

Redes Ópticas Metro-Acesso

=Parte 2=

Set. 2021

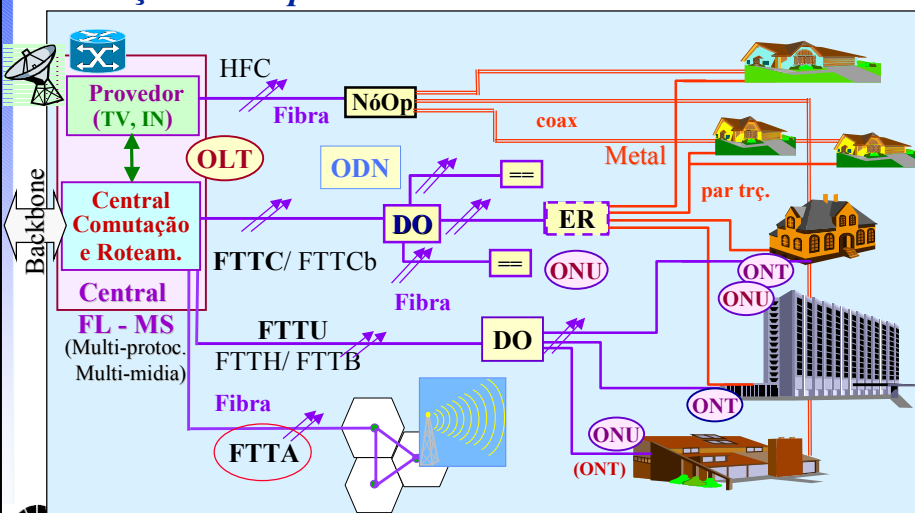
Felipe Rudge Barbosa

frudgeb@unicamp.br

<http://www.dsif.fee.unicamp.br/~rudge/>



Redes Ópticas de Acesso Evolução de Arquiteturas

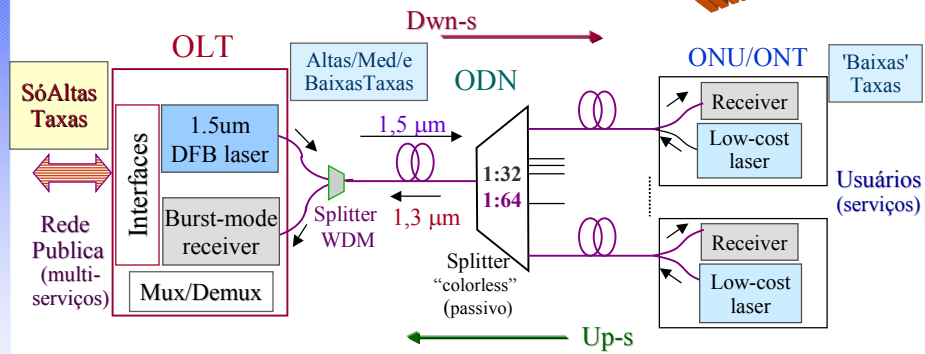


=> todas as siglas serão vistas adiante >>>



Arquitetura da Rede – GPON-BPON - WDM

OLT - ODN - ONU/ONT



=> a **OLT** tem conexão de *alta capacidade* com a Rede de Serviços, pois agrega o tráfego dos usuários; o *burst-mode receiver* tem a mesma taxa de bit das **ONUs**.



Re-start here!

Redes Ópticas de Acesso

- Produtos FTTH/FTTU --
fiber to the user/home



FTTH = Produtos... OLT

FTTH/U

http://www.opticalsolutions.com/products/f-series/calix_f5.html

=> **Calix F5 GPON OLT** is a fiber-to-the-premises optimized access platform.

Designed to ITU-T, GPON G.984 standards, this platform easily supports T1 and TDM **voice services** while providing a smooth migration path to **all-IP services**.



Produtos... ONU/ONT

FTTH/U

http://www.opticalsolutions.com/products/f-series/calix_f5.html

=> **Calix 700GX** family of **ONTs** to support **GPON** and **Active Ethernet** .

Designed to ITU-T, GPON G.984 standards, this simple and compact platform supports T1 and TDM voice services while providing a smooth migration path to all-IP services.

GPON and **Active Ethernet** were often seen as competing technologies, and service providers were forced to choose between them and run separate networks to support them.

The Calix 700GX family of **ONTs** contribute change this perspective, allowing **GPON** and **Active Ethernet** to be deployed as complementary technologies based on the application, and managed as a single network.



Caixa ONU: Larg=15cm.;Alt=20cm



FTTH = Produtos...

**Não é propaganda!
é só um Exemplo
de mercado**

A ENTELCO TELECOM CONVIDA VOCÊ:

2019!

**Curso Prático
e Operacional de
GPON Fiberhome**

FiberHome

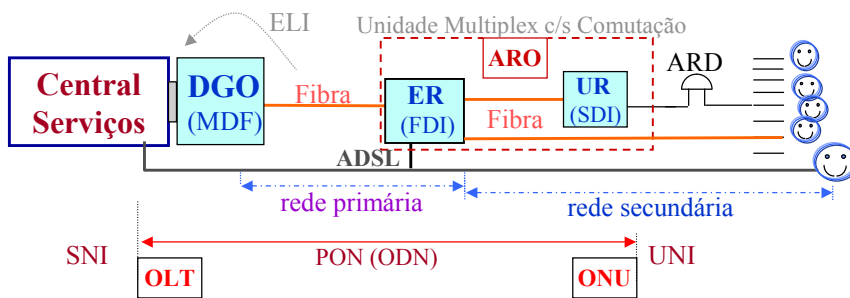


Curso para
Hardware e
Software!



