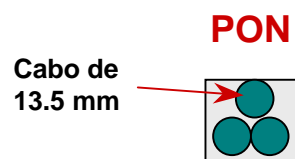
VoIP softswitch Broadband Remote Access Servers

PON vs P2P: Prós e Contras

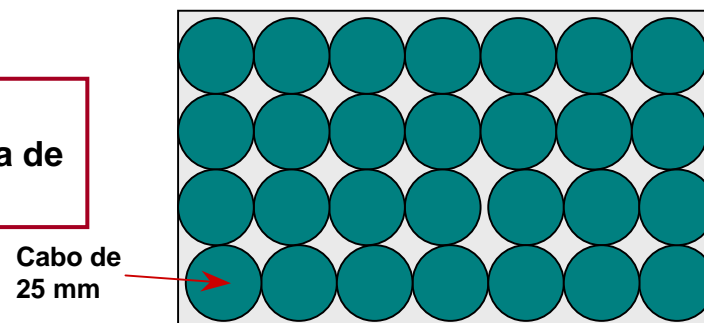
Tópicos	P2P	PON
Planeamento e engenharia	Simples: Uma fibra dedicada por ONU	Complexo: meio partilhado com interdependência entre ONUs
Encriptação da informação	Não é requerida	É requerida
Detecção de cortes na fibra	Fácil usando o OTDR	Complexa a seguir ao splitter se se usar o OTDR
Velocidade da electrónica e óptica da ONU	A ONU opera ao débito oferecido ao utilizador (ex: 100 Mb/s)	A ONU opera ao débito agregado (Ex: 2.5 Gb/s)
Up-grade para 1 Gb/s /ONU	É fácil, basta usar 1 GbEthernet	Não é possível com as normas actuais da GPON e EPON
Redes de acesso abertas	Suporta facilmente	De suporte muito difícil, sendo necessário actuar ao nível lógico
Ligação de um novo cliente	É complexa, sendo necessário ligar uma nova fibra e configurar o switch	É fácil, basta configurar a OLT
Número de fibras na alimentação e dimensão das condutas	Número de fibras elevado e condutas de dimensão elevada	Número de fibras reduzido e condutas com áreas menores
Reparação dos cortes dos cabos de alimentação	É necessário juntar um grande número de fibras	O número de fibras a juntar é reduzido

PON vs P2P: Dimensão das Conduitas

- Exemplo: rede FTTH com 20 000 clientes (Fonte FT, Globecom 08)
- Solução GPON com 1:64: 3 cabos de alimentação, cada cabo com 144 fibras e com um diâmetro de 13.5 mm
- Solução P2P: 28 cabos, cada cabo com 720 fibras e com um diâmetro de 25 mm



A solução P2P requer uma conduta com uma área cerca de 20 vezes superior à PON



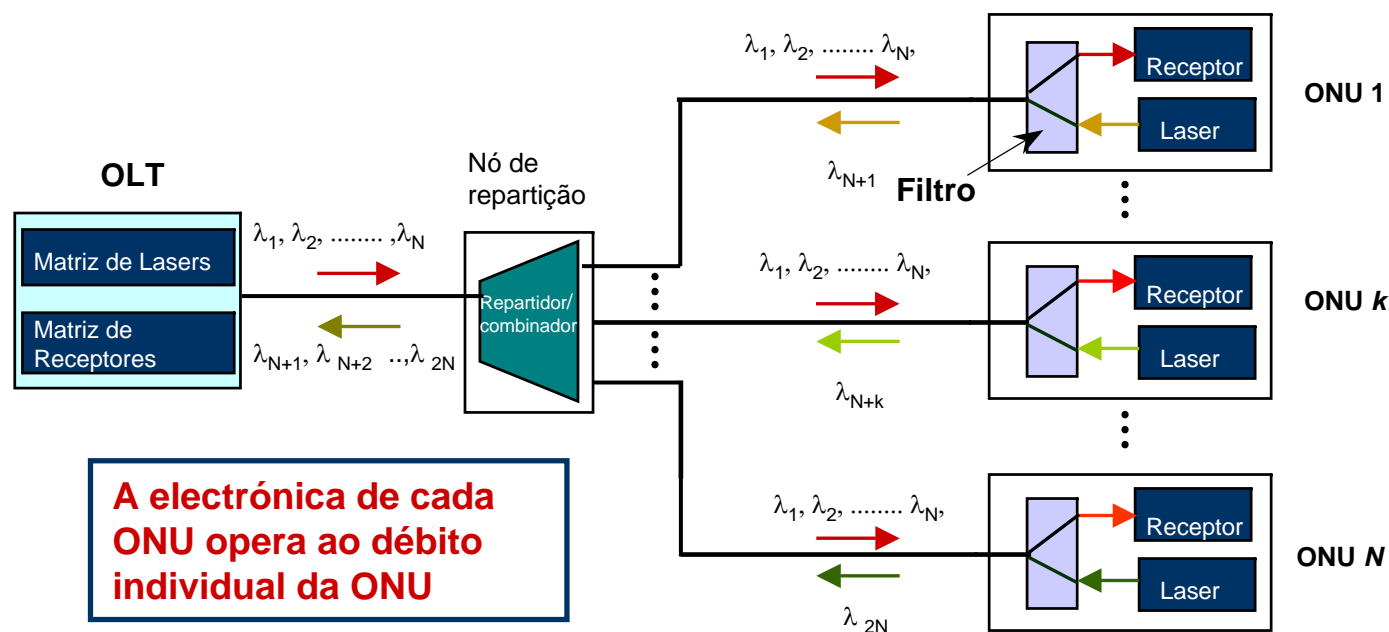
Sempre que o espaço disponível nas condutas seja um bem escasso a solução a adoptar deverá ser a PON. Nos outros casos a P2P deverá ser tida em conta no projecto.

Soluções WDM-PON

- Nas PON baseadas em WDM (Wavelength Division Multiplexing) a cada ONU é atribuído um comprimento de onda (λ)
- Tal como no caso do P2P cada ONU opera ao débito binário individual (e não agregado) e a privacidade da ligação está garantida sem necessidade de encriptação
- As redes WDM-PON baseiam-se quer no DWDM (Dense-WDM), quer no CWDM (Coarse-WDM)
- As soluções DWDM operam na janela de 1550 nm e as principais variantes são: 1) *broadcast & select*; 2) *wavelength routing*

