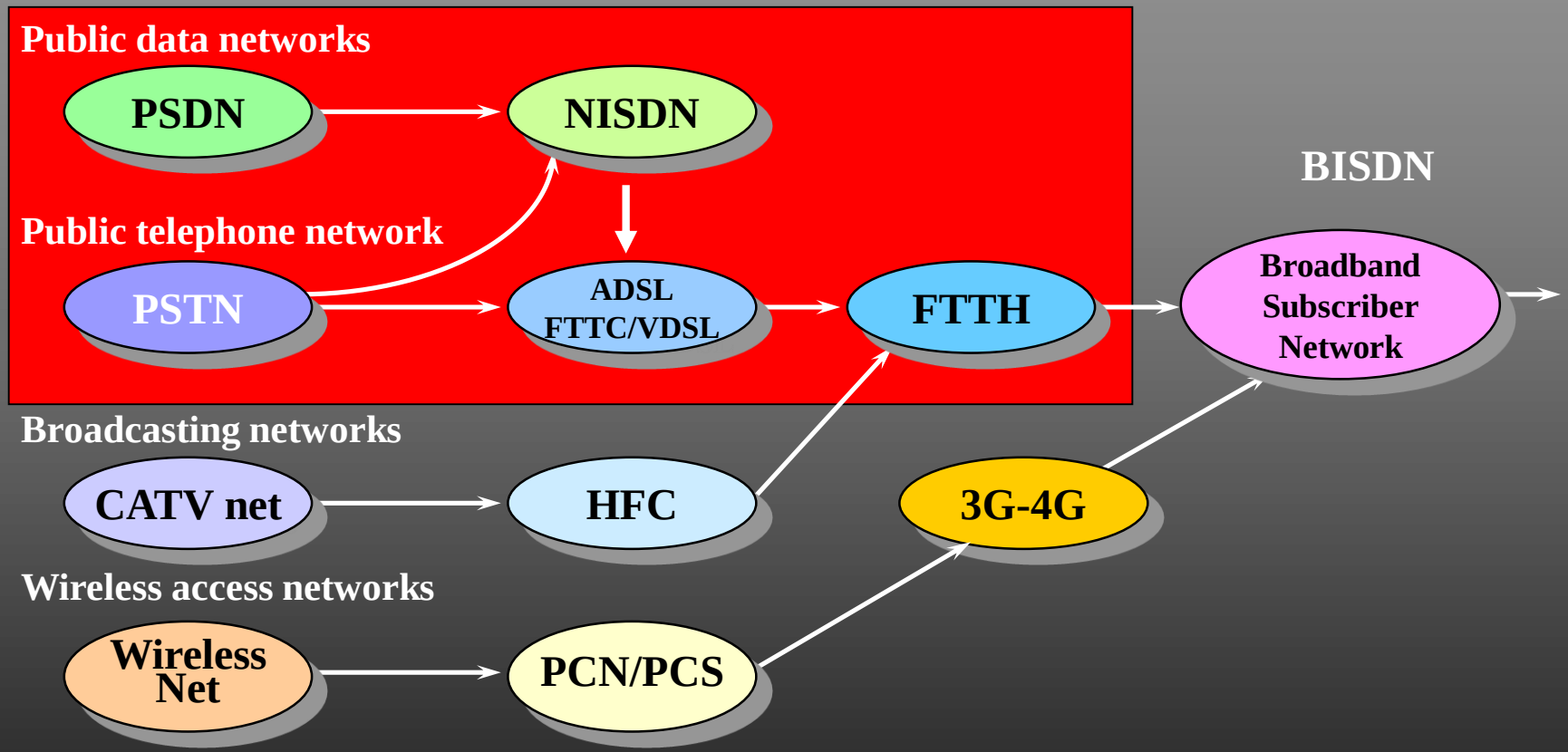
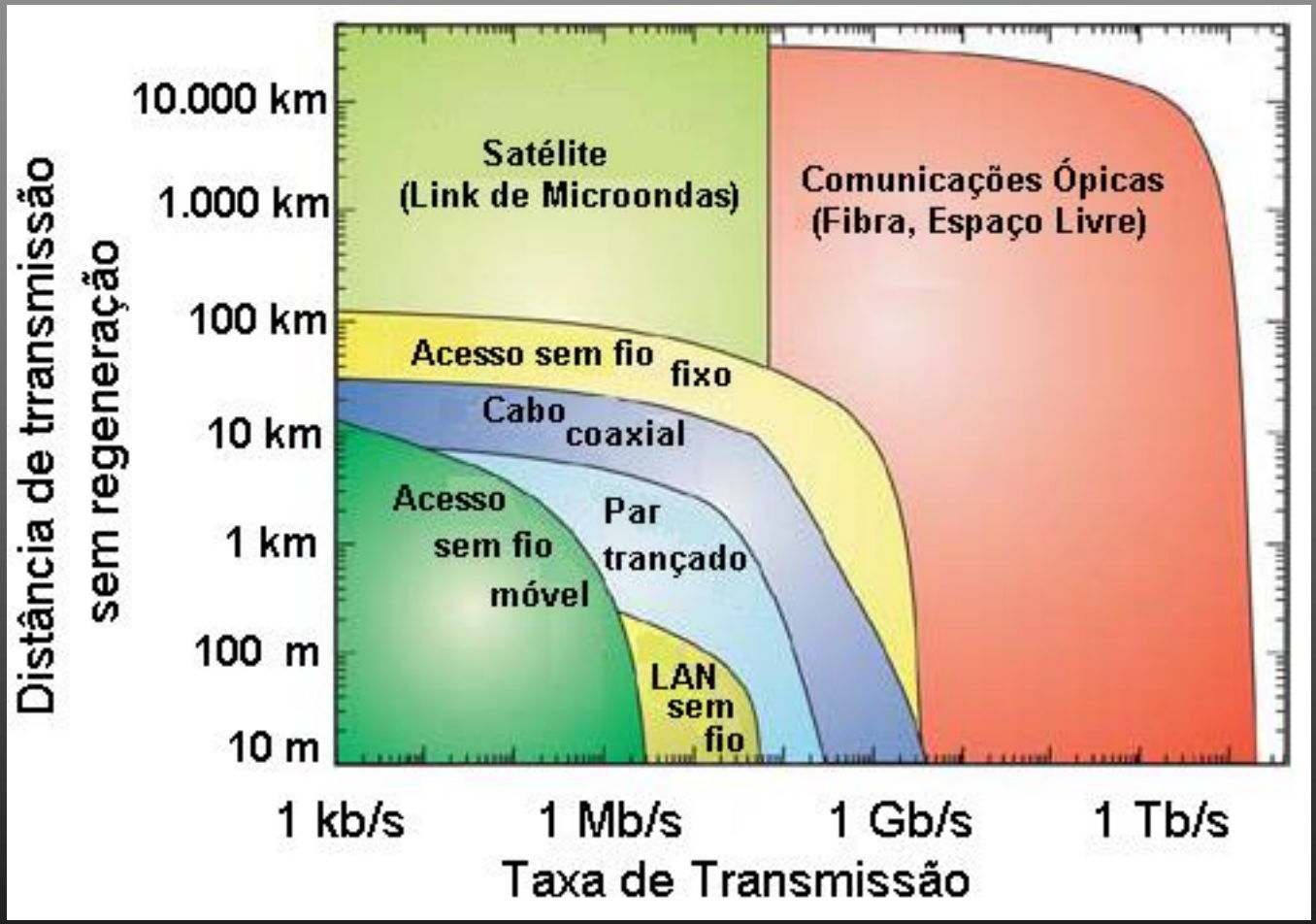
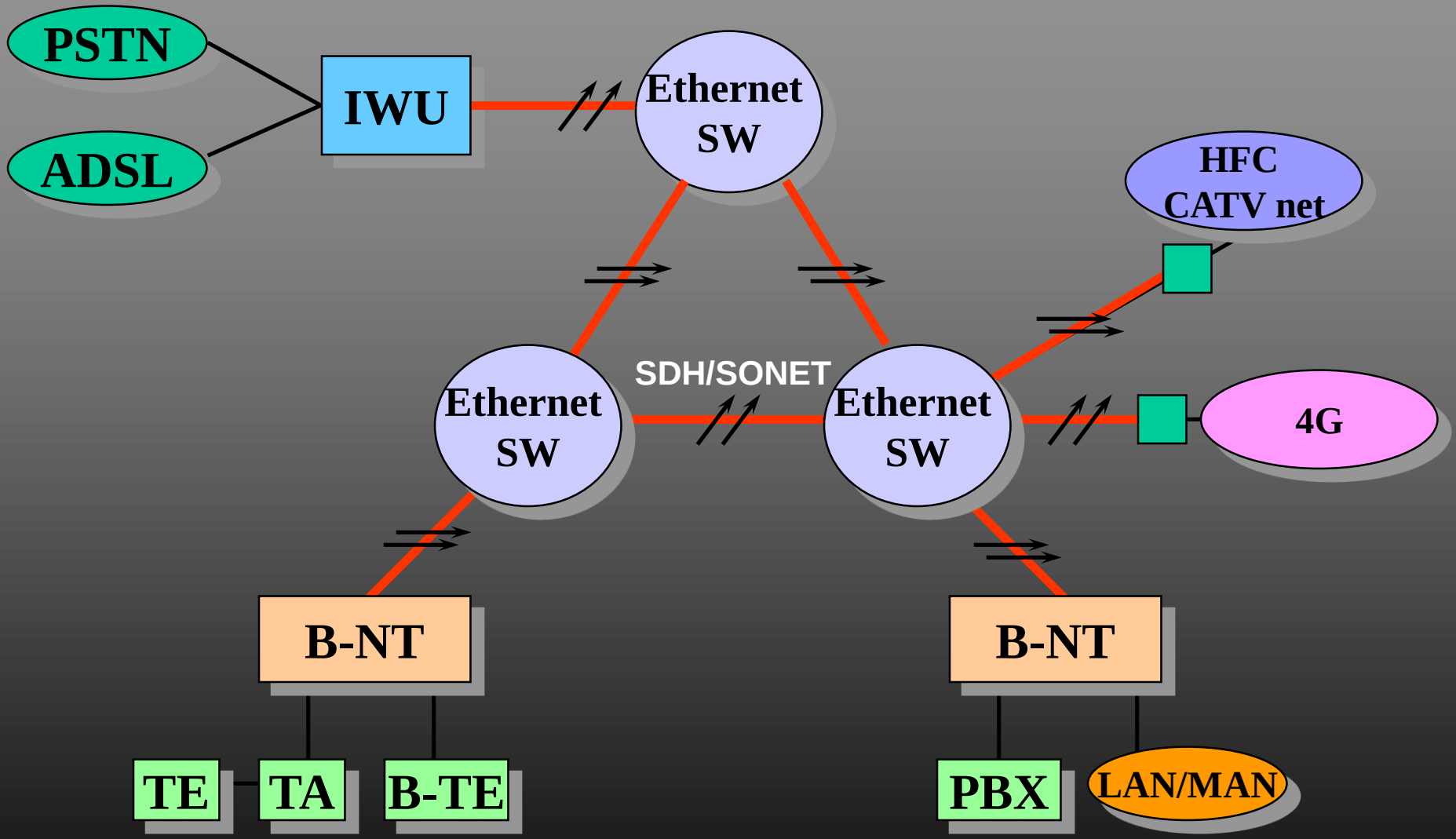
# Evolução das redes de comunicações: Redes Ópticas Passivas para FTTH (Fiber to the Home)