Rede Ótica de Acesso -- ROA

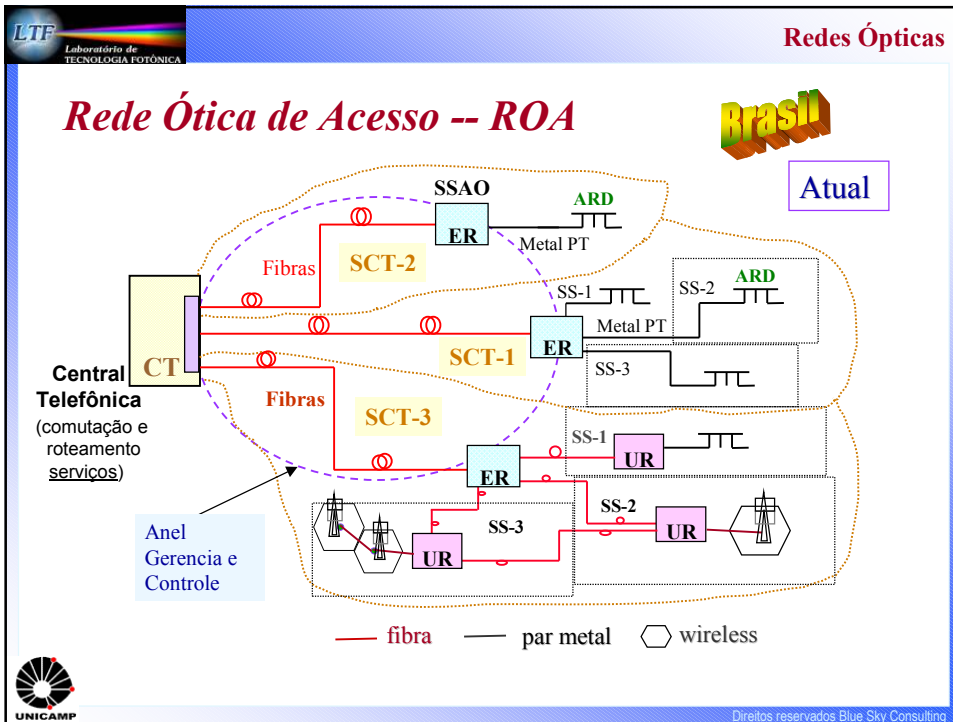
Brasil



- Siglas :** DG(O) - distribuidor geral (ótico);
 ER - estágio remoto /ativo/;
 UR - unidade remota /ativa/;
 ARD - armário de distribuição /passv/;
 ARO - armario ótico /ativo/;
- MDF - main distribution feeder
 FDI - feeder distrib. interface
 SDI - subscriber distrib. interface.

=> Terminologia estabelecida nas Práticas Telebrás; ROP (Rede Óptica Primária); baseadas nos padrões ITU-T; continuum sendo editadas/atualizadas.

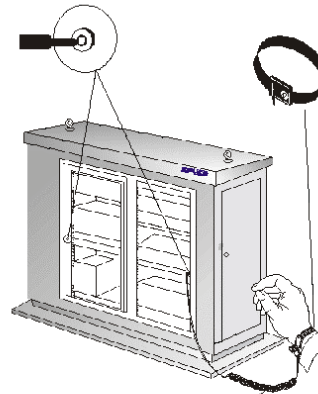
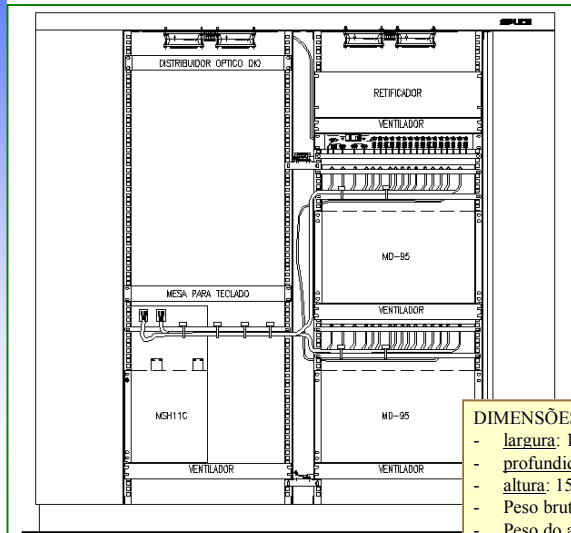




Arquitetura da Rede de Acesso –

FTTC/B

ONU/ONT -- Armário Ótico (ER ou UR, depende da rede)



- DIMENSÕES DO ARMÁRIO DE 480 CANAIS (voz)**
- largura: 1500 mm
 - profundidade: 560 mm (1110 mm com portas abertas)
 - altura: 1500 mm.
 - Peso bruto: 510Kg (com baterias e embalagem).
 - Peso do armário : 440Kg (com equipamentos e baterias)

Arquitetura da Rede de Acesso –

ONU/ONT -- Armário Ótico (ER ou UR, depende da rede)



Padronização internacional

Outras Instituições (*além de ITU-T e IEEE*) :

- ❑ **ETSI**- European Telecommunications Standardization Institute
[<http://www.etsi.org/>]
- ❑ **IETF** - Internet Engineering Task Force [<http://www.ietf.org/>];
[Research: <http://www.irtf.org/groups.html>];
- ❑ **ANSI** - American National Standards Institute;
- ❑ **Telcordia (ex- Bellcore)**
http://www.telcordia.com/products_services/conseng/architecture/
- ❑ **ISO** – International Organization for Standardization (Geneva, Suíça)
<http://www.iso.org/iso/>
- ❑ **ATM-Forum** [<http://www.atmforum.com/>]
- ❑ **OI-Forum** - Optical Internetworking Forum <http://www.oiforum.com/>
- ❑ **IEICE** - <http://www.ieice.org/eng/index.html> (Japão)
- ❑ **IET** - <http://www.theiet.org/publishing/wiring-regulations/> (UK)
- ❑ **Eurescom** [<http://www.eurescom.de/>]



Padronização internacional

- **ITU-T** -Telecommunications Standardization Sector ;
 - Study Group SG-15; WP1(Working Party): Access Network Transport;
 - Brasil “antigo”: CBC-5 / WP1 (Rede de Acesso) e WP4 (Rede Ótica).
- **FSAN - Full Services Access Network** (fórum= +ágil);
[<http://www.fsanet.net/>] 1995-1998 ; 2001-2003
 - **Membros Participantes iniciais (operadoras):**

BellSouth	British T.
Deutsche T.	France T.
GTE	NTT (Japão)
CSELT	Telefonica España
Telstra (Australia)	PTT Suíça
Bell Canada (+)	KPN Holanda (+)
Telecom Italia (+)	Korea Telecom (+)
 - **Fabricantes** : Alcatel, Ascom, Brown-Boveri/BBT, Bosch, Ericsson, Fujitsu, Italtel, Lucent, NEC, Nortel, SAT, Siemens .



Iniciativa FSAN (www.fsanet.net) 1995-2001

At the conclusive stage, 21 telecommunications operators (members) formed the FSAN coalition:

BT	France Telecom
Deutsche Telekom	CSELT/ TI - Telecom Italia
Swisscom	Telefónica
Telia	Eircom
KPN-Dutch Telecom	Telstra
Bell Canada	Qwest
BellSouth	NTT
SBC (= SW Bell+ Ameritech +Pacific Bell + ...)	
Verizon (= GTE + Bell Atlantic)	
Chunghwa Taiwan	KT - Korean Telecom
Bezeq Israel	SingTel
Malta Telecom	

⇒ plus equipment suppliers *Participants (not members)*.