Arquitectura DWDM-PON: *Broadcast & Select*

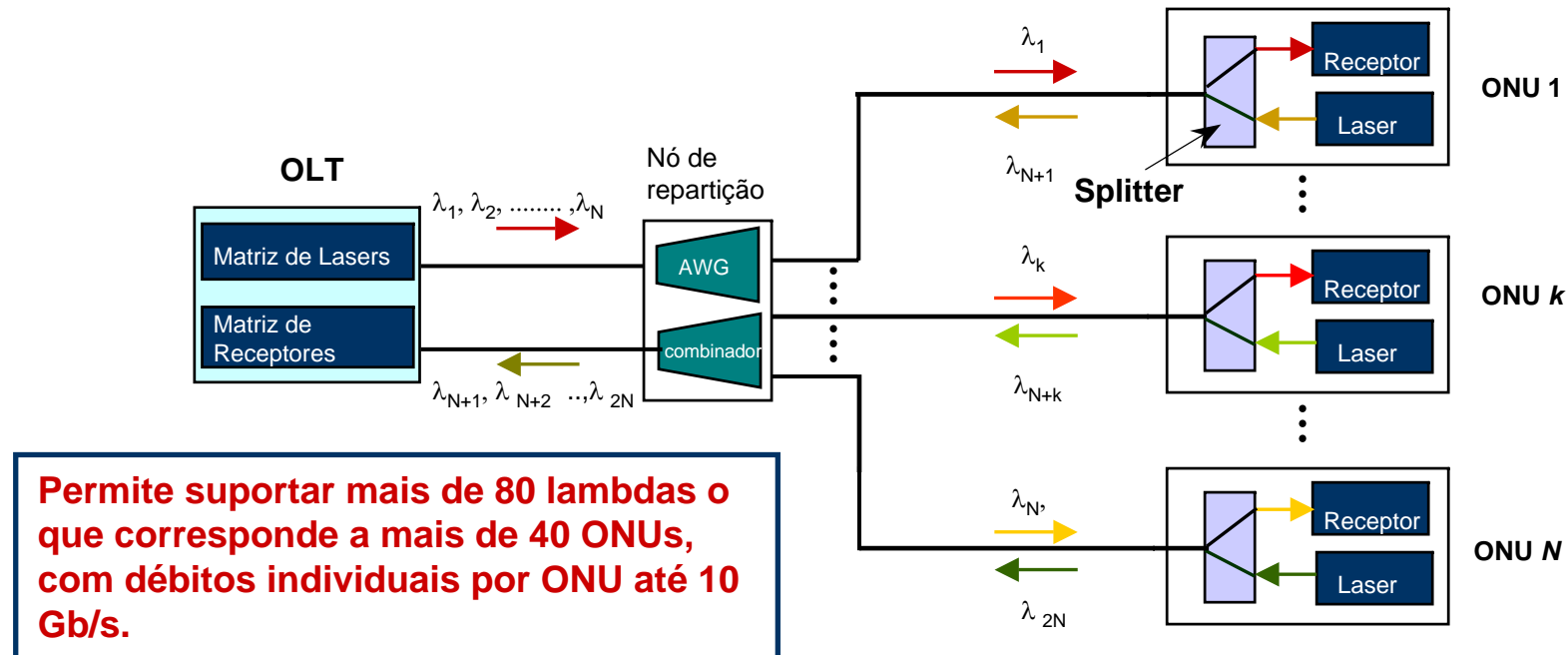
- Na arquitectura *broadcast & select* a banda de lambdas usada é difundida para todas as ONUs, para posteriormente cada ONU seleccionar o seu lambda próprio usando um filtro óptico.



- No sentido ascendente cada ONU emite no seu comprimento de onda próprio, as quais são combinadas passivamente no nó de repartição.

Arquitectura DWDM-PON: *Wavelength Routing*

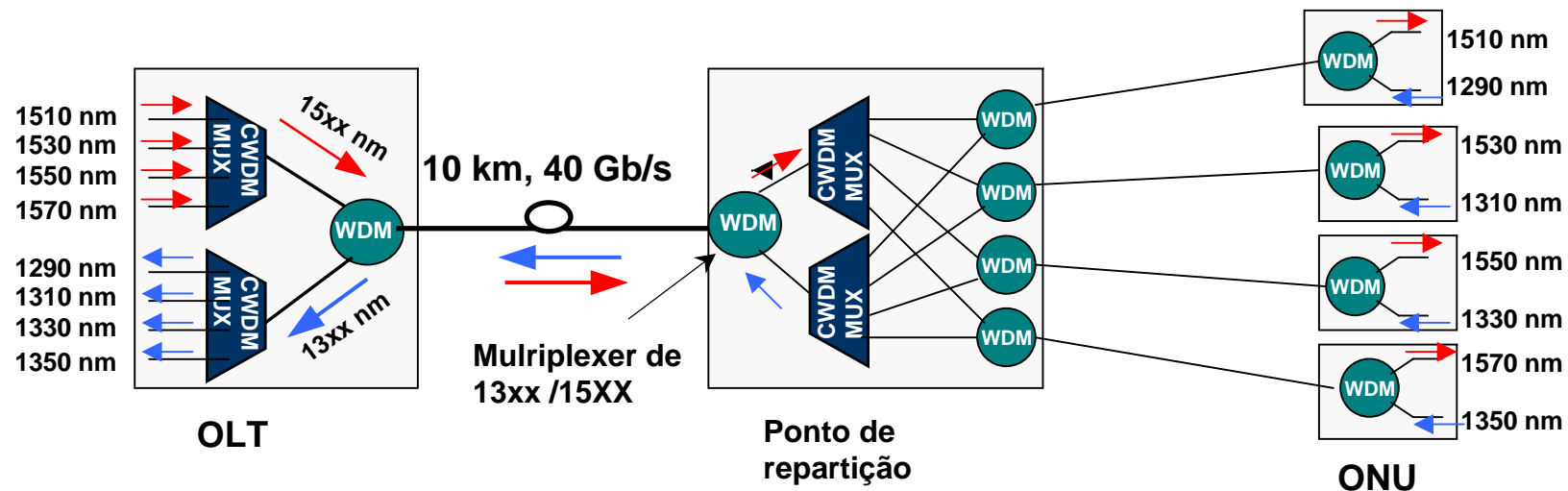
- O derivador óptico é substituído por um encaminhador óptico tipo AWG (*Arrayed Waveguide Grating*).



- O encaminhador envia os diferentes comprimentos de onda para os diferentes ONUs. A utilização do AWG vai eliminar as perdas de derivação da solução *broadcast & select*.

CWDM-PON

- Usa componentes de baixo custo com os lambdas espaçados de 20 nm. Na segunda e terceira janela (1280-1600 nm) só são suportados 16 canais, ou seja 8 ONUs.
- Exemplo de uma rede CWDM com 4 lambdas por cada direcção e 10 Gb/s por canal (Fonte: T. Shih et al., “A 40 Gb/s bidirectional CWDM-PON....”, OECC08)



WDM-PON: Prós e Contras

Prós

- Suporta todos os serviços (Ethernet, TDM, ATM, etc.) de modo transparente
- Suporta débitos por ONU muito elevados (até 10 Gb/s)

Contras

- Requer um número elevado de interfaces ópticas na OLT (16 no caso do CWDM-PON, e várias dezenas no caso da DWDM-PON)
- Requer interfaces ópticas coloridas na ONU, já que cada ONU processa lambdas diferentes (problema CAPEX/OPEX)
- A variante DWDM requer lasers DFB muito estáveis devido ao espaçamento entre canais ser reduzido e por isso muito caros

TDM-PON vs WDM-PON



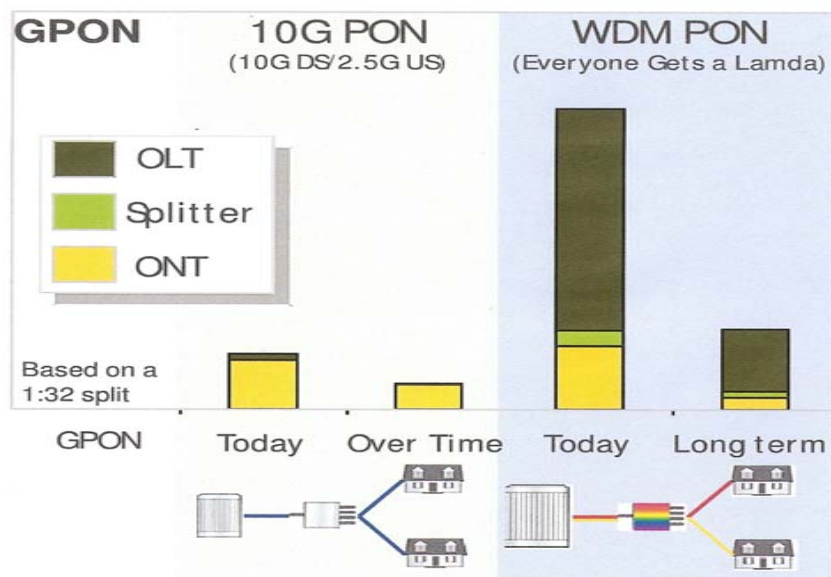
What about WDM PON?