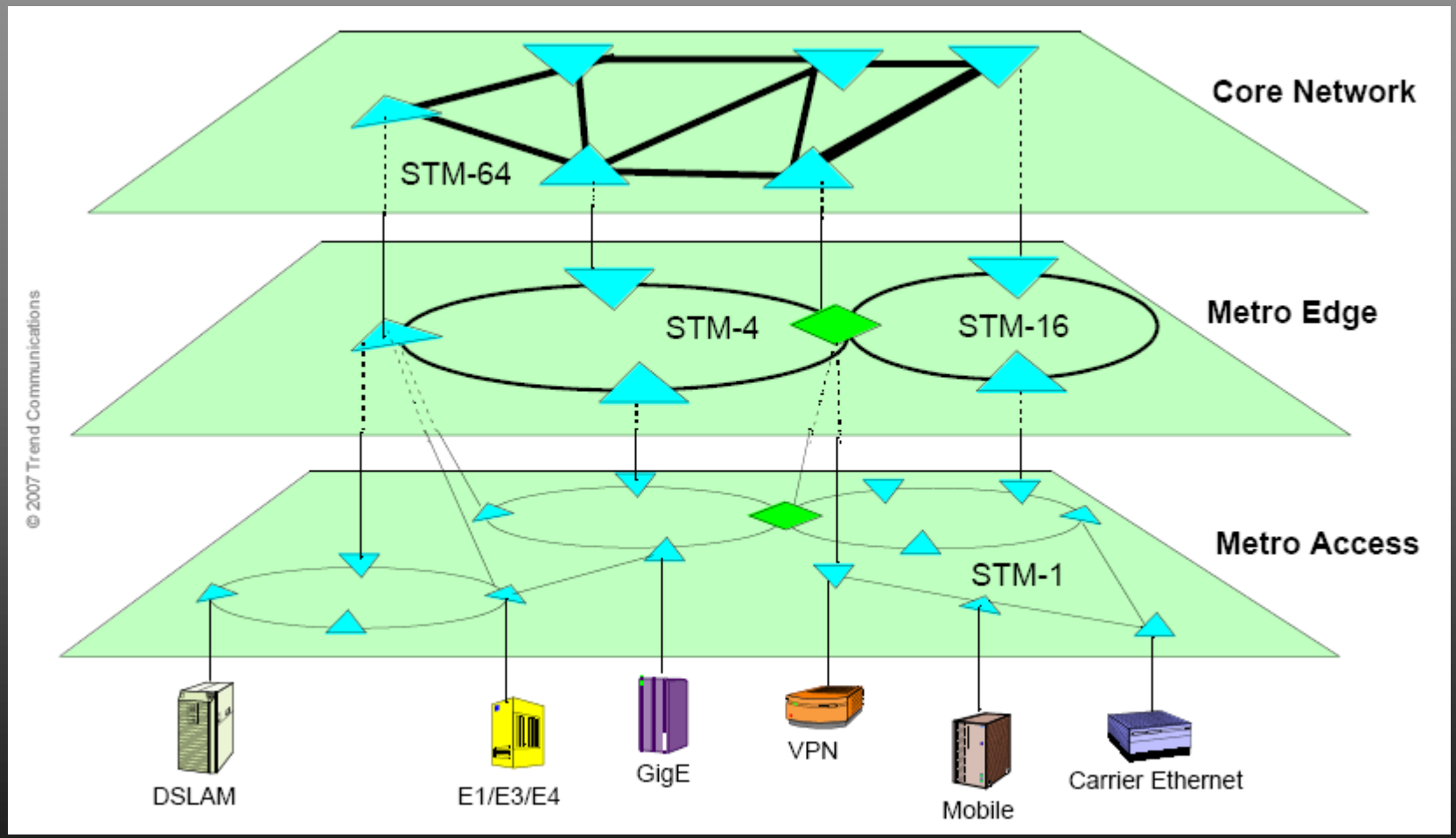
# Cenário na Transmissão



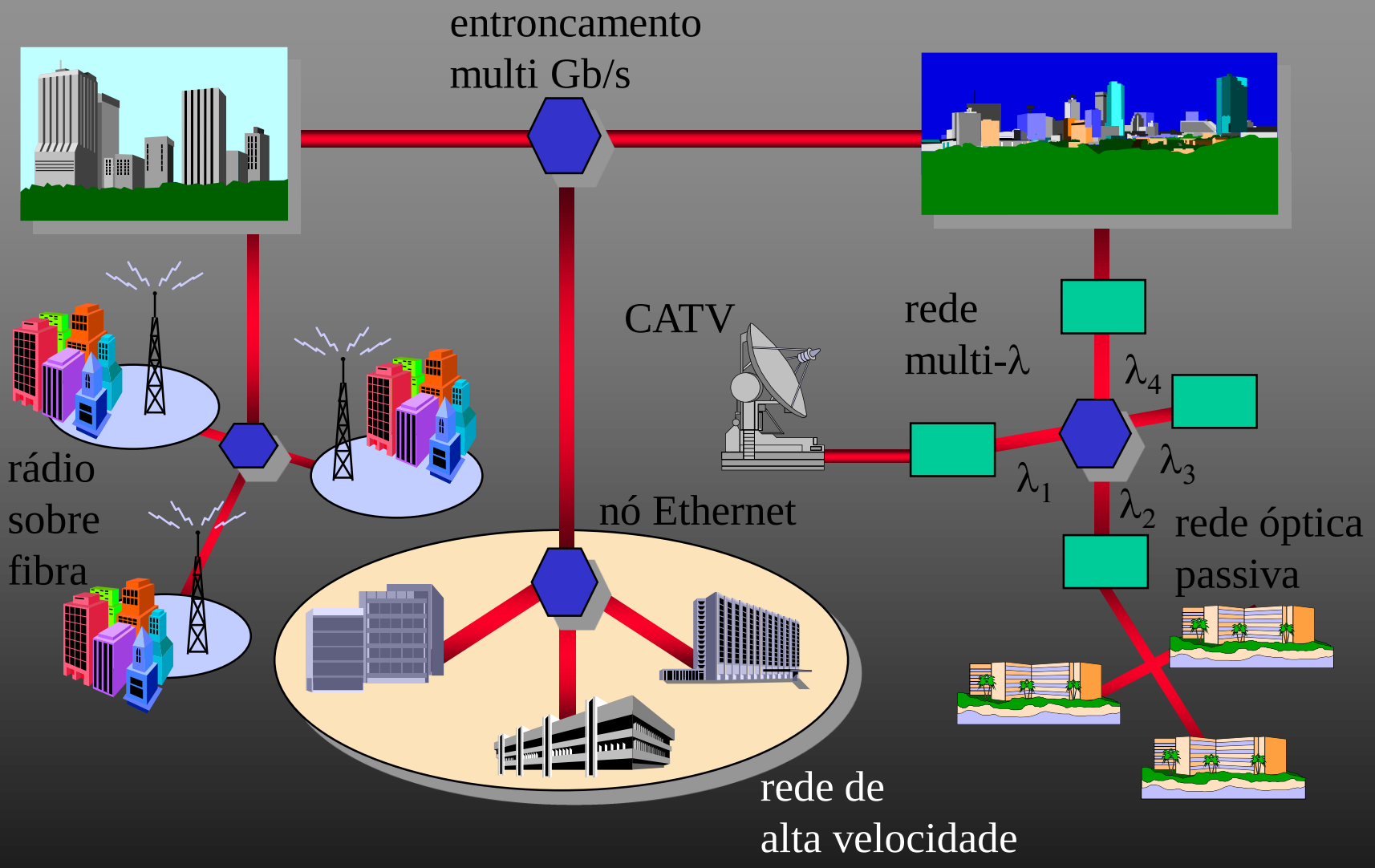
# Arquiteturas de Redes Faixa-Larga



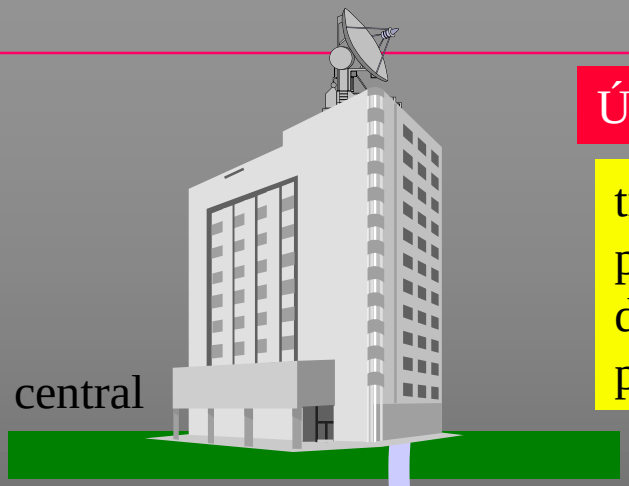
# Arquitetura de Rede SDH



# Rede fotônica para serviços faixa-larga



# Fibra até a residência (FTTH - “fiber to the home”)



central

Último quilômetro da rede

troca do cabo coaxial ou par de fios da rede convencional por fibra óptica

Alternativa muito utilizada é o FTTC (“fiber to the curb”)

fibra óptica (faixa larga)

HDTV (1.125 linhas)