FSAN group (<https://www.fsan.org/>)

2016

FSAN coalition, 25 telecomm operators (members) ::

AT&T (USA)	Korea Telecom
Bell Canada	Orange (FranceTelecom)
BT	Portugal Telecom
Centurylink	SaskTel
China Mobile	SK Telecom (KoreaMobile)
China Telecom	Telecom Italia
China Unicom	Telefonica
Chunghwa Telecom	Telekom Malaysia
Comcast	Telus (CanadaMobile)
Cox	Verizon
DeutscheTelecom	Vodafone UK
Etisalat (AbuDhabi)	
KDDI & NTT (Jap)	

⇒ plus **equipment** suppliers/vendors as *Participants (not members)*.



FSAN group (<https://www.fsan.org/>)

2016

...still alive !!

- ❖ Designated **FSAN member companies** serve as editors for FSAN documents and typically offer to submit contributions to ITU-T SG 15 Q2, based on completed FSAN specification.
- ❖ The contributions are intended to facilitate the development of global PON standards.
- ❖ The single FSAN Working Group is called Optical Access Network (OAN). Within OAN are the following active Task Groups:
 - ❖ Operation and Engineering Task Group
 - ❖ Next Generation PON (NG-PON) Task Group
 - ⇒ 26 operadoras (China, Korea -- claro! -- *incluídas*.; *Brasil não, porque nunca?!* na verdade, não há nenhum represent. da Am.Latina -- nunca!)
 - ⇒ 48 fornecedores internacionais (China *incluída*);
 - ⇒ ainda 08 “observadores” (p/ex., Telcordia)

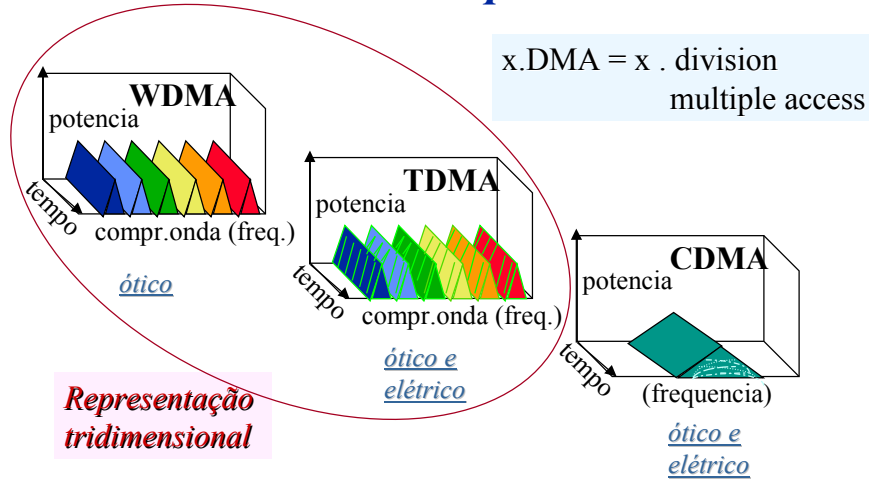


Protocolos em Redes Ópticas de Acesso

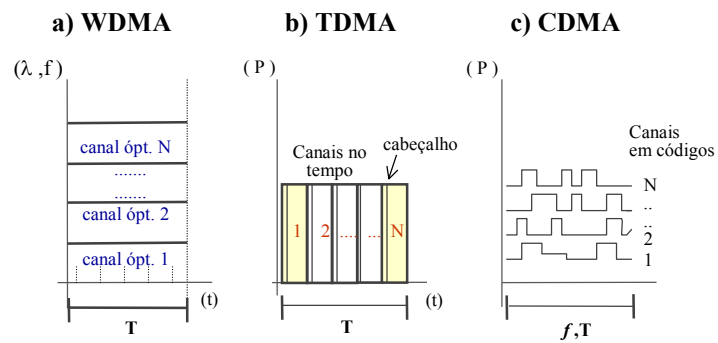
=> *muitas possibilidades ...*



Protocolos de Acesso Óptico



Protocolos de Acesso Óptico



Representação bidimensional

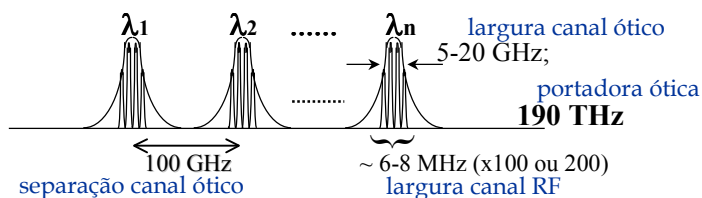
Protocolos de Acesso Óptico

- ☺ WDMA
 - múltiplo acesso por divisão de comprim. de onda
 - capacidade: cada canal ótico W independente; $\neq \lambda$ para \neq serviços
 - ☺ TDMA
 - multiacesso por divisão temporal ; N usuários.
 - capacidade : compartilhamento quadro;
 - ☺ CDMA
 - multiacesso por divisão de códigos ; M usuários
 - capacidade: compartilham. canal óptico; seqs. ortogon. ópticas.
-
- ☹ *Limitantes*
 - ❖ compartilhamento potencia na linha óptica (MAI & sensibil. Rx)
 - ❖ latência (espera – hold-time; e tempo de transito -- transmissão);
 - ❖ contenção (contenda); atrasos.
 - ❖ proteção; segurança; recursos adicionais .