Cost Comparison of Different Technology Options

Fonte: Alcatel-Lucent

CAPEX

Operations



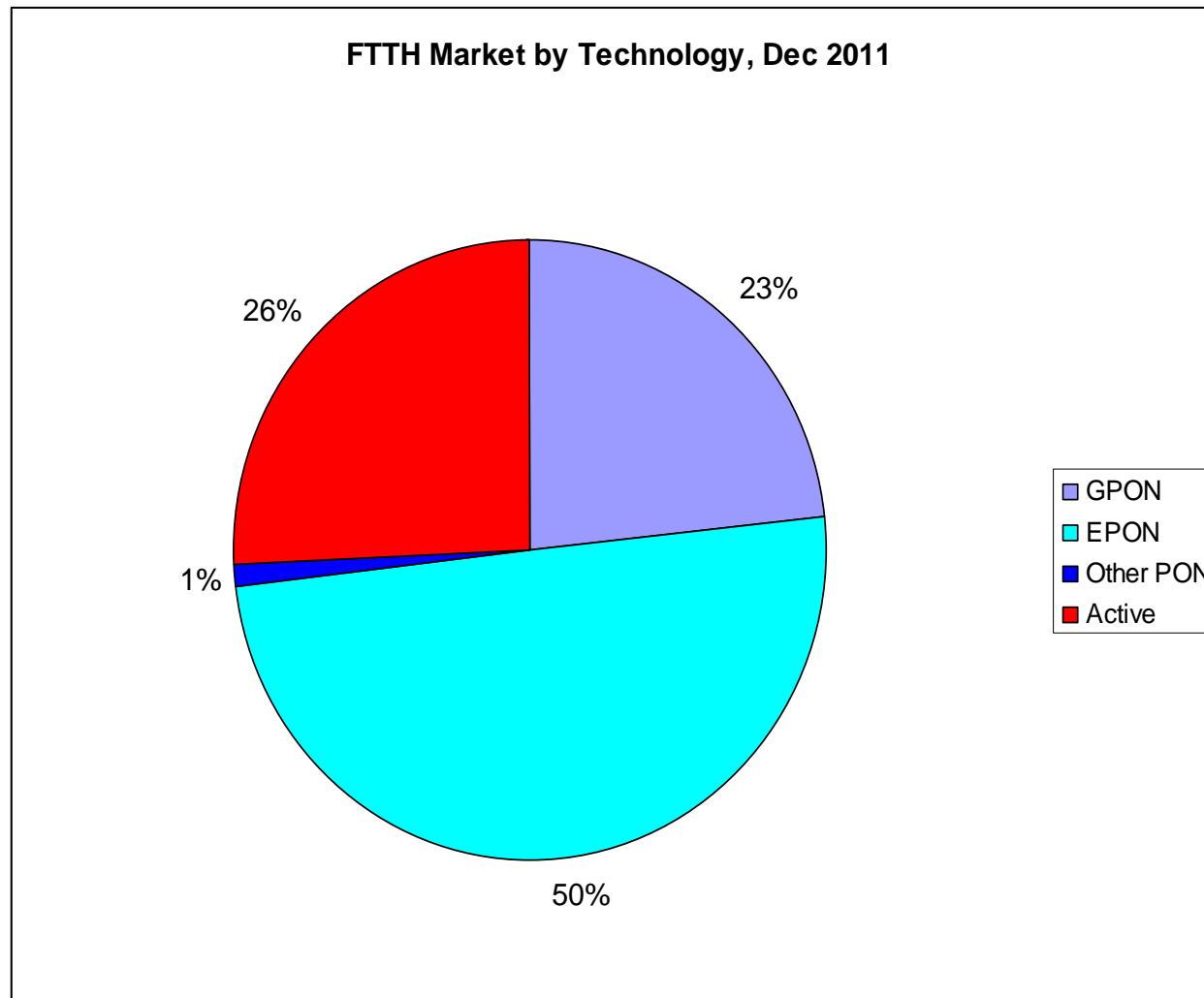
	TDM PON	WDM PON
CAPEX	Lowest cost FTTH	x3-4 TDM PON
OPEX	Low	CO Power, CO floor space
Eco	Lowest power consumption	High power consumption
Standardized	Yes	Not started
Dynamic BW	Yes	Not possible
Video overlay	Yes	Not possible
Passive OSP	Passive splitters	Temp controlled or temp extended AWG
System Design	Straight forward	Complex, many dependencies
Reliability	Excellent	AWG needs to be athermal & reliable

WDM PON solutions are eco-'challenged'

WDM-PON: Cenários de Aplicação

- **A variante DWDM conduz a soluções muito caras, não compatíveis com os requisitos de baixo custo da rede de acesso**
- **A variante CWDM conduz a redes de dimensões reduzidas e por isso de fraco interesse prático**
- **A WDM-PON não se afigura como alternativa viável, pelo menos a curto e médio prazo, para aplicações de acesso óptico domésticas**
- **As redes híbridas metro-acesso são o cenário de aplicação mais apropriado para as soluções WDM**

Mercado FTTH/B por Tecnologia (previsão 2011)



A tecnologia EPON será dominante nos países asiáticos.

A tecnologia GPON será dominante nos EU e Europa.

Fonte: Heavy Reading report, FTTH Worldwide Market & Technology Forecast, 2006-2011, June 2006

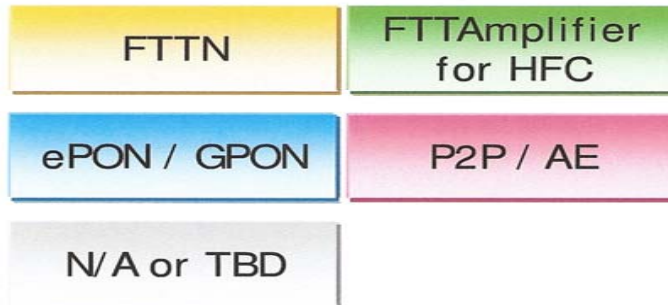
Estratégias de Implementação da FTTx



Major operators have defined their FTTx strategy
..and are implementing it

Fonte: Alcatel-Lucent

Public announcements in top BB countries



56% of Tier1 telco carriers have selected GPON
 33% national carriers have selected VDSL2/ FTTN
 P2P is primarily a VDSL2 outgrowth or Muni strategy

	Incumbent	Alternative	Munis/ util.
Australia	Yellow, Blue, Green	Yellow, Blue	Blue, Pink
Belgium	Yellow	Cable (Green)	
China	Yellow, Blue	Cable (Green)	
Denmark	Blue		Blue, Pink
France	Blue	Blue, Pink	Blue, Pink
Germany	Yellow	Blue	Blue, Pink
Hong Kong		Blue, Pink	
Iceland	Blue		Pink
Ireland	Yellow, Blue		
Italy	Yellow, Blue	Pink	
Japan	Blue	Blue	Blue
Korea	Blue	Blue	Blue
New Zealand	Yellow, Blue		
Norway	Blue		Pink
Singapore	Blue		Blue
Spain	Blue	Blue	Blue
Sweden	Blue, Pink	Pink	Blue, Pink
Switzerland	Yellow	Cable (Green)	Pink
The Netherlands	Yellow, Pink	Cable (Green), Pink	Pink
UK	Yellow, Blue	Cable (Green), Yellow	Yellow, Blue
USA and Canada	Yellow, Blue	Cable (Green)	Blue

