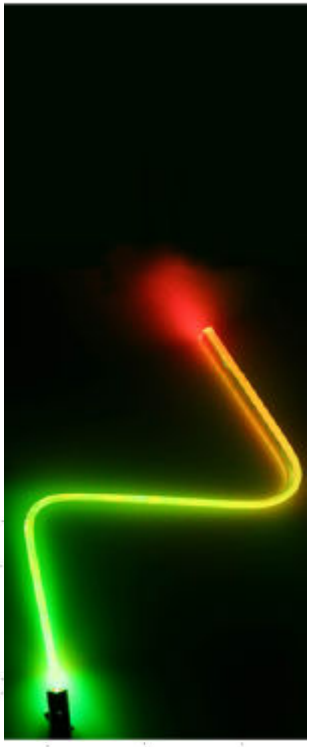
*Haja Luz nas Escolas*

ANO INTERNACIONAL DA LUZ 2015

# O Mundo das Comunicações Ópticas




***Paulo André***

*paulo.andre@lx.it.pt*




INSTITUIÇÕES ASSOCIADAS:

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

universidade de aveiro

PT Inovação

SIEMENS Communications

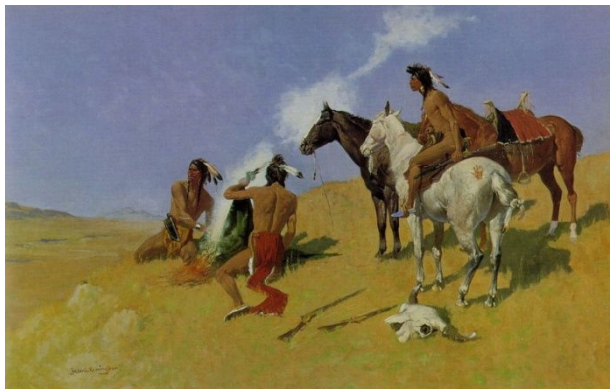
instituto de telecomunicações

*creating and sharing knowledge for telecommunications*

# Comunicando através da luz

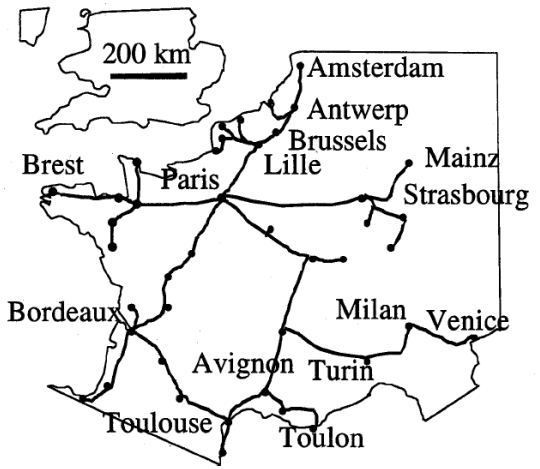

- 850 AC- Torres de Fogo (Grécia antiga).

- Sinais de fumo (Índios Americanos).

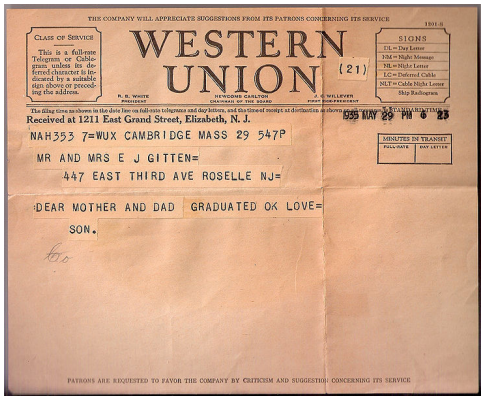


instituto de telecomunicações

- 1791 – Semáforos de Chappes (França - Durante o império Napoleónico).

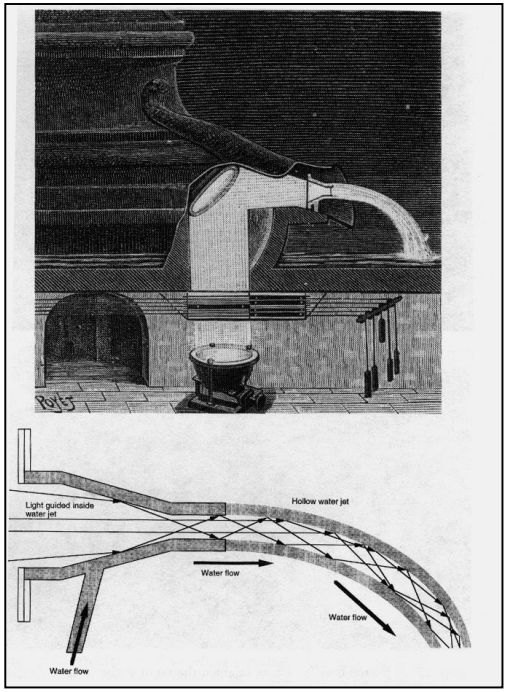



- 1840 - Samuel Morse Inventa o telégrafo.



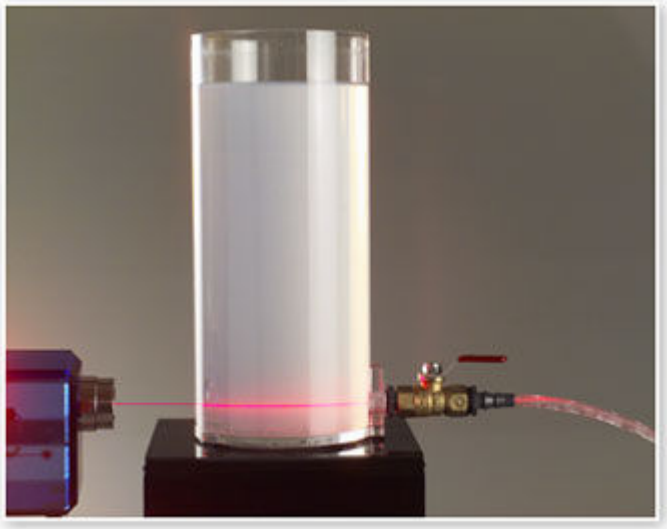

instituto de telecomunicações

•1841 - *Daniel Colladon* demonstra a guiagem de luz em jatos de agua.



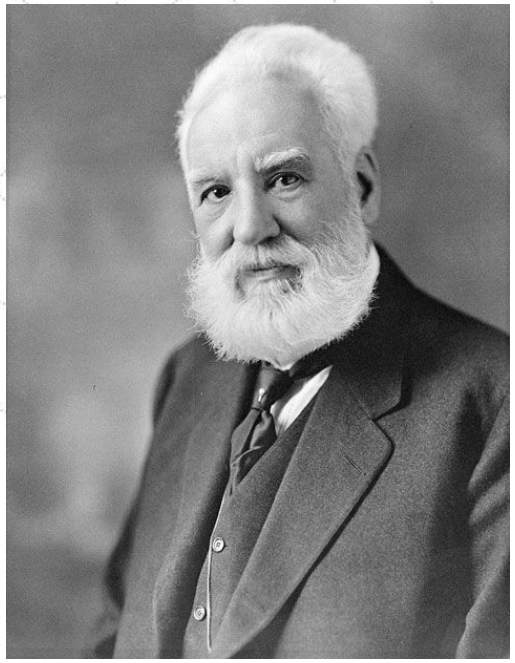

•1870 - *Tyndall* observa a guiagem de luz em jactos de água.

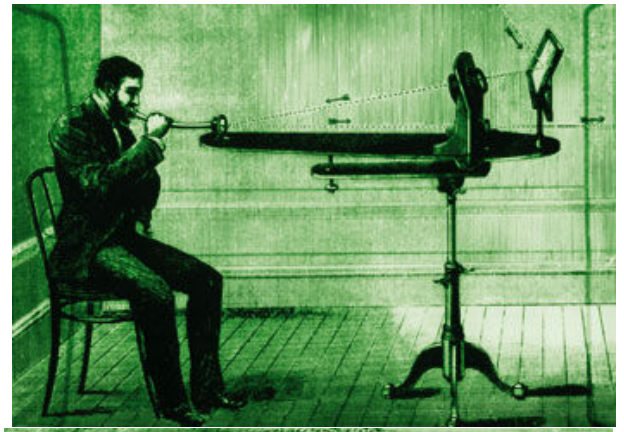
•1878 - Primeira central telefónica.

instituto de telecomunicações

• *Graham Bell* patenteia, em 1889, o “photofone”, que usa espelhos para transmitir a voz através de reflectores.



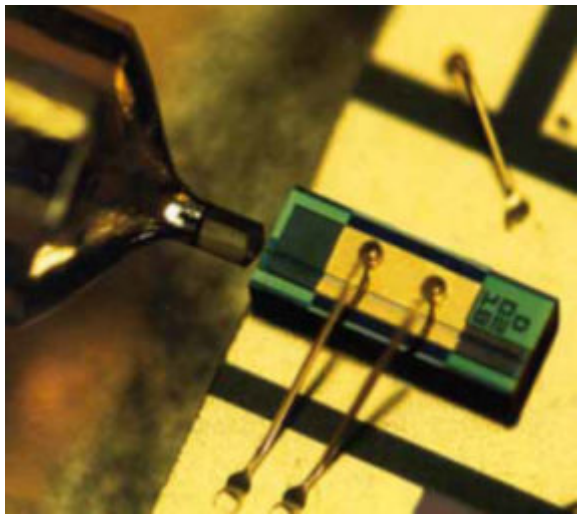


• Problemas: dependem do homem, linha de vista, condições atmosféricas, etc.

1899 - *Marconi* realiza uma comunicação por rádio.

1956 - Primeiro cabo coaxial, permitia 36 chamadas telefónicas.

1960 - *Theodore Maiman* demonstra o primeiro laser de Ruby.

1962 - Vários grupos de I&D desenvolvem simultaneamente o primeiro laser semicondutor.

1965 – Primeiro satélite de telecomunicações, 240 chamadas telefónicas.

1961/66 - *Kao* e *Snitzer* concebem as comunicações por fibras ópticas monomodo de baixa atenuação.

1970 - Primeiro laser de semicondutor a funcionar à temperatura ambiente, *Hayashi* e *Panish*.

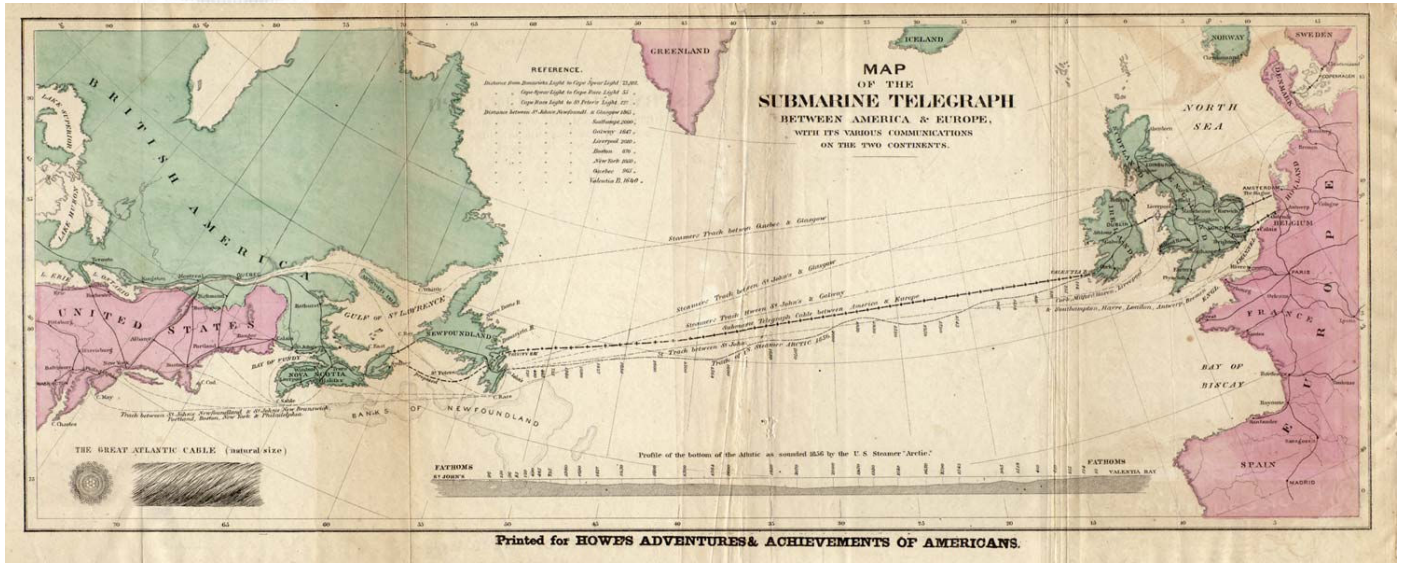
1971 - Produção comercial de fibra ótica pela *Corning*, *Keck*, *Maurer* e *Schultz*.

instituto de telecomunicações

Abril 1977 - Primeira ligação de fibra com tráfego telefónico - GTE Long Beach, 6 Mb/s.

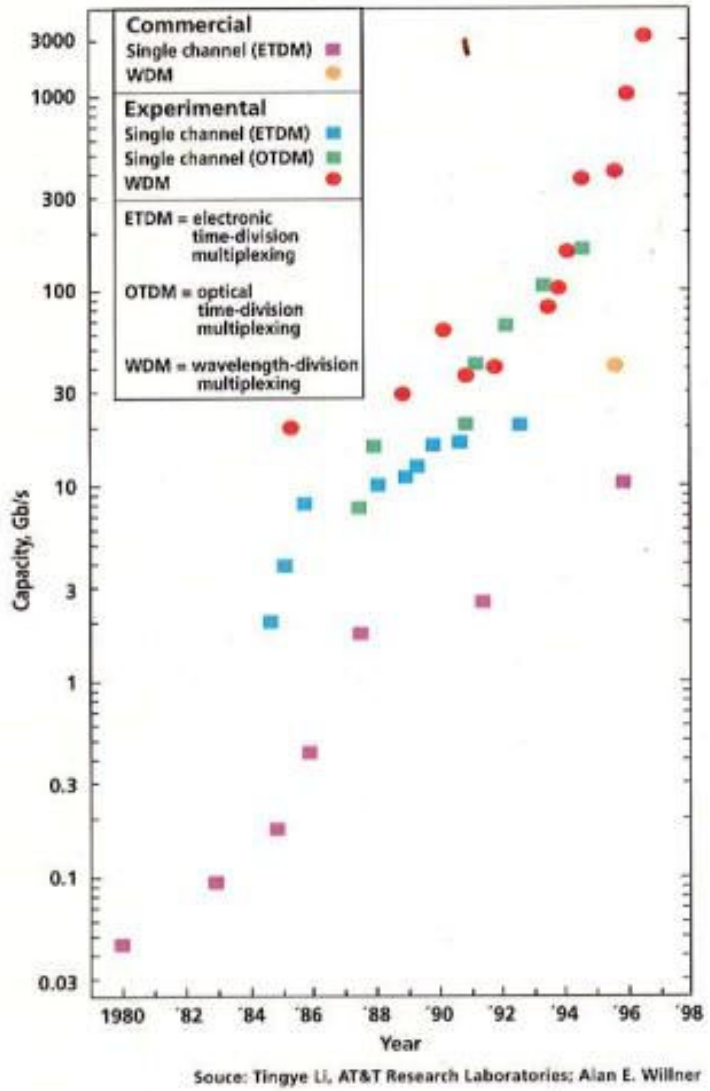
Maio 1977 - Primeira ligação da Bell (comercial), 45 Mb/s.

