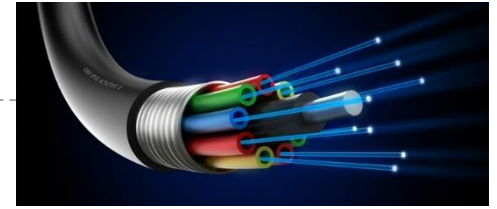


Fibras Ópticas

SEL413 Telecomunicações

Tania Regina Tronco
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

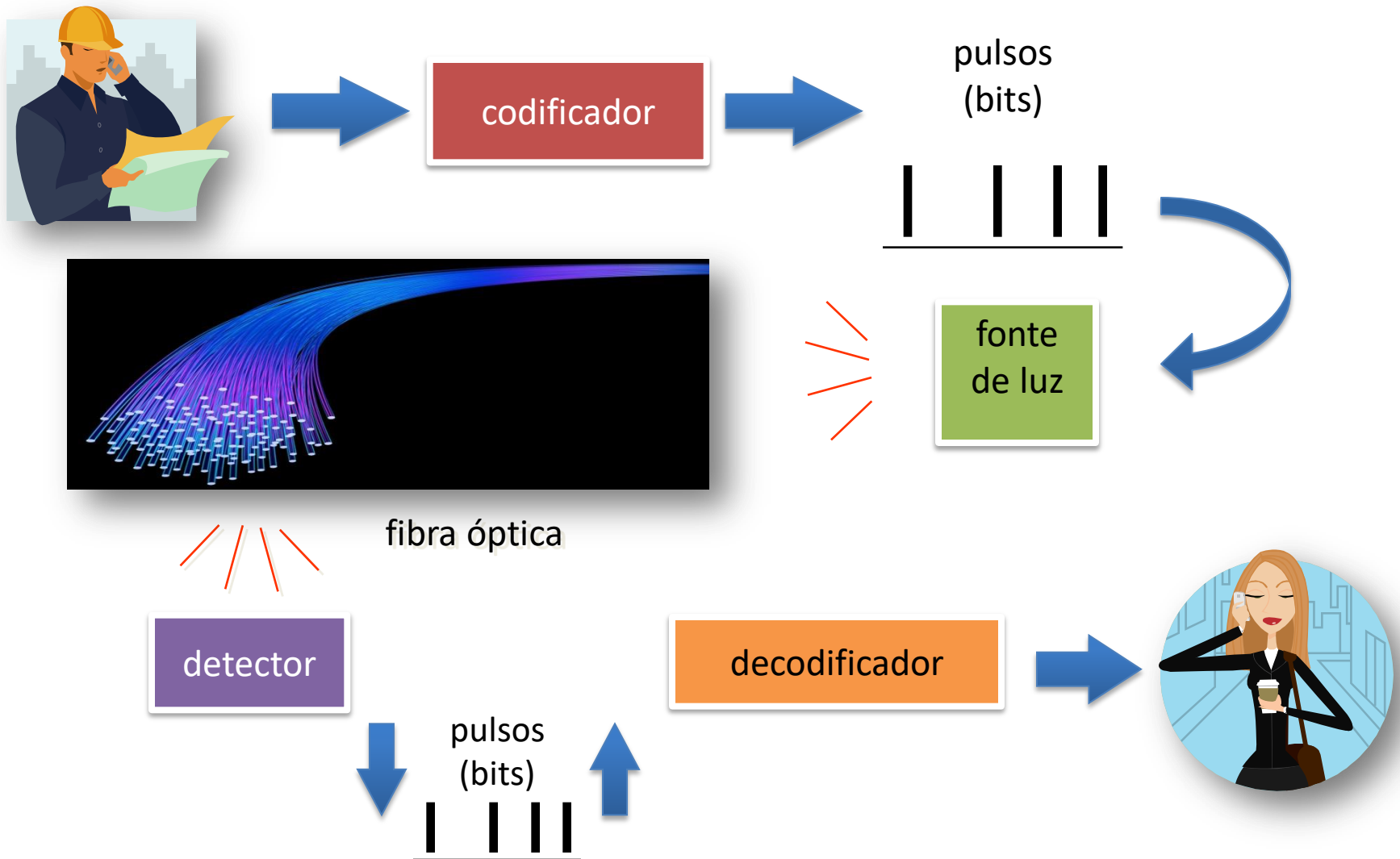
Fibra óptica



- ✓ Atenuação reduzida
- ✓ Alta capacidade de transmissão de informação
- ✓ Dimensões reduzidas
- ✓ Baixo peso
- ✓ Imunidade a interferência eletromagnética
- ✓ Imunidade a diafonia (linha cruzada)
- ✓ Não gera interferências
- ✓ Proteção contra “grampos”
- ✓ Abundância de matéria prima (quartzo)
- ✓ 2 bilhões de quilômetros de fibra instaladas (2016)

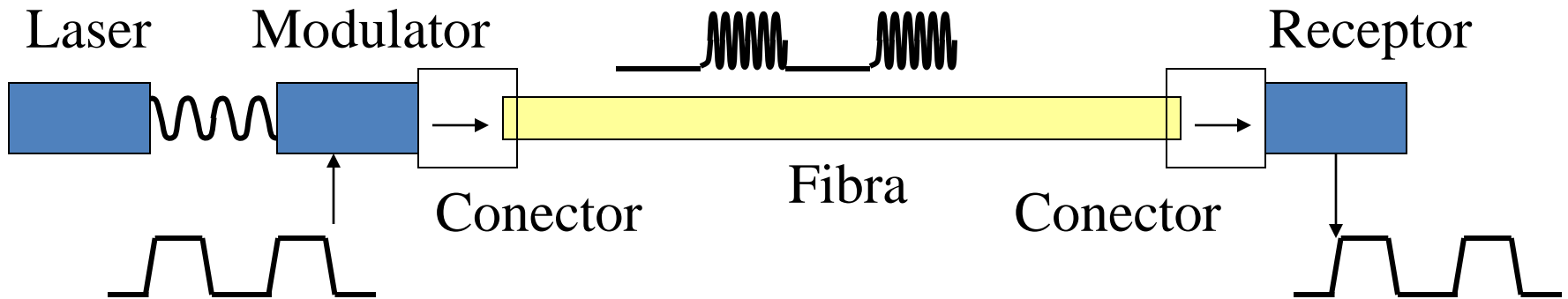


Sistema de comunicação óptica

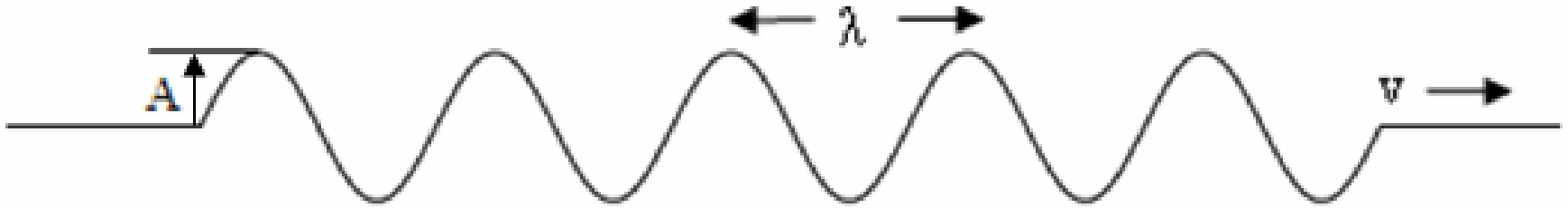


O que é uma “Rede Óptica”?

- ✓ Rede para transporte de dados via luz sobre fibras ópticas.



Propriedades de uma onda



velocidade

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

frequência

$$f = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda}$$

A velocidade da luz no vácuo é

$$c = 2,9979 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Índice de refração