Source: public announcements

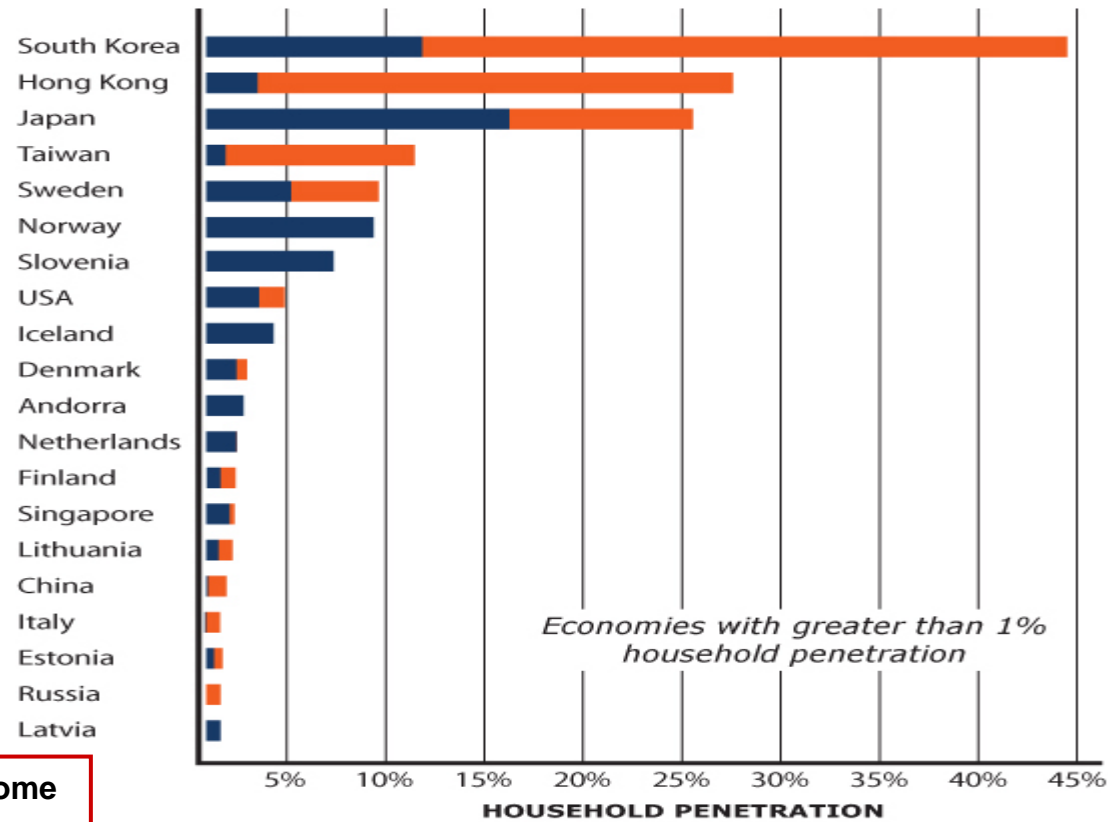
5 | FTTH Council Conference 2009

All Rights Reserved © Alcatel-Lucent 2008, XXXXX



Penetração das Soluções FTTH e FTTB em 2008

Economies with the Highest Penetration of Fiber-to-the-Home / Building+LAN



Fonte: Fiber-to-the-Home Council, Fev. 2008

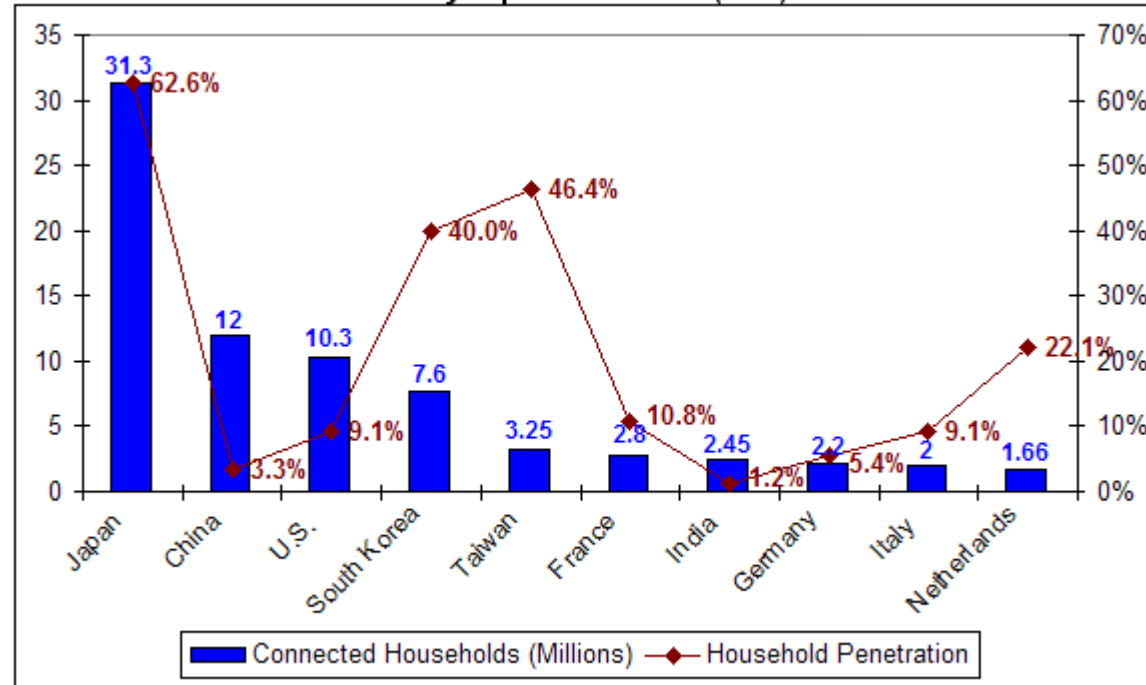
Year-End 2008 Ranking
Source: Fiber-to-the-Home Council
Feb 09

(blue) Fiber-to-the-Home Subscribers
(orange) Fiber-to-the-Building + LAN subscribers



Previsão para a Penetração da FTTH/B em 2011

FTTH Households & Penetration by Top Ten Countries (2011)



Fonte: Heavy Reading, "FTTH Worldwide Market & Technology Forecast, 2006-2011," June 2006

Source: Heavy Reading

Taxa de penetração média em 2011: 21 %

Situação da Verizon (USA)