1988 - UK e USA ligados pelo primeiro cabo transatlântico em fibra ótica: (TAT-8), permitia 4,000 chamadas telefónicas.



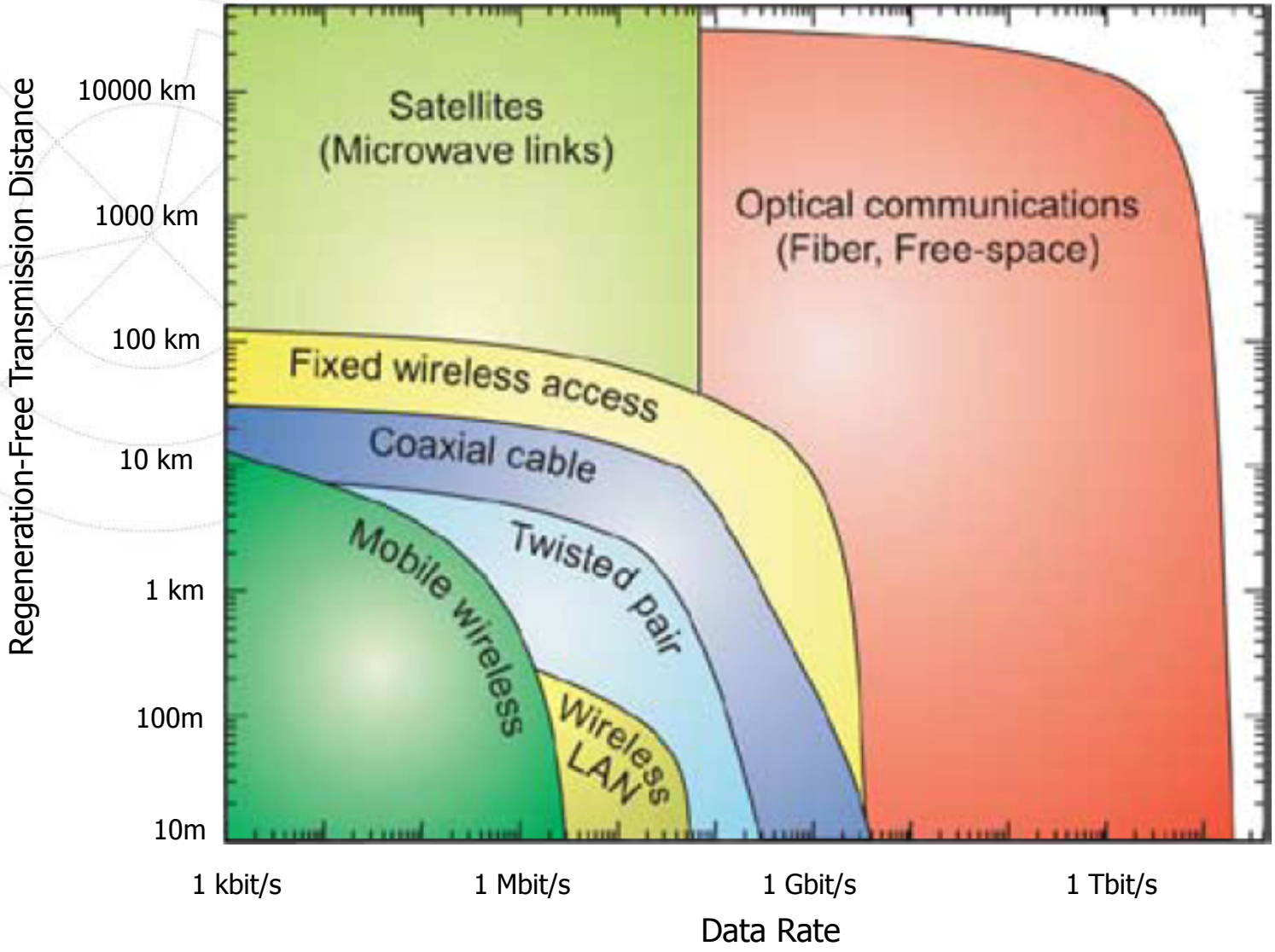



instituto de telecomunicações




1989- Amplificadores de fibra dopada com Érbio, *Desurvire, Giles, Payne*.

2005 – Sistemas a 40 Gbit/s (A enciclopédia Britânica pode ser transmitida em 0.7 s). 10 milhões de chamadas telefónicas por cada canal.



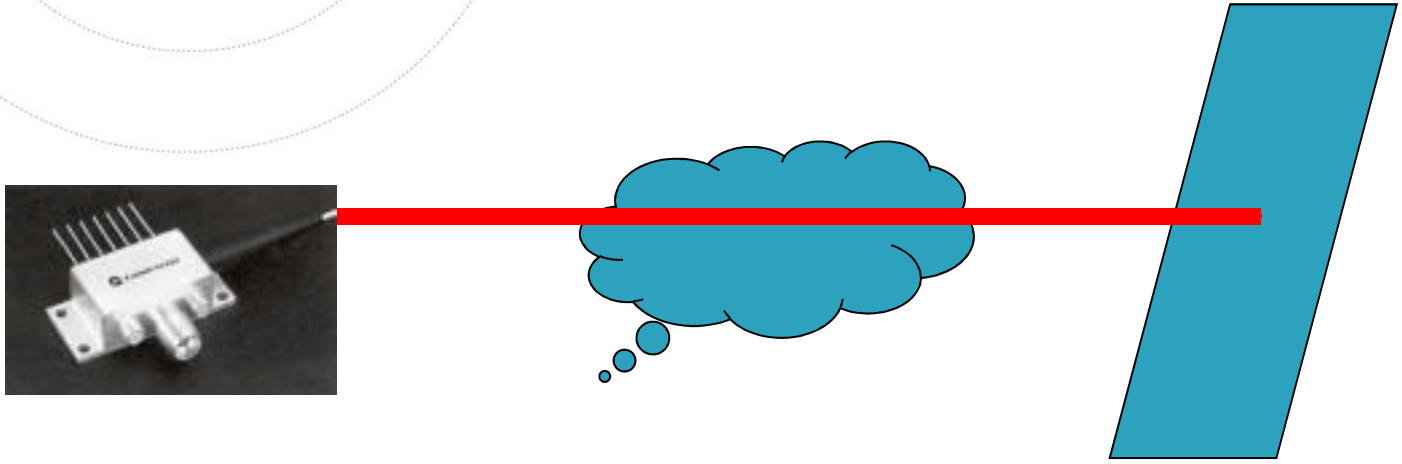

Proc. IEEE 2006 Winzer et al

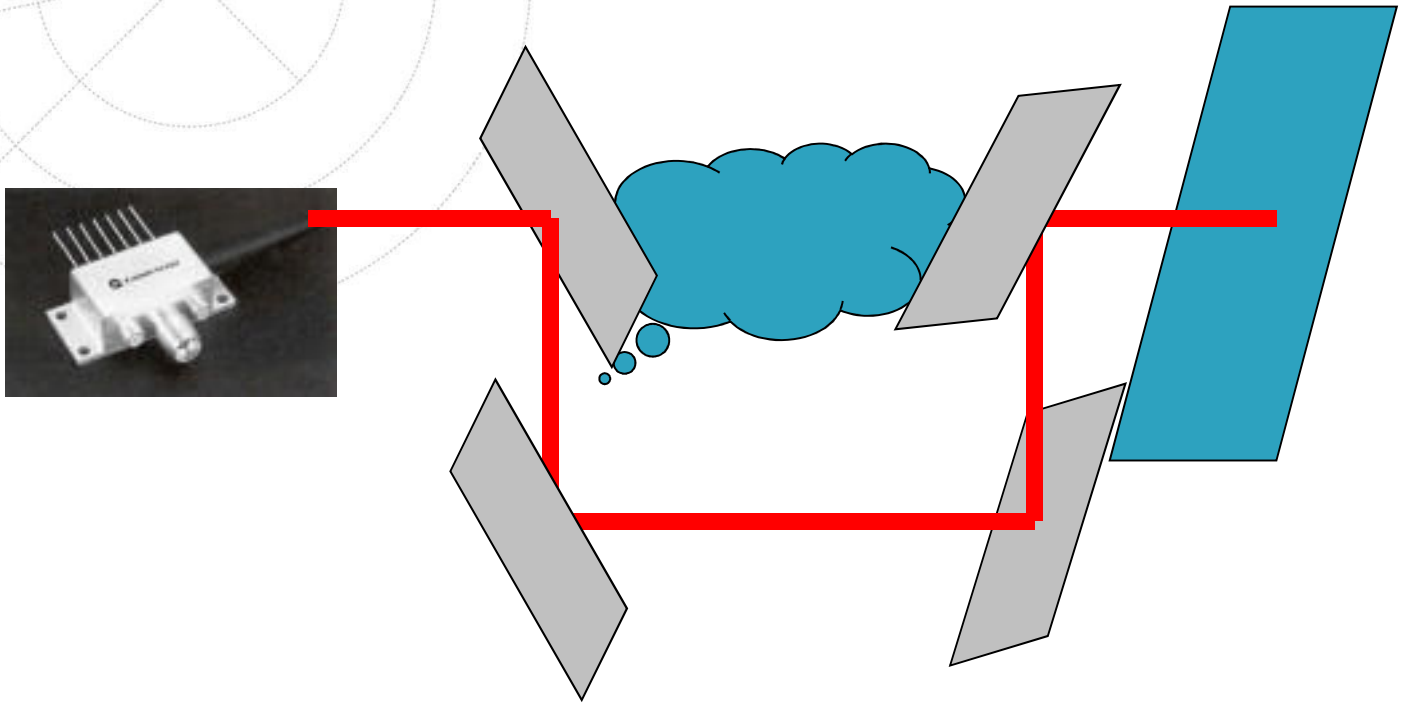
instituto de telecomunicações

# Meio de transporte

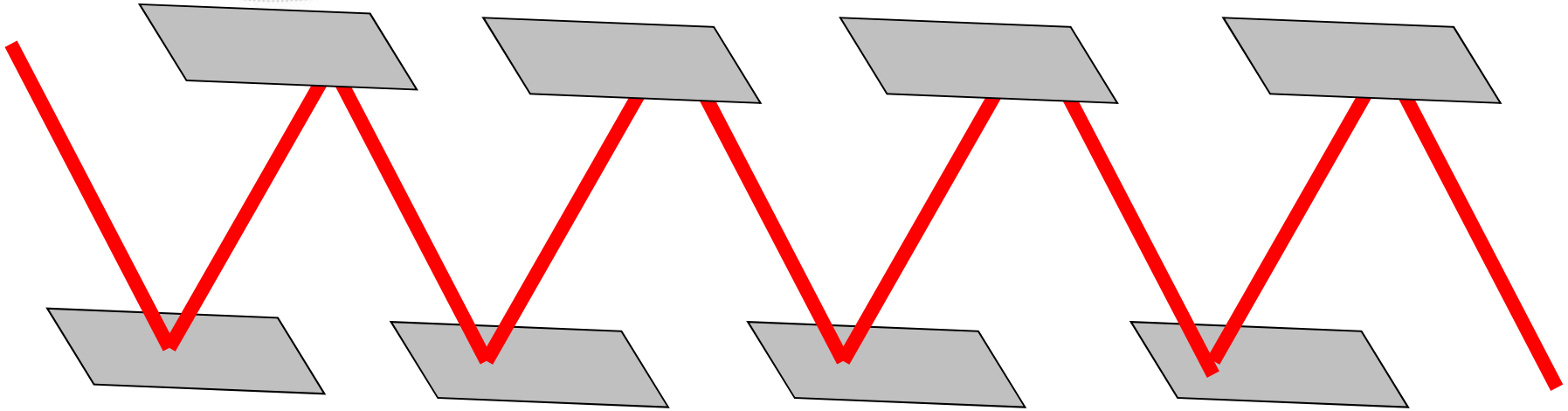
0.1-1 km

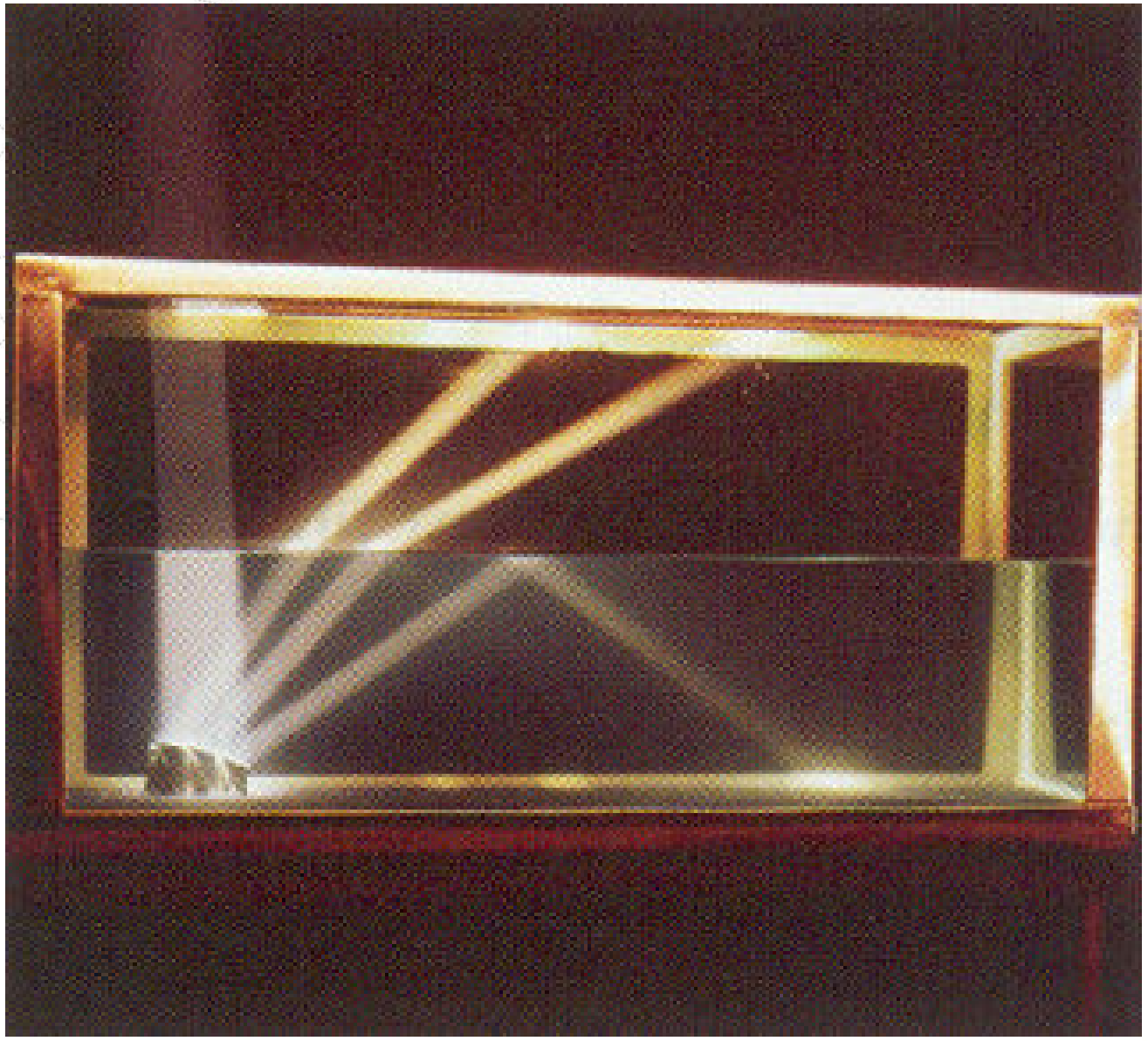
# O problema da linha de vista





•Para contornar múltiplos objectos teremos que ter múltiplos espelhos...