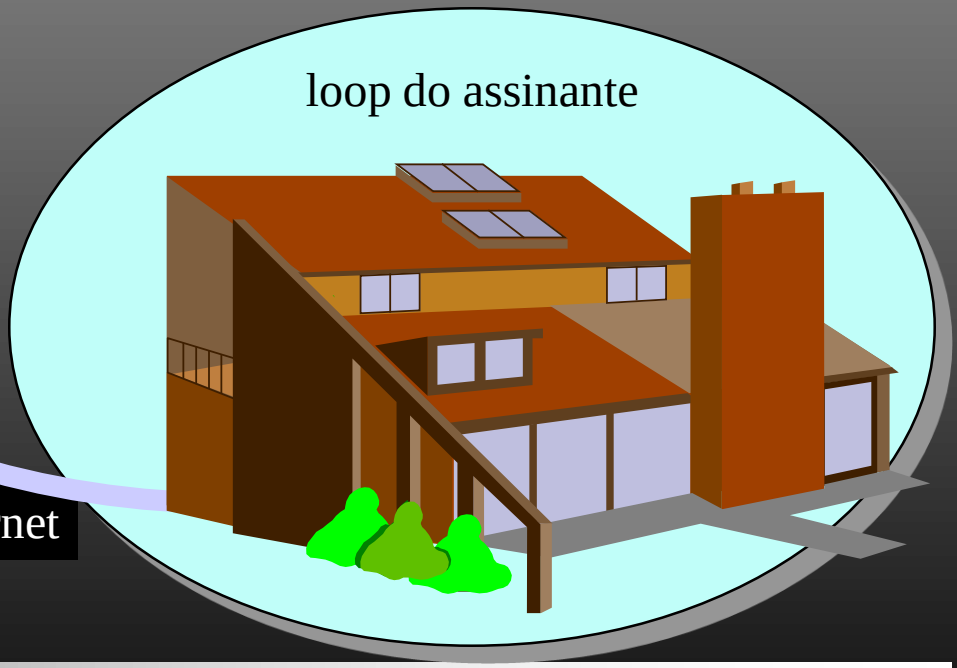
canais de vídeo comutados pela rede

dados

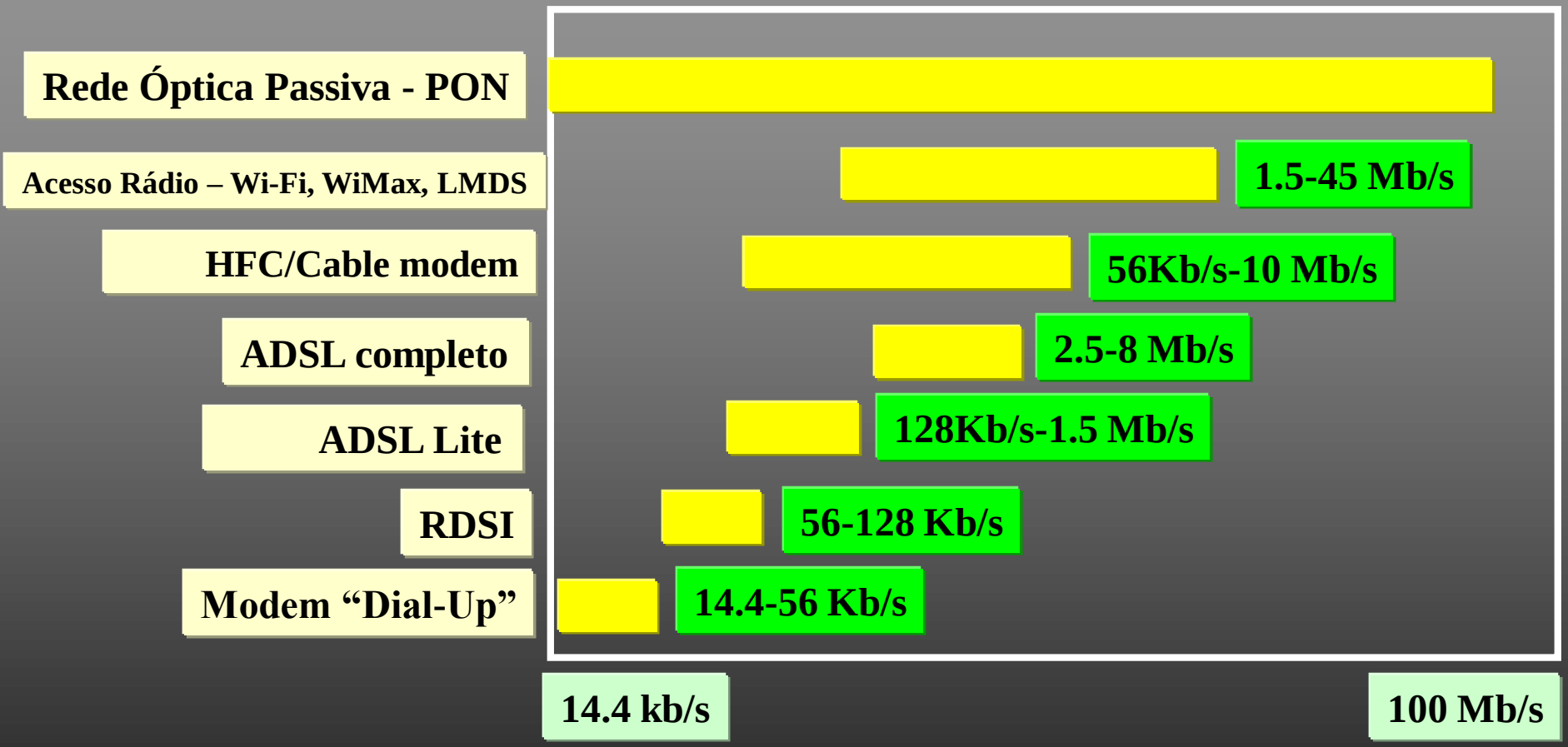
voz

internet

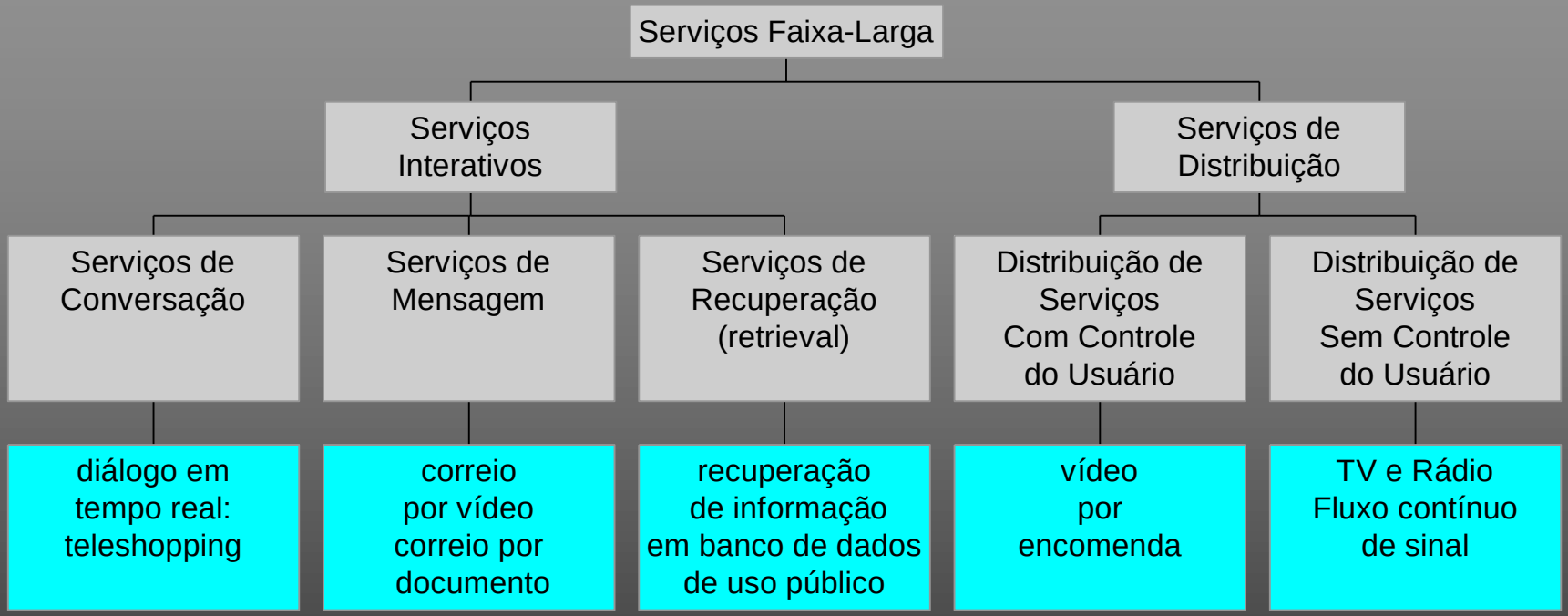
loop do assinante



# Tecnologias para Redes de Acesso
## *("Subscriber Loop")*



# Serviços na RDSI (Recom ITU-T I.211)



# Interfaces básica e primária da ISDN

Estrutura Básica

2B+D

| B1<br>64 kb/s | B2<br>64 kb/s | D<br>16 kb/s |
|---|---|---|

Taxa Primária **B**. Estrutura da Interface de Canal

23B+D

| B1<br>64 kb/s | B2<br>64 kb/s | ••• | B23<br>64 kb/s | D<br>16 kb/s |
|---|---|---|---|---|

Taxa Primária **HO**. Estrutura da Interface de Canal

3HO+D

| HO1<br>384 kb/s | HO2<br>384 kb/s | HO3<br>384 kb/s | D<br>16 kb/s |
|---|---|---|---|

Taxa Primária **H1**. Estrutura da Interface de Canal

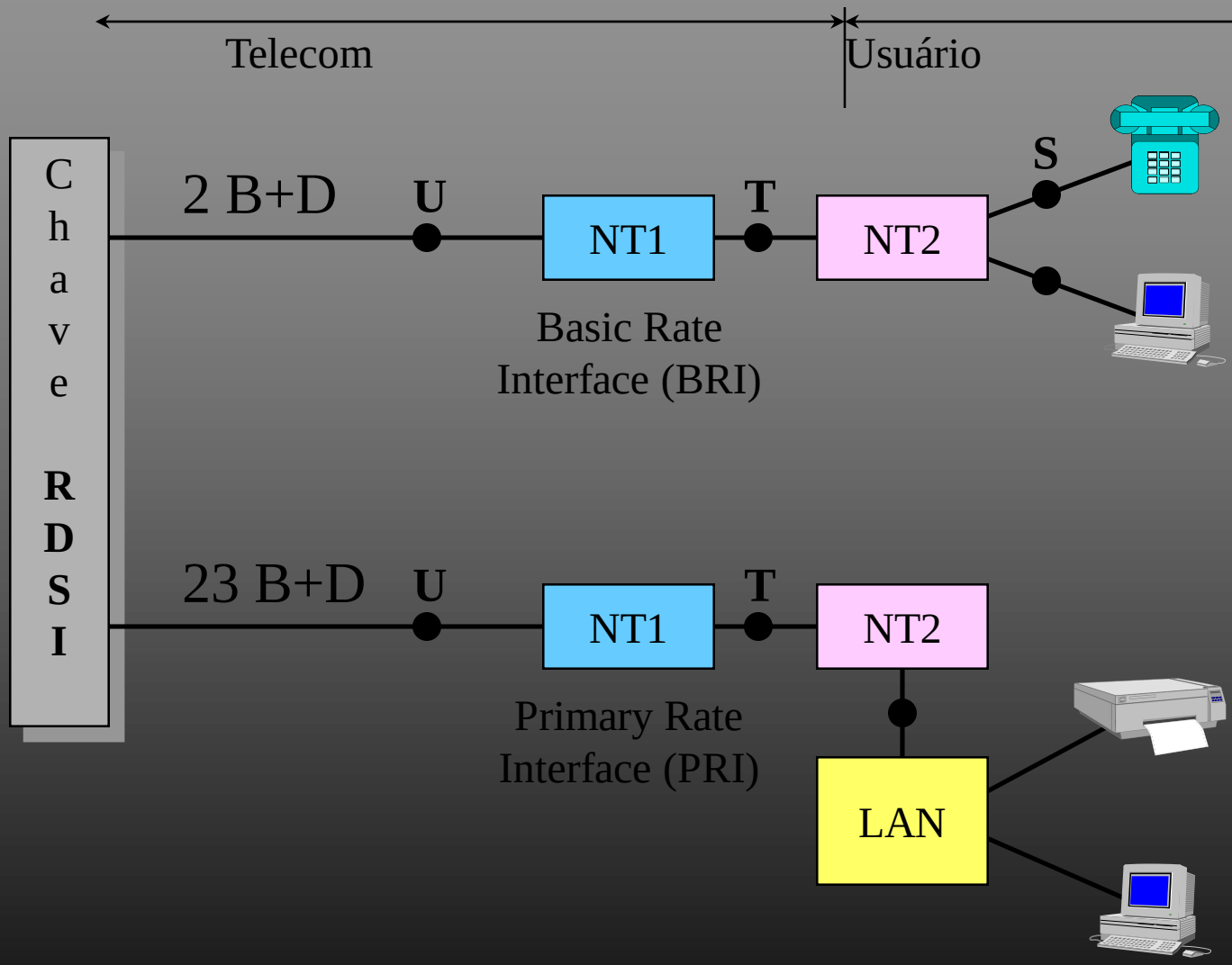
não cana-lizado

| H1<br>1,536 Mb/s |
|---|

Estrutura Básica:
144 kb/s no escritório ou residência do assinante.
Canais B1 e B2 para transmissão de voz, dados em alta velocidade, fax e vídeo comprimido.

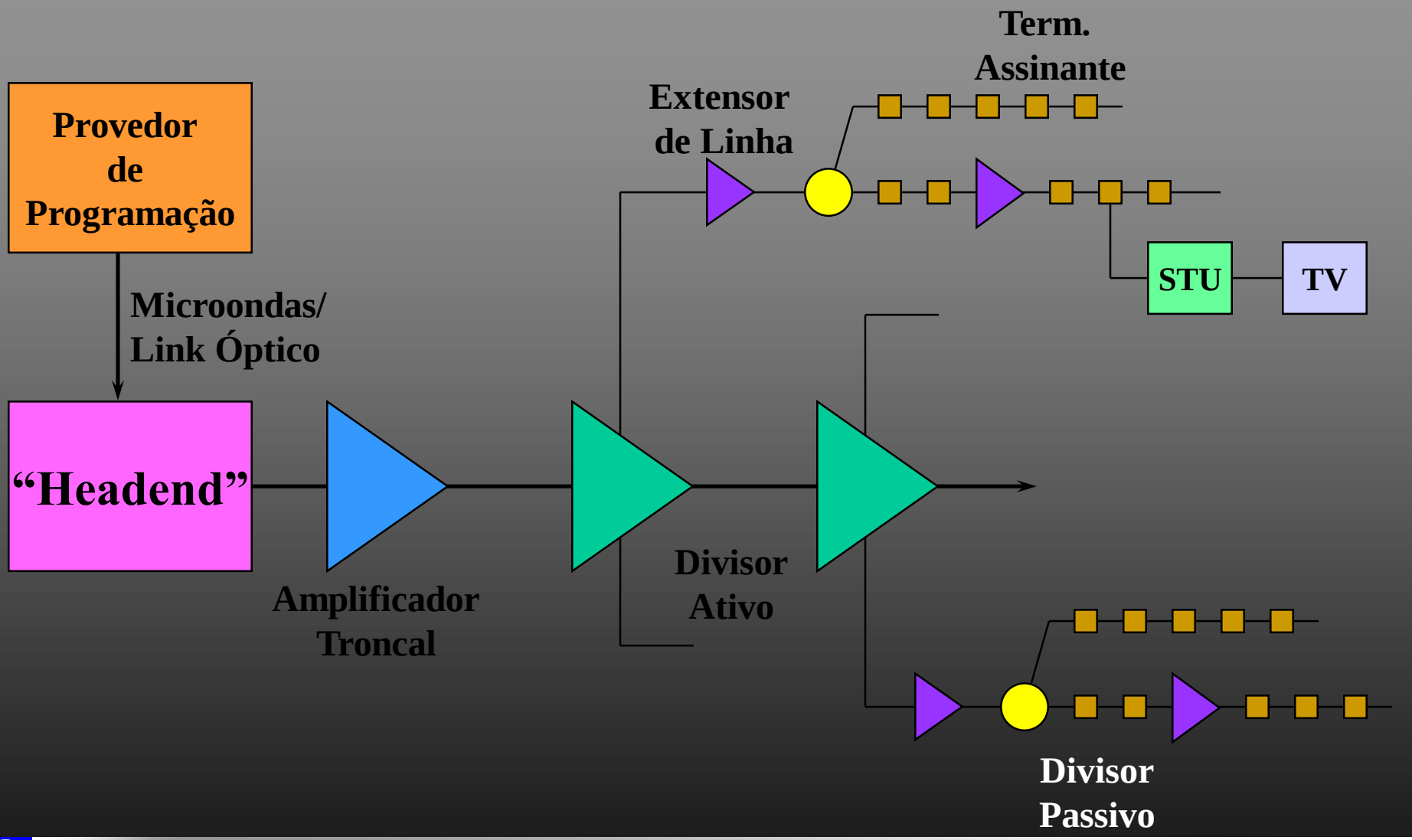
Potencial para oferecer serviços de telemetria com baixa taxa de transmissão: segurança, gerenciamento de energia.

# Modelo de acesso ao usuário na ISDN

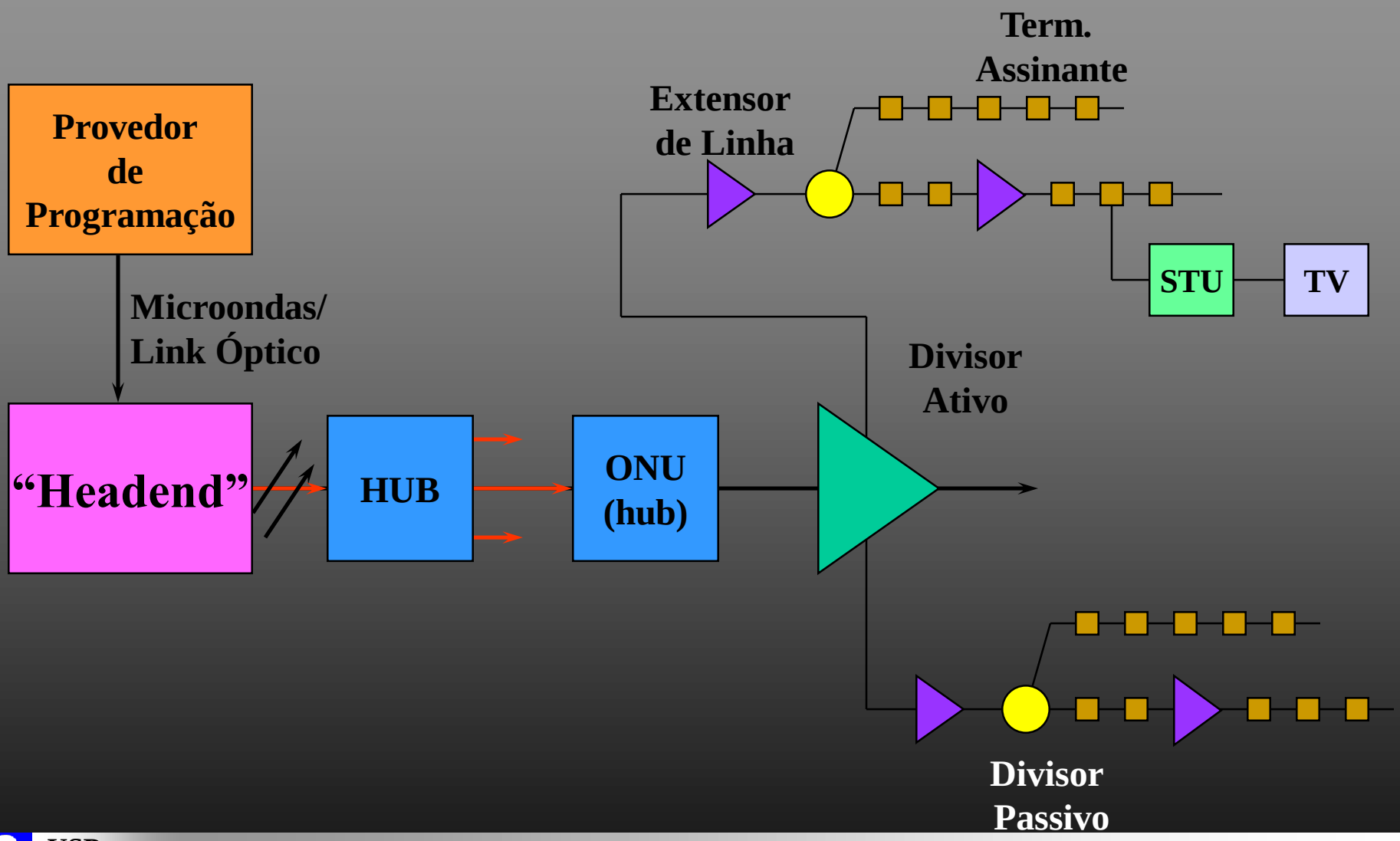



**NT1**-Terminação de rede 1 (fim da l.t.)
**NT2**-Terminação de rede 2 (conexão para vários terminais)
**S**-Ponto de referência chaveado
**T**-Terminação de ponto de referência (interface com cliente)
**U**- Ponto de referência