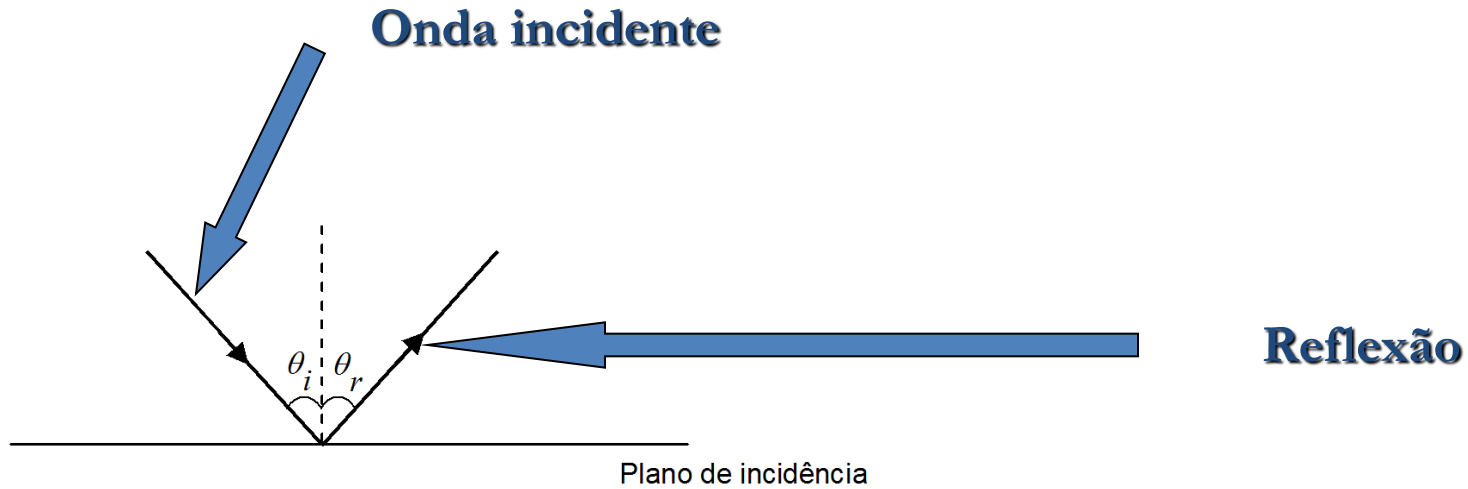
$$n = \frac{c}{v}$$

Onde v é a velocidade da luz num dado material transparente.
Para dois meios quaisquer:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Material	Índice de refração (n)
água	1,333
gelo	1,3
vidro	1,46 – 1,96
quartzo	1,54
Silício	1,477
GaAs	1,537

Reflexão

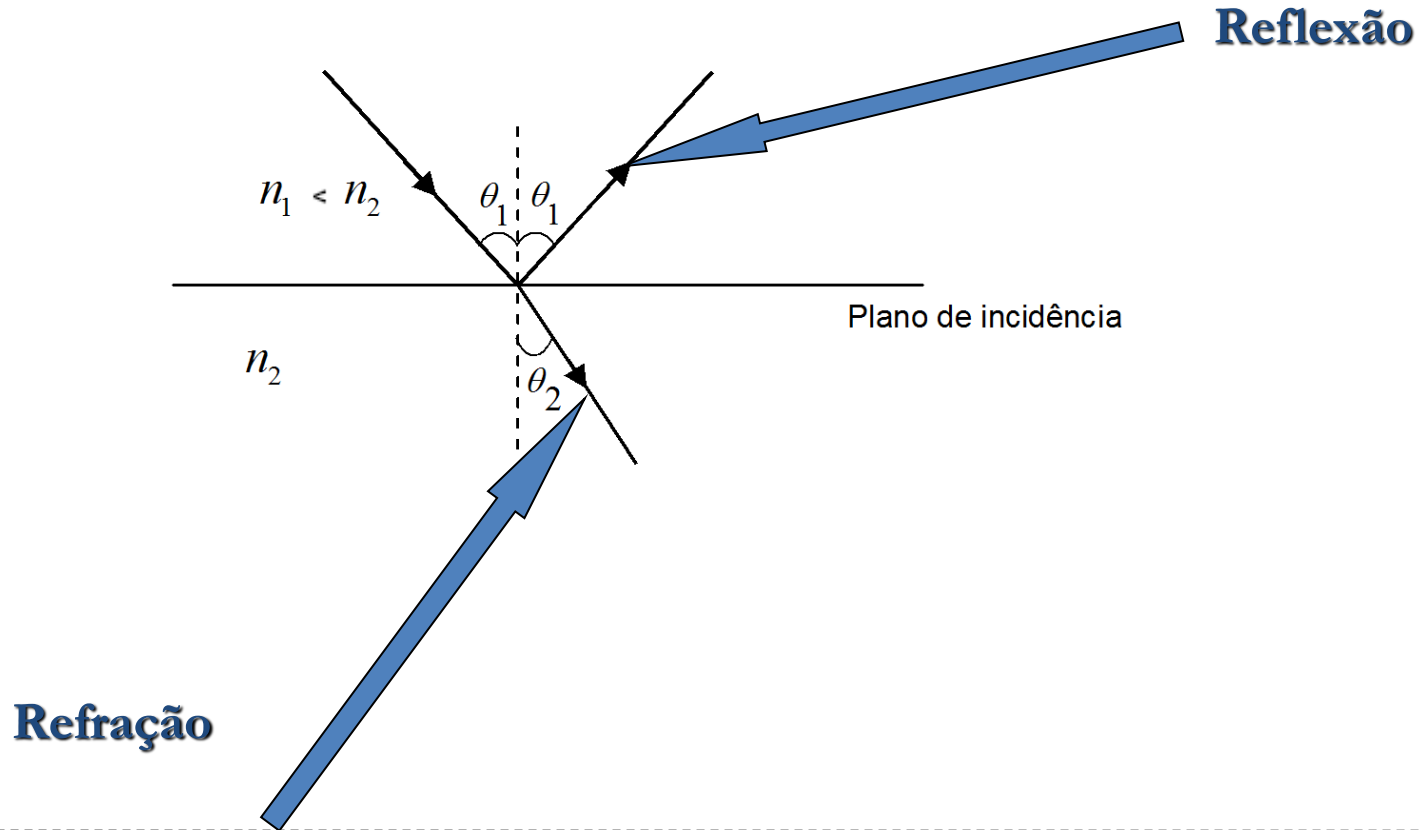


O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão

$$\theta_i = \theta_r$$

Refração

Quando um raio de luz atravessa uma fronteira entre dois materiais com diferentes índices de refração ocorre tanto reflexão quanto refração



Lei de Snell

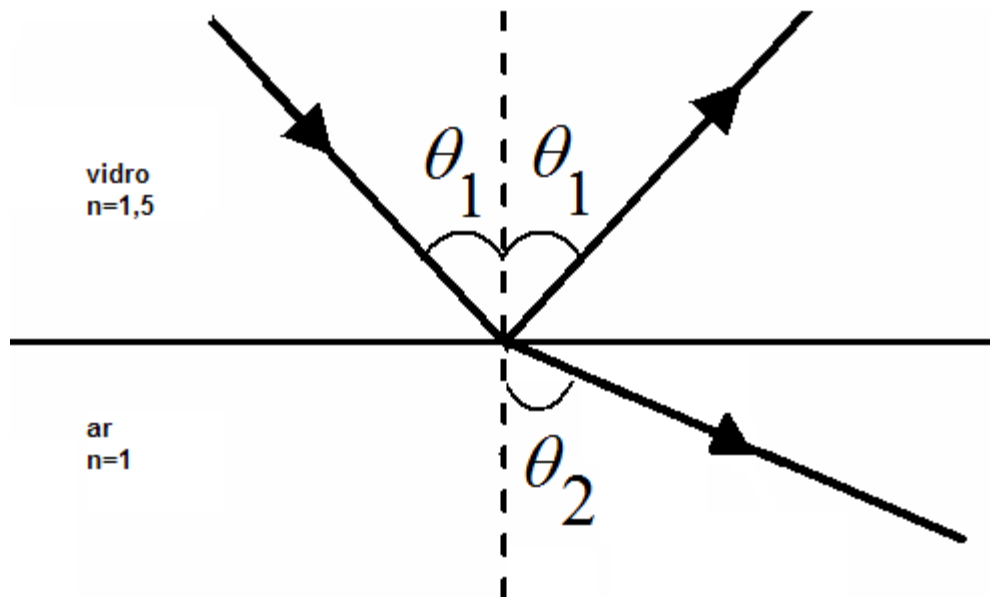
O raio refratado é desviado da direção de propagação A relação entre os ângulos de incidência e refração é dada pela lei de Snell

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2$$

$$\text{se } n_1 > n_2 \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} < 1 \quad \therefore \frac{\operatorname{sen} \theta_1}{\operatorname{sen} \theta_2} < 1$$

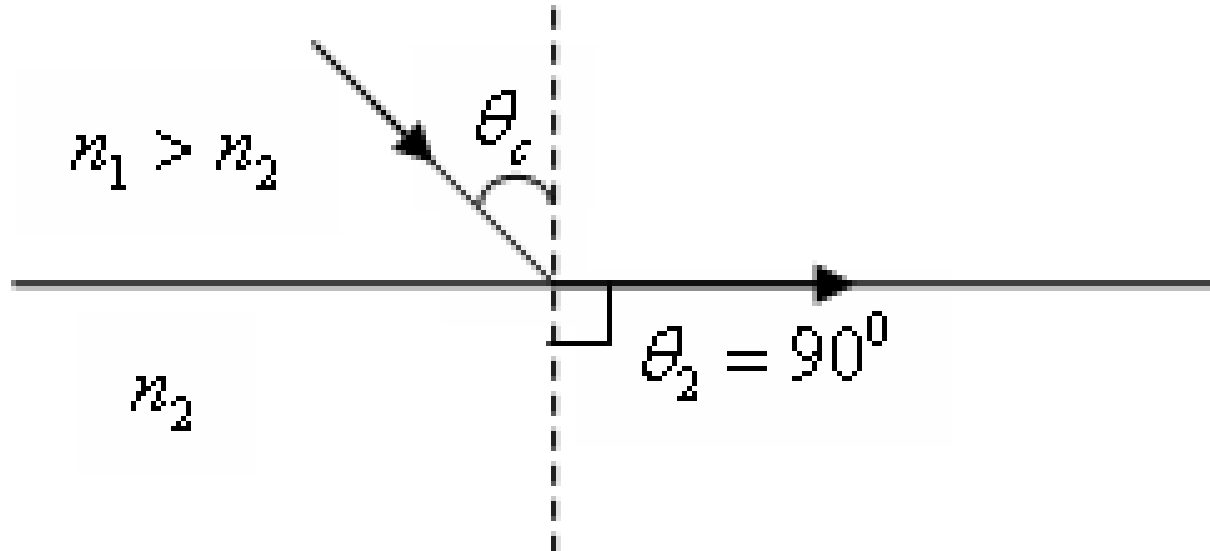
$$\text{ou } \operatorname{sen} \theta_1 < \operatorname{sen} \theta_2 \text{ portanto } \theta_1 < \theta_2$$