# Porquê usar fibras ópticas ?

- Elevada largura de banda (muita informação em pouco tempo).
- Baixo preço (30 € / km ≈ 6$00 / m).
- Transmissão a longa distância (>10 000 km).

## Qual a velocidade da informação na fibra óptica ?

É a velocidade da luz no vazio ( 300 000 km/s) a dividir pelo índice de refracção do vidro (1.5).

~ 200 000 km/s.

Se considerarmos uma fibra óptica colocada sobre o equador e a dar 5 voltas à Terra, a luz levaria 1 segundo a percorrer essa fibra.

- **Atenuação do sinal na fibra óptica**

1960 - 20 dB/km, ou seja, a luz reduz a potência para metade, em cada 150 m.

1974 - 3 dB/km, ou seja, metade da potência em cada 1 km.

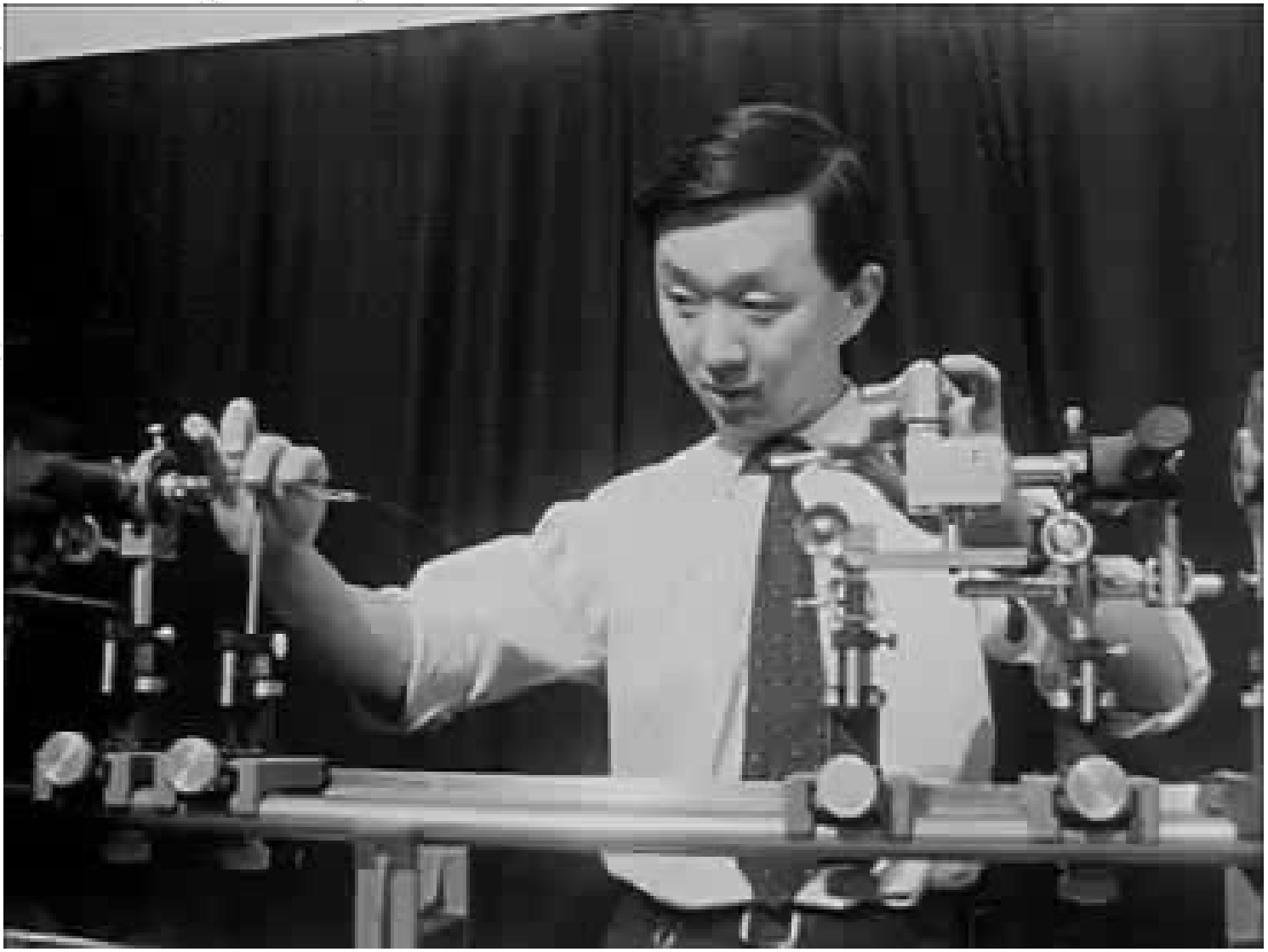
1980 - fibras actuais, 0.2 dB/km, metade da potência, em cada 15 km.

# Utilização de fibras ópticas para comunicações

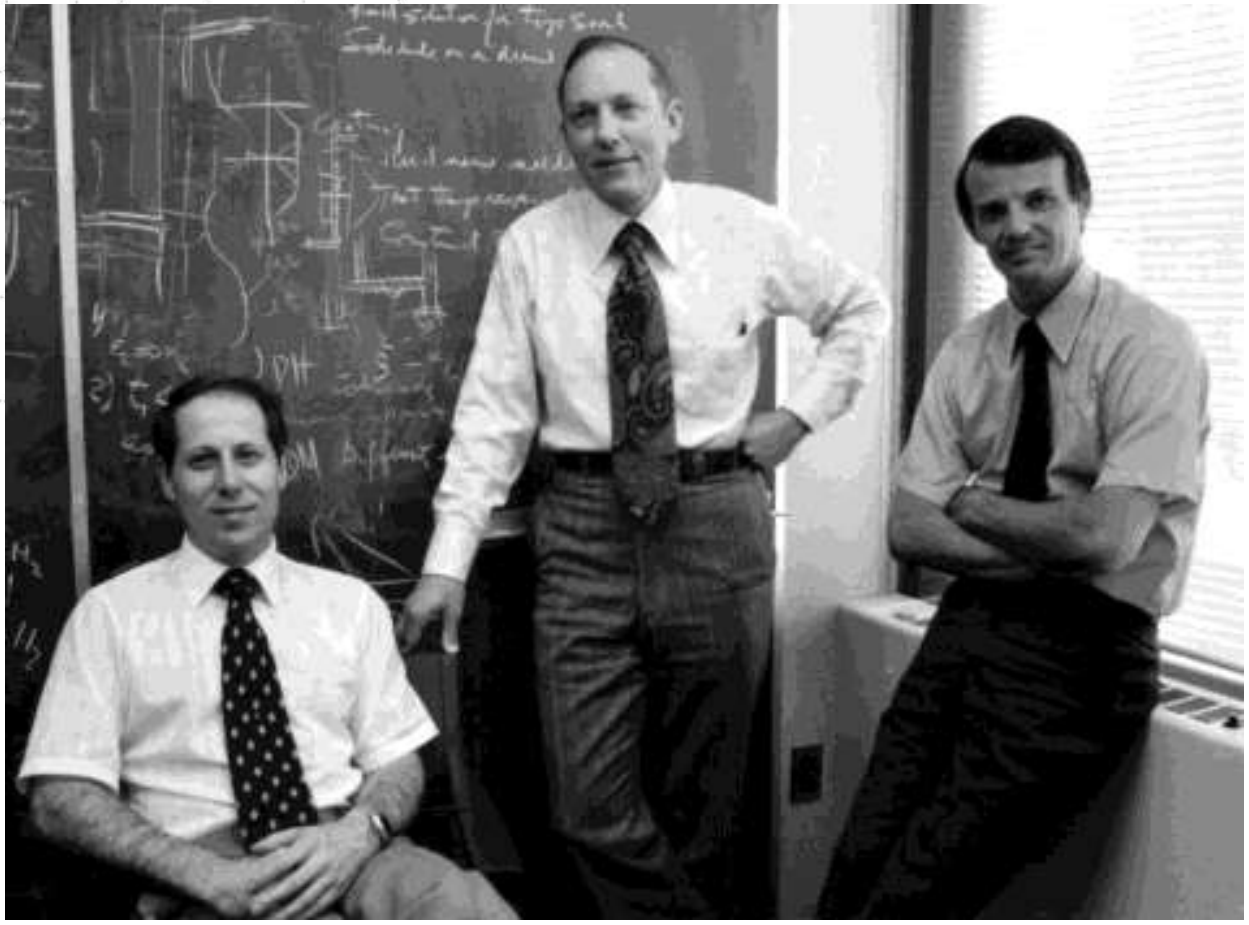
- Demonstrou que era possível usar fibras ópticas com atenuações inferiores a 20 dB/km.

- K. C. Kao, G. A. Hockham (1966), "Dielectric-fibre surface waveguides for
- optical frequencies", Proc. IEE 113 (7): 1151–1158.