Verizon FTTP Status



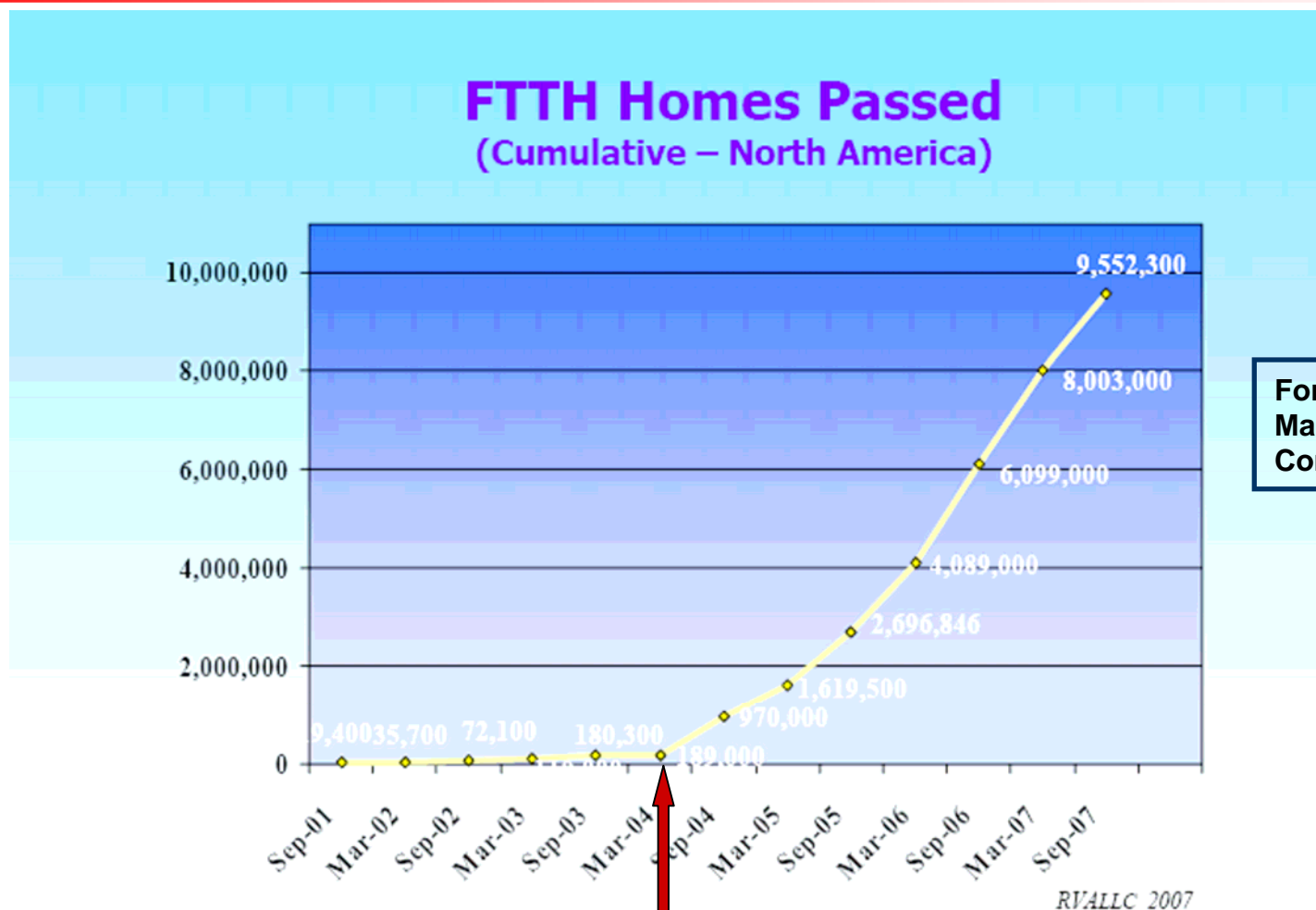
- FiOS Internet Service -- Marketing of FiOS broadband products began in Keller, Texas, in August 2004. FiOS Internet Service is now available to customers in about 2000 communities in the 16 states where we're building the FTTP network.
- Passed over three million homes and businesses by the end of 2005
- Another three million premises passed in 2006,
- Passed 9.3 m by the end of 2007
- On schedule for 12 m by end of the year (2008)
- 18m planned by end of 2010
- As of Sept 30th Verizon has more than 2.2m FiOS Internet customers
 - Net adds 225K in the third Quarter
- We're currently selling FiOS broadband products with downstream speeds of 5, 15, 30 Mb/s and 50Mbps - with up to 20Mbps on the upstream.
- Second generation of ONTs presently being deployed and third generation ONT are under design
- Employing MoCA Technology to distribute Data/VOD to consumers

FiOS: Fiber
Optic Services

Ultrapassa em 8m as previsões da Heavy Reading para USA

Fonte: Verizon,
Optical Access 08,
Lightwave

Evolução da FTTH nos USA: Casas Passadas

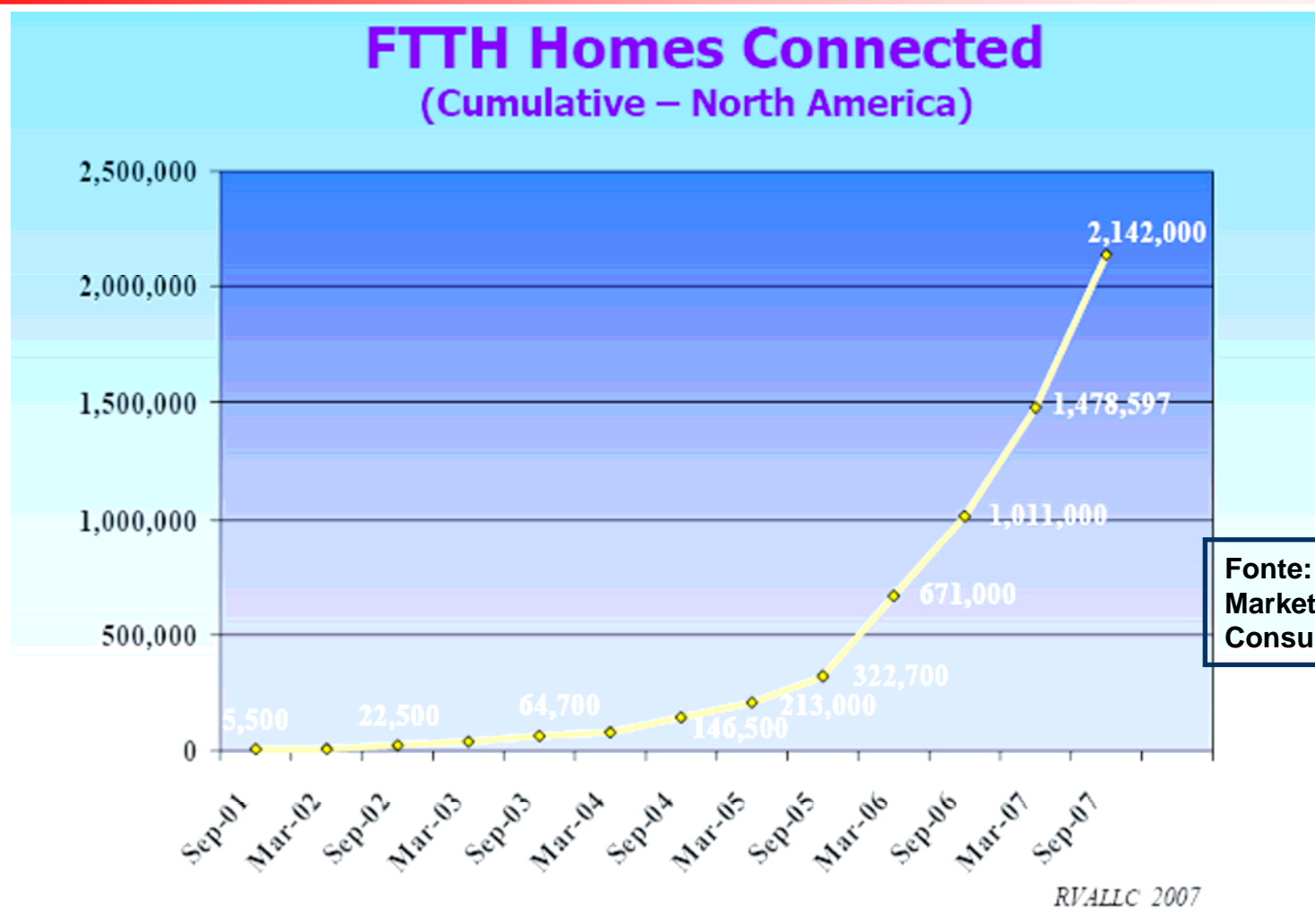


Fonte: RVA LLC,
MarketResearch &
Consulting

Decisão da FCC (Federal Communication Commission) de desregulamentar o acesso FTTH