Exemplo



Ângulo Crítico

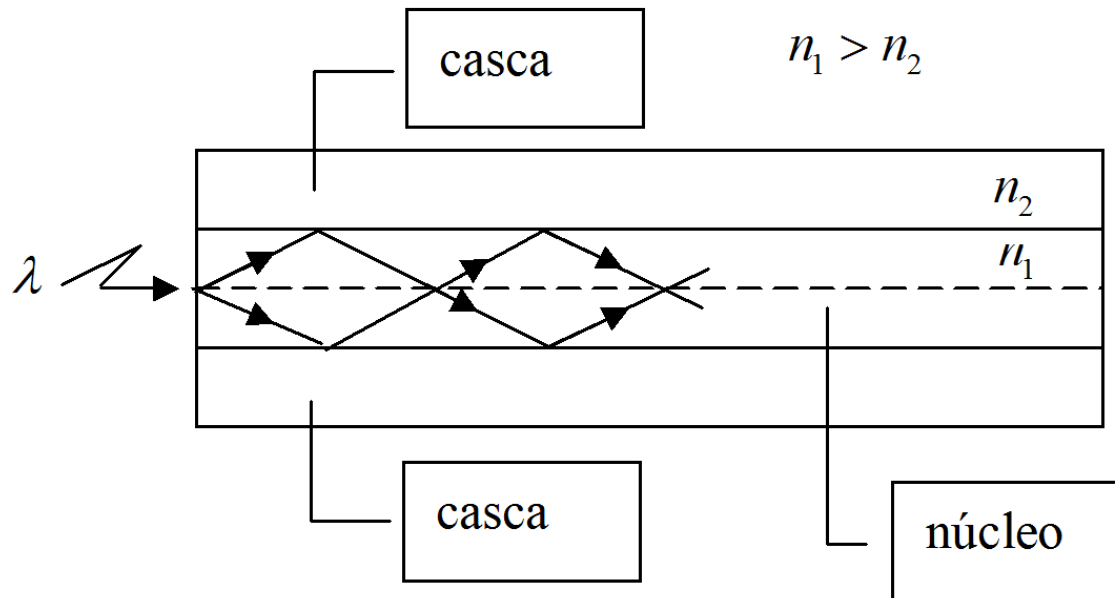
É o ângulo de incidência θ_1 para o qual $\theta_2=90^\circ$.



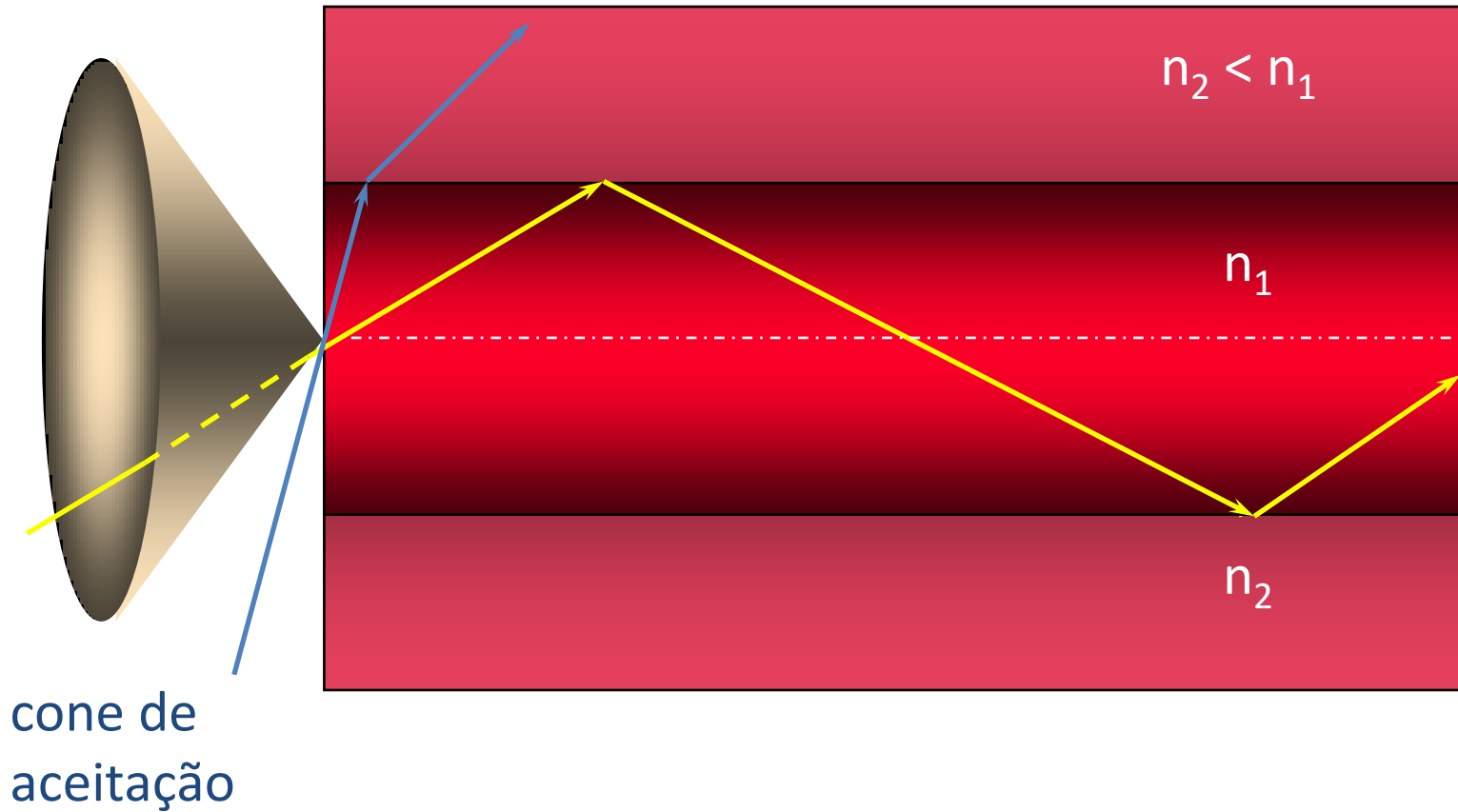
$$\text{sen}\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Não existe refração quando $\theta_1 \geq \theta_c$!

Numa fibra o índice de refração do material que compõe o núcleo é maior do que o índice de refração do material que compõe a casca .

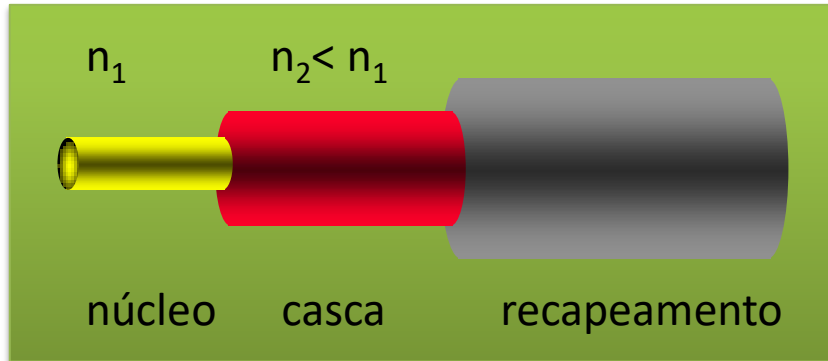


Cone de aceitação



O princípio básico de transmissão da luz ao longo da fibra consiste num processo de reflexão interna total que ocorre quando um feixe de luz emerge de um meio mais denso para um meio menos denso

Estrutura da fibra óptica



Composição de uma fibra

- ✓ são constituídas basicamente de materiais dielétricos;
 - ✓ Possui uma longa estrutura cilíndrica, transparente e flexível, de dimensões comparáveis às de um fio de cabelo humano;
 - ✓ A estrutura cilíndrica é composta de uma região central, denominada núcleo, por onde passa a luz; e uma região periférica denominada casca que envolve o núcleo.
-

Núcleo: O núcleo é um fino filamento de vidro ou plástico, medido em micrômetros (μm), por onde passa a luz. Quanto maior o diâmetro do núcleo mais luz ele pode conduzir.