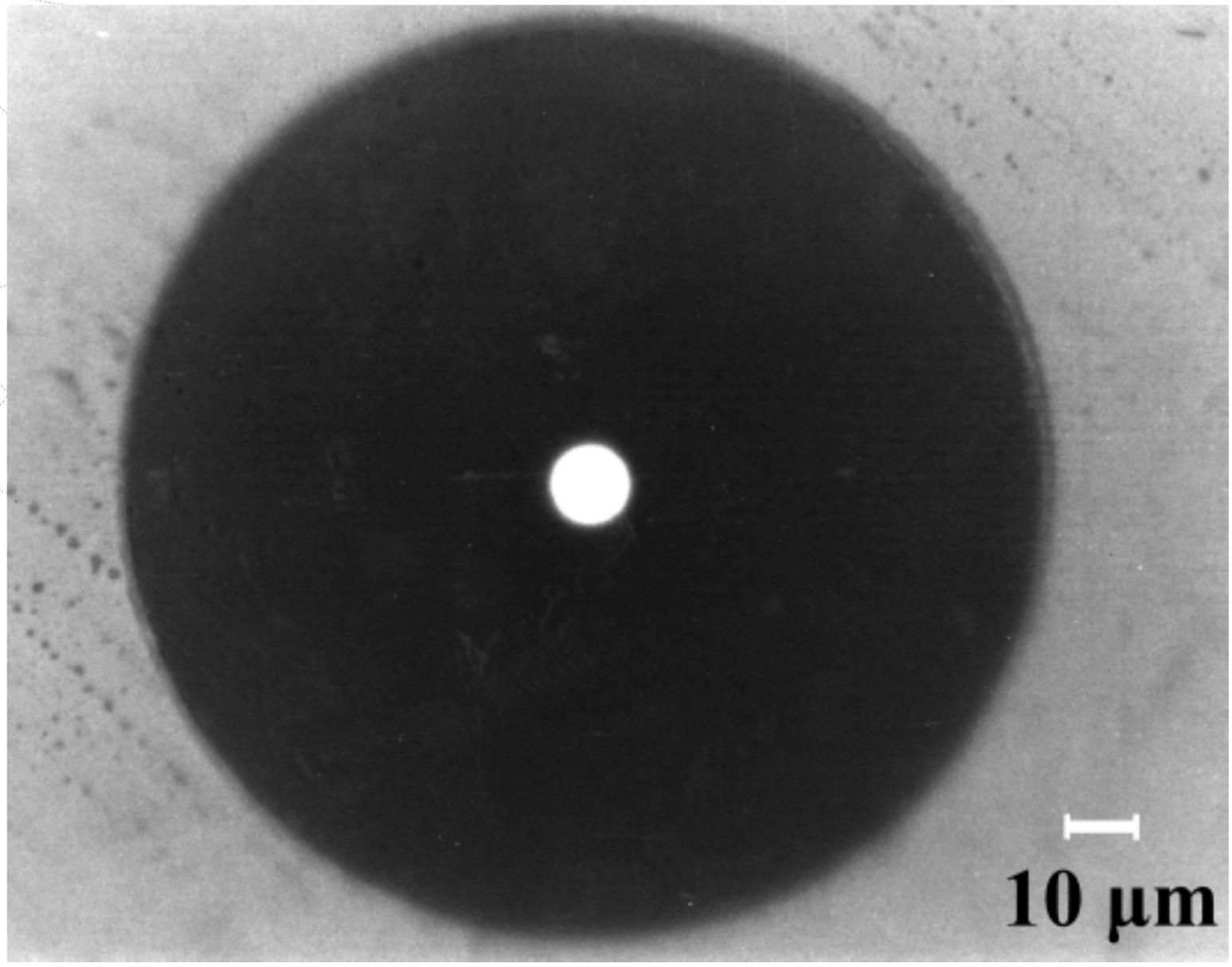
instituto de telecomunicações



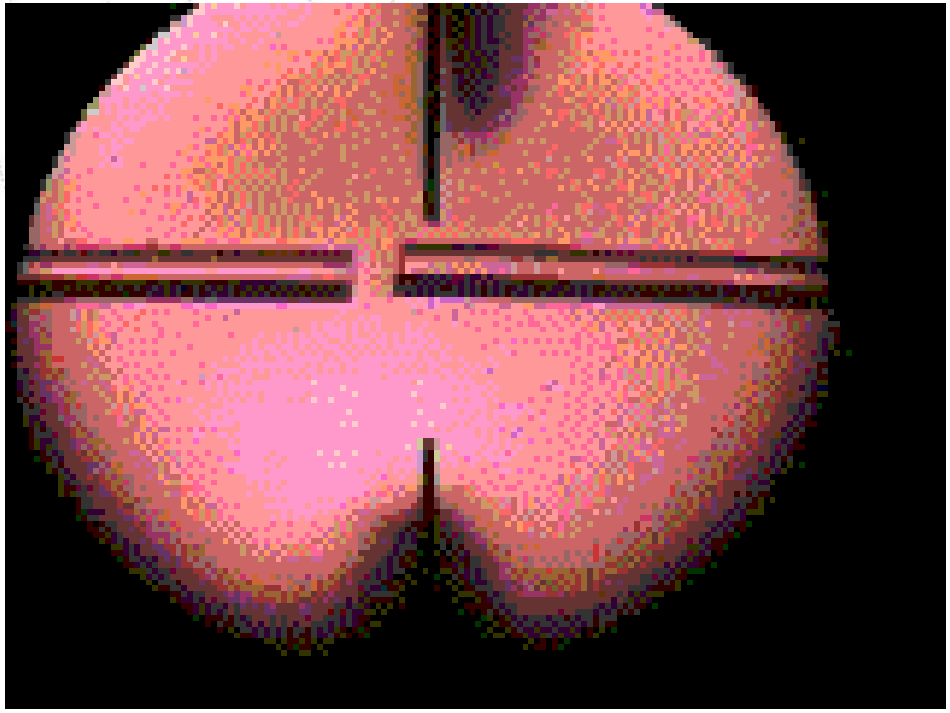
# Produção comercial pela Corning

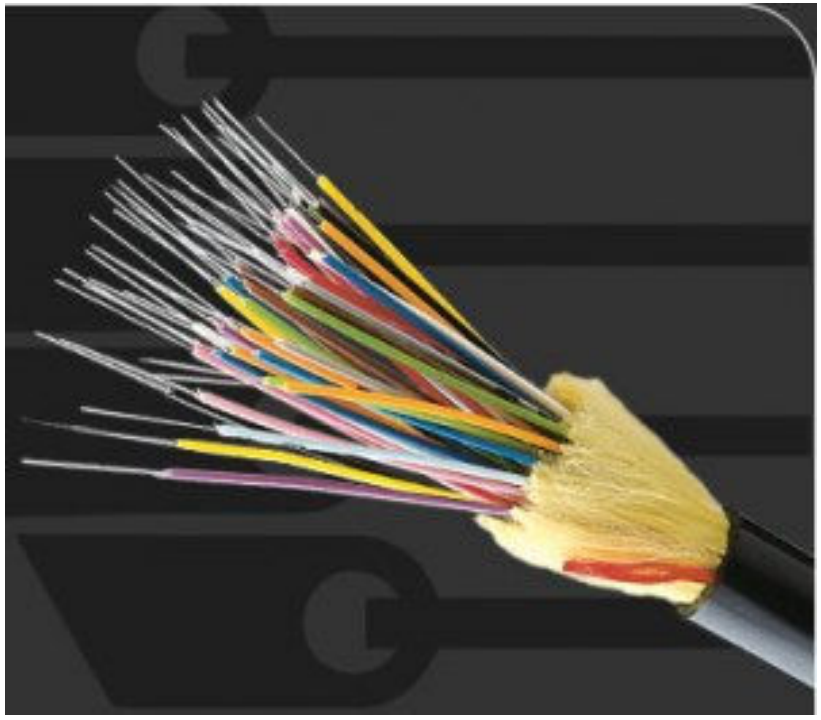


Keck, Maurer and Schultz

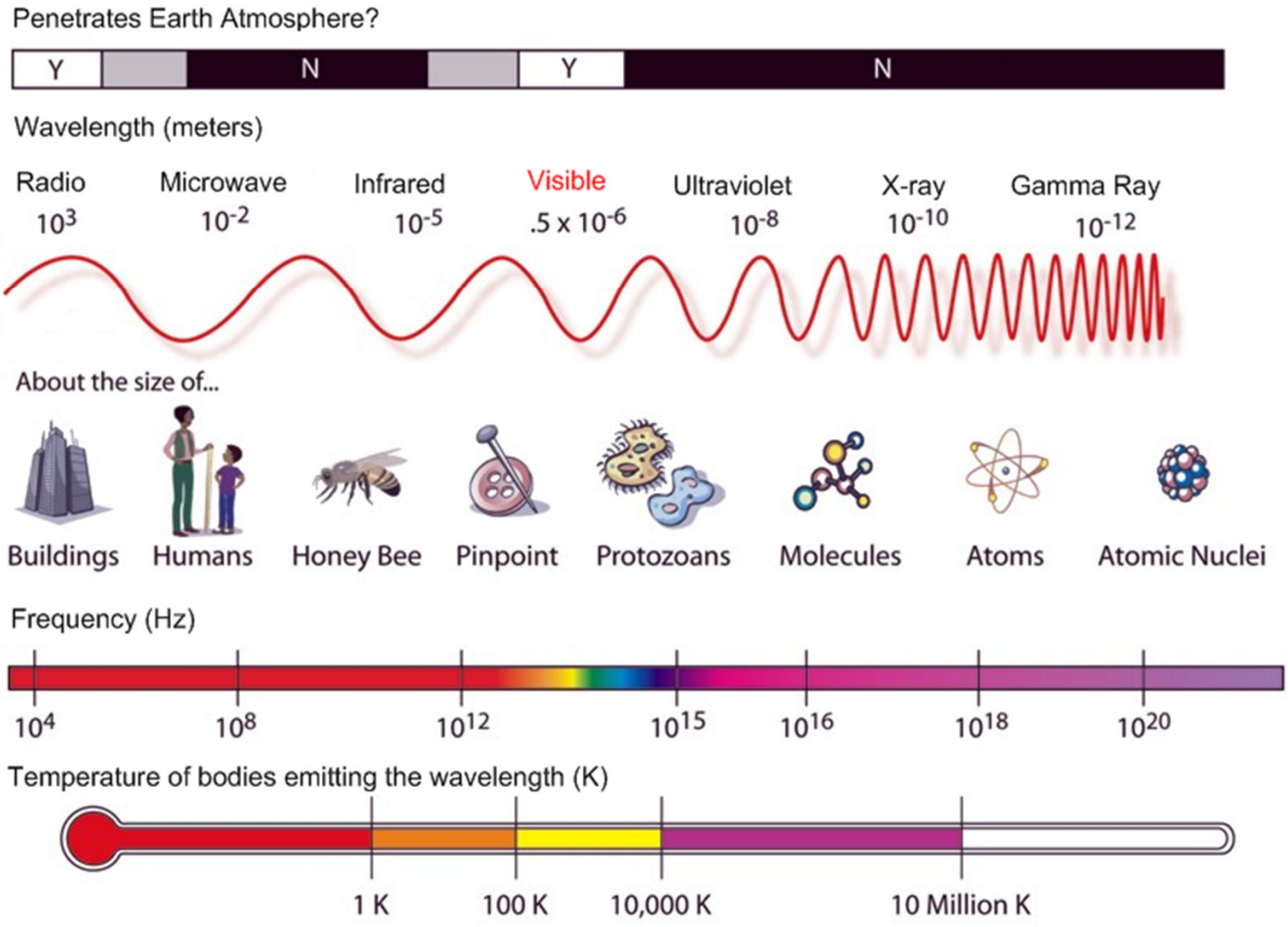

10 µm

# Como se faz a união de 2 fibras ?

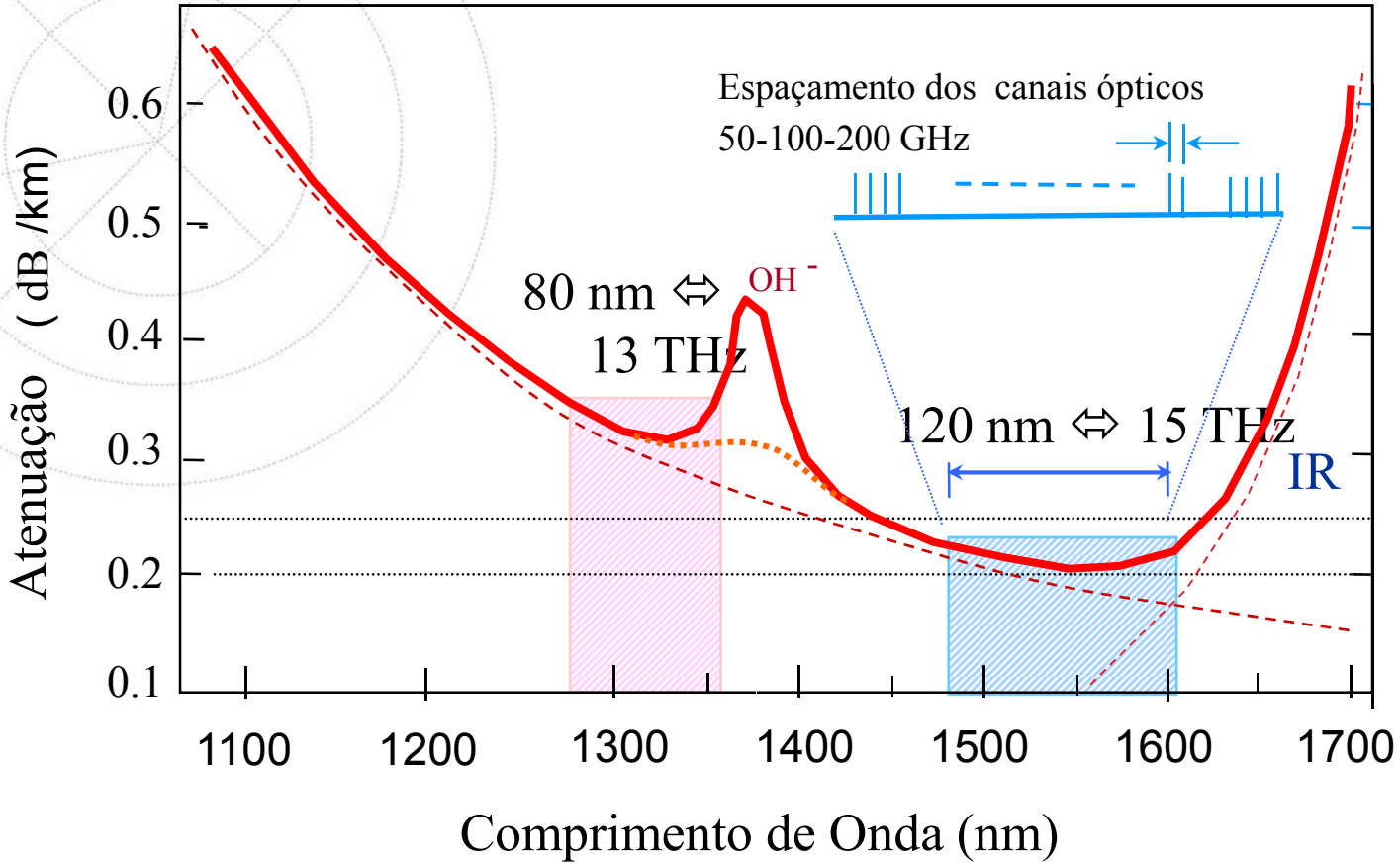




# Qual a cor ?



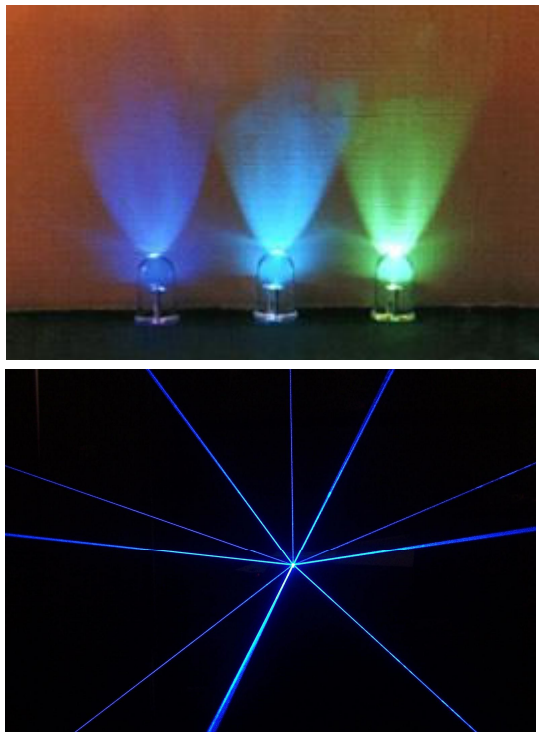

instituto de telecomunicações


Espaçamento dos canais ópticos
50-100-200 GHz
80 nm ⇔ 13 THz
OH -
120 nm ⇔ 15 THz
IR
Atenuação ( dB /km)
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
Comprimento de Onda (nm)

# As fontes de luz

Para chegar mais longe teremos que ter a luz orientada (colimada) e pura (monocromática).

Solução: O LASER (1958)



*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

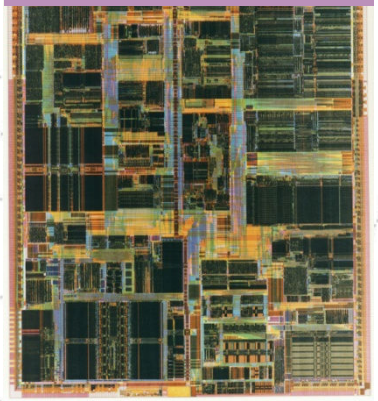
**Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação**

# Invenção do LASER


A partir de 1958, a história das comunicações ópticas prende-se com os Bell Labs.

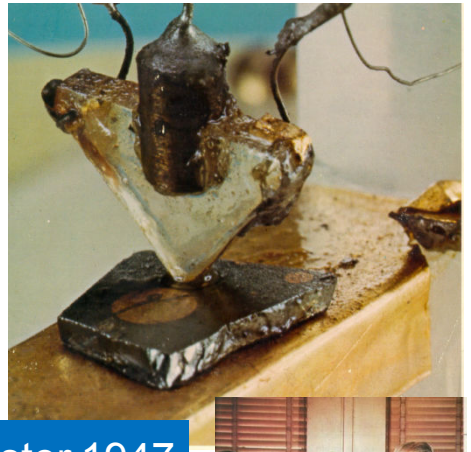
*http://www.bell-labs.com/history/laser/invention/invention1.html*

Pentium, 1997,
Intel

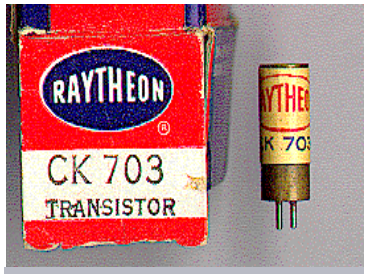


50 anos

de 1 a $10^7$
transistores



1º Transistor,1947
Bell Labs: Bardeen,
Brattain,
e Shockley




Encapsulamento

1º circuito integrado,
1958
Jack Kilby, Texas Inst.