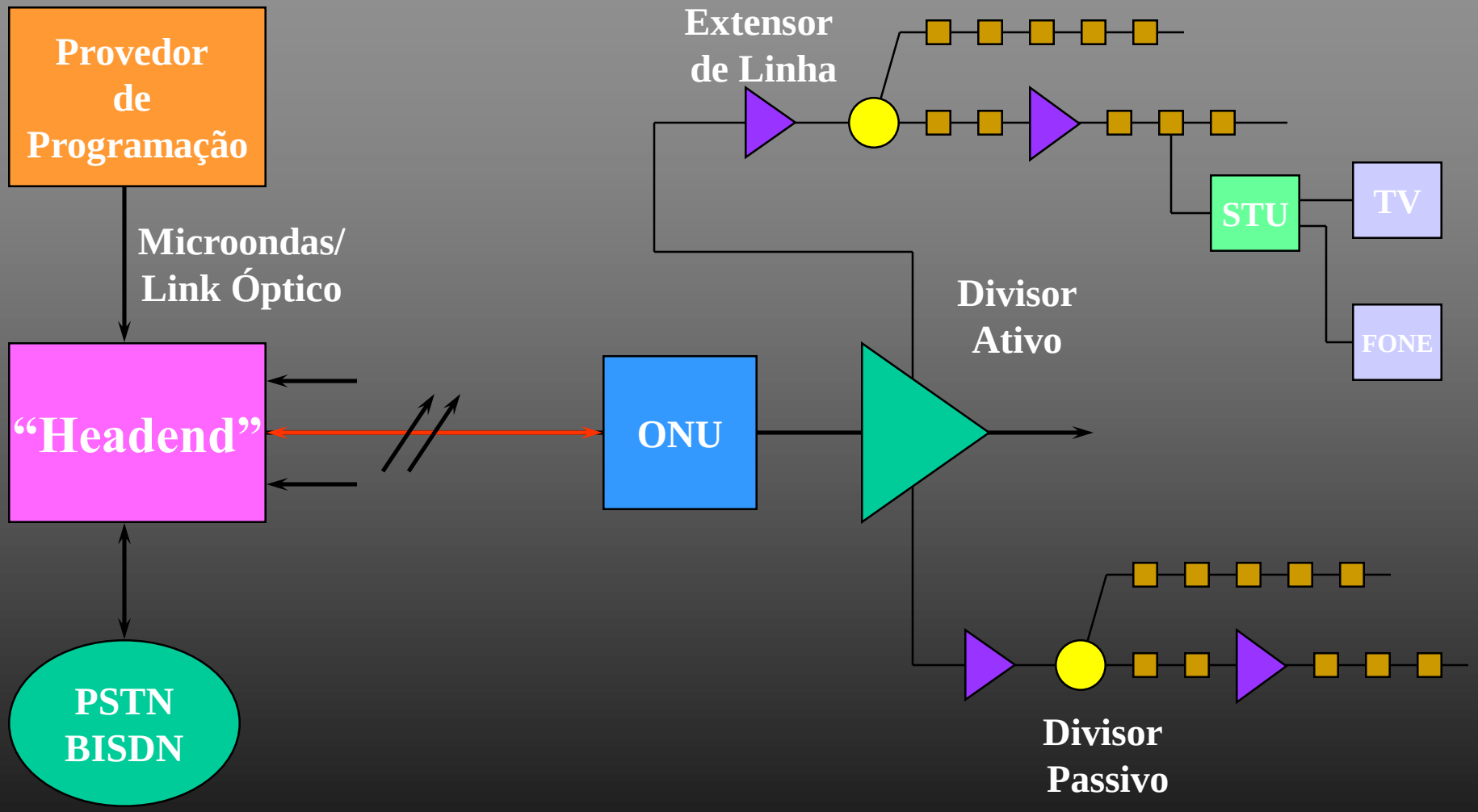
# Arquitetura de Rede de CATV



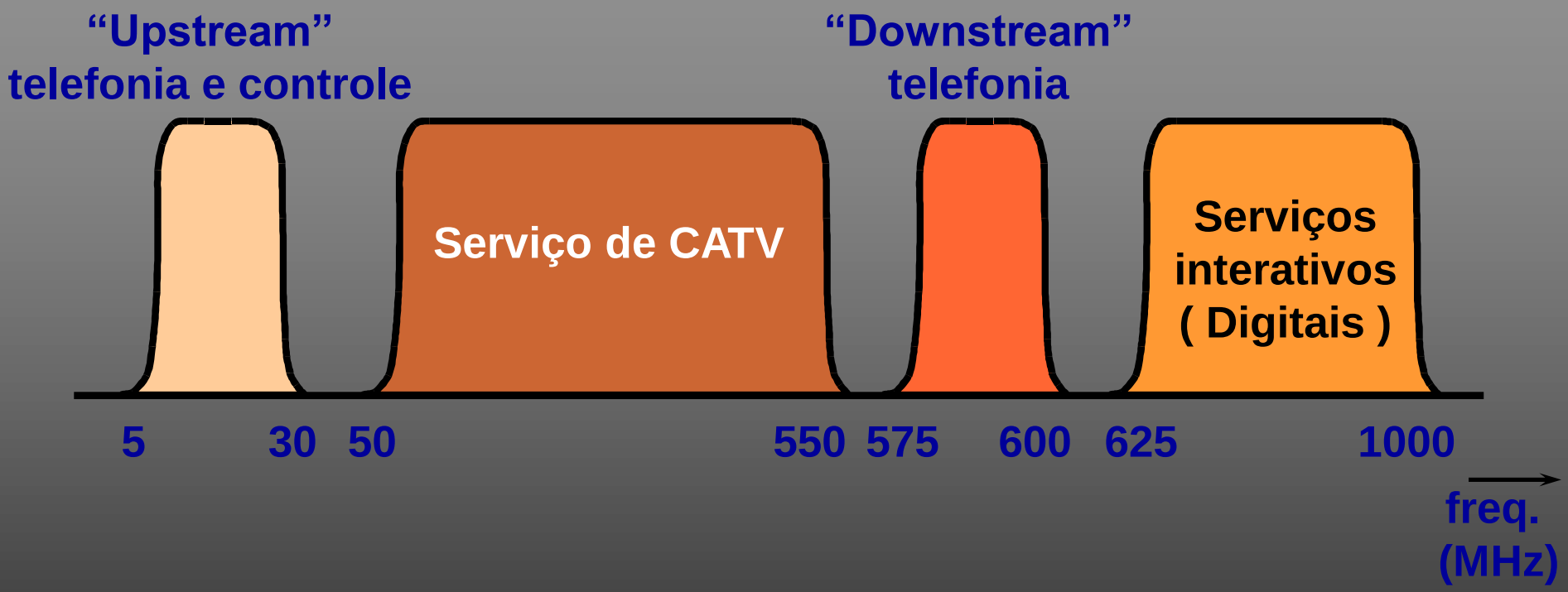
# Arquitetura de Rede de CATV



# Arquitetura de Rede de CATV



# Espectro de Frequência para uma Rede HFC

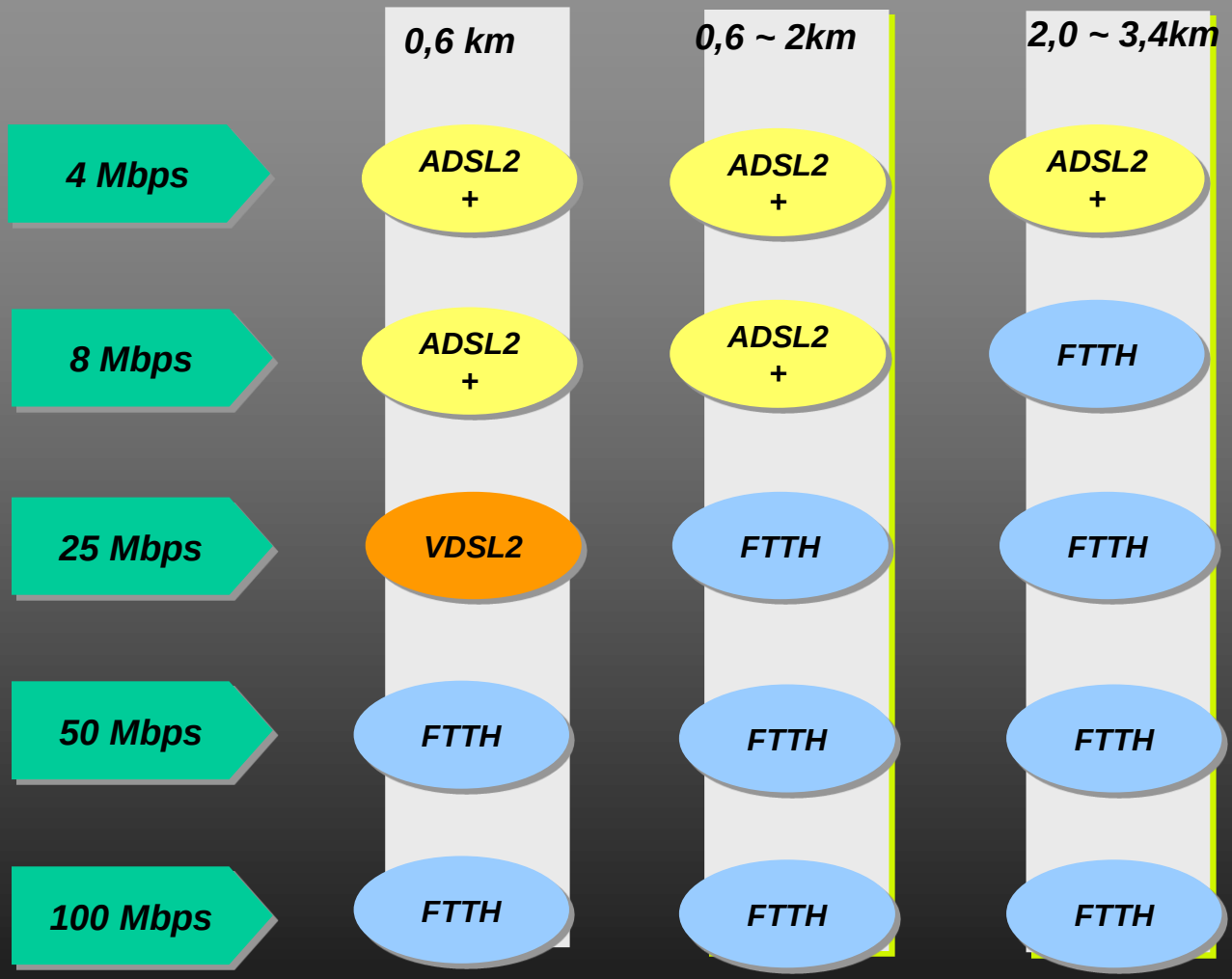



**O planejamento do espectro é diferente para cada país.**

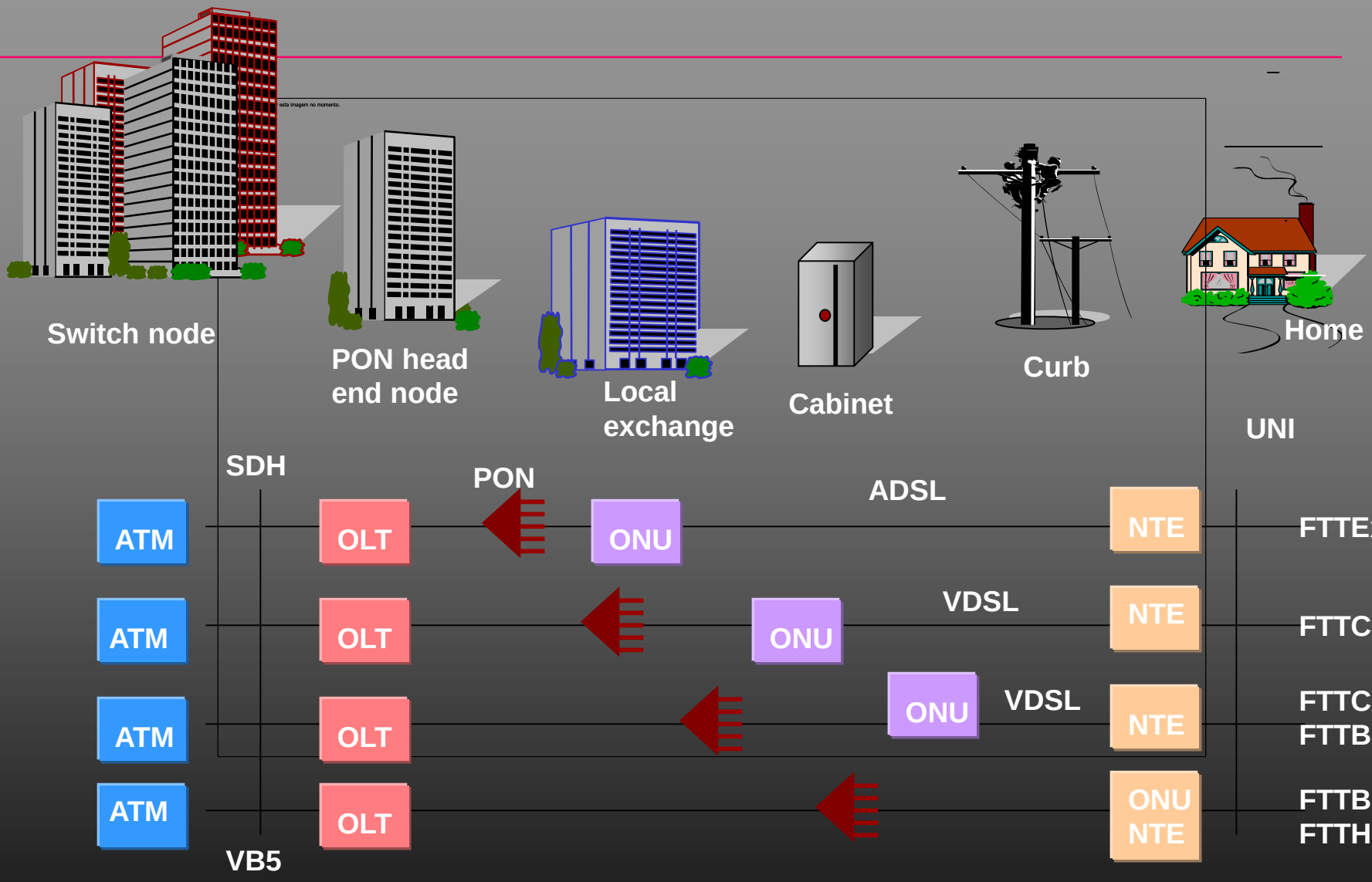
# Requisitos típicos de largura de banda para várias aplicações

| Aplicação | Sentido Downstream |
|---|---|
| VoIP | 80 Kbps |
| Videofone | 124 Kbps – 2Mbps |
| Jogos on-line | 256 Kbps |
| TV (MPEG-2) | 3-5 Mbps |
| TV (MPEG-4) | 2-4 Mbps |
| HDTV (MPEG-2) | 18-20 Mbps |
| HDTV (MPEG-4) | 8-15 Mbps |

# Esquemas de Última/Primeira Milha: Distância Coberta e Largura de Banda Disponível

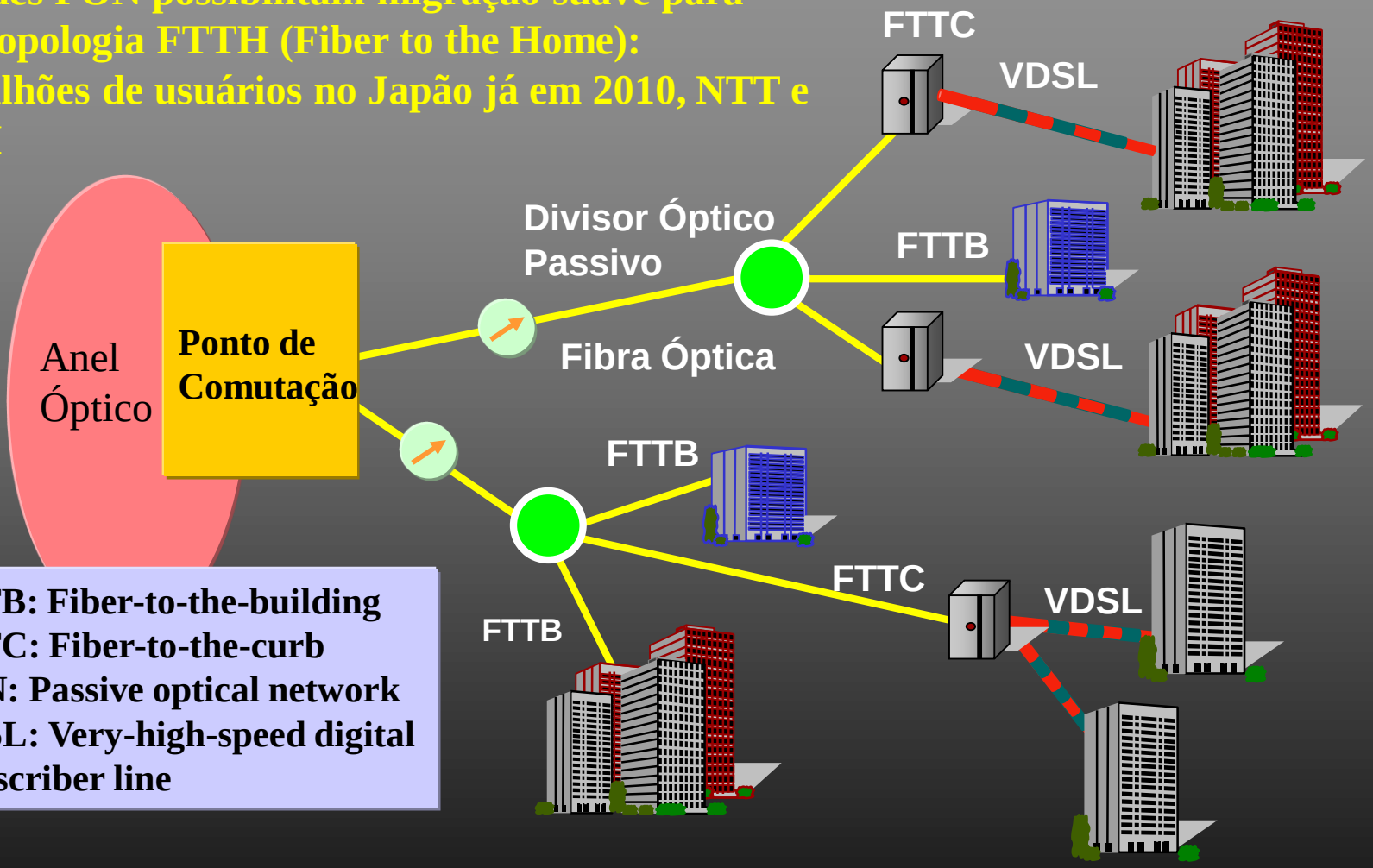


# ATM-PON Acess Architecures



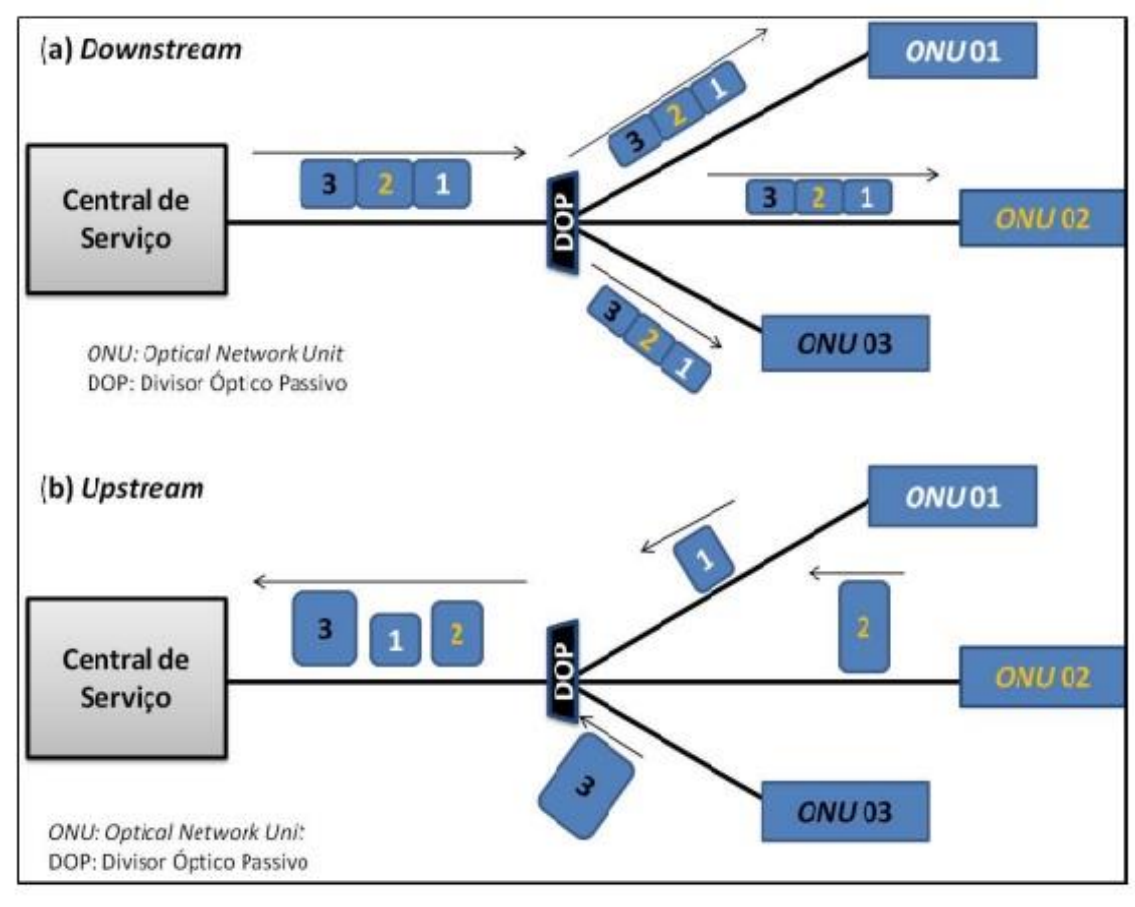