Casca: Camada que reveste o núcleo. Por possuir índice de refração menor que o núcleo ela impede que a luz seja refratada, permitindo assim que a luz chegue ao dispositivo receptor.

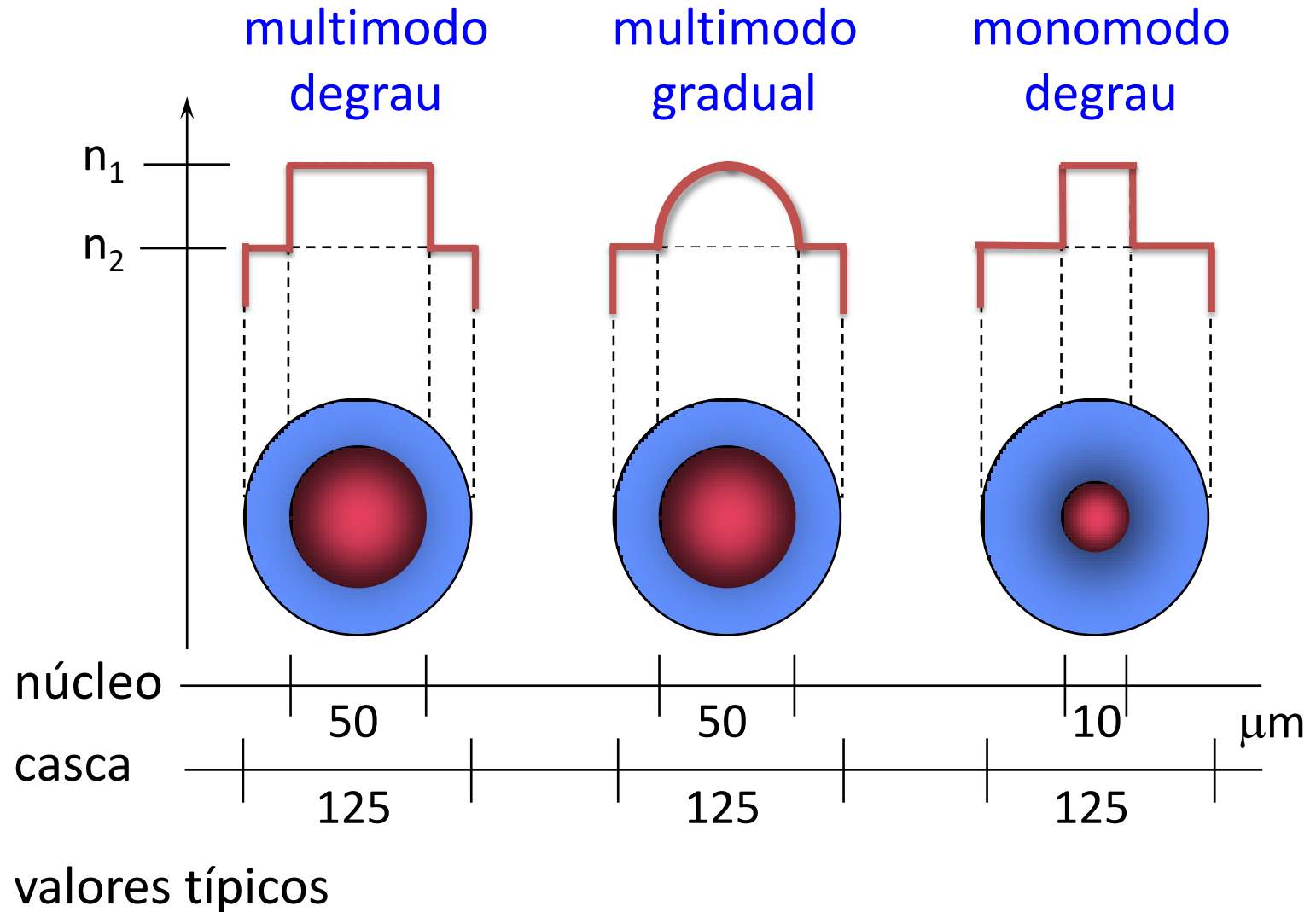
Capa: Camada de plástico que envolve o núcleo e a casca, protegendo-os contra choques mecânicos e excesso de curvatura.

Fibras de resistência mecânica: São fibras que ajudam a proteger o núcleo contra impactos e tensões excessivas durante a instalação.

Geralmente são feitas de um material chamado kevlar, o mesmo utilizado em coletes a prova de bala.

Revestimento externo: É uma capa que recobre o cabo de fibra óptica.

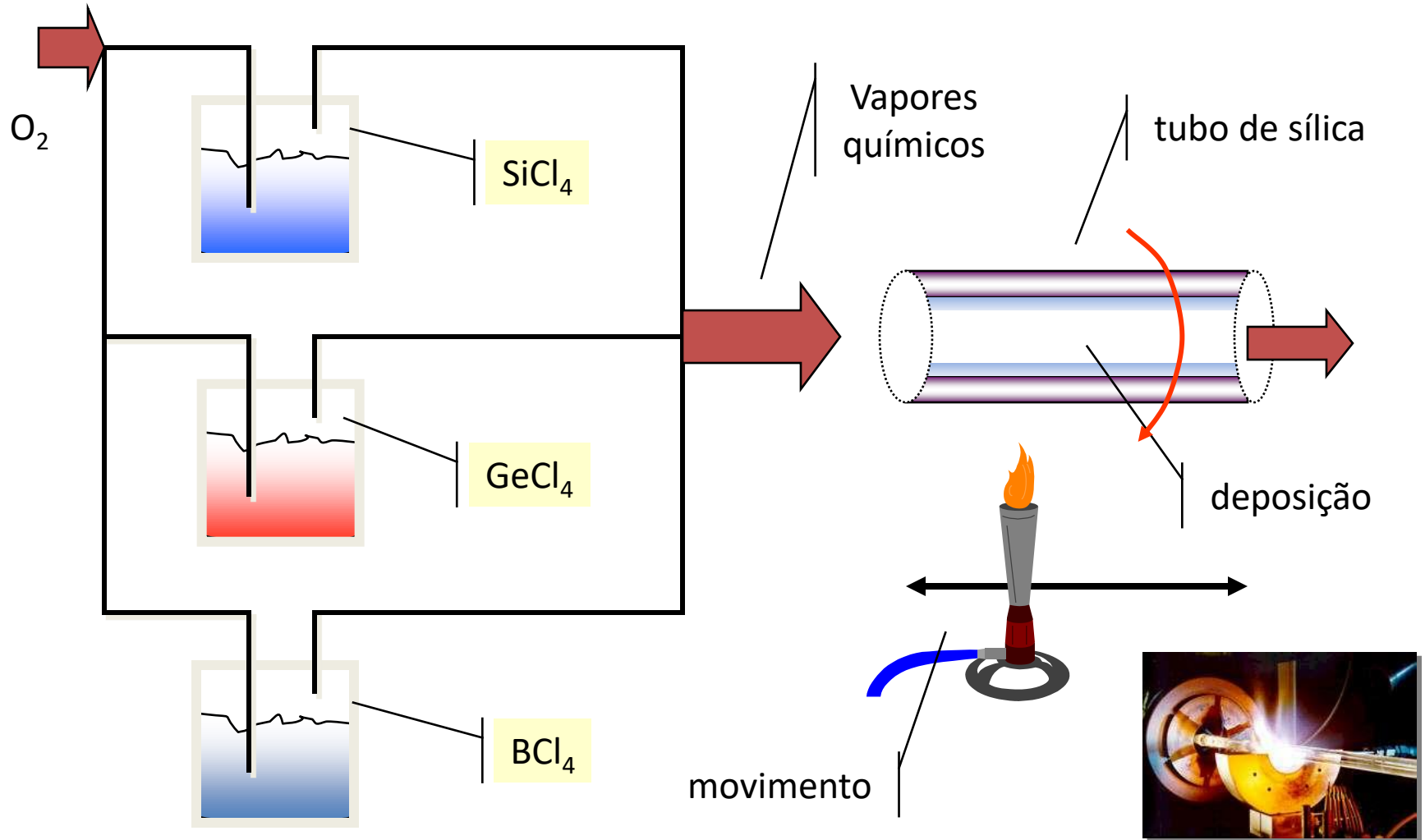
Perfil de Índice de Refração e Dimensões



Fibra óptica: panorama (Corning Inc.)