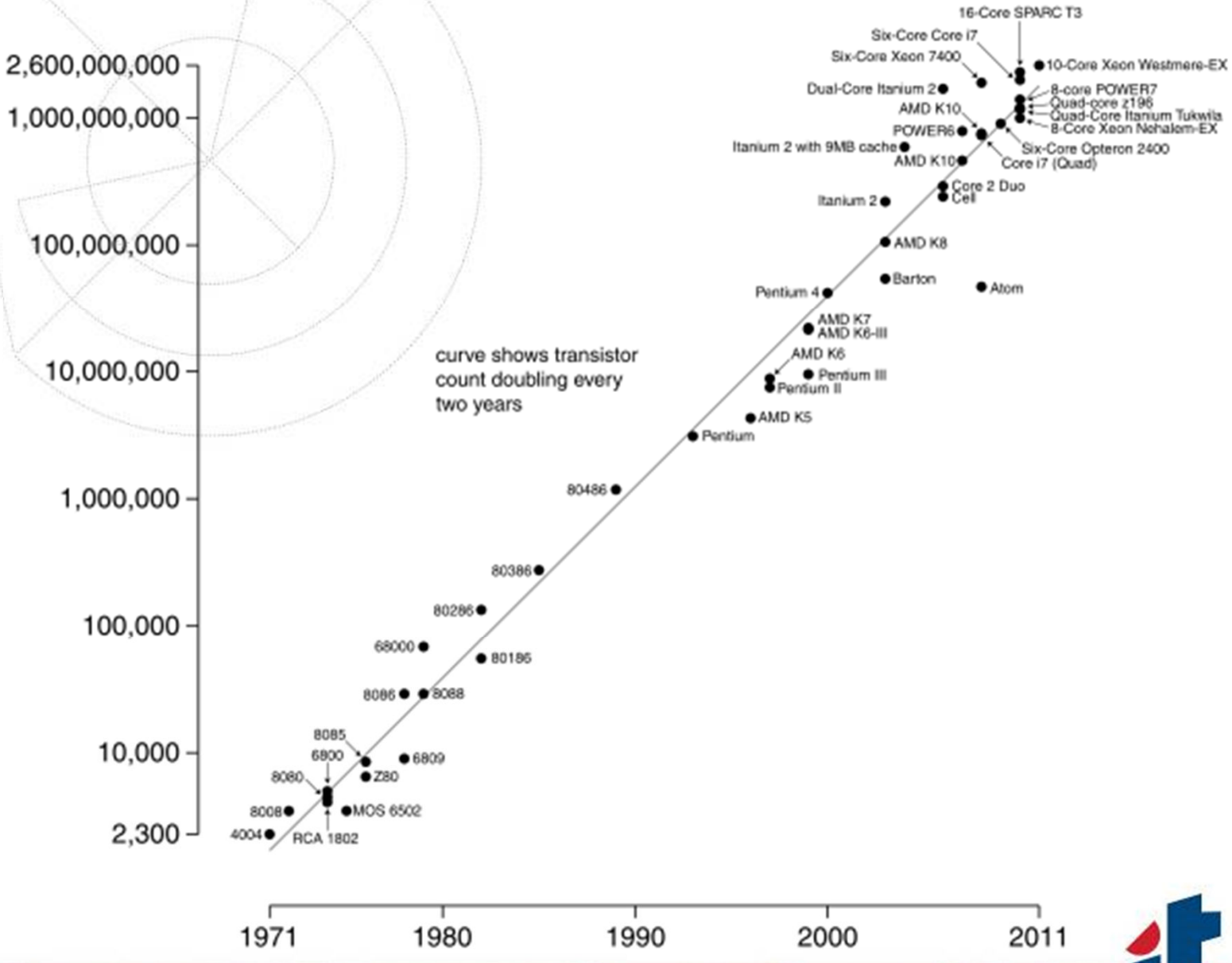
instituto de
telecomunicações

# Gordon Moore, Moore's Law, 1965

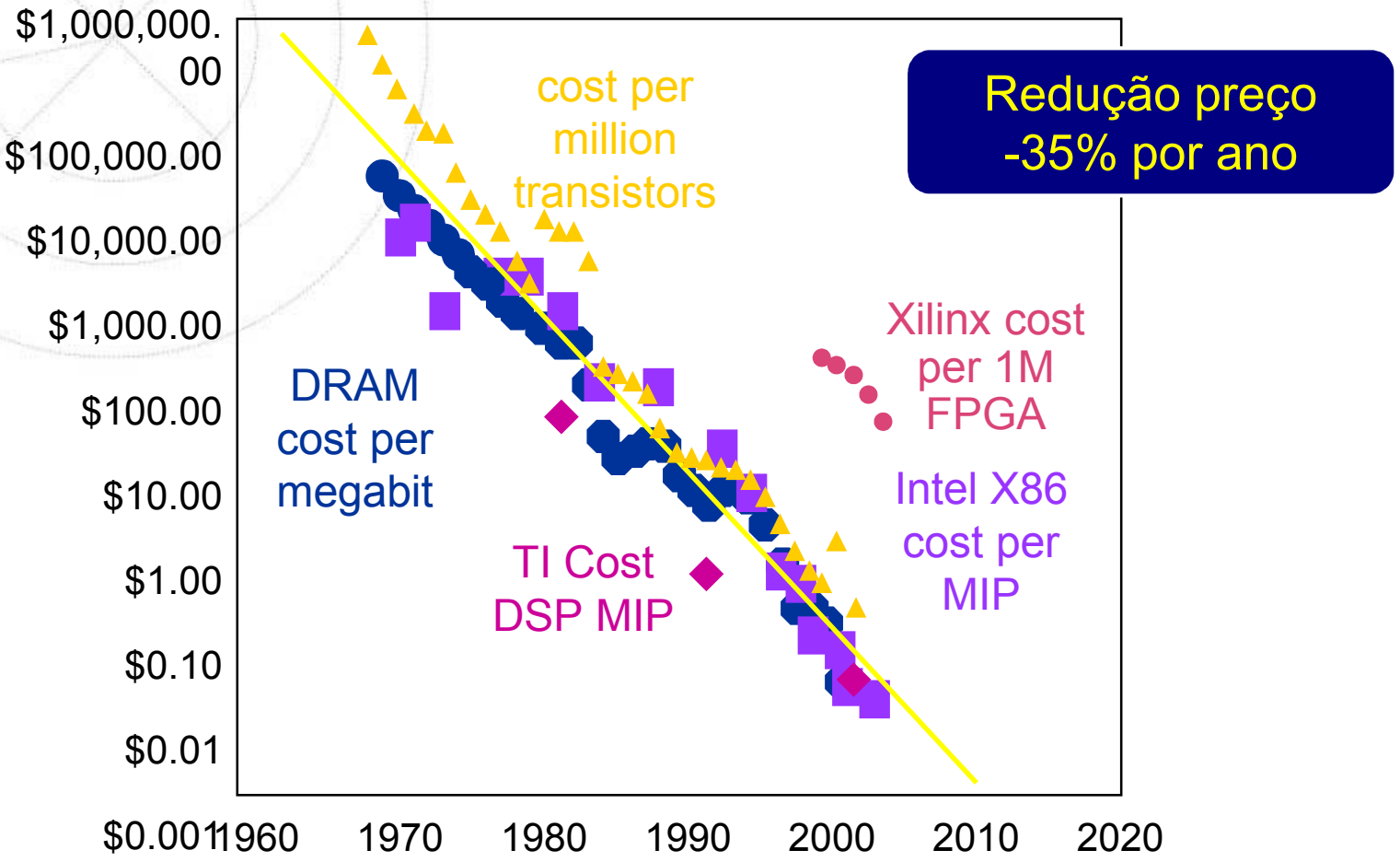
"*The number of transistors per unit area has doubled every year since the integrated circuit was invented, and this trend is likely to continue for the foreseeable future*".

Em 1975, Moore alterou a estimativa. Tempo de duplicação passou a ser 18-24 meses.