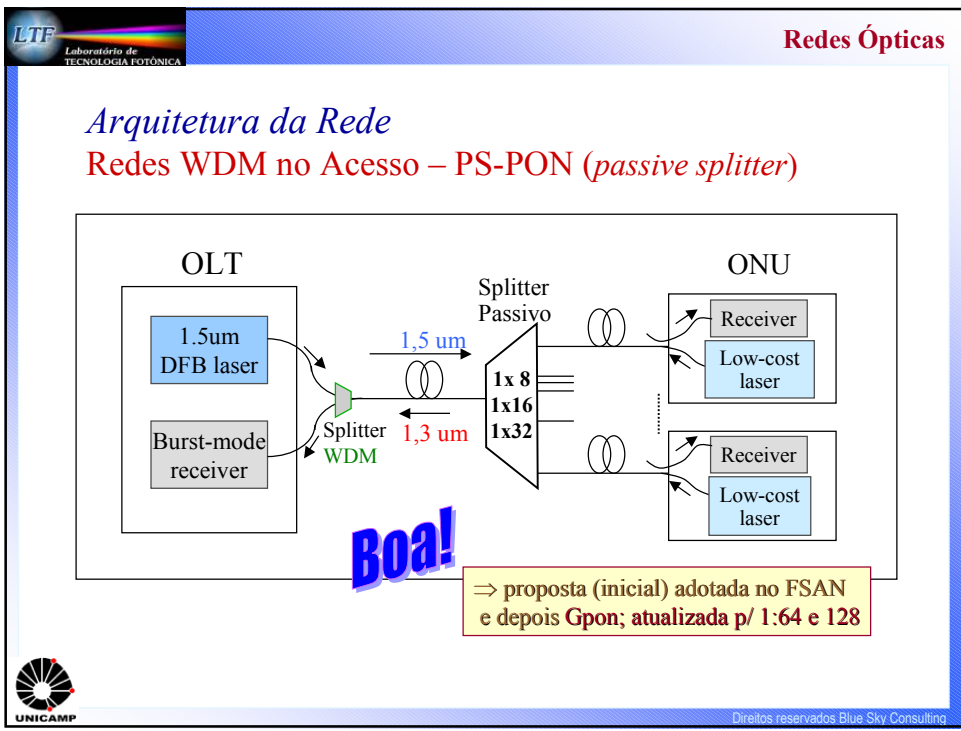
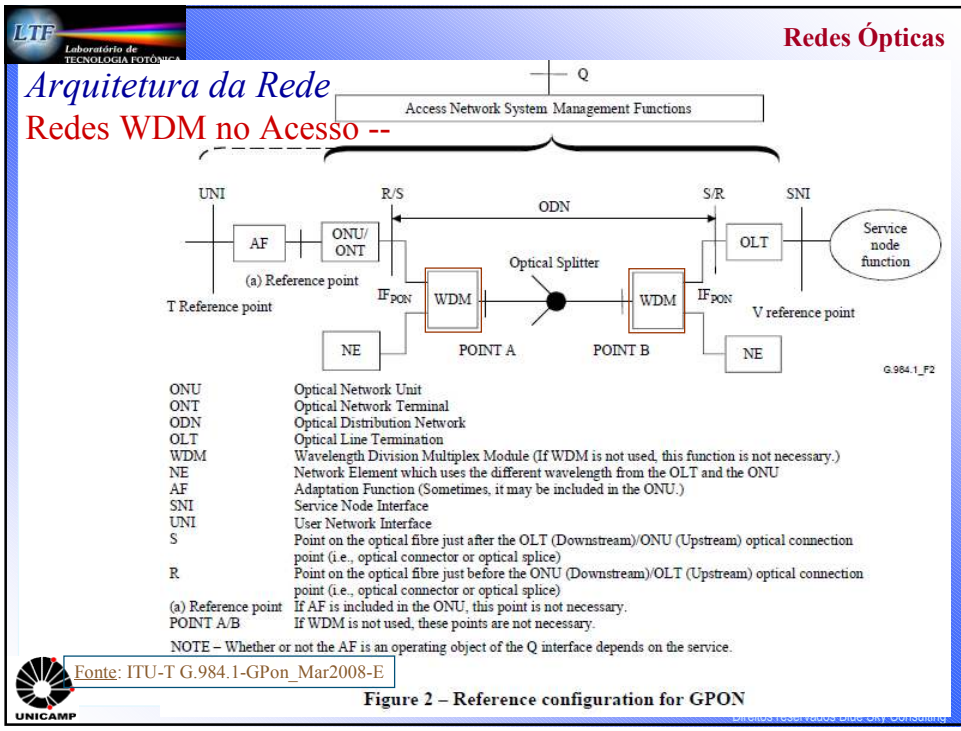
Protocolos de Acesso Óptico

- WDMA e SCMA
 - uma portadora óptica pode suportar ampla banda passante ;
 - múltiplas sub-portadoras RF podem ser inseridas numa única portadora óptica (Ex: todos canais TV paga !);



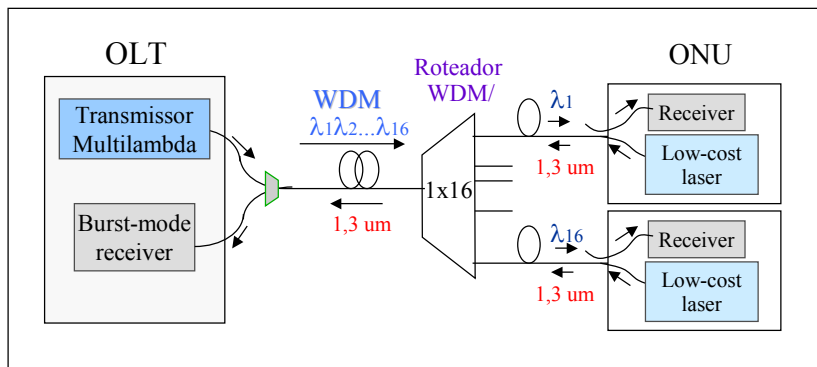
⇒ ITU-T :: espaçamento mais usado é 100 GHz (antes 200, depois 50), com largura de canal de até ~ 20 GHz (modulaç. ext. em 10 Gb/s)





Arquitetura da Rede

Redes WDM no Acesso – C-PON (composite)



⇒ proposta mista (desbalanceada) dando preferência ao *downst.* (qq. Cliente --)