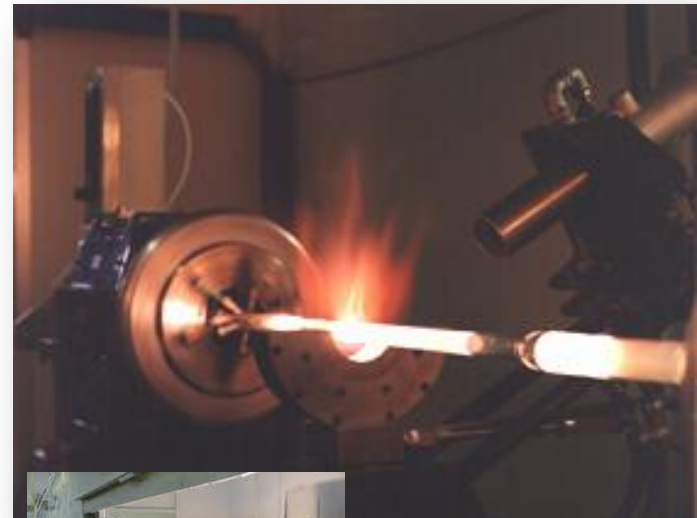
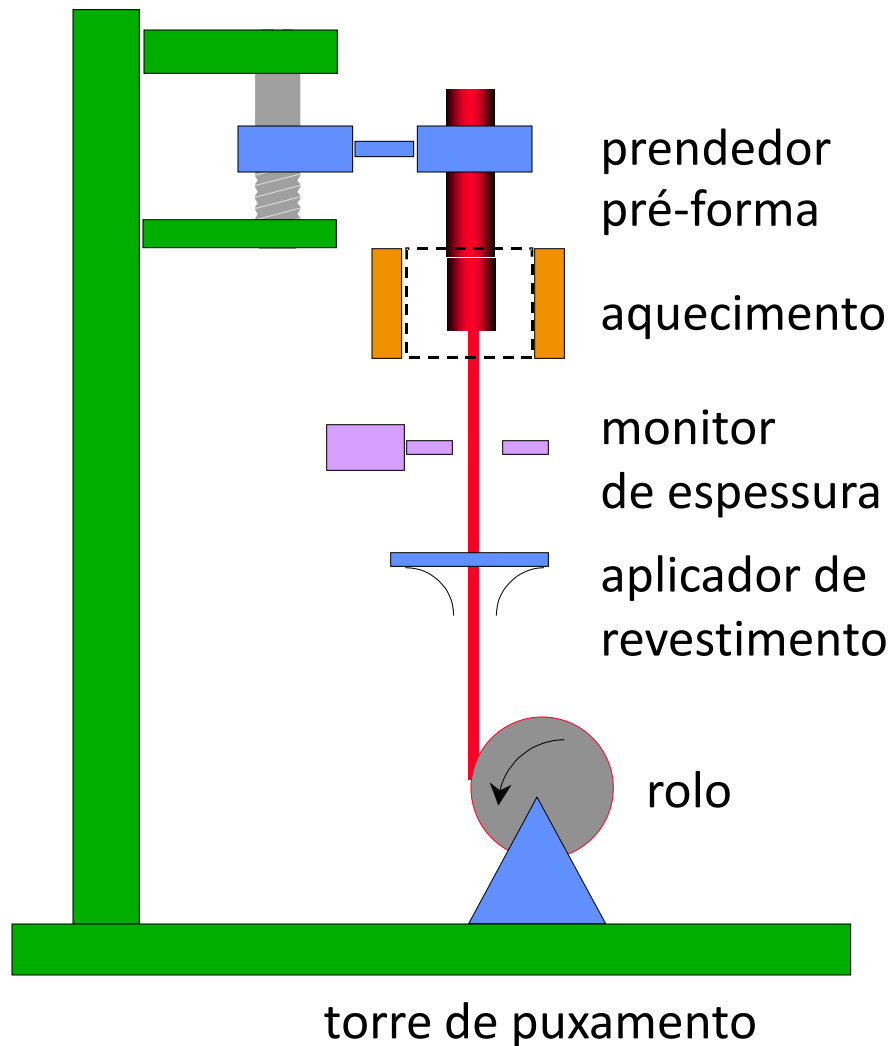
https://www.youtube.com/watch?v=N_kA8EpCUQo

Processo MCVD e pré-forma



MCVD: modified chemical vapor deposition

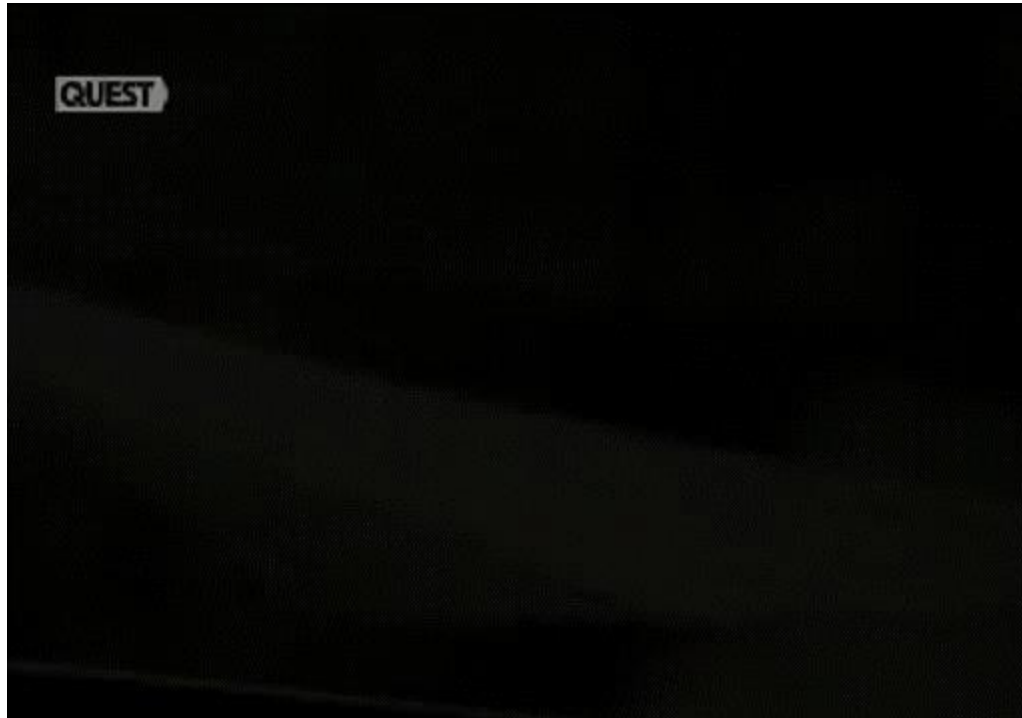
Torre de puxamento e pré-forma



pré-forma

a pré-forma possui, tipicamente, 10 mm de diâmetro e 60 a 90 cm de comprimento.