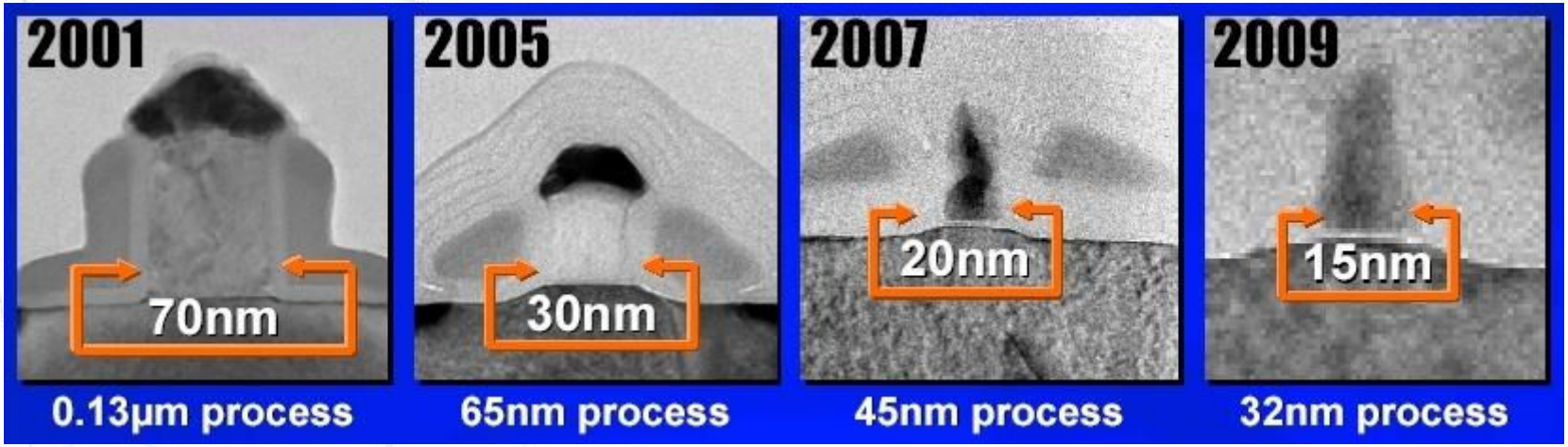
# Densidade dos Circuitos integrados

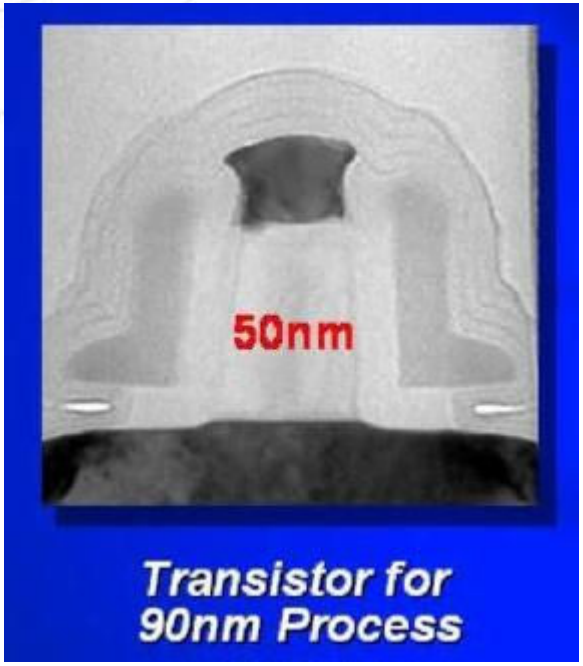


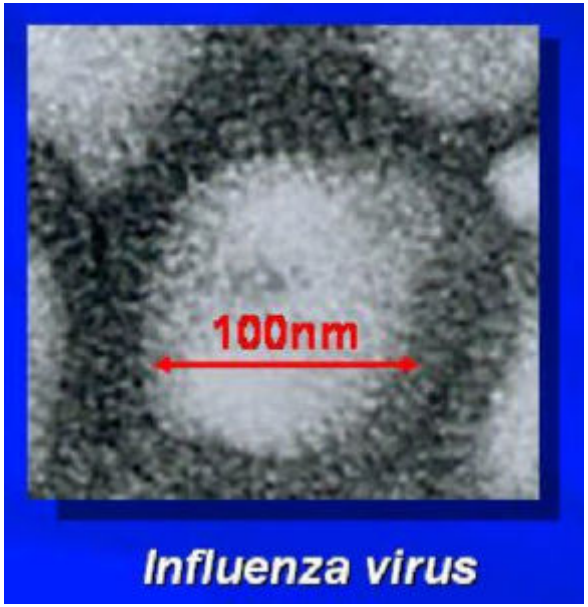
# Custo Circuitos integrados

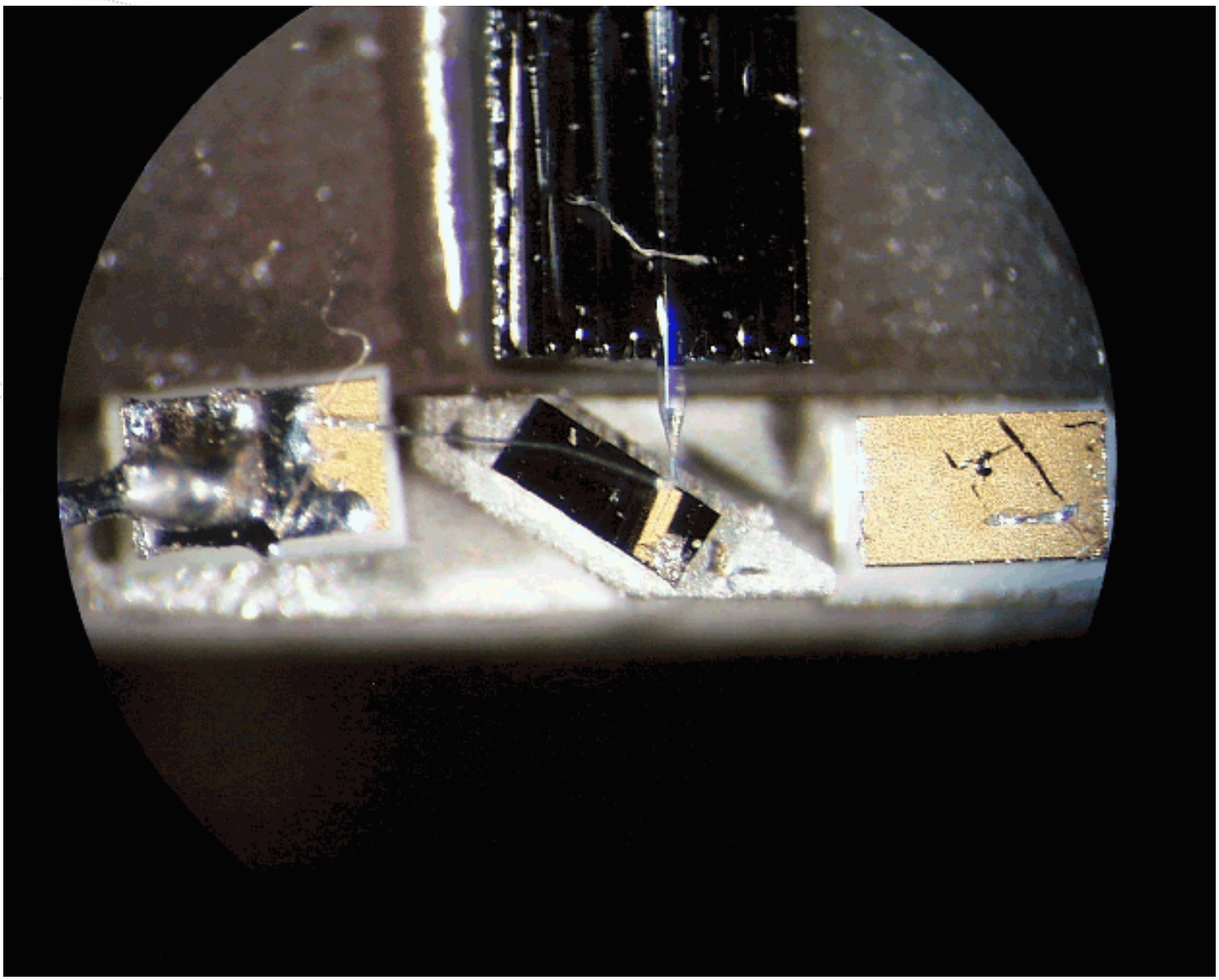



*www.icknowledge.com/economics/productcosts4.html*

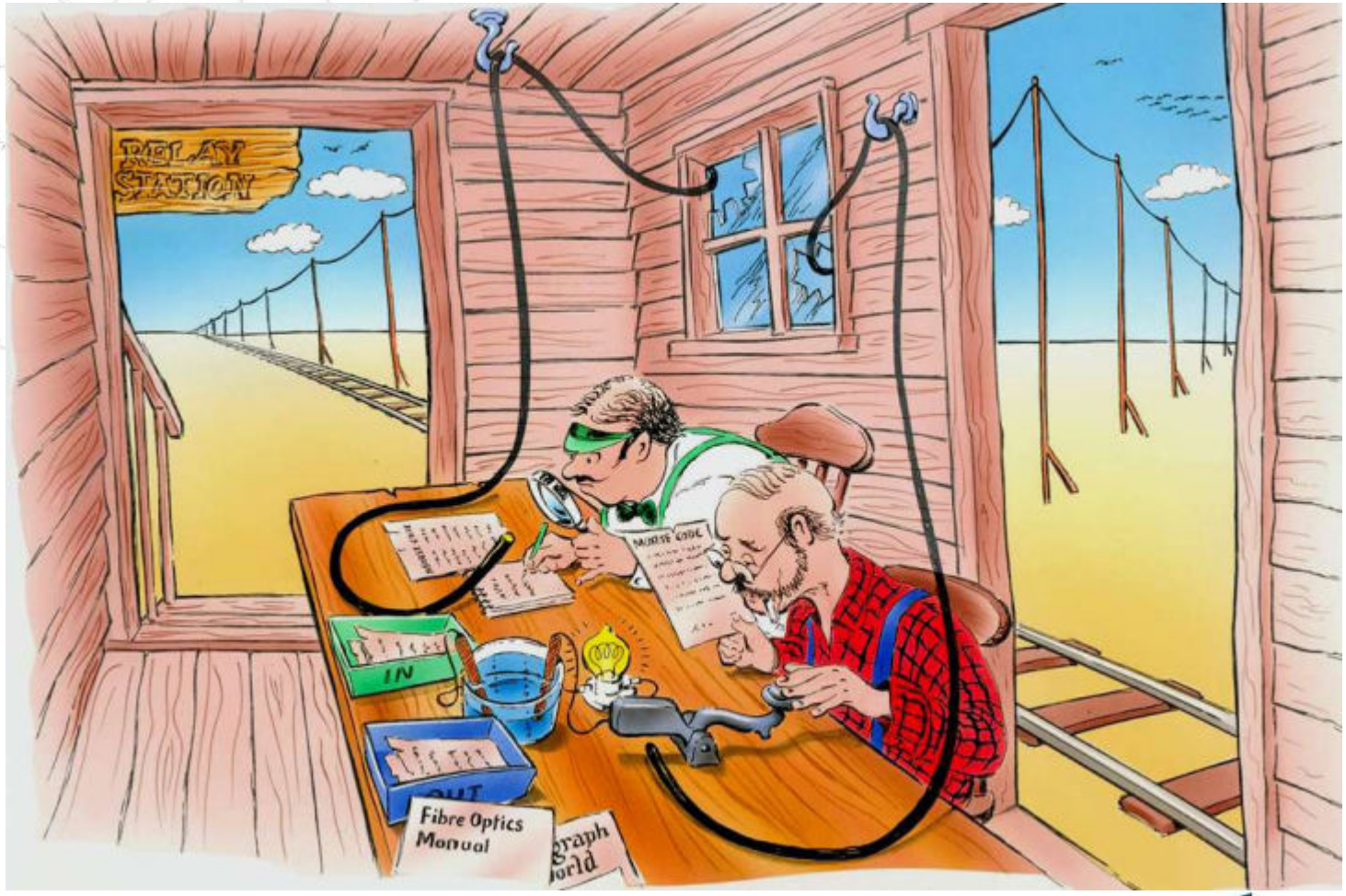

2001
70nm
0.13µm process
2005
30nm
65nm process
2007
20nm
45nm process
2009
15nm
32nm process


50nm
Transistor for
90nm Process

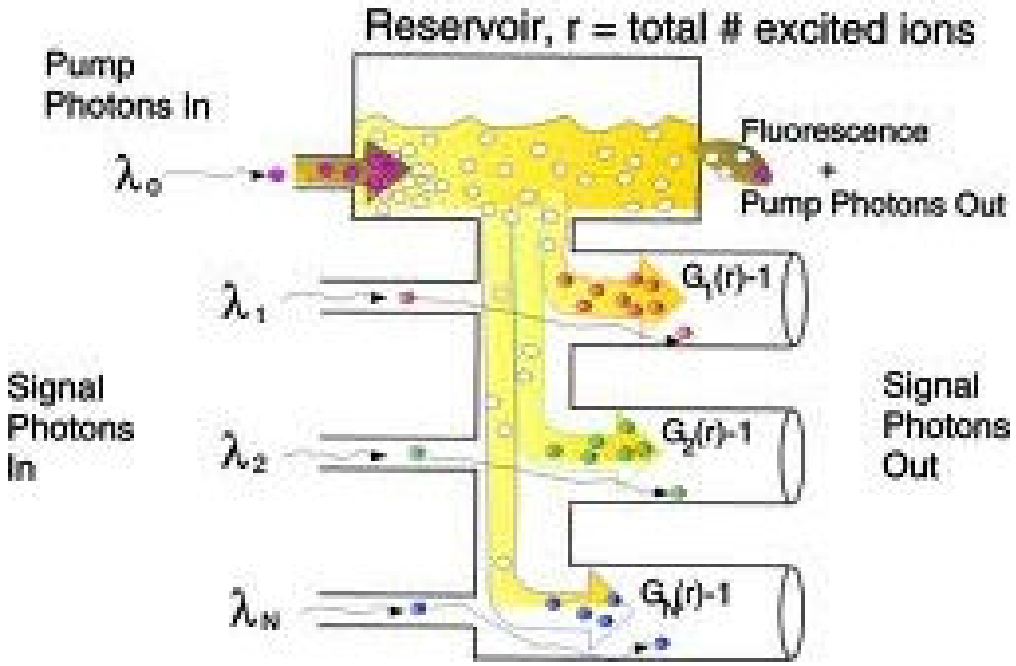

100nm
Influenza virus



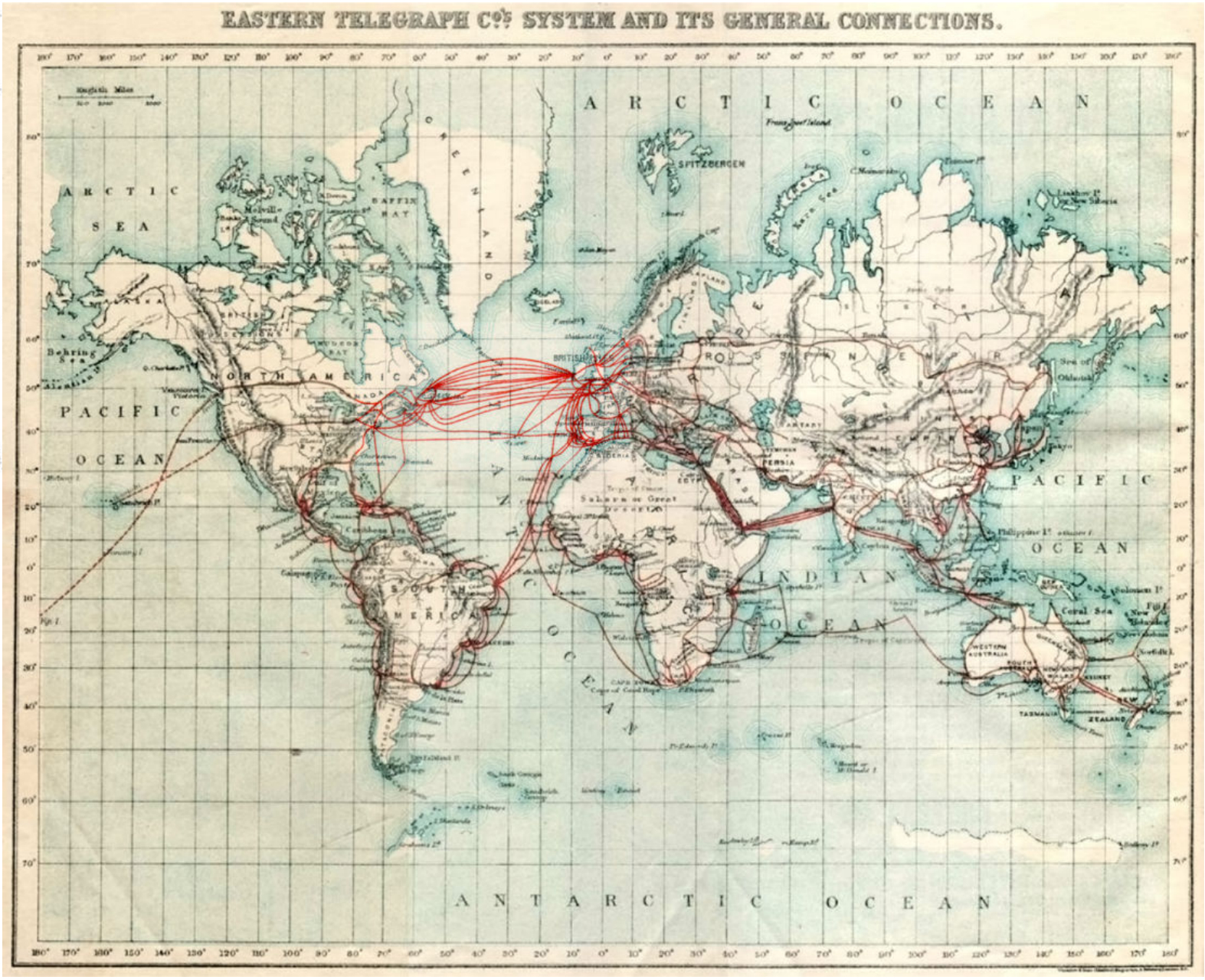
## Amplificação óptica para aumentar a distância de transmissão.