Source: Feldman et al., JLT, Sept.1998

Redes Ópticas de Acesso

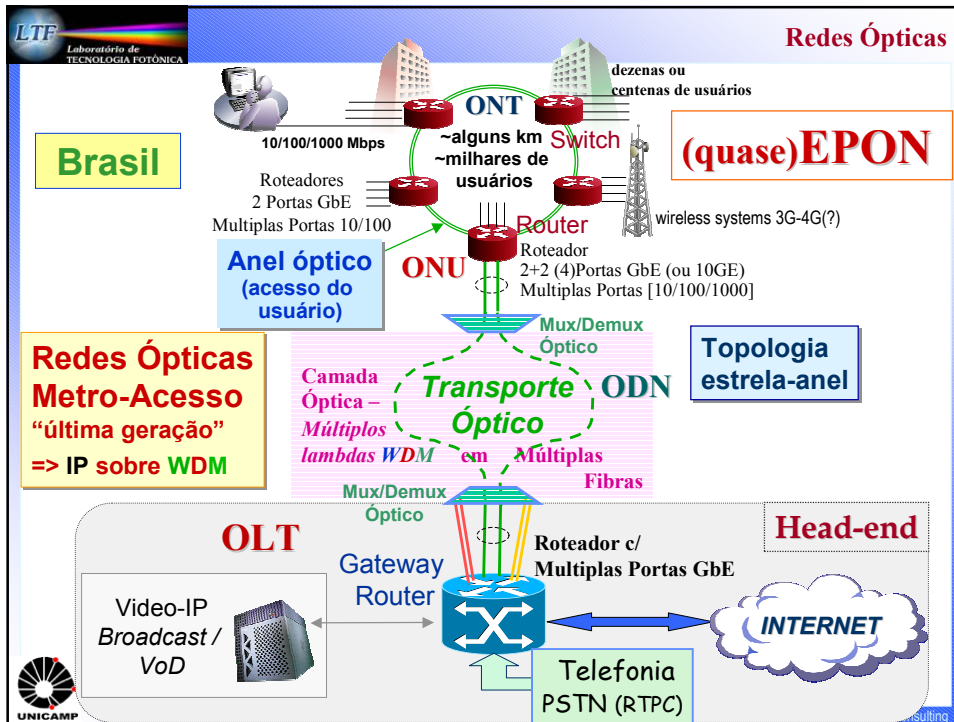
Redes Pacotes

(computadores; tablets; s-phones; TV-digital)

- Soluções incluindo redes pacotes Ethernet TCP/IP; (não necessaria/te EPON)

TCP – transmission control protocol
(com retorno & ackn)
UDP – user datagram protocol
(sem retorno & ackn)





Redes Ópticas

Optical Packet Networks -

HISTORY!

- EFMA (Eth First-Mile Alliance)

Histórico:

- ⇒ EPON has the best performance in **triple-play** ; and is cost effective !!
- ⇒ but an **enormous legacy of telephone companies** holds APON (ATM-PON) as a straightforward solution, especially for application sensitive clients;
- Since **November 2000** more than 200 individuals from over 80 companies *have participated* in an IEEE study group, which formally became the **IEEE 802.3ah EFM Task Force** ; starting with 10 and 100 Mb/s, the Task Force worked intensively evolving to 1000 Mb/s (GbE), in **Sept. 2001**; based on **optical fiber transmission**; updated **Aug. 2005**;
- ⇒ the study group had also concluded the 10GbE proposal; its conclusion phase in **Set. 2003** - (at ECOC'2003); [IEEE-802.3_Part3Sec3-1000BaseSxLx-Eth-2005; Part3Sec4-10GBASE-SR, 10GBASE-LX4, 2005]; updated **Sept. 2005**;
- ⇒ both European and American (as well as Asian) companies participate actively in APON(GPON) and EPON.
- ⇒ The generic term 1000 Mb/s MAC refers to any use of the 1000 Mb/s ISO/IEC 8802-3 CSMA/CD MAC (the Gigabit Ethernet MAC) coupled with any physical layer implementation.

UNICAMP

Direitos reservados Blue Sky Consulting

IEEE 802.3 (CSMA-CD) MAC - Ethernet Protocol

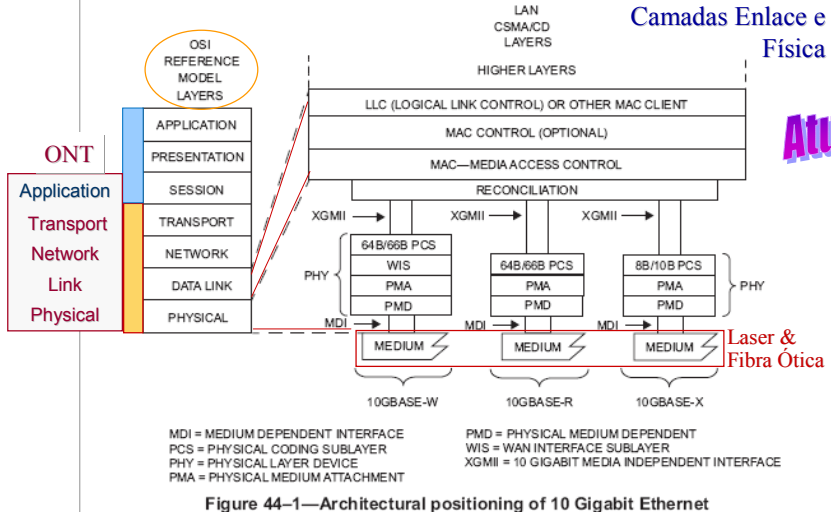


Figure 44-1—Architectural positioning of 10 Gigabit Ethernet

⇒ 10 Gigabit Ethernet couples the IEEE 802.3 (CSMA/CD) MAC to a family of 10 Gb/s Physical Layers. The relationships among 10 Gigabit Ethernet, the IEEE 802.3 (CSMA/CD) MAC, and the ISO Open System Interconnection (OSI) reference model are shown here in Figure 44-1.



Redes Híbridas HFC

Rede de Acesso Multiserviço
Cabeada



Redes Híbridas HFC

- ❖ Definições
- ❖ Aspectos de Transmissão
- ❖ Arquitetura
- ❖ Comparação de Tecnologias
- ❖ Experimentos



Redes Híbridas HFC

Definições

- ❖ (Híbrida)³
 - híbrida (camada física): compõe uso de fibras óticas com rede coaxial;
 - híbrida (camada enlace/rede): portadoras radio e TV (transmissão analógica) sobre portadoras óticas; taxa bits (*bit-rate*) fixa na transmissão;
 - híbrida (camada transporte): compõe protocolos de conteúdo digital e analógico (até passado recente); e multiplas aplicações e formatos;
- ❖ Distribuição (*downstream*)
 - rede de *broadcasting* e serviços (4P:: TV/vídeo/áudio; dados; telefonia);
- ❖ Retorno (*upstream*)
 - rede de comunicação do usuário com a central provedora; este é o canal de retorno que confere bidirecionalidade (dados; Internet; telefonia; sinalização TV);



Transmissão Digital vs. Transmissão Analógica

Definições:

Lembre-se...

- Sinais Analógicos – são sinais cuja amplitude varia continuamente, representando grandezas físicas em tempo real; não podem ser comprimidos (no tempo), mas podem ser multiplexados em frequência.
- Sinais Digitais – são sinais definidos em instantes discretos de tempo, representando amostras de grandezas físicas, não obedecendo sequência temporal contínua; podem ser comprimidos e multiplexados, no tempo e em frequência.
- Portadoras – as portadoras são as ondas eletromagnéticas, de frequência pré-definida, que transportam os sinais -- digitais ou analógicos.
 - As portadoras podem ser transmitidas em modo contínuo ou pulsado, independente da natureza do sinal transportado.