Fabricação da fibra óptica



<https://www.youtube.com/watch?v=uSnjo5tOGQA>

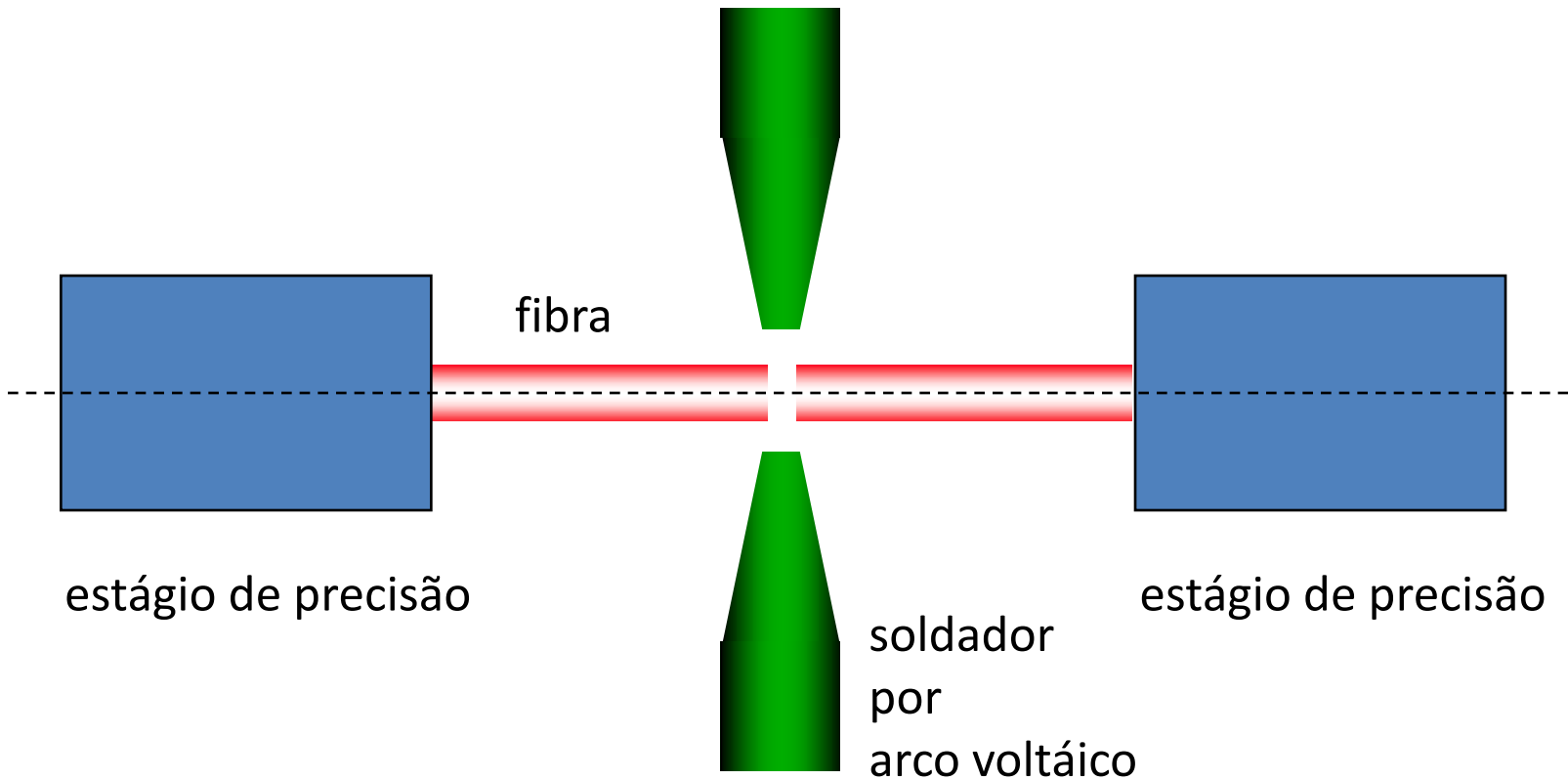
Fabricação do cabo de fibra óptica



<http://www.hfcl.com/>



Soldagem de fibras por fusão

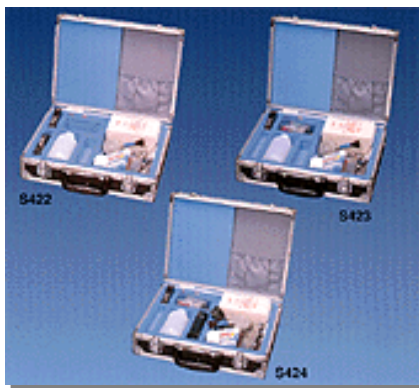


perdas de 0,1 dB
podem ser obtidas

Máquina de soldar fibras



Kits para clivagem

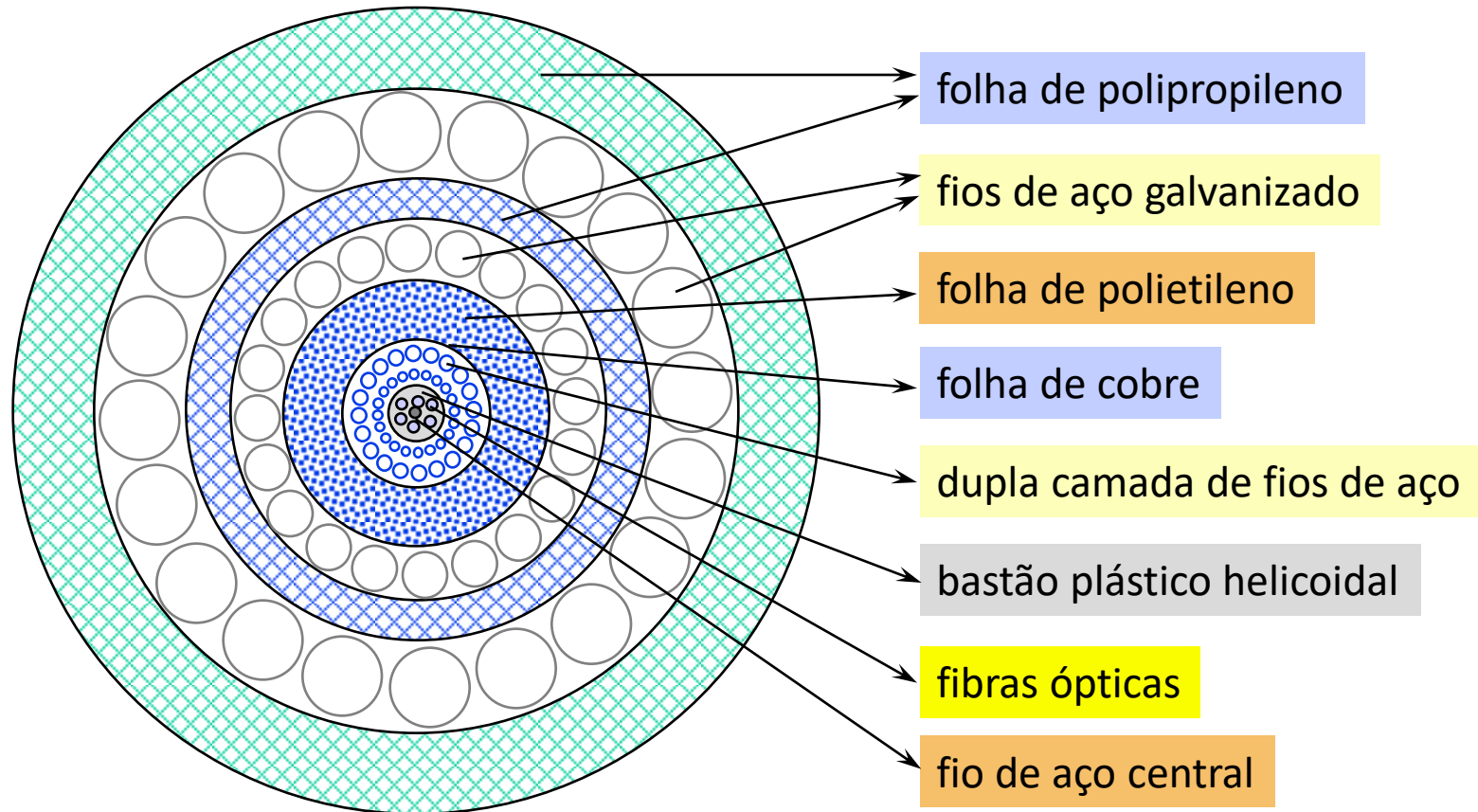


Máquinas de soldagem



www.furukawa.com

Estruturas de cabos ópticos submarinos



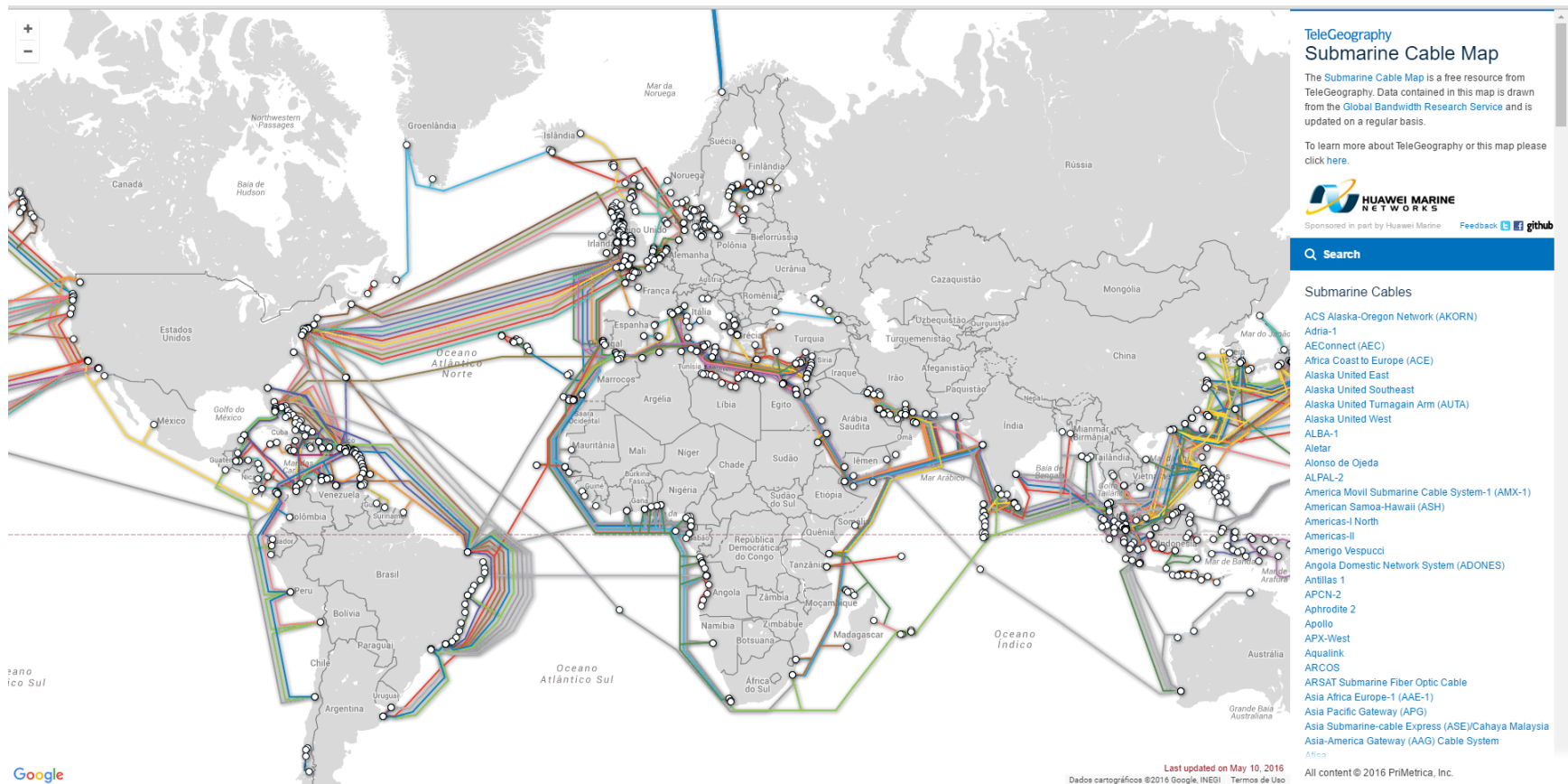
cabo Pirelli dupla armadura

Cabo submarino: seção amplificador óptico



www.te.com

Mapa cabos submarinos de fibra óptica



<http://www.submarinecablemap.com/>