# Arquitetura de Redes Ópticas Passivas (PON) com Derivação VDSL Opcional

**As redes PON possibilitam migração suave para uma topologia FTTH (Fiber to the Home):**
**22 milhões de usuários no Japão já em 2010, NTT e KDDI**




**FTTB: Fiber-to-the-building**
**FTTC: Fiber-to-the-curb**
**PON: Passive optical network**
**VDSL: Very-high-speed digital subscriber line**

# Funcionamento das redes PON




*Downstream – Broadcast;*

*Upstream* – acesso em TDM;

Compartilhamento de um único par de comprimentos entre OLT - conjuntos de ONTs;

"Compartilhamento de banda";

Uso de divisores/combinadores de potência (*splitters*);

Relação **custo-benefício** atrativa em virtude da "baixa complexidade tecnológica" exigida para implantação desses sistemas;

Taxa de transmissão por ONT e distância de cobertura limitados ao número de usuários na rede.

# Motivadores Econômicos vs. Fatores Inibidores

• A CAPEX (Capital Expendinture) para FTTH se reduziu de

US$ 4.000,00 no ano 2000 para US$ 1.000,00 em 2005.

• A substituição de cobre por fibra permite uma redução no OPEX

(Operation-and-Maintenance Expense) de US$ 125,00 assinante/ano.