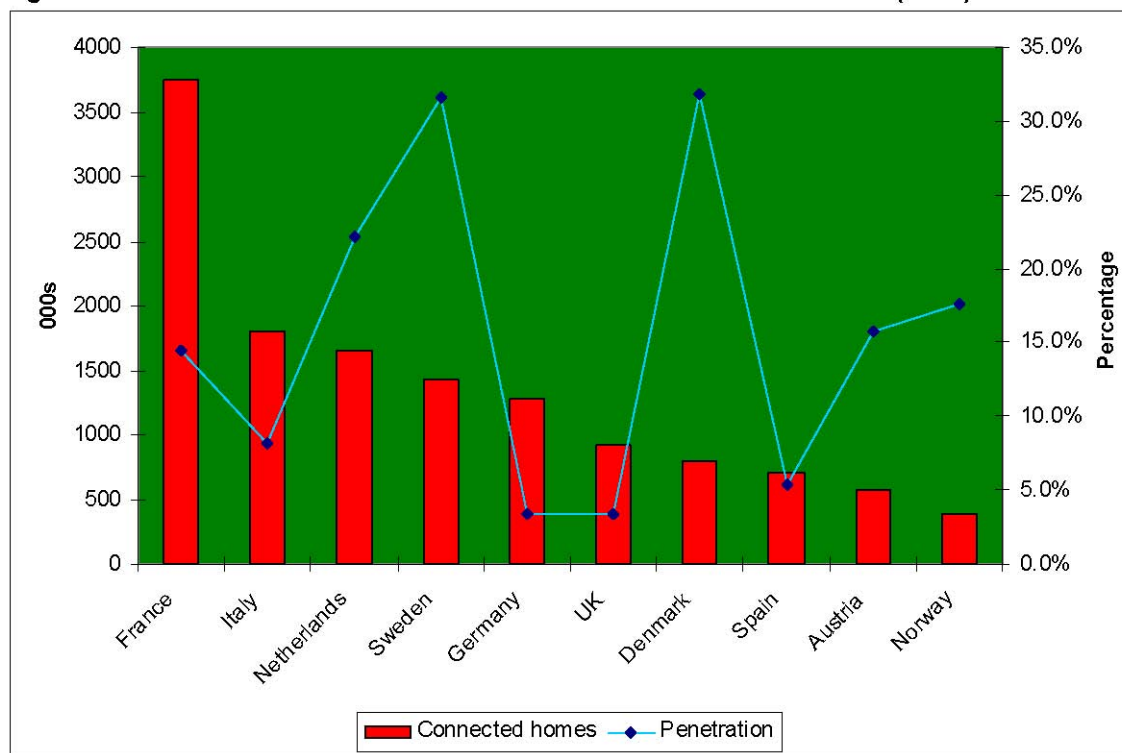


Evolução da FTTH nos USA: Casas Ligadas



Previsão para FTTH/B em 2011 na EU

Figure 4.2: FTTH Households & Penetration in the Main Ten Countries (2011)



Fonte: Heavy Reading, "FTTH in Europe: Forecast & Prognosis, 2006-2011"

Taxa de penetração média em 2011: \approx 15.5 %

Portugal: Protocolo sobre as RNG

CISION

ID: 23362557

Meia Hora

08-01-2009

Tiragem: 80000

País: Portugal

Period.: Diária

Âmbito: Informação Geral

Pág: 6

Cores: Cor

Área: 18,67 x 6,46 cm²

Corte: 1 de 1

Acordo

Redes de fibra óptica com 1000 ME

• O Governo anunciou ontem que o investimento no desenvolvimento das novas redes de fibra óptica será de mil milhões de euros durante este ano.

A ONI, PT, Sonaecom e Zon são as empresas que vão participar no desenvolvimento das redes de nova geração,

depois de terem assinado um protocolo de intenções nesse sentido com o Executivo. Este protocolo pretende antecipar a meta para 2009 da ligação de uma rede de fibra óptica a 1,5 milhões de utilizadores.

Segundo o ministro dos Transportes e Telecomuni-

A ONI substituiu a Vodafone no acordo celebrado

cações, Mario Lino, o Banco Europeu de Investimentos (BEI) mostrou disponibilidade para financiar a linha de crédito para investimentos

em redes de nova geração, assentes em fibra óptica, que permitem velocidades de acesso à Internet acima das actuais.

De fora. De fora do acordo ficou a Vodafone. Segundo o *Jornal de Negócios* on-line, a ONI só entrou na corrida pelas redes de fibra óptica depois de a operadora liderada por António Carrapatoso ter ficado de fora do processo.

“Este protocolo pretende antecipar a meta para 2009 da ligação de uma rede de fibra óptica a 1.5 milhões de utilizadores”

1.5 milhões de casas passadas com fibra corresponde a uma taxa de penetração de cerca de 30%

Portugal: Investimentos já Anunciados

CISION

Diário de Notícias

ID: 22848823

21-11-2008 | DN Bolsa

Tiragem: 60300

País: Portugal

Períod.: Semanal

Ambito: Informação Geral

Pág: 12

Cores: Cor

Área: 26,79 x 28,93 cm²

Corte: 1 de 1

Telecom. Rede está disponível em Lisboa e Porto

Sonaecom já tem 100 mil casas passadas com fibra

Tecnologia chega a ser 10 a 15 vezes mais rápida que o ADSL

MARIA JOÃO ESPADINHA

Fazer um *download* de um filme de alta definição em cinco minutos ou de um álbum de música em três segundos pode parecer futurista, mas este cenário já é possível com as redes de nova geração, tema que tem sido discutido pelas operadoras de telecomunicações. A Sonaecom é actualmente a única empresa que já tem uma oferta comercial nesta área, através da Clix, enquanto as restantes estão a realizar testes-piloto (ver *caixa em baixo*).

A grande vantagem das redes de nova geração, que são constituídas por fibra óptica, é que permitem velocidades de 100 megabites por

O serviço da Clix, a ser testado em clientes desde Julho, foi lançado no mercado em Setembro. Actualmente, a Sonaecom já tem "100 mil casas passadas", sendo o objectivo da operadora levar a tecnologia a mais de um milhão de lares, cobrindo cerca de 25% da população portuguesa. Assim sendo, a Clix está a instalar a rede em áreas onde o "potencial de clientes seja maior" - Grande Lisboa e Grande Porto são as zonas prioritárias (ver *infografia*).

Este projecto, segundo um comunicado da operadora à Comissão do Mercado de Valores Mobiliários (CMVM), implica um investimento de 240 milhões de euros. Apesar de ser a única empresa com uma oferta comercial nesta área, a Sonaecom defende que a rede seja "aberta e promotora da concorrência". Ou seja, que

240 milhões de euros

é o investimento da Sonaecom na rede de fibra, que irá cobrir 25% da população portuguesa



O cabo de fibra óptica tem a espessura de um cabelo e permite velocidades de 100 megabites

Zonas cobertas pela rede de fibra óptica

Lisboa



OS TARIFÁRIOS DO CLIX FIBRA EM VIGOR

Internet, telefone e televisão:
Pacote XXL (64,90 euros) - 95 canais de TV, Internet a 100 Mbps download e 10 Mbps upload, email de 25 GB, chamadas grátis 24 horas por dia para a rede fixa nacional e 16 países;
Pacote XL (49,90 euros) - 70 canais de TV, Internet a 50 Mbps download e 5 Mbps

DSTELECOM investe 400 ME em redes de fibra óptica

Lusa (2009-03-31)