<http://www.cablemap.info/>

<http://submarine-cable-map-2014.telegeography.com/>

Cabo óptico submarino: instalação



<https://www.youtube.com/watch?v=xE73hfGV1Es>

Parte da história das comunicações ópticas



1,15 μm

Laser
HeNe



Fibra óptica
100 dB/km

Fibra óptica
20 dB/km
Corning Glass



Laser
Semicondutor

Bell Labs
Em Chicago
47 Mbps
Voz, dados, vídeo

1960

1964

1966

1970

1971

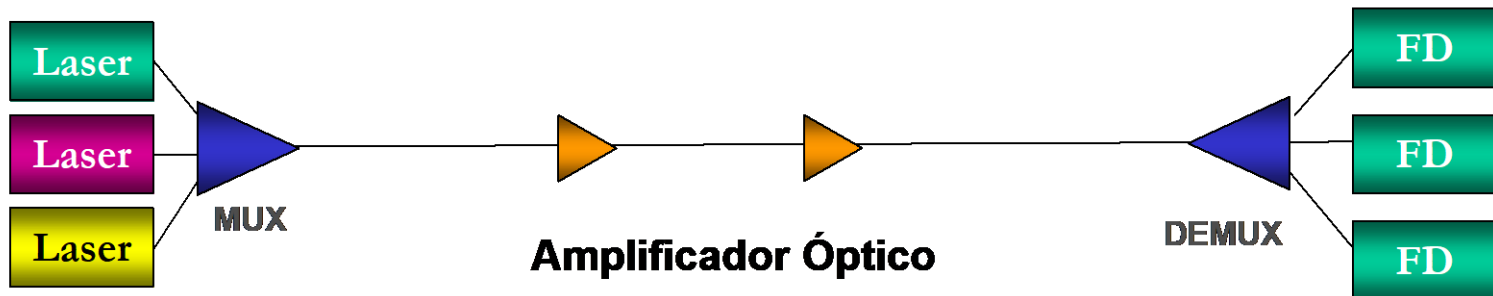
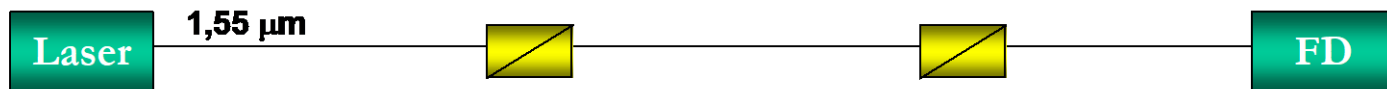
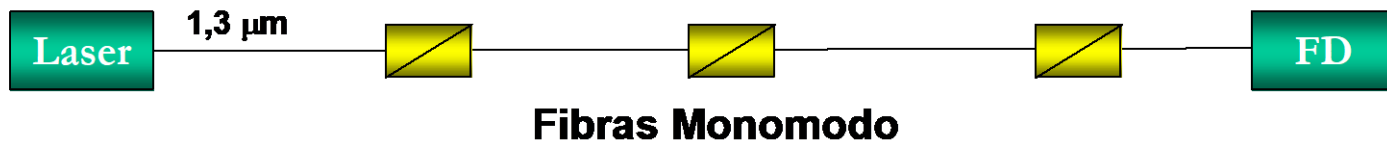
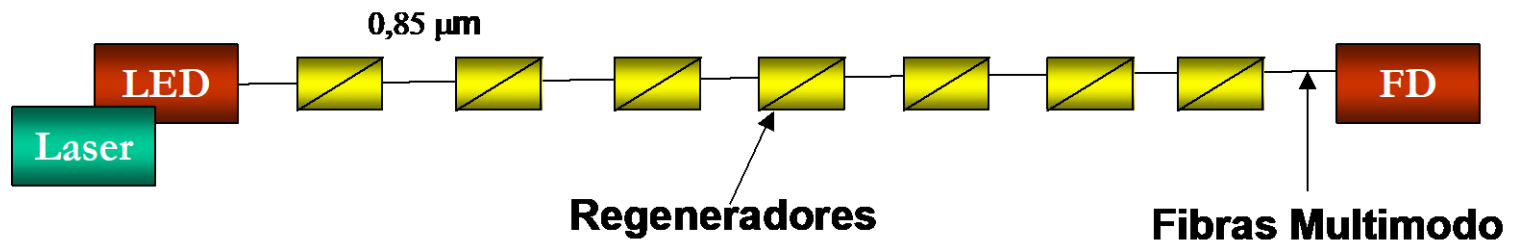
1977

Artigo
Kao

<http://photonics.usask.ca/interestingtopics/files/Laser%20Invention/LaserHistory.pdf>