>> >>



Redes Híbridas HFC

Configurações:

- Distribuição (downstream)
 - canais digitais => QAM-64 (mais adequado "alta" pot.);
 - conteúdo: MPEG. (transm.digital pura)
 - ❑ no passado recente -- e remoto -- transmissão analógica AM-VSB (TV conv.),
- Retorno (upstream)
 - transmissão digital QPSK (melhor peqs. sinais; menos sensível ruído);
 - modems digitais com portadora RF : cable-modem (transm.digital pura; sinalização TV; Internet=bidir.).



Redes Híbridas HFC

Protocolos =

- *Data Over Cable Service Interface Specification*, or DOCSIS, is an international telecommunications standard that allows for the addition of high-bandwidth data transfer to an existing coaxial cable TV system.
- This is important for Internet users and Internet providers because it allows Internet speeds to increase without having to completely replace coaxial cable networks.
- In an ideal world, everyone would have Fiber to the Home service. In reality, that would cost billions of dollars to make happen.
- On a practical level, DOCSIS matters for consumers also, because in many cases it is you to decide which DOCSIS standard you need when purchasing a modem for your cable Internet connection.
- Depending on the time/place/quality of your connection, the answer isn't necessarily just "the newest one."



Fonte: <https://highspeedexperts.com/home-networking/what-is-docsis/>

Características da Rede

- Rede HFC (Híbrida Fibra Coaxial)
- Faixa de 5 a 48 MHz (**upstream**).
- Faixa de 54 a 750 MHz (**downstream**);
- Canais 6 MHz; NTSC. (imagem/vídeo; croma/cor; áudio)
- Transporte de Sinais: Streaming Vídeo, Áudio, Dados e Telefonia.
- Alocação de frequências:

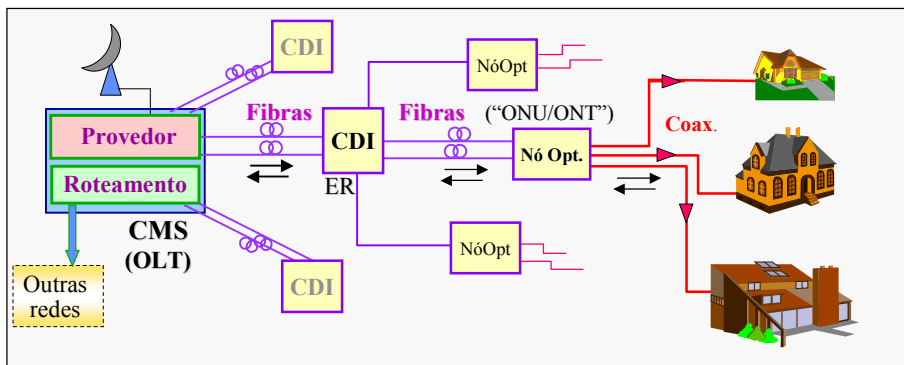


== Digital ==
(canais vídeo e áudio)

=> no passado a região de 50-550 era transmissão analógica (conteúdo)



Diagrama Rede HFC (bidirecional)



Rede:

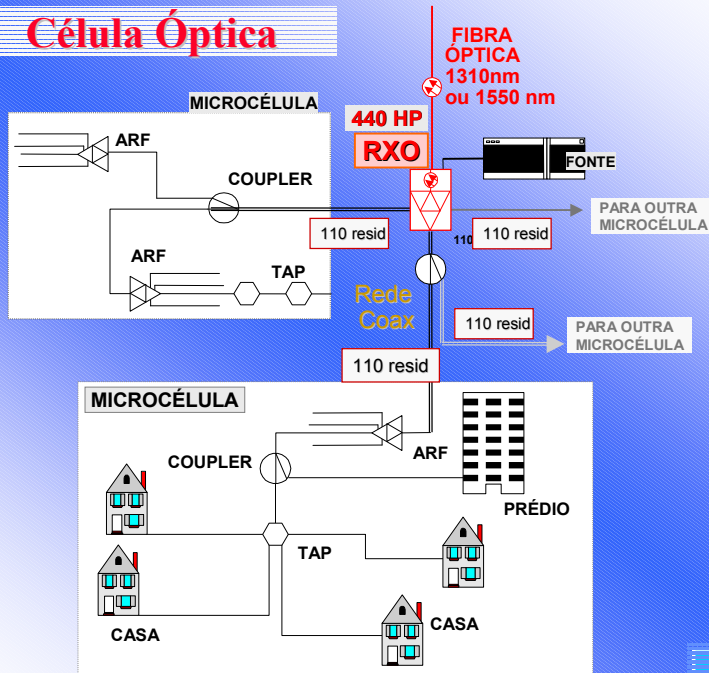
- CMS - centro multiserviço (head-end, OLT)
- CDI - centro distrib. e inserção (pode incluir comut./roteam.)
- * Nó Opt. - conversão opto-eletrica (função passiva)
- Coax - rede coaxial RF (bi-direcional; full-duplex)

Terminal usuário

- Casa // Empresa
- * caixas TV
- * cable-modems



Célula Óptica

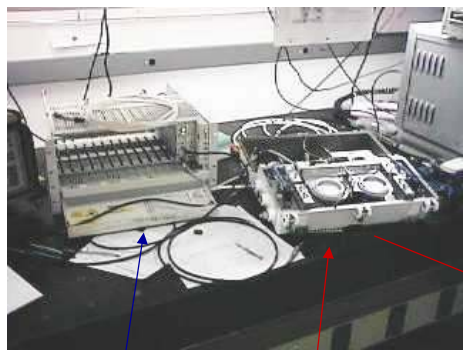


Redes Híbridas HFC

Célula Óptica
ou Nó Óptico



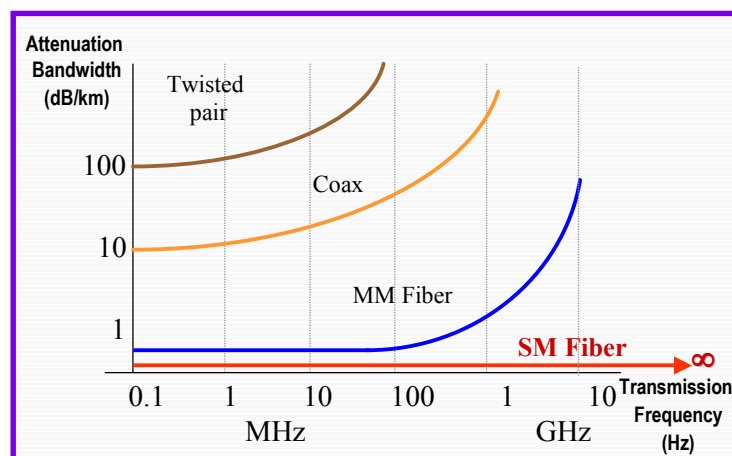
HFC
tecnologia



Redes Híbridas HFC

- ❖ Aspectos de Transmissão
- ❖ Experimentos

Optical Access Network – relembando...