# Amplificadores de fibra dopada com Érbio

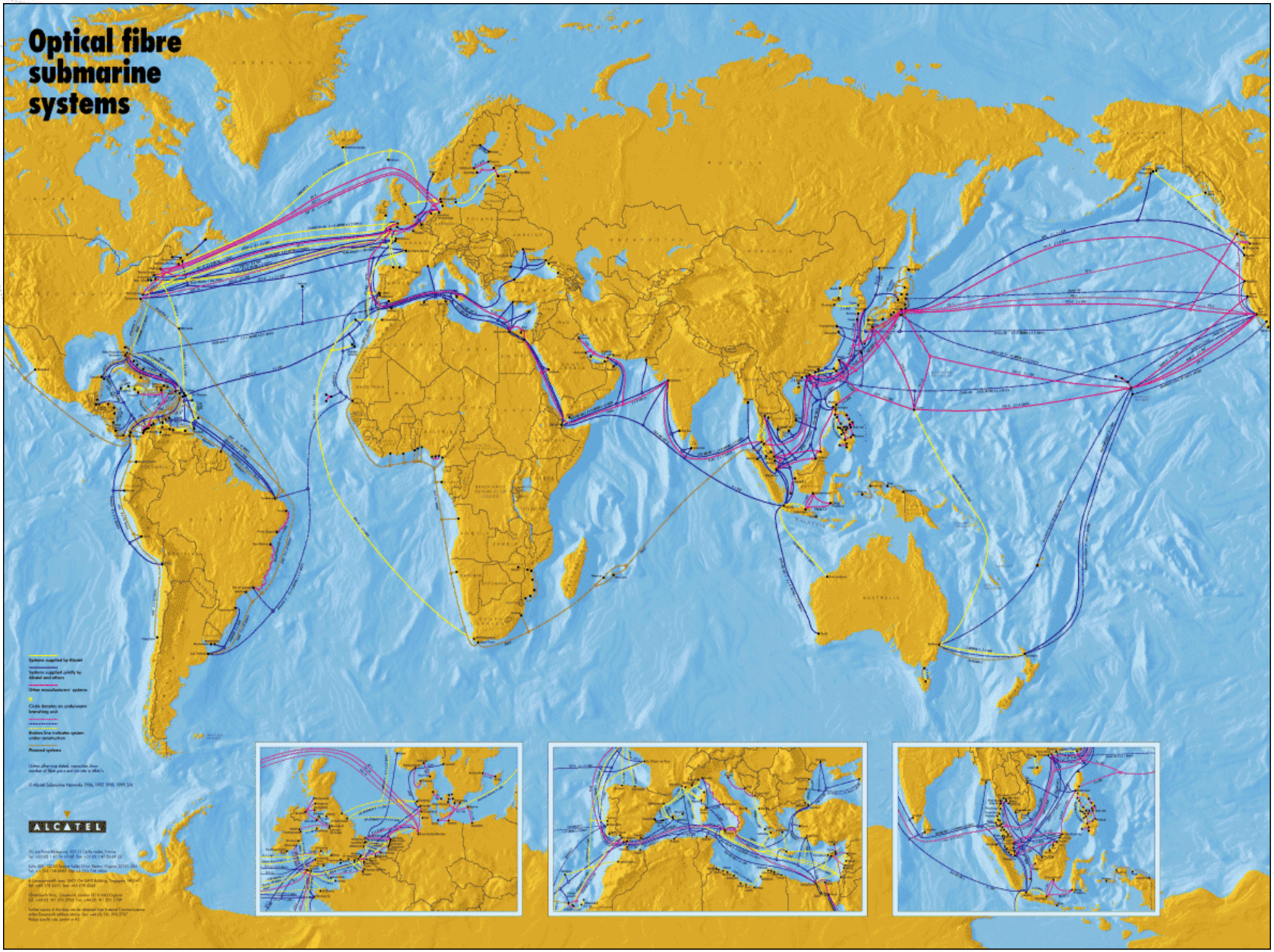



*Desurvire, Giles, Payne*



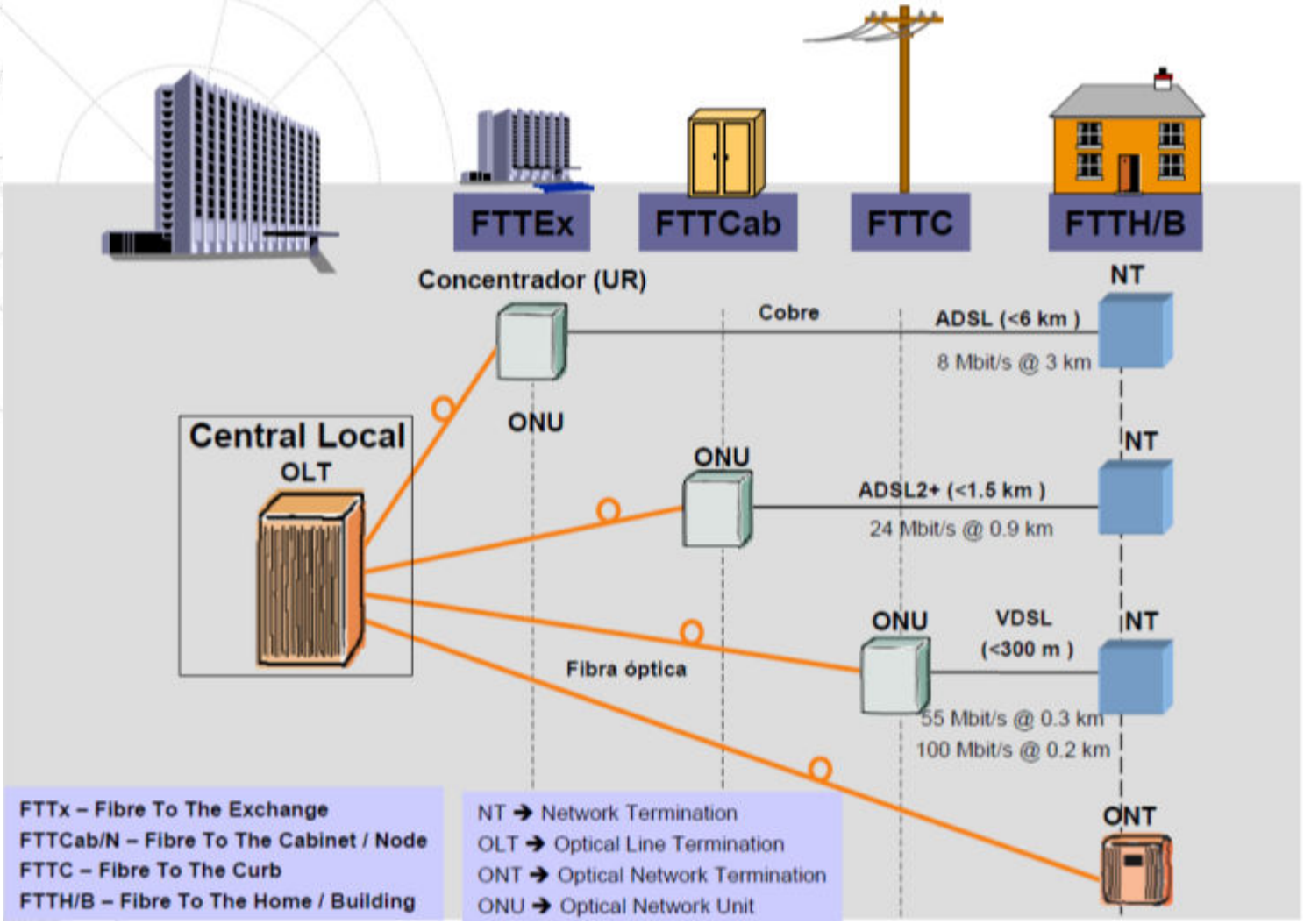

1901

instituto de telecomunicações

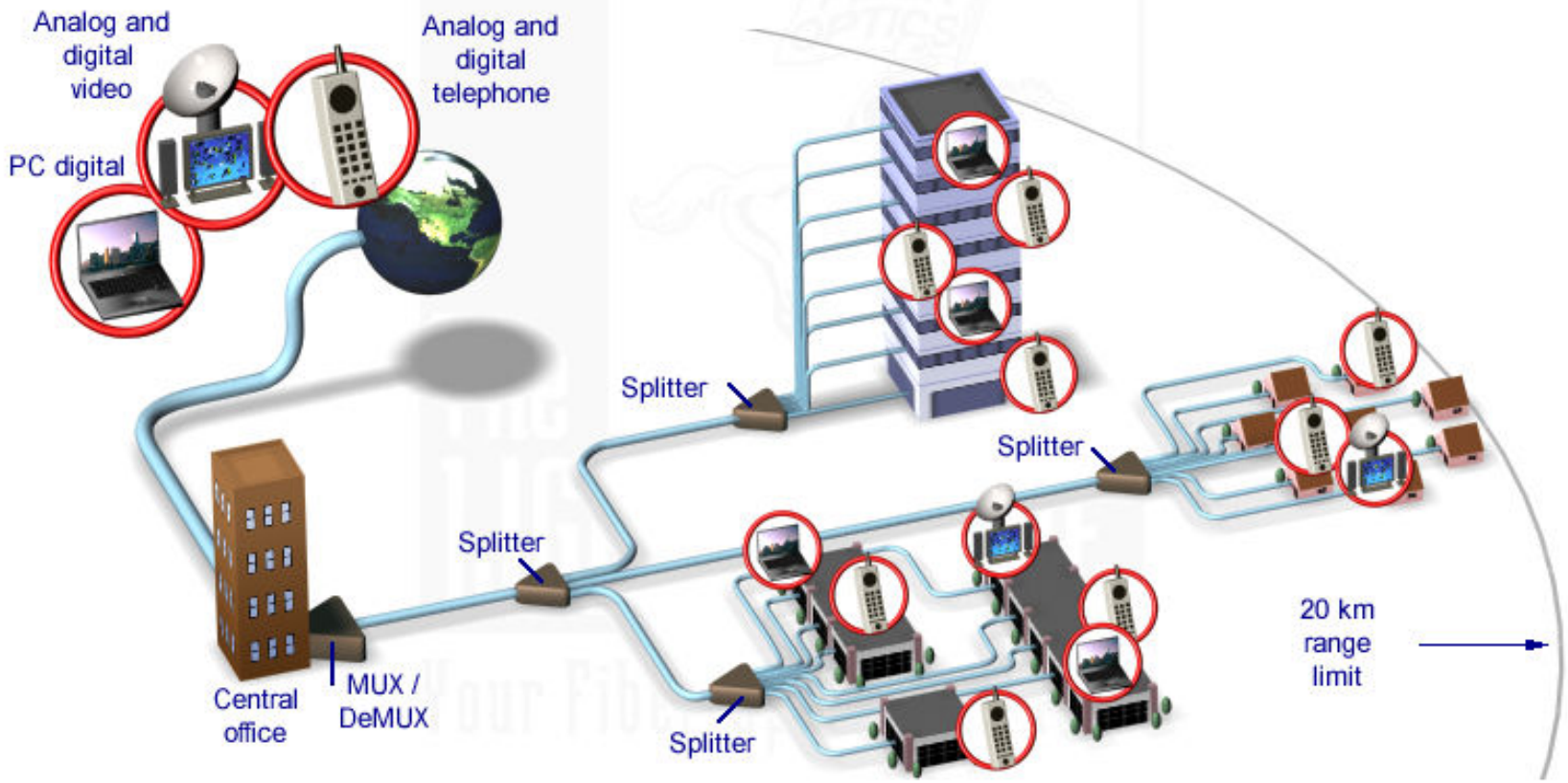



instituto de telecomunicações

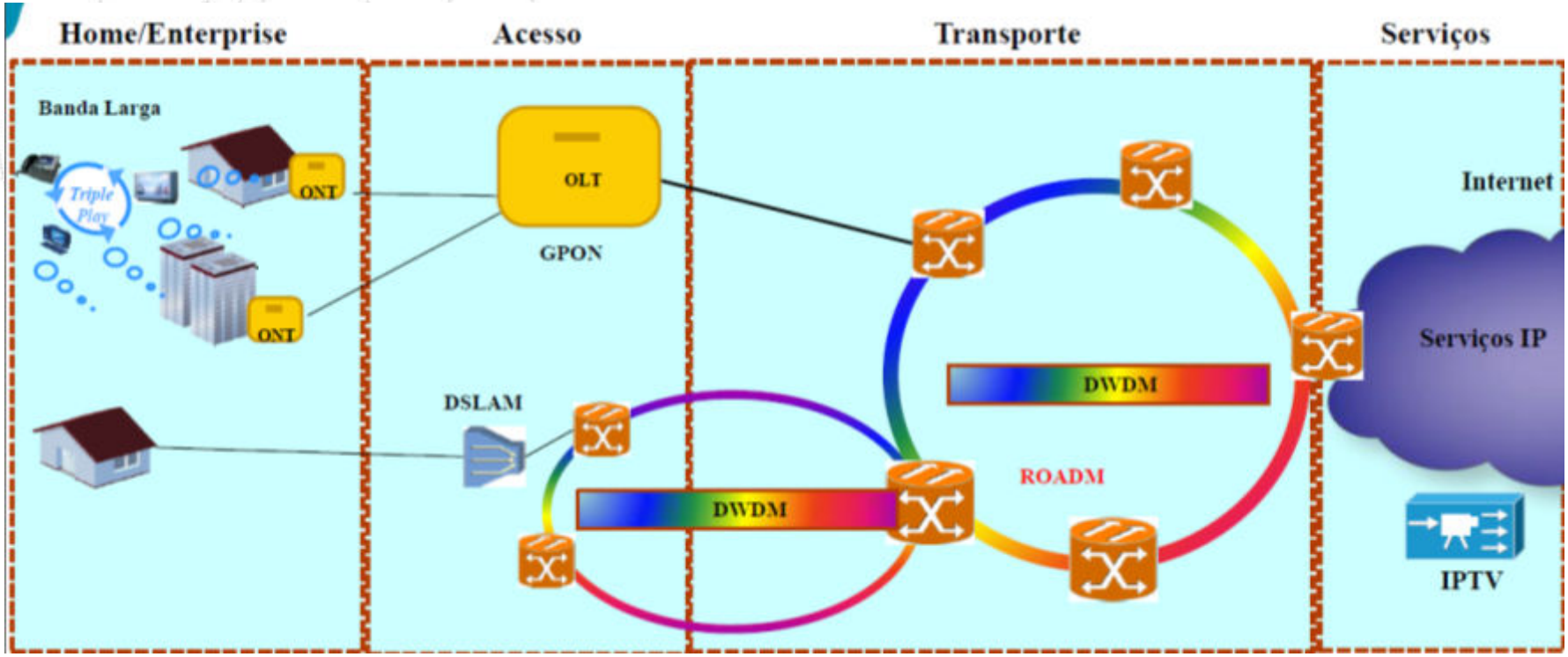
# Rede de acesso

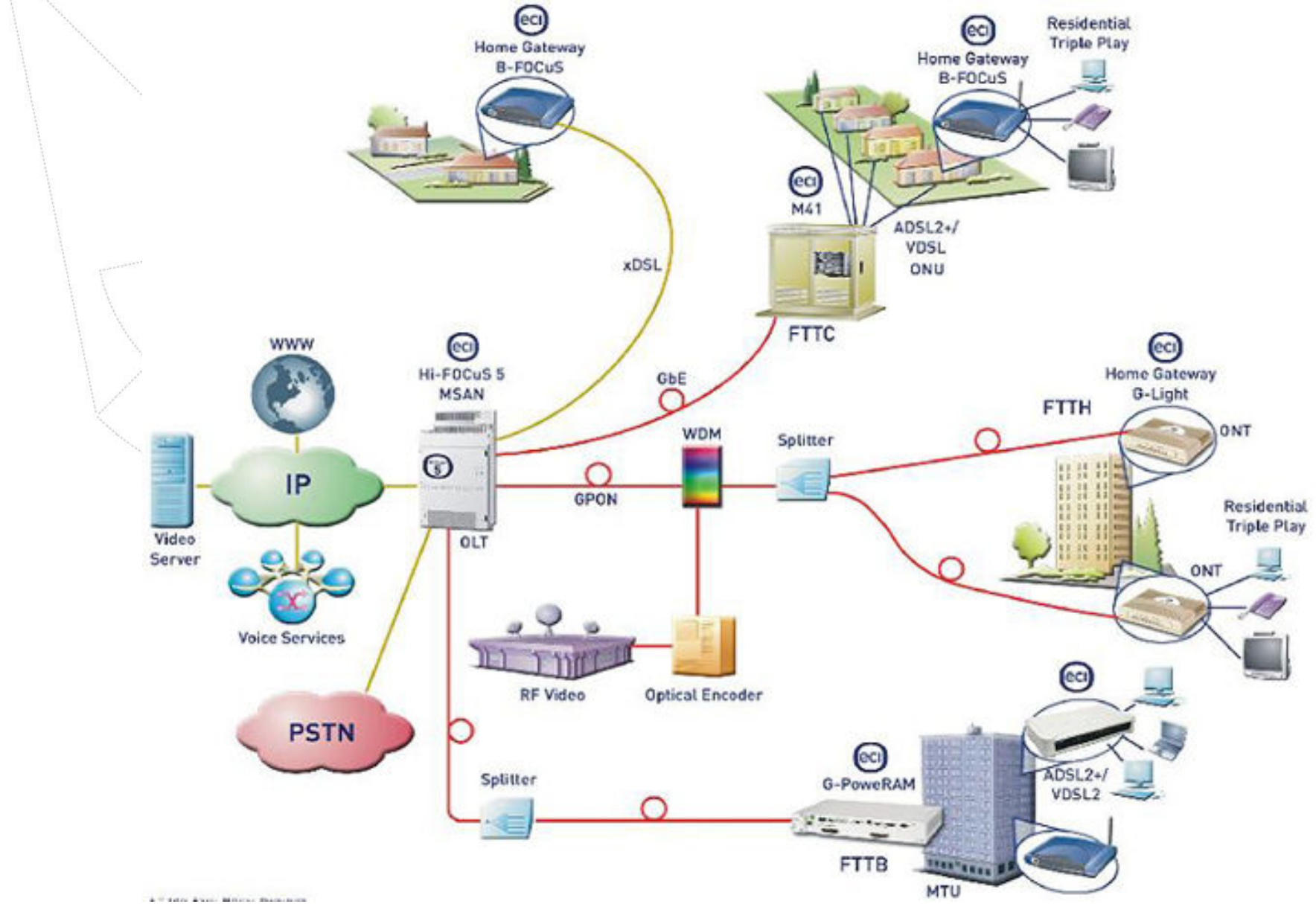


# Convergência serviços



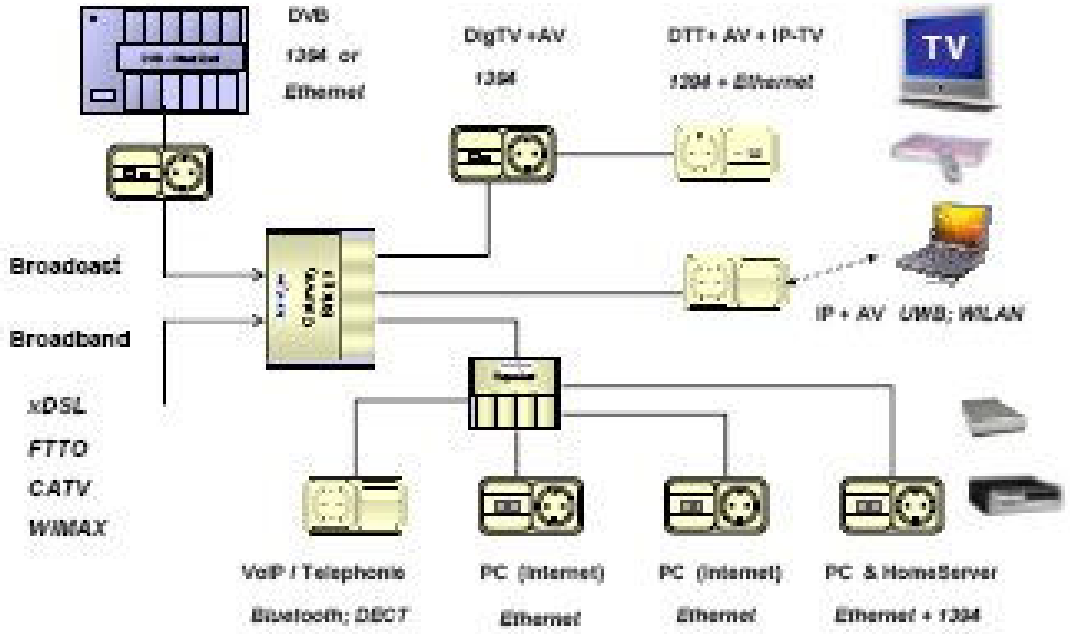
# Ótica em toda a rede de comunicações



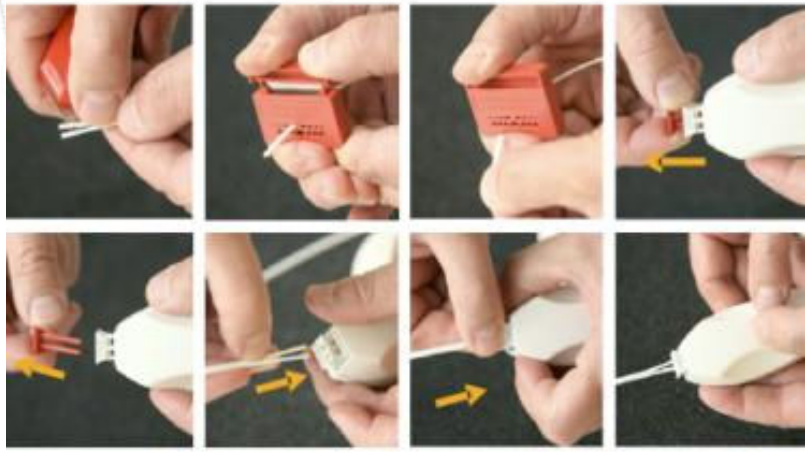



instituto de
telecomunicações

# Redes interiores




*http://homefibre24.at/epages/hom259.sf/en_US/?ObjectPath=/Shops/hom259/Categories*



## POF in-car network evolution

Plastic optical fibre (POF) was first used extensively in industrial field buses such as PROFIBUS, SERCOS and INTERBUS-S for controlling process equipment in rugged, electromagnetically noisy manufacturing environments, but in 1998 Daimler-Benz put the first POF bus into a serial production vehicle. This bus, called the Digital Domestic Bus ($D^2B$), used 650 nm LEDs and standard step-index POF with a 1 mm core diameter. Operating at 5.6 Mb/s, this system transmitted signals for sound systems and speech recognition, and speech, audio and control data for phones.