• Inibidor: Políticas Regulatórias de LLU (“Local-Loop Unbundling”)

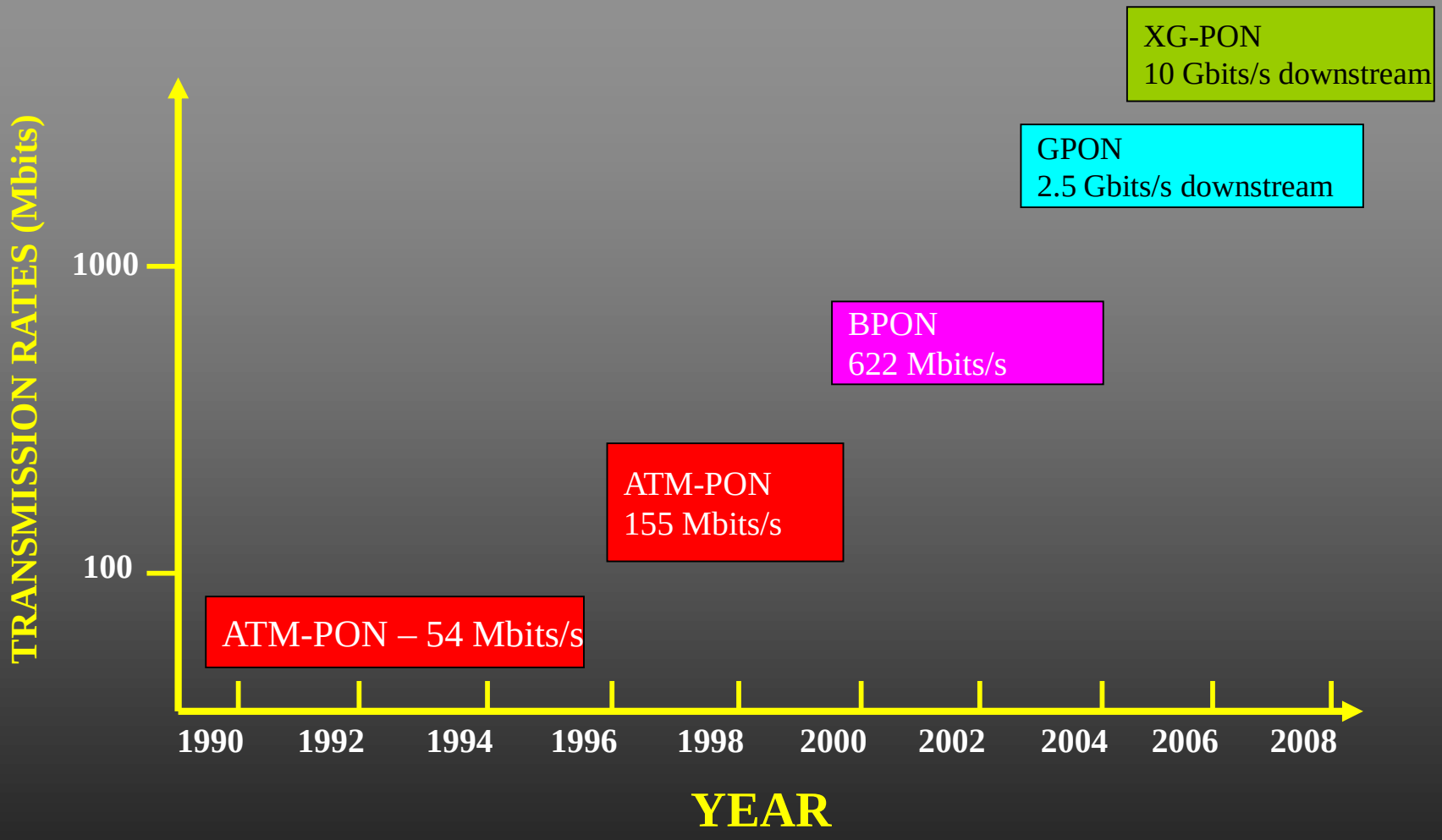
• Motivador: As redes de acesso estão se tornando predominantemente “video-cêntricas” (serviços Netflix etc...)

# Comparing Standards: GPON vs. EPON

| | G-PON (FSAN/ITU-T) | IEEE E-PON |
|---|---|---|
| **Traffic Type** | Full Service (Ethernet, TDM, POTS) | Ethernet Data |
| **Transport Frame** | GEM Frame (Camada GTC) | Ethernet Frame |
| **Typical Physical Reach** | 20 km | 20 km |
| **Split ratio (maximum)** | 64 | 32 |
| **Transmission Rate** | 2.5 Gbits/s (down) e 1.25 Gbits/s (up) | 1.25 Gbits/s (bi-directional) |

The E-PON standard is prevalent in Asia, while network operators such as Verizon, AT&T, Qwest, Bell Canada, France Telecom, DT, Telefonica, Telecom Italia and major Brazilian Telcos have chosen GPON.

# FSAN/ITU-T Standards – Timeline
# Downstream Rates

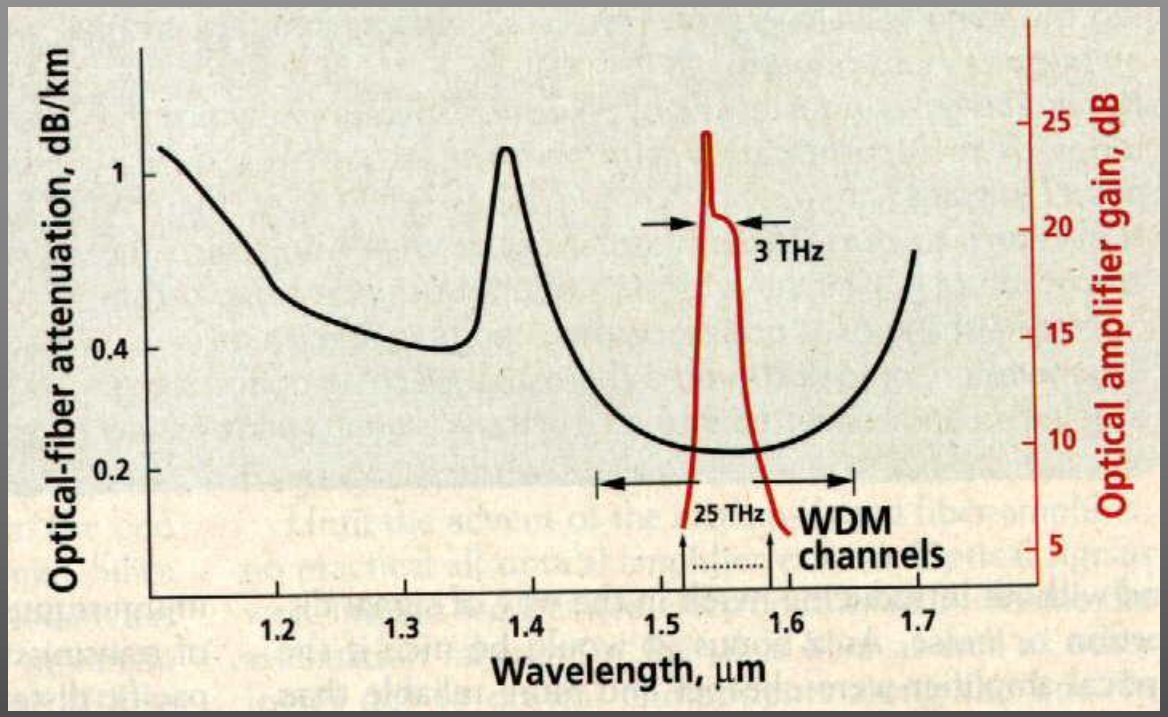


# Resolvendo a crise de capacidade em sistemas de longa distância

- **Instalação de um maior número de fibras ópticas**
  - **solução que nem sempre fornece boa relação custo-benefício**
  - **não garante a ampliação dos serviços oferecidos**

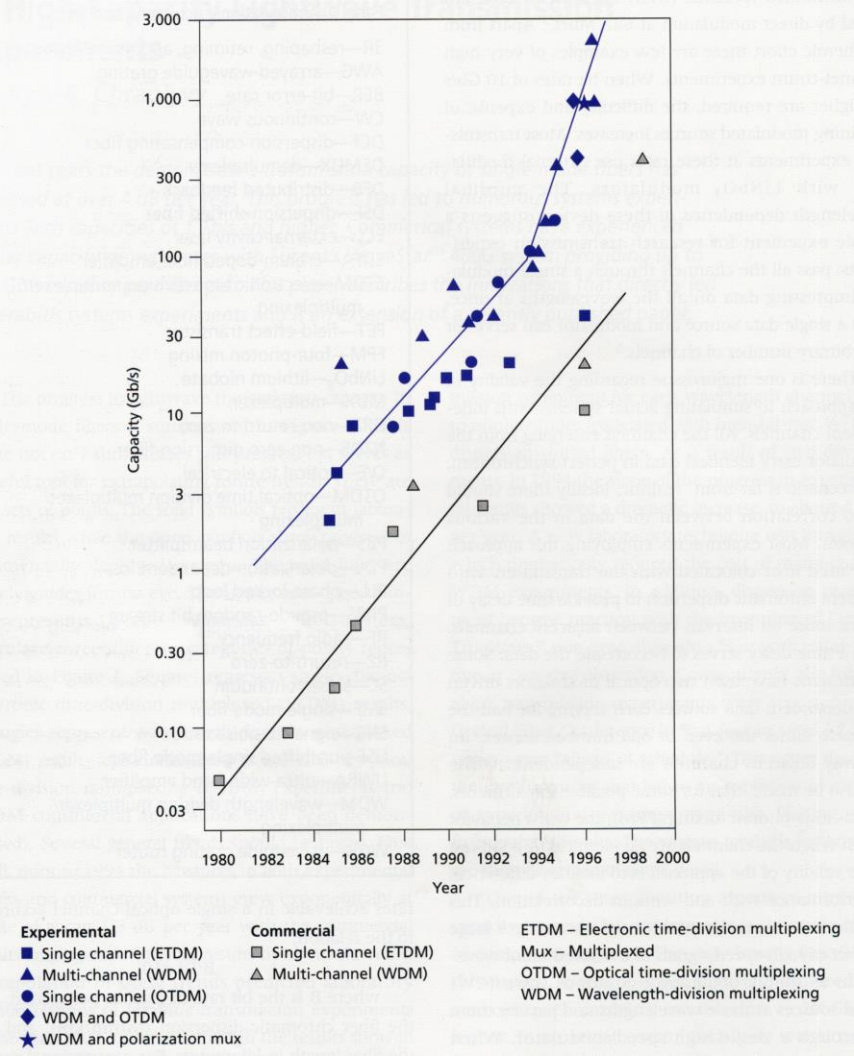
- **Incremento na taxa de transmissão empregada**
  - **uso de multiplexação por divisão de tempo**
  - **método tradicional escolhido**
    - **redes SONET (padrão norte-americano)**
    - **redes SDH (padrão internacional)**
  - **Incremento em implementação no Brasil**
    - **de 10 Gb/s para 40 Gb/s (ou 100 Gb/s)**

# Alternativa: Uso da Técnica de Multiplexação por Divisão em Comprimento de Onda (DWDM)




- Busca-se aproveitar a totalidade da largura de banda útil em torno de 1550 nm (~ 25 THz) empregando diversas portadoras ópticas separados por 0,8 nm (~ 100 GHz), ou menos. A capacidade de sistemas reais é limitada pela banda passante do amplificador óptico disponível, algo em torno de 3 THz, i.e, 30 canais

# Evolução da Capacidade de Transmissão em Sistemas Ópticos em Backbone




Fonte:
Bell Labs Technical Journal, Março 2002

# MOST RECENT STANDARD (2015)
## FSAN/ITU-T NG-PON2

### TWDM-PON Scheme

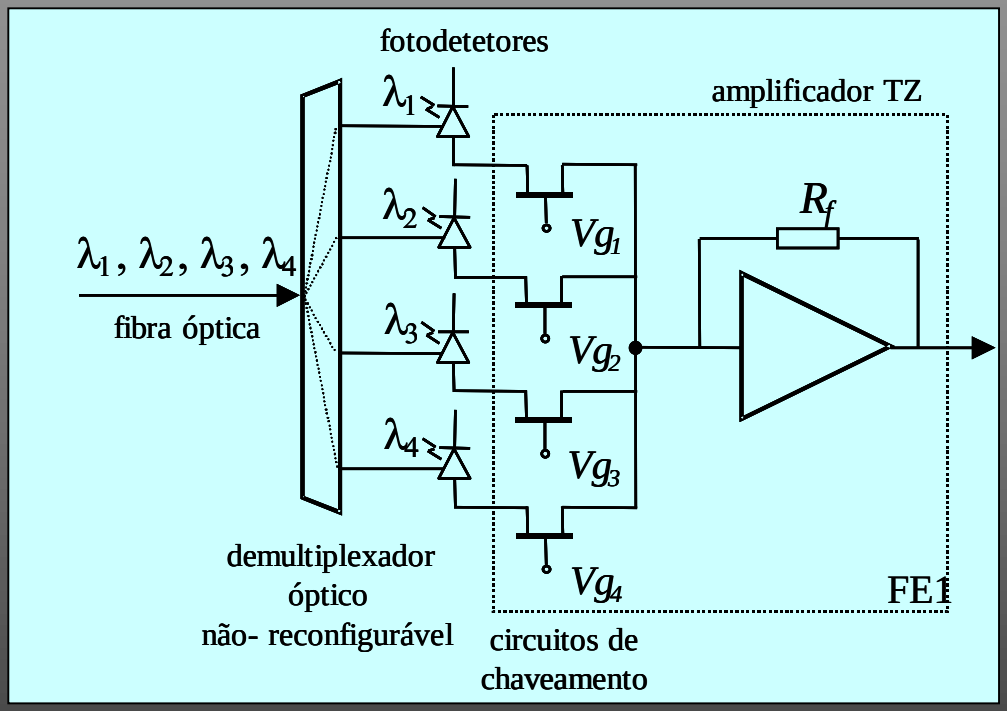
**Up to eight wavelength pairs are used to provide na aggregate capacity of 40 Gbits/s (over 40 km up to 64 ONUs)**