Redes Cabeadas – resumo/comment ...

- Par trançado -- desgraça "milena" que não vai embora !!
- Coaxial -- segunda melhor invenção do séc.XX como meio de transmissão; ideal p/ TV e residencias;
- Fibra MM -- maior revolução das telecom;
- Fibra MN (SMF) -- quebra de paradigma e melhor meio de transmissão do Universo; sem ela não teríamos nada!!;

=> *este resumo é verdadeiro !!*

Maior invenção de todos os tempos: Laser !!

(...a roda não foi inventada...)



Redes Híbridas HFC

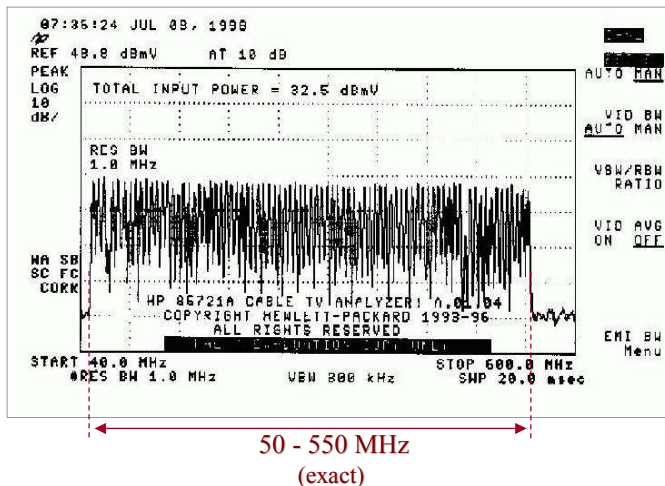
revisited

- Técnicas de Modulação Direta (Tx-Laser) [IM-DD]
 - Digital: índice modulação $M \Leftrightarrow$ razão de extinção
 - monocanal; $M = 10 \log (P_{\max} / P_{\min})$, típico $M = 10$ dB ;
 - mantém-se P_o como alarme; modulaç. +/- I_m , em torno de I_o ;
 - transmissão digital de sinais (*voz, imagem, IN*);
 - Análogica:
 - multicanal: riscos -- saturação (*up*) e "clipping" (*down*), devido a variação estatística modulação em amplitude, e as fases aleatórias dos N canais;
 - fator de modulação σ_{RMS} ; índice de modulação m , por canal ;
 - ❖ [$\sigma_{\text{RMS}} = (N/2)^{1/2} \cdot m$], usual $\sigma_{\max} = 25\%$, com, $m=4-5\%$; $N \approx 80$.
 - transmissão TV; sistemas de CATV// redes HFC;



Redes Híbridas HFC

Portadoras RF -- 82 canais ((downstream))

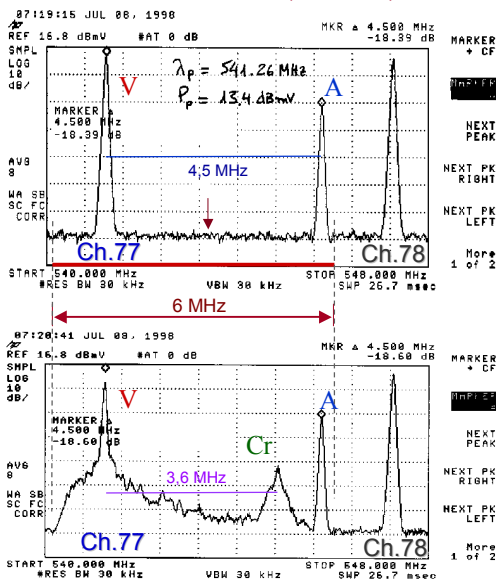


Janela de Sinal (um canal)

Modulação
AM-VSB

Separação:
V = 1,25 MHz
Cr = V + 3,60
A = V + 4,50
0,25 = guarda

Observ.:
sinal de Cor (chroma)
vem embutido no
sinal de Vídeo;
Áudio é separado.



NTSC
6 Mhz

Ch. 77
(541,25 MHz)

Ch. 78
(547,25 MHz)



Redes Híbridas HFC

Grade NTSC

NewLink: [grade-NTSC_canaísTV=](#)



Sinal e Defeitos:

CNR, CSO, CTB (o Bom, o Mau e o Feio)

- A distorção nos sistemas de vídeo multicanal, ocorre internamente ao sinal óptico, e é devida a um grande número de batimentos de pequenas distorções (*efeitos não-lineares*), que se adicionam e recaem em frequências RF dentro da banda de operação.
- Cada canal tem sua relação sinal-ruído (CNR); além disso,
- Mecanismos de distorções compostas de segunda ordem (CSO), resultam em distorções de intermodulação em frequências, que são a soma ou a diferença entre duas portadoras RF.
 - Na grade de sinais NTSC utilizada, as frequências das portadoras estão espaçadas de 6 MHz, e os batimentos aditivos (f_1+f_2) recaem em $\pm 1,25$ MHz (acima/abaixo de uma portadora); e batimentos subtrativos (f_1-f_2) recaem em $\pm 0,75$ MHz.
 - O maior número de batimentos subtrativos ocorre nos canais baixos e o maior número de batimentos aditivos ocorrem nos canais de frequências altas. **O efeito combinado é que CSO tende a ser máximo no meio da banda.**
- Mecanismos de batimentos compostos de terceira ordem (CTB) recaem exatamente sobre as frequências das portadoras.

>>>



Características da Rede

CNR, CSO, CTB (o Bom, o Mau e o Feio...)