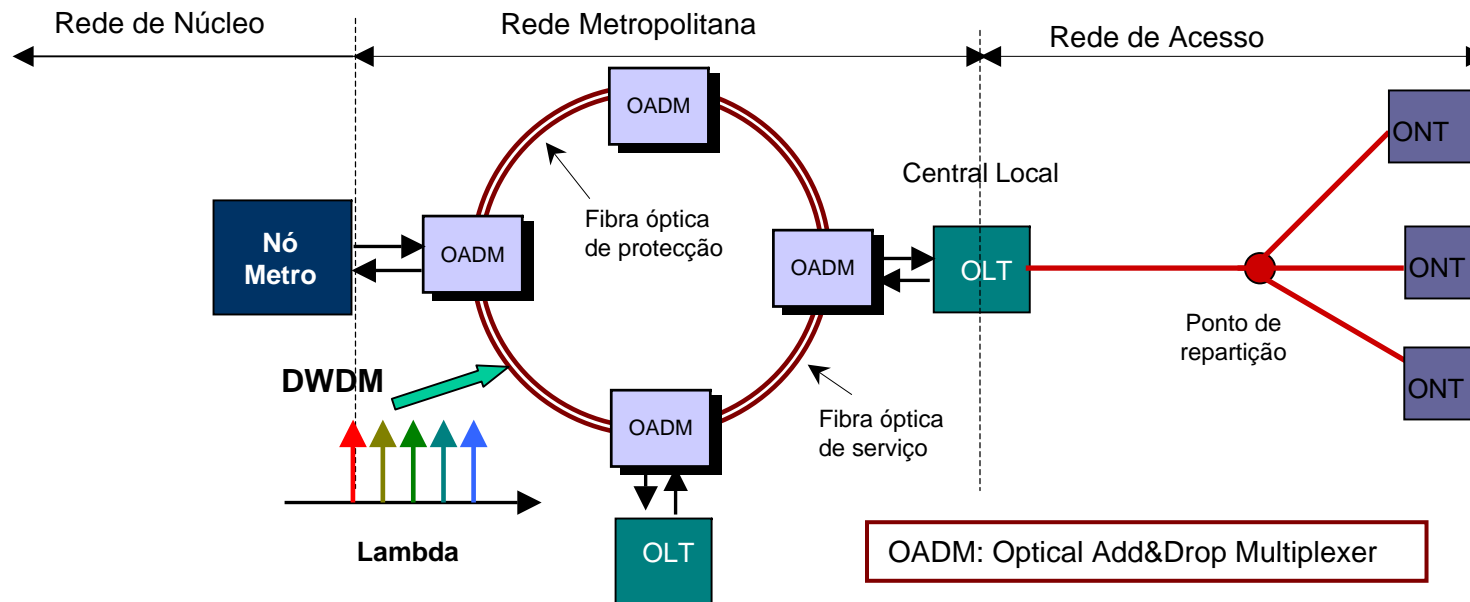
A DSTELECOM juntou-se hoje às empresas que assinaram o protocolo com o Estado para o desenvolvimento de redes de nova geração (RNG) e comprometeu-se a investir 400 milhões de euros na construção de redes de fibra óptica abertas.

O compromisso de investimento da DSTELECOM vai abranger mais de 50 municípios, o que corresponde a cerca de 30 por cento da população nacional, frisou hoje o presidente executivo do grupo DST, José Teixeira, à margem da conferência "Portugal em Fibra Óptica", organizada pela Associação Portuguesa para o Desenvolvimento das Comunicações (APDC).
(Plano de investimento a cinco anos)



Redes Híbridas Metro- Acesso

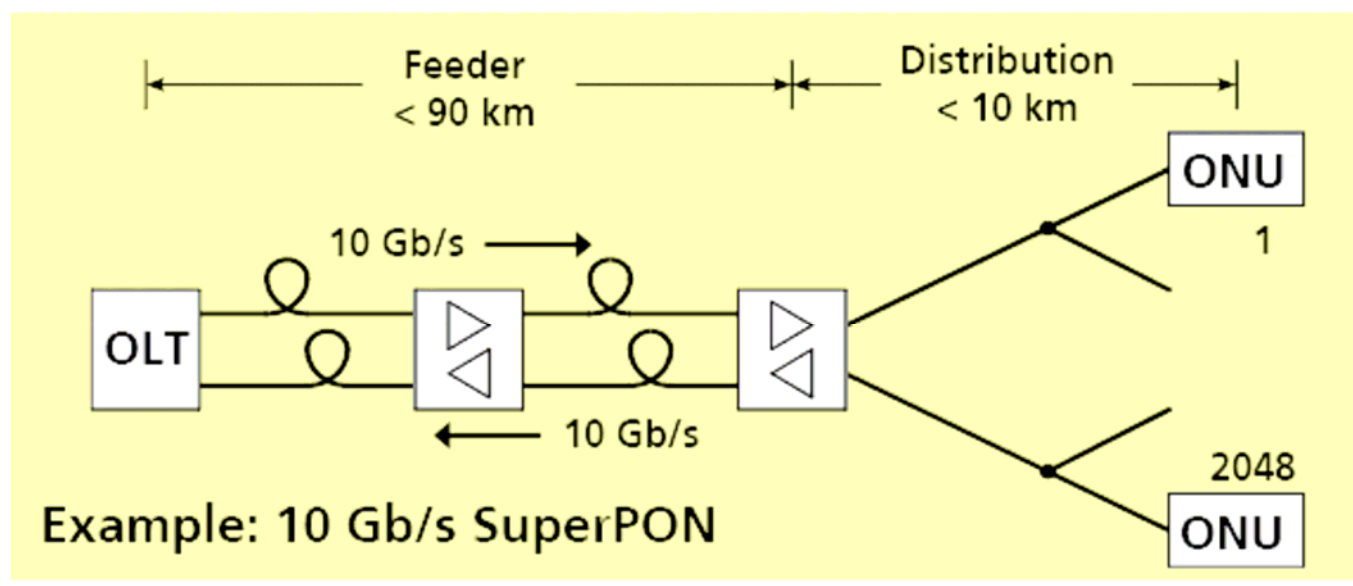
- O objectivo destas redes consiste em integrar a componente de acesso de de metro numa única rede



- Permitem reduzir o número de OLTs, aumentar o alcance e o factor de derivação e reduzir o CAPEX e OPEX