**Fully Compatible with Existing PONs**

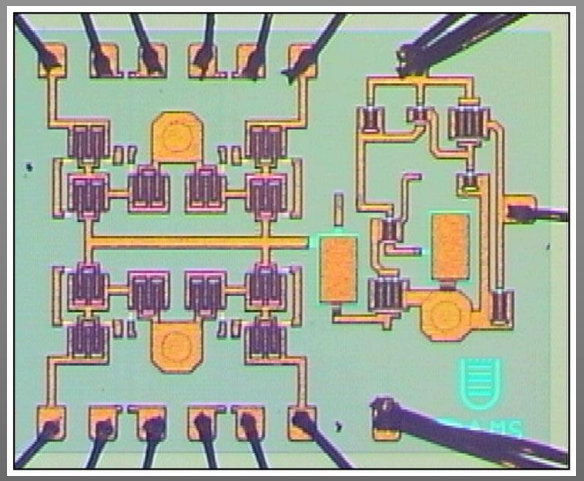
**All wavelengths are still present at the output ports of the splitters. Optical filtering is needed at the ONU receiver**

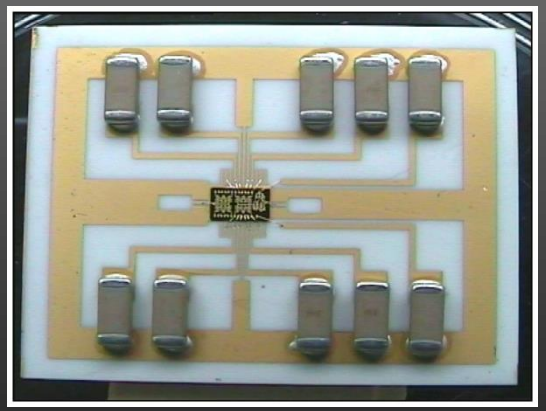
**(Tuning time is very long, can be detrimental in some applications - we addressed this problem about 15 years ago)**

# Receptor Óptico Sintonizável para WDM-PON




**Receptor Óptico Proposto**

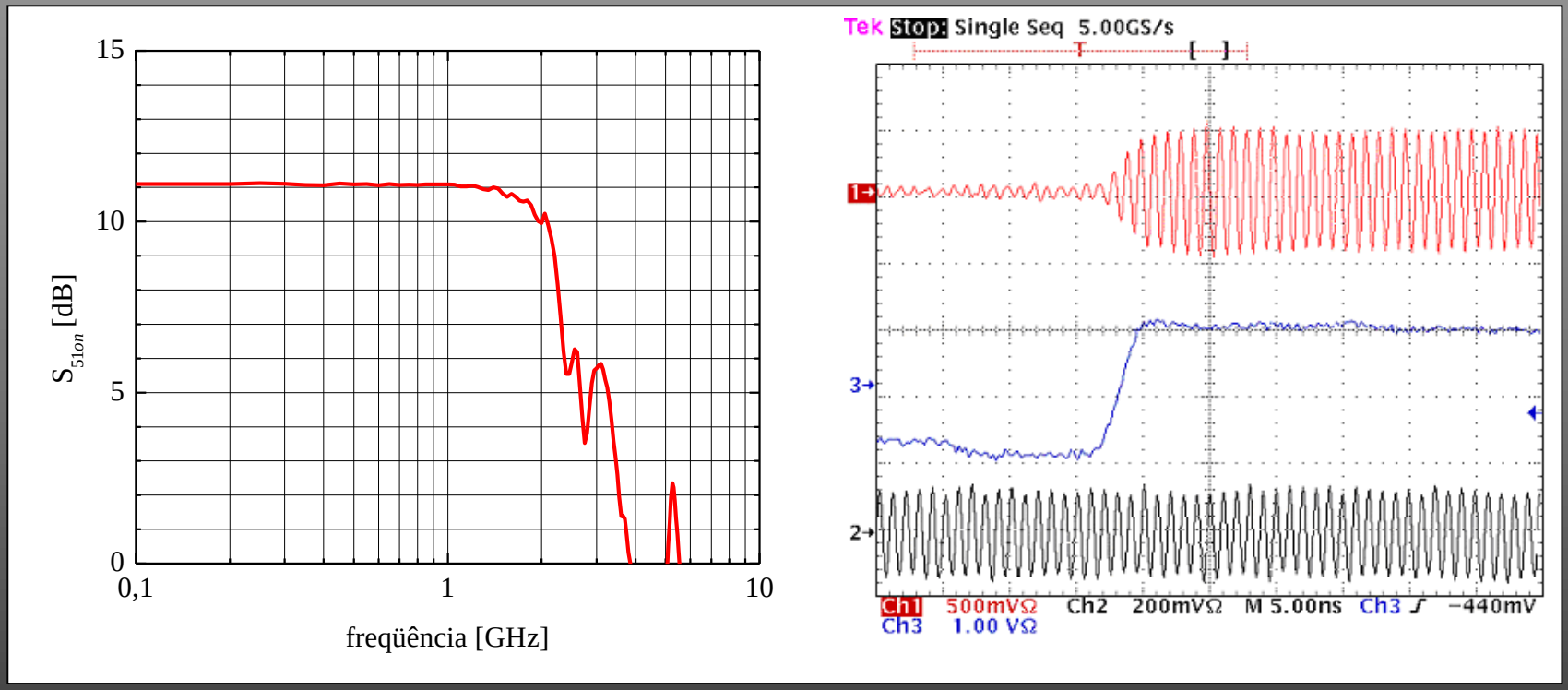




**Implementação $FE_1$**

Tese de Doutoramento de S.K. Manfrin, encerrada, colaboração com a Univ. Roma, Tor Vergata

# Resultados




**Resposta em Frequência**




**Canal 1, FE2: (Ch 1) saída chaveada, (Ch 2) sinal de entrada de 1 GHz e (Ch 3) sinal de controle de aproximadamente 10 MHz. Base de tempo do osciloscópio de 5 ns/div.**

# What´s Next ?

The predominant view today within the FSAN is that there will be no need for a NG-PON3 standard for the next few years, entering into the next decade.

On one hand, the mix of available standards, composed by GPON (focusing on residential subscribers), XGS-PON (possibly able to meet most business needs) and NG-PON2 (with 80 Gbits/s overall capacity and possibility of adding additional PtP WDM links) should be able to address all demands for bandwidth, even considering the most stringent new driver: backhaul/fronthaul in 5G mobile networks.

# What´s Next ?

**In addition, two new standards (XGPON and NG-PON2) were introduced in a relatively short 5-year period.**

**It will take some time for these two technologies to be fully established within the telecom market, thereby assuring complete interoperability between distinct vendors**

**Therefore, two questions can be immediately brought up: a) when a next-generation passive optical networks (NGPON 3) will be needed ? b) which technological options are available ?**

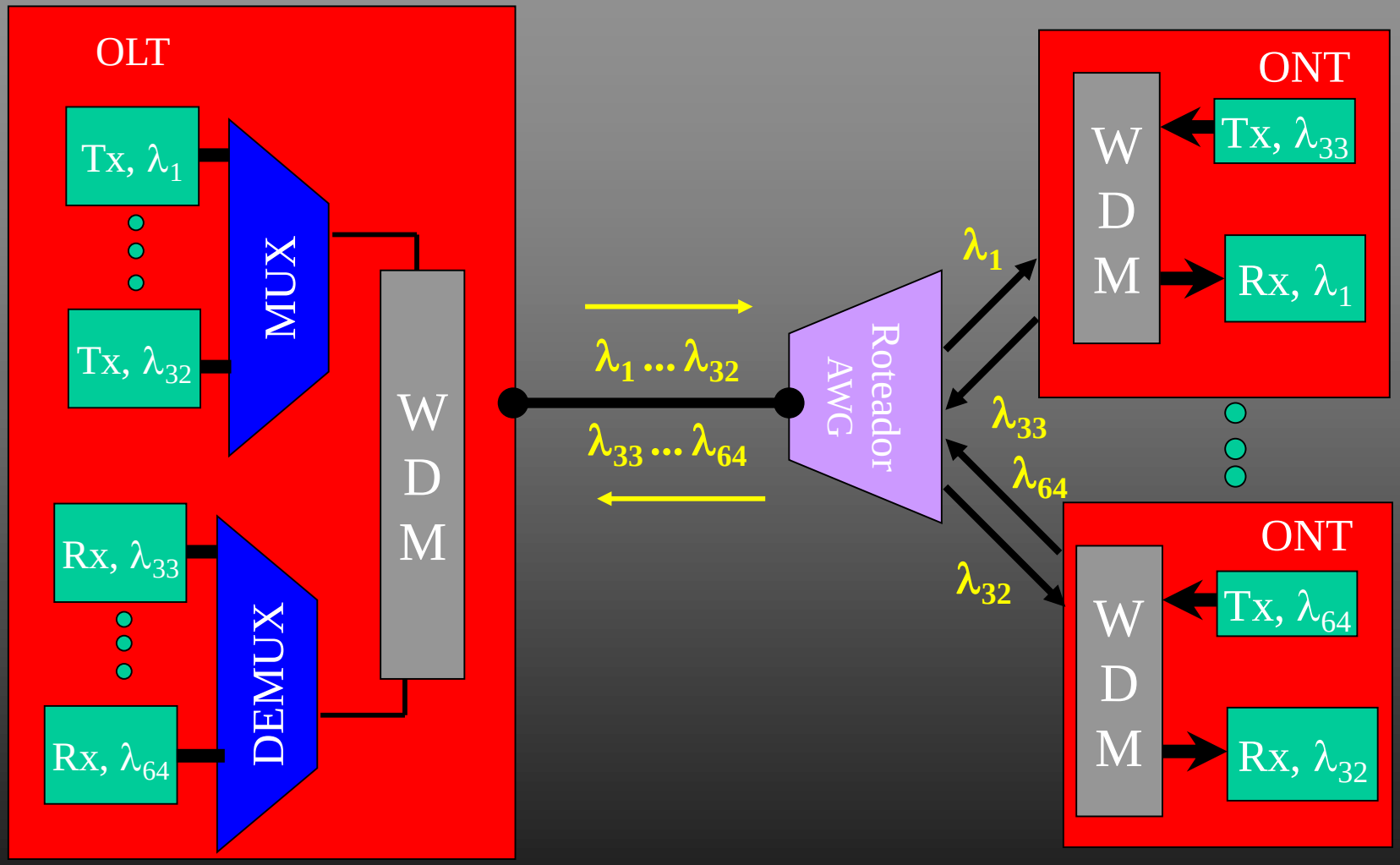
# What´s Next ?

**For the longer term (maybe by 2025), there are a variety of technological options to move forward as NG-PON3, which were already considered when FSAN was discussing NG-PON2:**

- **Self-seeded WDM-PON**
- **Coherent-PON**
- **OFDM-PON**

# ESQUEMA WDM-PON COM COMPRIMENTOS DE ONDA FIXOS

Cada ONU/ONT recebe um comprimento de onda dedicado e permanente. A topologia lógica é ponto-à-ponto.



# PROBLEMAS EM ABERTO

Desenvolvimento de arquiteturas que empreguem fontes ópticas “colorless” nas ONUs:

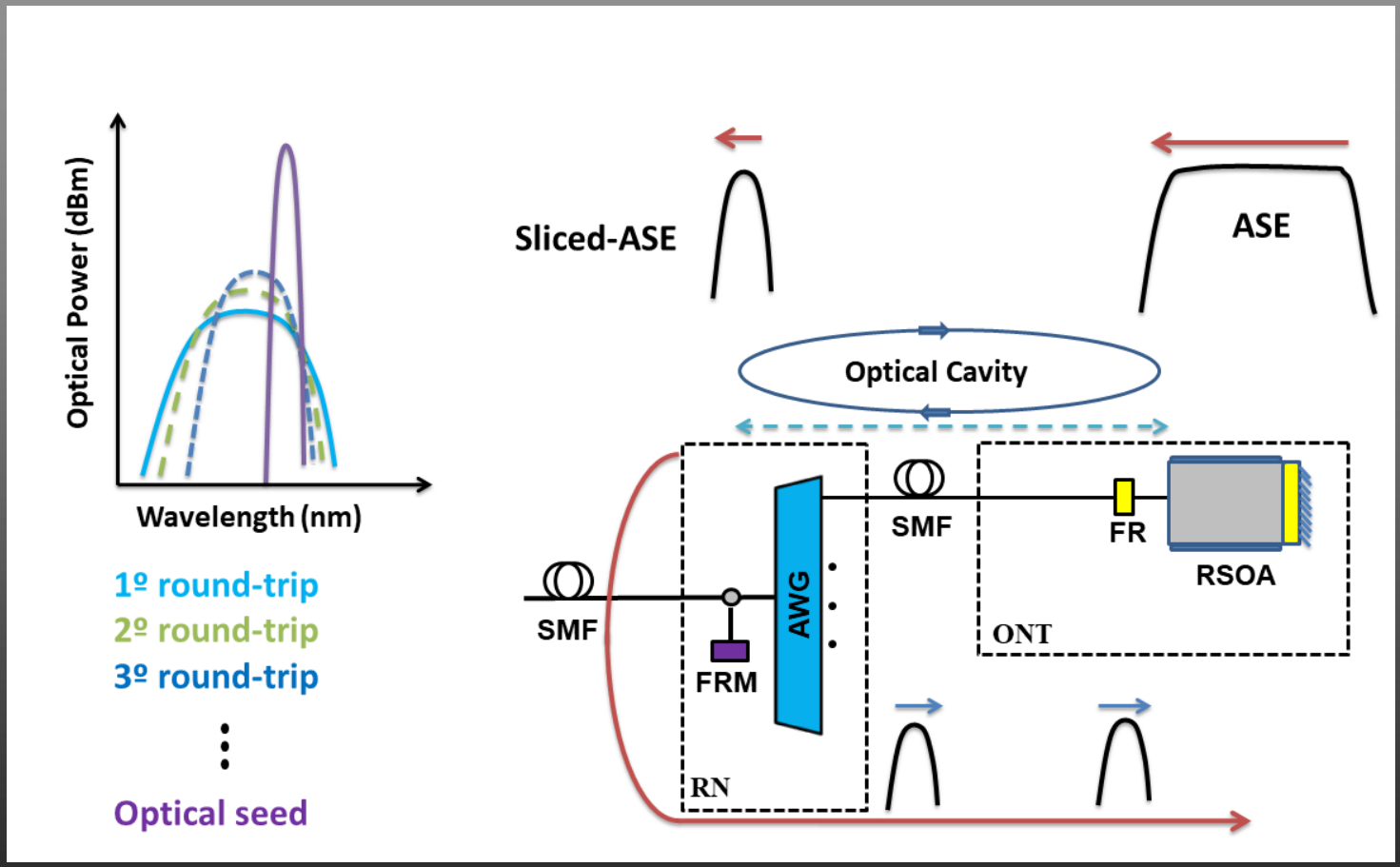
1. Lasers sintonizáveis têm alto custo e são ainda imaturos tecnologicamente.
2. Torna-se desejável o uso de transmissores nos quais o comprimento de onda de emissão é determinado não propriamente pelo meio de ganho mas sim por fatores externos, sejam mecanismos de filtragem óptica ou travamento por injeção (“injection locking” ) de lasers de Fabry-Perot idênticos.