In 2001 BMW joined in, introducing the byteflight POF bus into its 7 Series vehicles for an airbag sensor deployment network capable of operating at 10 Mb/s.

Later that year the same company installed the first Media Oriented Systems Transport (MOST) POF-based multimedia bus in its 7 Series, which was a major milestone for POF-based automotive networks.

Based largely on the same physical layer as the $D^2B$ network, the MOST bus operates at 22.6 Mb/s, which allows the transmission of compressed video data. Initially this system was introduced in top-of-the-range vehicles such as the 7 Series and the DaimlerChrysler E-Class, but now it is featuring in more than 30 different cars, including the BMW 1 Series, DaimlerChrysler smart car, Mitsubishi Colt, Volvo S40, Audi 6 and Peugeot 807. Last year 12 million POF nodes were installed into cars and this figure is expected to rise to 15 million in 2006.


BMW

**POF MOST networks first appeared in BMW's exclusive 7 Series, but they are now being deployed by a number of manufacturers in a wide range of cars, including the BMW 1 Series shown here.**

*http://optics.org/article/24659/OLEres2_04-06*

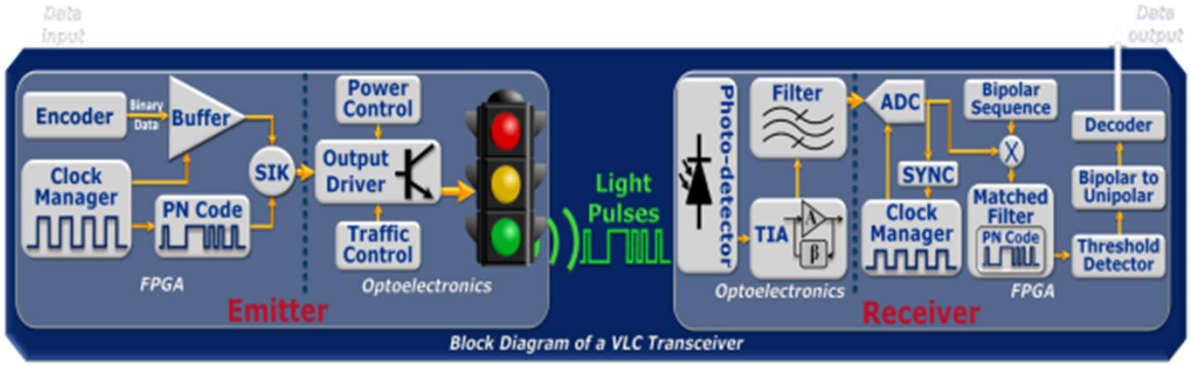


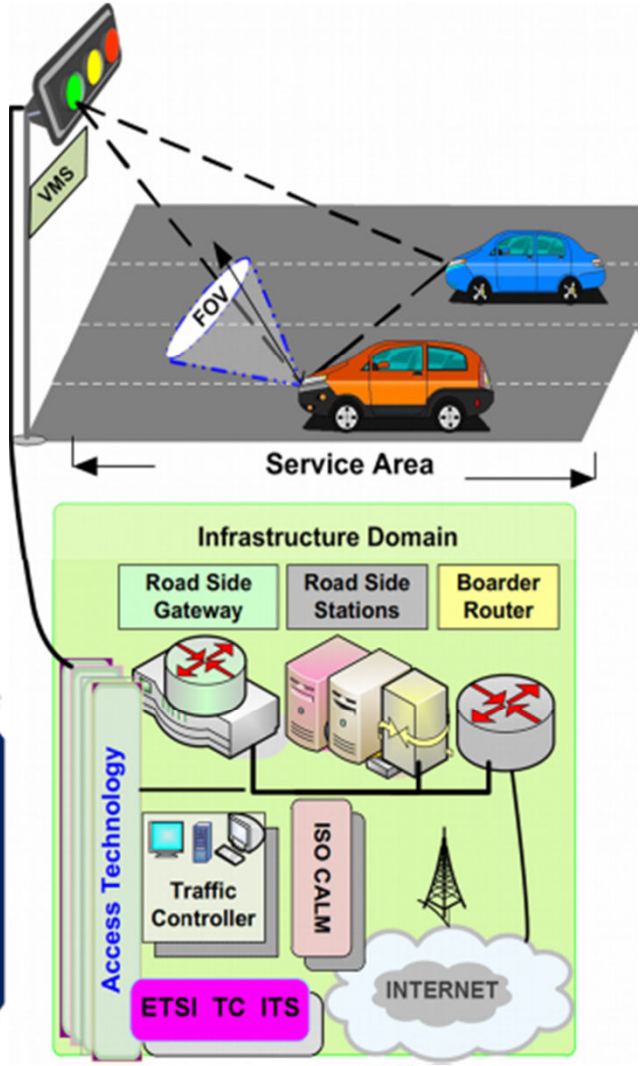
instituto de telecomunicações

# Wifi óptica

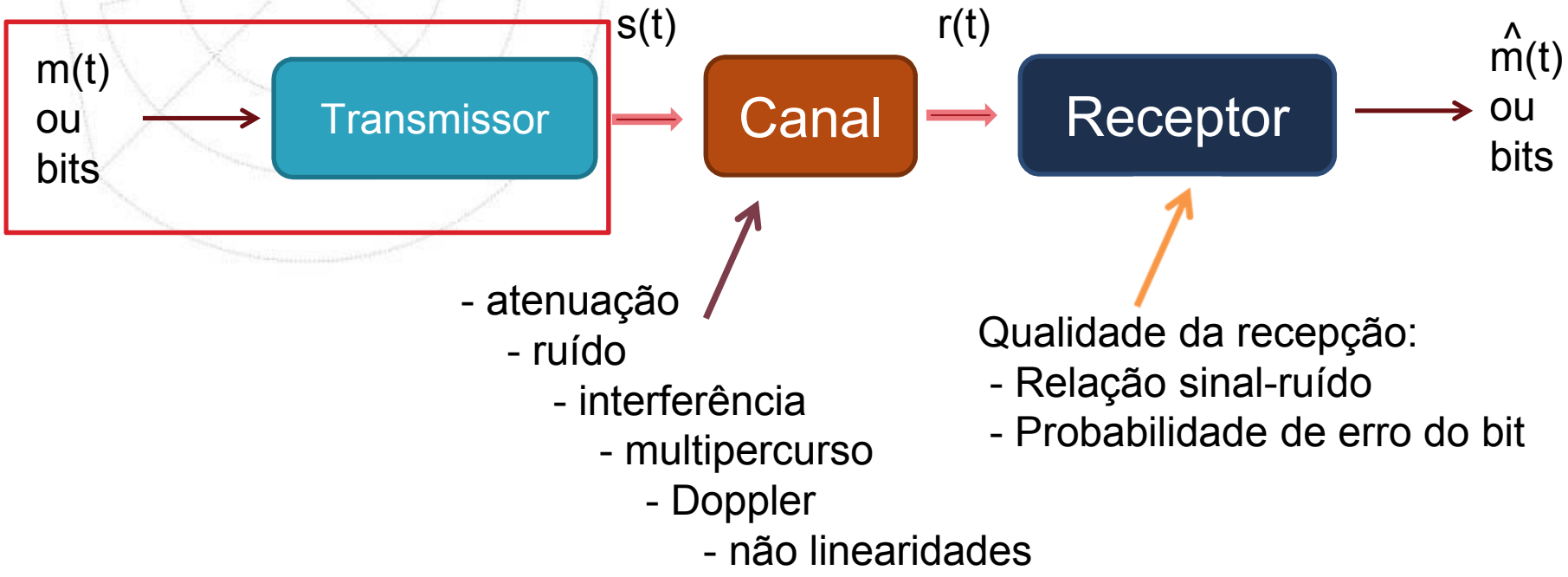
LEDs – Ritmos até 1 Gbit/s

Lasers – Ritmos superiores a 1 Gbit/s

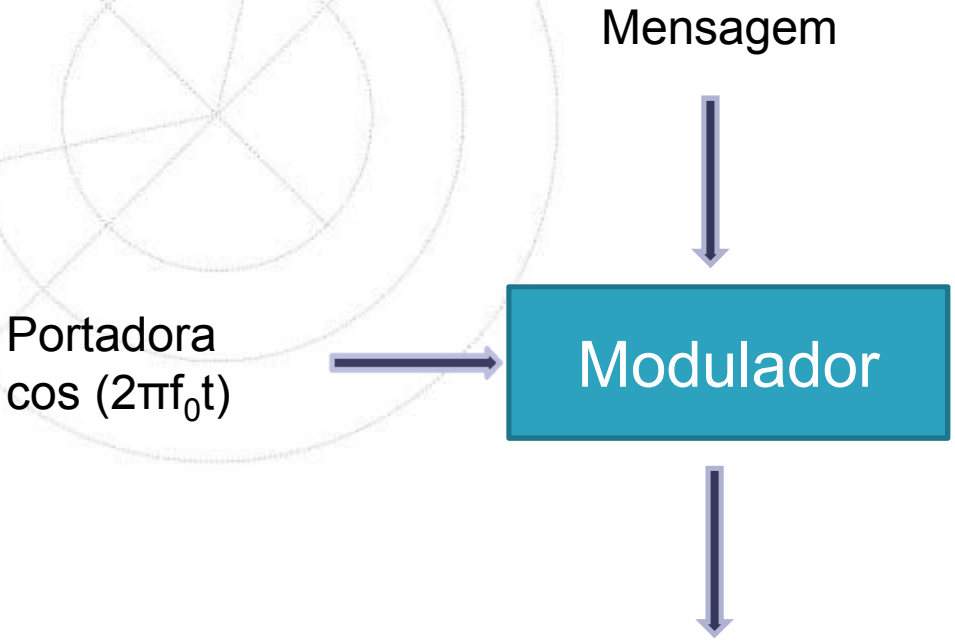


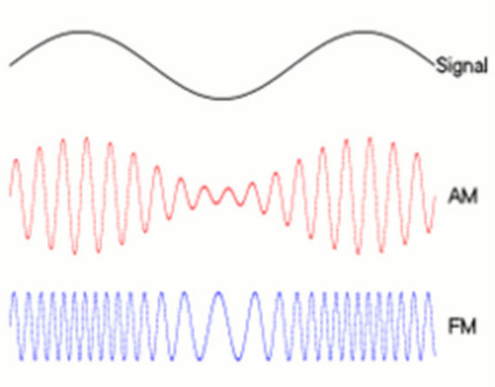



# Elementos de um sistema de comunicações



- Modulação (em transmissões analógicas /digitais)



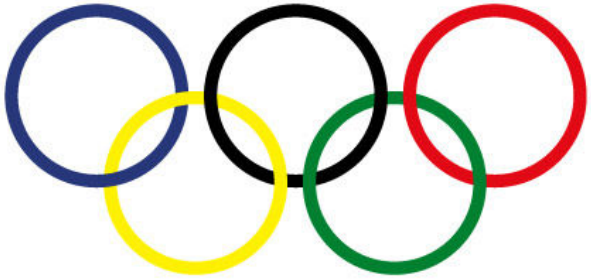




B(t) cos ($2\pi f_0 t$) – Modulação de amplitude (AM/ASK)

B cos ($2\pi f_c(t) t + \Theta$) – Modulação de frequência (FM/ASK)

B cos ($2\pi f_0 t + \Theta(t)$) – Modulação de fase (PM/PSK)

# Desafios futuros



Mais rápido

Mais alto

Mais forte


Mais longe

Mais ritmo de transmissão

Mais barato

# 100 anos de desenvolvimentos

- Prémio Nobel para os impulsionadores das tecnologias de comunicações dominantes.

Sem fios

Guglielmo Marconi
1909

Charles Kao
2009

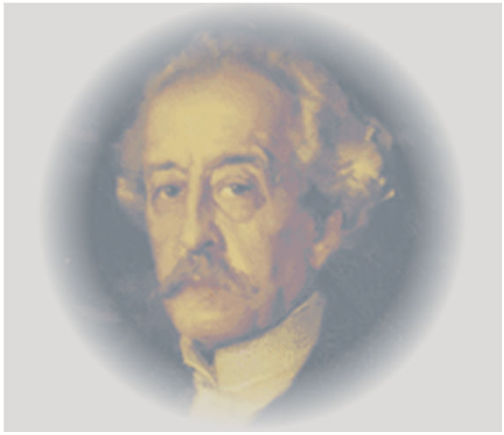
Fibras ópticas


C.K. Kao Nobel Lecture

TÉCNICO LISBOA

*O INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO foi criado com o intuito de fornecer ao País engenheiros que possuíssem não só o **saber**, mas também as **qualidades** necessárias para que, prosperando na vida profissional, contribuíssem ao mesmo tempo para o nosso progresso económico.*


Alfredo Bensaúde
*Primeiro Director do IST, 1911*



instituto de telecomunicações

# Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

- Número de Estudantes: ~ 1 450
- Número de Docentes: ~ 100
- Cursos oferecidos:
  - **Alameda**
    - MEEC – Mestrado Eng. Electrotécnica e de Computadores
    - MEAer – Mestrado Eng. Aeroespacial
  - **Taguspark**
    - METI – Mestrado Eng. de Telecomunicações e Informática
    - MEE – Mestrado Eng. Electrónica

| | Vagas | Nota [0-20] |
|---|---|---|
| MEEC | 220 | 16,0 |
| MEAer | 85 | 18,5 |
| MEE | 33 | 13,7 |
| METI | 68 | 13,4 |

instituto de telecomunicações


Obrigado