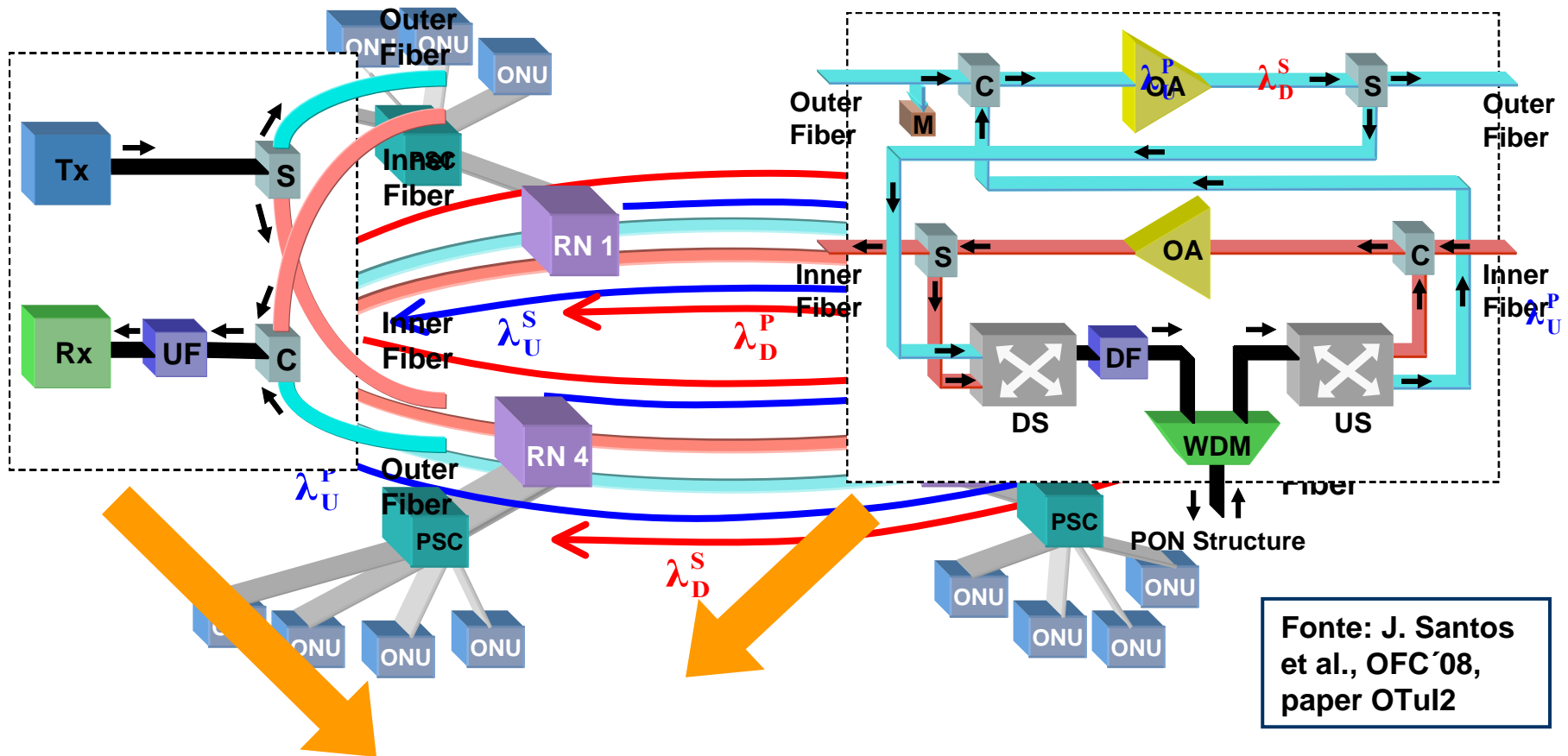
SUPER-PON

- Usa amplificação óptica de modo a aumentar o alcance e o factor de repartição e técnicas de acesso múltiplo TDMA
- Apresenta problemas de fiabilidade



Fonte: K.-D Langer, Workshop on Optical Access Networks, MUSE, 2005

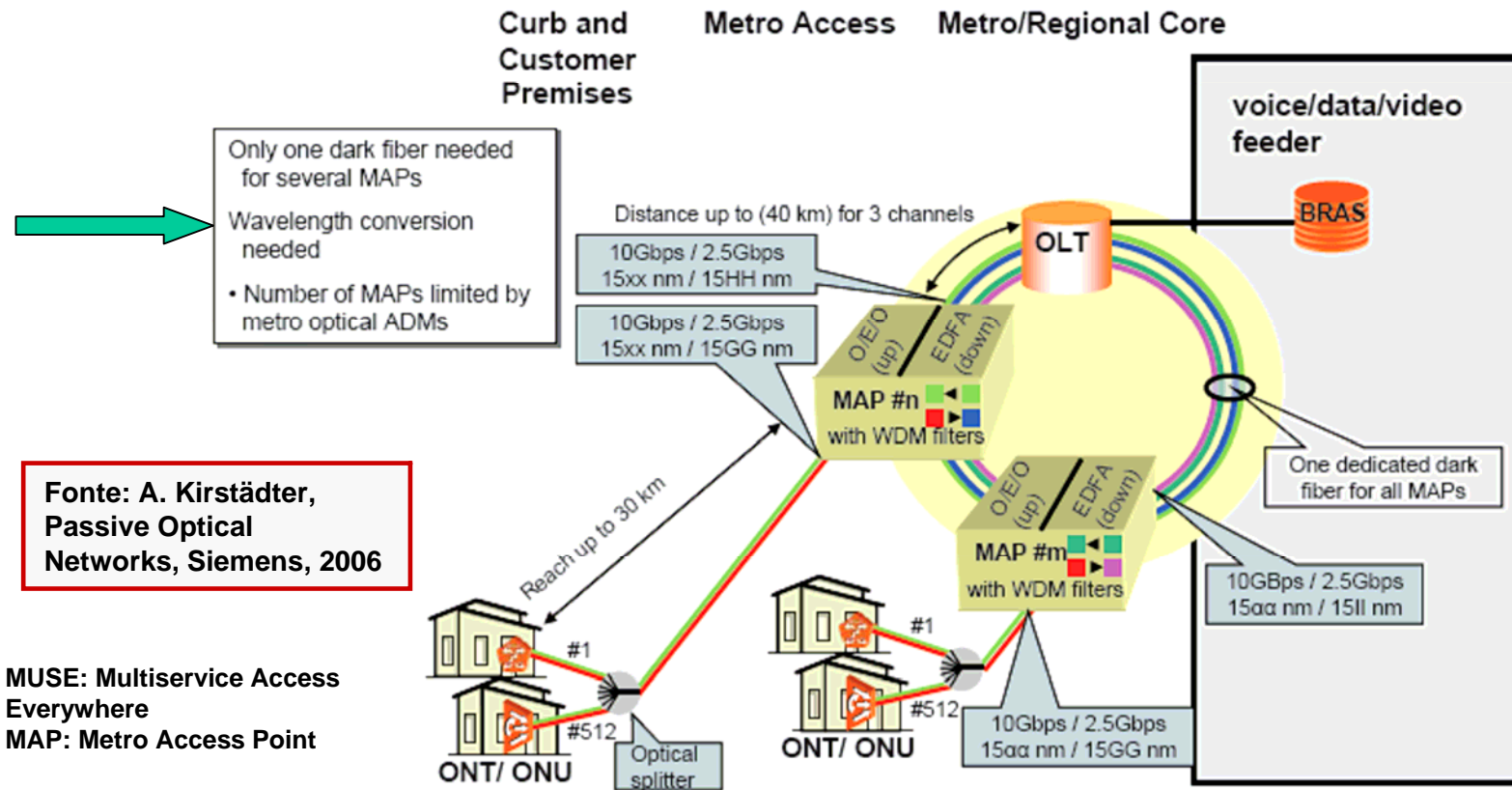
10 Gb/s EPON de Longo Alcance



- Quatro 10G EPONs ligados através de um anel com duas fibras unidireccionais de 100 km
- Cada EPON suporta 32 ONUs com uma extensão de 20 km

SUPER-PON (MUSE)

EU-IST Super-PON (MUSE):Architecture Details



Fonte: A. Kirstädter, Passive Optical Networks, Siemens, 2006

MUSE: Multiservice Access Everywhere
MAP: Metro Access Point

SIEMENS

(c) Siemens Networks GmbH & Co KG Nov. 27, 2006 41



Conclusões

- **Débitos de 100 Mb/s por utilizador será algo comum dentro de 3 a 5 anos**
- **Tanto as soluções P2P como as soluções GPON e EPON têm o seu campo de aplicação no momento actual**
- **As soluções WDM-PON são mais apropriadas num cenário de convergência acesso-metro**
- **Introduzindo amplificação óptica é possível aumentar o alcance e o factor de repartição das PONs**
- **A introdução de fibra óptica no acesso a nível internacional prossegue a bom ritmo com previsões para taxas de penetração superiores a 20% em 2011 para vários países**

**Obrigado pela
Atenção!**

João Pires
jpires@lx.it.pt