OPÇÕES

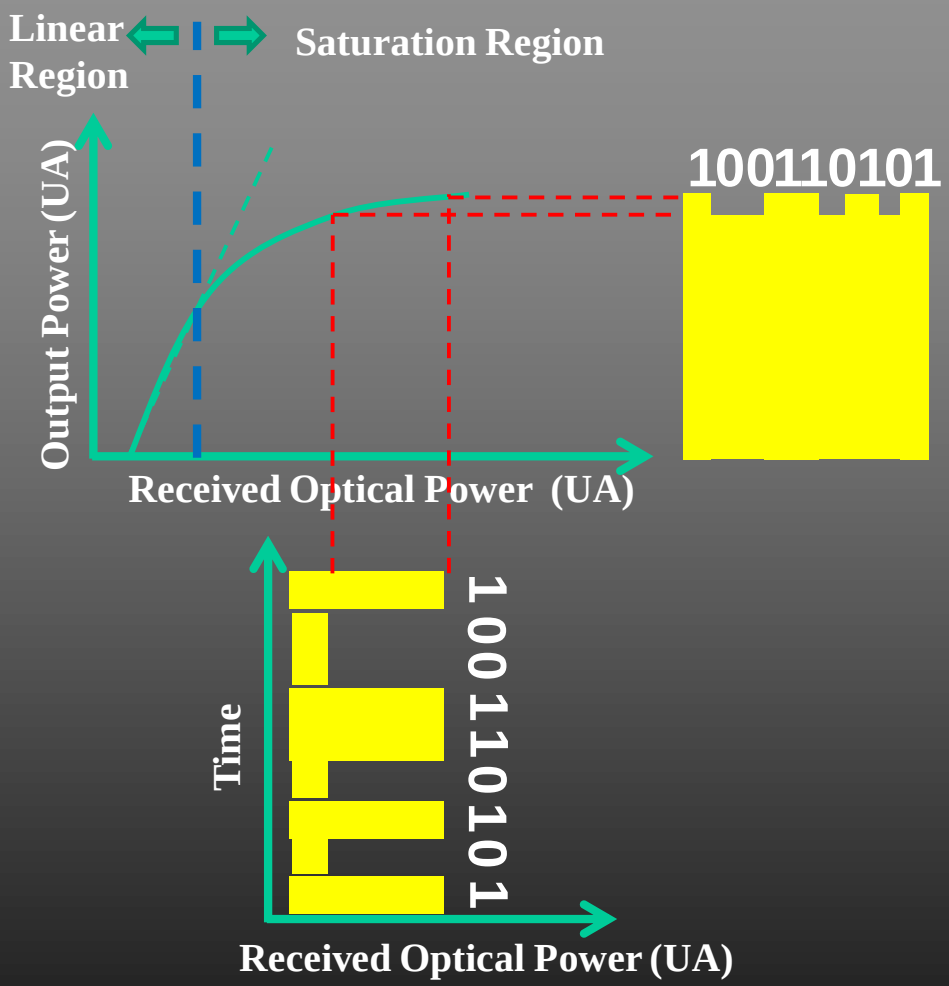
1) Fatiamento de espectral: problemas de orçamento de potência, exige amplificação para aumento da distância coberta
2) Fontes Ópticas Centralizadas : muito em voga atualmente,

usam somente um RSOA como modulador/amplificador na ONT/ONU

# SELF-SEEDING

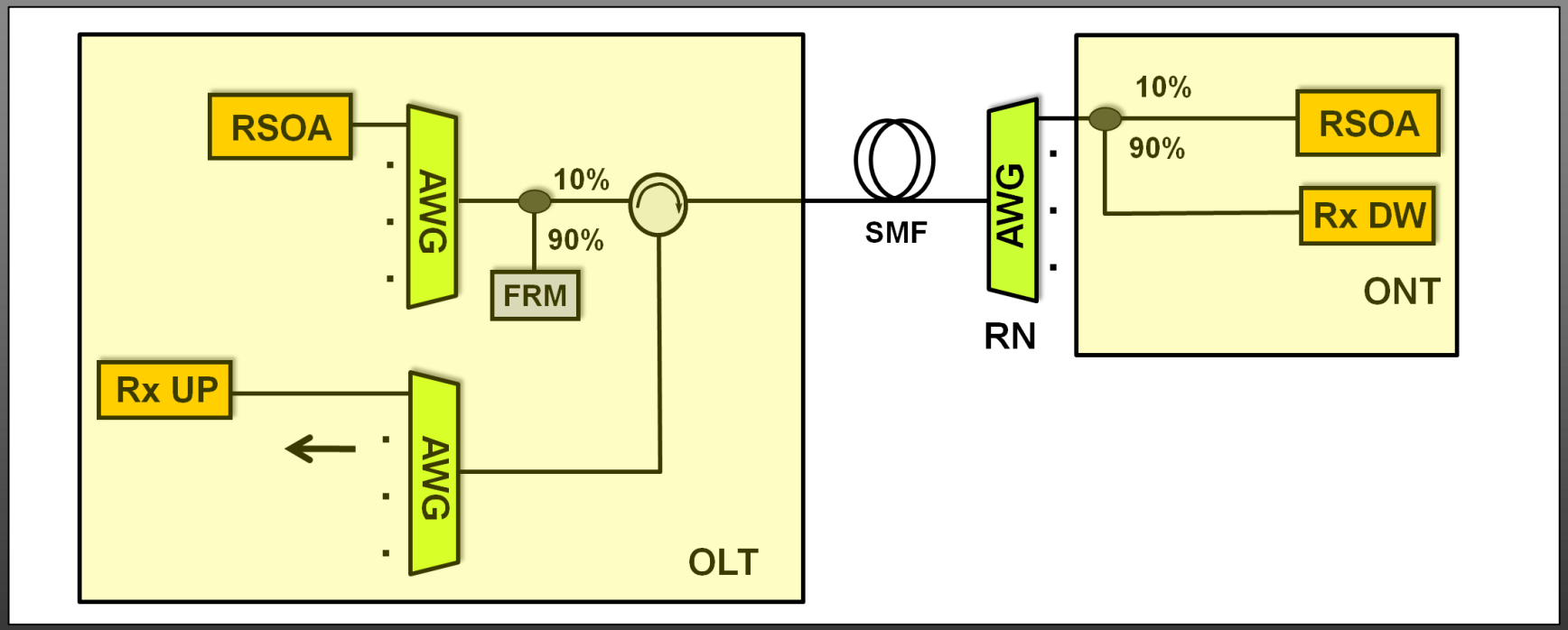


# CARRIER SUPPRESSION



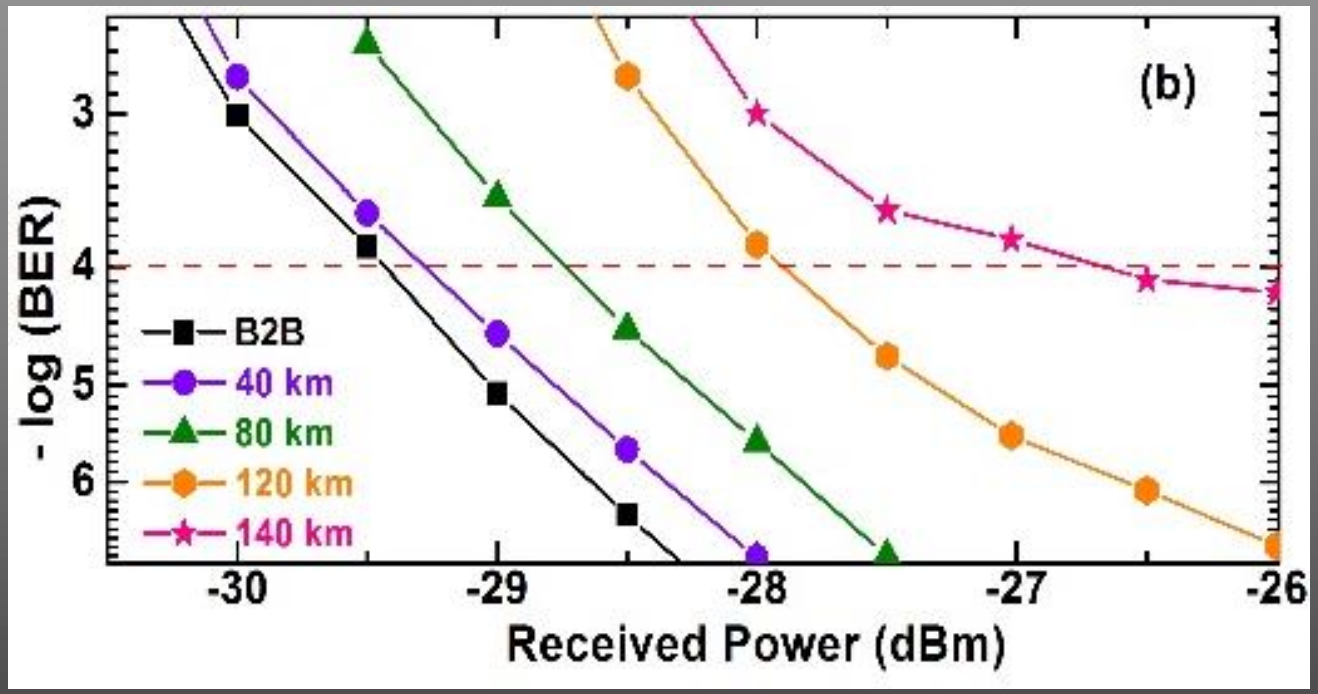
# A Nossa Configuração WDM-PON em Self-Seeding

**The self-seeding technique is used to eliminate the need of a centralized light source.**




**U.R. Duarte, J.B. Rosolem and M.A. Romero, "Combined self-seeding and carrier remodulation scheme for WDM-PON" IEEE J. Lightwave Tech (earlier version at OFC 2013)**

# Experimental Transmission Performance – Upstream




**We were able to demonstrate optical transmission within the FEC-limit up to a distance of 140km, with a 2.7 power penalty compared to the back-to-back condition**

**Fonte: "Sources appliquées aux cavités auto-alimentées pour Les nouveaux réseaux d'accès multiplexés en longueur d'onde ", Tese de doutorado de A.Maho, Telecom Sud Paris, 2017**

| LABO. | PAYS | FINANCEMENT | 1IERE PUBLI. | FREQ. PUBLI. | CONTRIBU-TEURS | APPROCHE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Uni. de Melbourne | AU | Académique | 2006 | Ponctuel | E. Wong | Référence |
| Politecnico di Milano | IT | Académique | 2010 | Très actif | P. Parolari; L. Marazzi | Performances |
| Orange Labs | FR | Industriel | Historique | Très actif | F. Saliou; P. Chanclou | Pragmatique, opérateur |
| Uni. Pise | IT | Académique | 2011 | Très actif | M. Presi; E. Ciaramella | Polarisation |
| III-V Lab | FR | Industriel | Historique | Régulier | R. Brenot | Composant |
| Huawei/ China Tel. | US, CN | Industriel | 2011 | Régulier | N. Cheng; Y. Ma | Démonstrateur |
| ZTH | CH | Académique | 2012 | Ponctuel | J. Leuthold | Modélisation |
| Uni. Sao Paulo/ CQPD | BR | Académique | 2011 | Régulier | U.R. Duarte; A. Romero | Globale |
| Uni. Zagreb | HR | Académique | 2011 | Régulier | T. Komljenovic | Élément réflectif |
| Uni. Tokyo / Oclaro | JP | Académique, industriel | 2015 | Ponctuel | T.Tanemura ; Y. Nakano | Composant |
| Ericsson | IT | Industriel | 2013 | Ponctuel | L. Giorgi | |
| Uni. Catalogne | ES | Académique | 2015 | Ponctuel | J. Prat | Exploratoire |
| Uni. Laval | CA | Académique | 2009 | Ponctuel | W. Mathlouthi | |
| Uni. Chend Du / British Tel. | CN, UK | Académique, industriel | 2015 | Ponctuel | M. L. Deng | |

Table 1.5- Principaux contributeurs sur les RSOA en cavités auto-alimentées.