- ❖ CNR = (carrier-to-noise ratio) = SNR (dBc)
- ❖ CSO = composite second order (A ± B)
 - $CSO = HD2 + 10 \log N_{CSO} + 6 \text{ dB [dBc]}$, onde $HD2 = -100 \text{ dBc}$
 - $CSO \sim N^2 \cdot m^2$, onde N no. canais, m índice modulação
- ❖ CTB = composite third beat (A ± B ± C)
 - $CTB = IM3 + 10 \log N_{CTB} + 6 \text{ dB [dBc]}$, onde $IM3 = -100 \text{ dBc}$
 - $CTB \sim N^3 \cdot m^4$

noise floor

(*) N_{CSO} and N_{CTB} são a contagem total dos produtos de 2a. e 3a. ordem dentro da banda de cada canal (RF).

=> dados experim. adiante >>



Experimento --

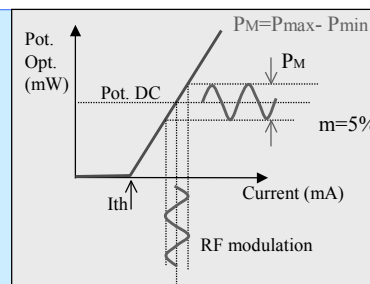
TxO (+ 7 dBm) => especificação

Perda no Enlace Óptico (dB)	Rx Para 78 Canais CNR (dBc)
4	54
5	53
6	52
7	51
8	50

⇒ CSO/CTB > 62

Sinal +58 dBc

Perdas lineares



Transmitter (TxO) includes:

- laser module
- circuits mod. & control
- circuit pre-distortion & linearization



Medidas de Transmissão – Enlace Óptico



Canal	Mhz	CNR	CSO	CTB	Obs.
04	67,25	55	68	69	Ruido "plano"
10	193,25	55	67	68	" "
38	307,25	53	66	65	" "
60	433,25	53	65	65	" "
77	541,25	52	65	65	" "

(+) (-) (-)

dB

dBc

Bom: CNR > 50 dB (relat.); CSO, CTB < -60 dBc (absol.);

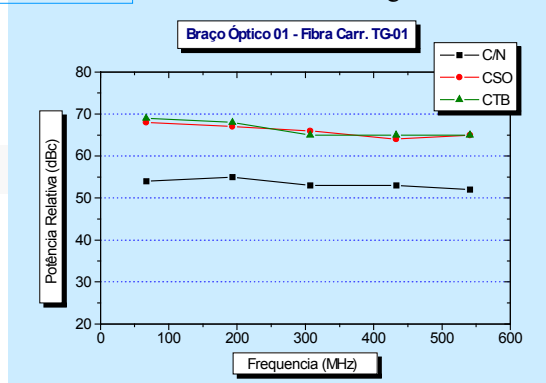


Experimental Results

L= 2.6 km, [Af= 0.42 dB/km]

Carregamento : 82 canais AM-VSB

1300 nm



Resumo

HFC ; FTTH ; Wireless
(empate !?)

❖ **HFC**

- ❑ (híbrida)² : Tecnologias fibra e coaxial; sinal ótico , sinal RF "analógico" multiplexado, sub-portadoras FDM/SCMA; conteúdo digital.
- ❑ sinal TV digital:: down QAM-64 (ida),; ups QPSK (volta) [antes:: analógica AM-VSB (distrib.; dwn.)]; e demais serviços (Vz, dados, IN);
- ❑ BW/usuário, máx~1Gb/s;
- ❑ Arquitetura estrela e anel-estrela ; canal de retorno compartilhado.

❖ **FTTC/B/H=FTTU**

- ❑ Tecnologias fibra & fibra ; => modem ótico) ; (roteamento e distribuição TDMA; pode ser combinado com WDM-fixo)
- ❑ digital pura p/ todos serviços, bidirecional; modulação em banda-base.
- ❑ Arquitetura estrela e anel-estrela; rede compartilhada. (EPON/GPON)

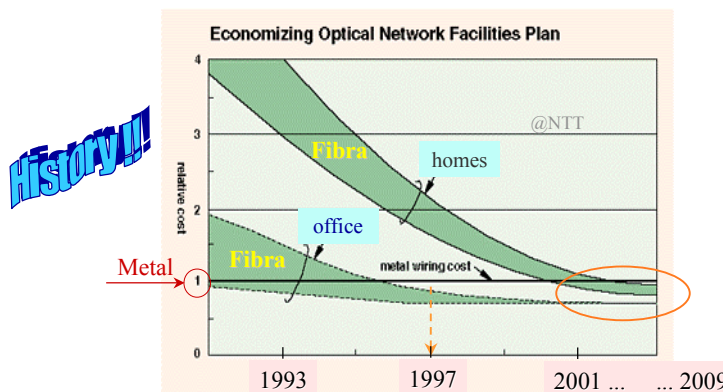
❖ **Wireless**

- ❑ fora de casa FTTA; (mesmos conteúdos digitais -- *everywhere...*)
- ❑ dentro de casa = Wi-Fi (HFC=modem coax; e FTTH=modem ótico);



Redes Ópticas de Acesso

Evolução Tecno-economica – The Money...



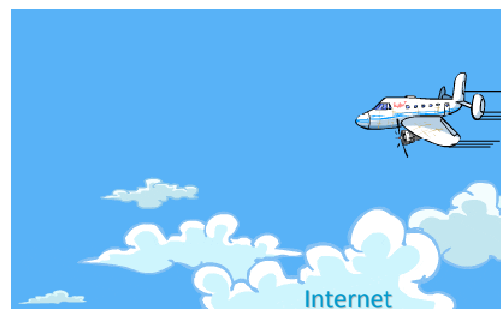
- Início FTTH: EOT-Phone Co. (Minn.,USA) 1997/ metal US\$ 3k, p/usu.; outro: US\$ 5k p/p/usu. -- Rye Telephone (Colo.,USA) 2000/ -- \$fibra <10% acima cobre; opção fibra !!
- Depois de 2004 Japão/Korea: não se instala mais metal na rua !! (no JP /2009 já são mais de um milhão casas com FTTH, o que dá mais de > 3 Mi de usuários !! .



Redes Ópticas de Acesso

Conclusão

- ✓ *Redes Ópticas de Acesso* constituem-se na melhor opção para **alta capacidade e vazão** (*throughput*) ao usuário, ou interligação de redes locais:
 - menor custo/bit (*mas não custo/assinante*);
 - máxima segurança e privacidade;
 - alta confiabilidade;
 - disponibilidade & permanência;
 - estabilidade & isolamento.
- Combinação com **outras tecnologias** é *necessária* para *otimização de custos e aplicações!*



Fim! ...

**Redes
Ópticas
Acesso**