<http://www.ofsoptics.com/labs/history.php>

Evolução das Redes Ópticas



Fotodetectores

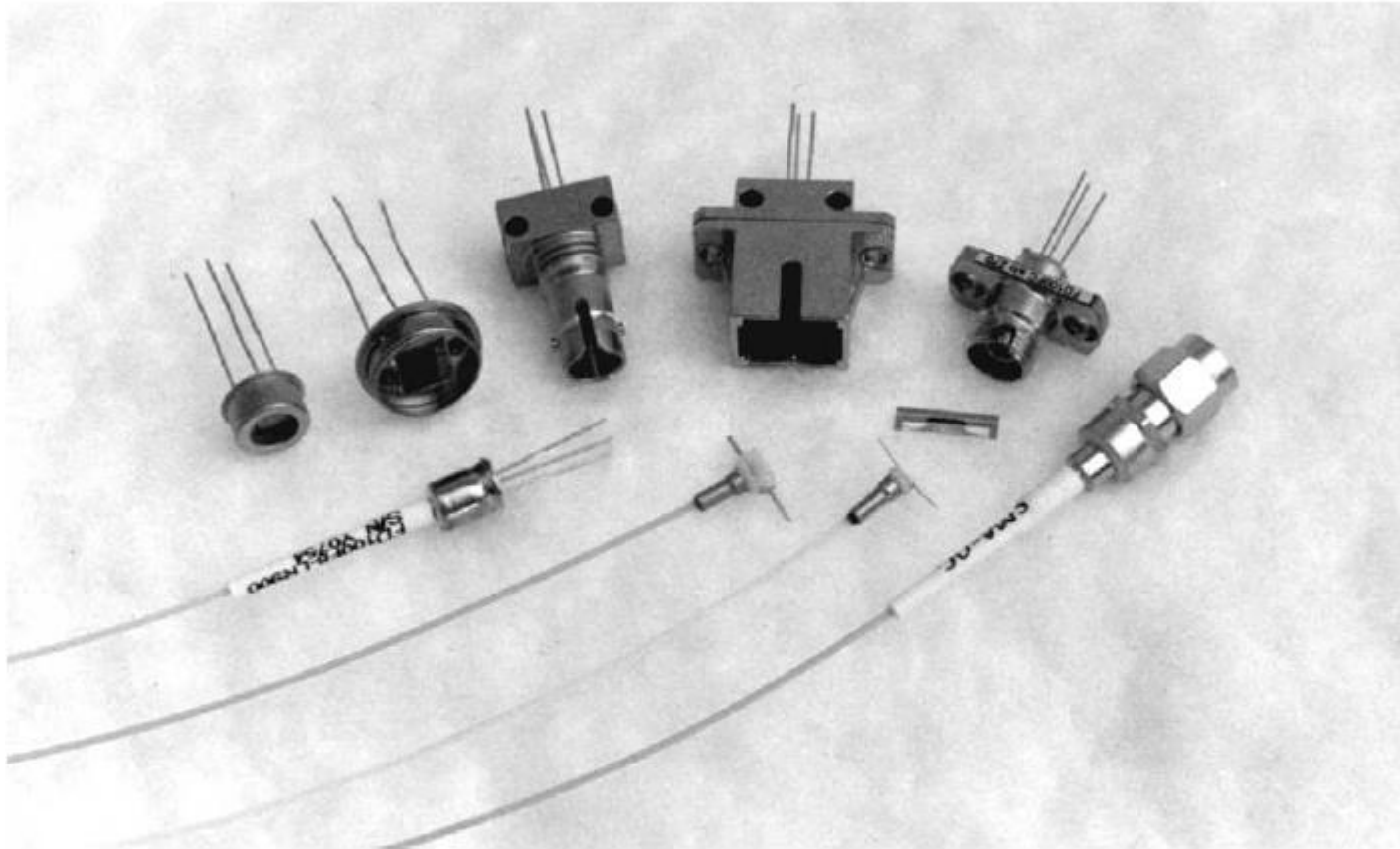


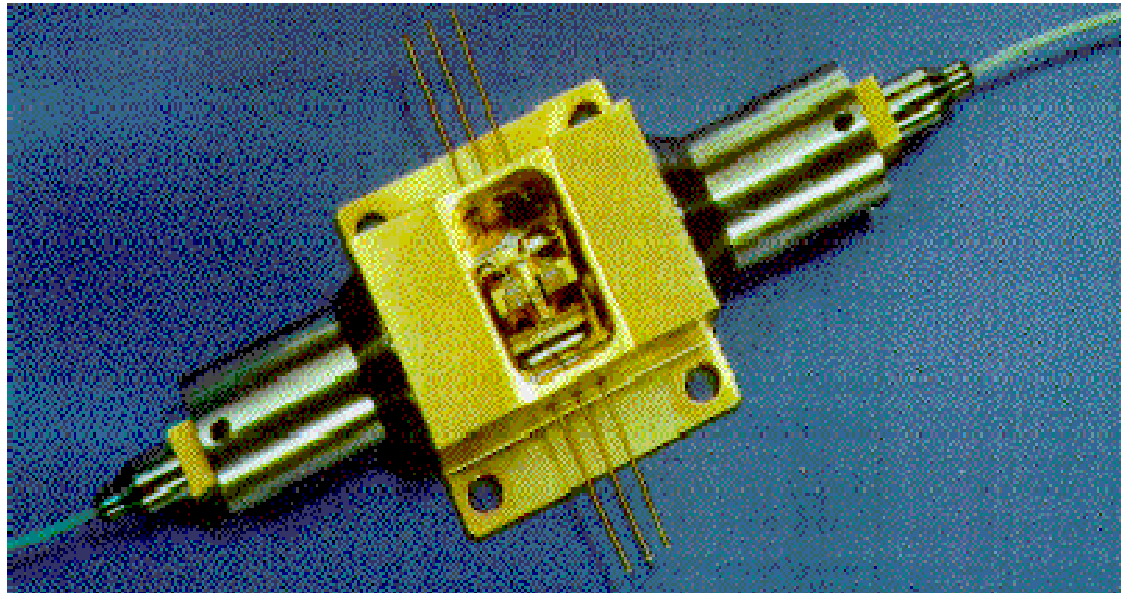
Figura 18 - Exemplos de fotodetectores

Amplificador Óptico

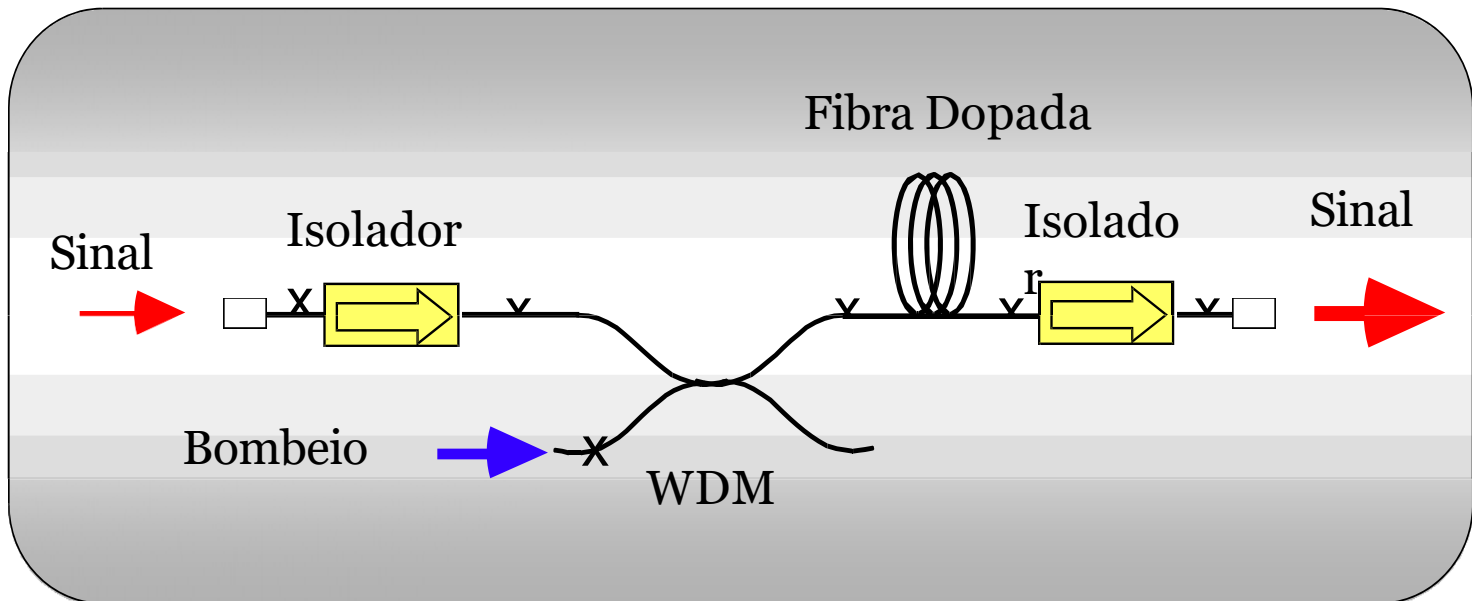
- ✓ O amplificador óptico semicondutor é similar a um laser semicondutor, a luz, ao passar pela junção p-n do dispositivo, quando ela está ativa, é amplificada, de forma que a intensidade de luz na saída é maior que aquela na entrada.
 - ✓ O dispositivo fornece um ganho líquido de intensidade para o sinal óptico a ele acoplado.
-

Amplificadores Ópticos

📖 AMPLIFICADOR A SEMICONDUTOR



Configuração Básica do Amplificador a Fibra Dopada

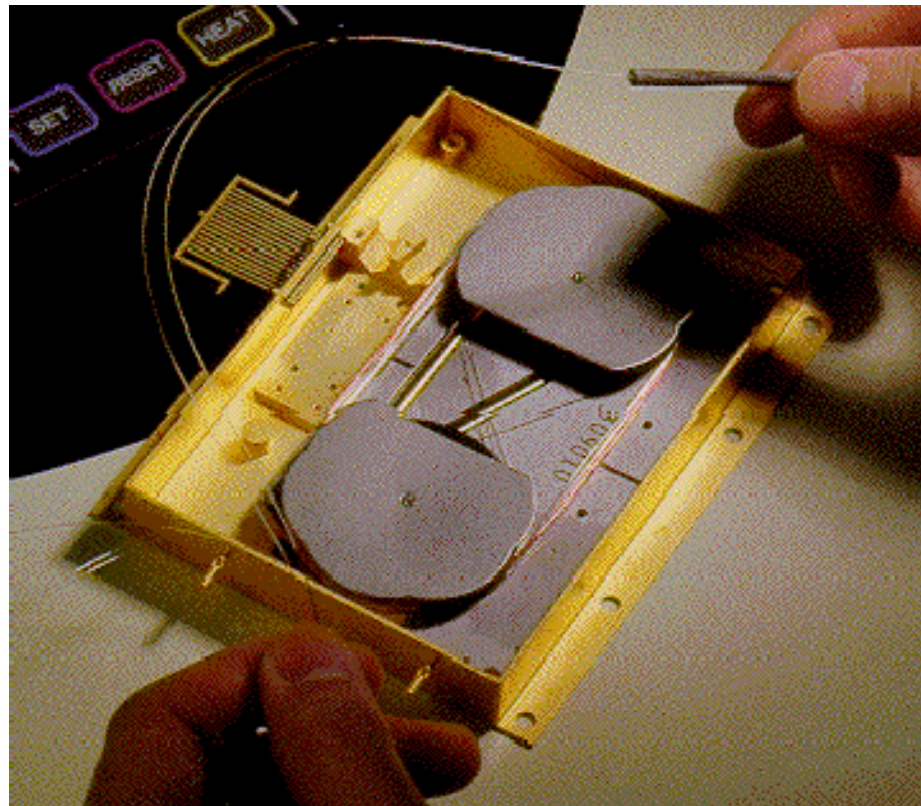


- Fibra Dopada com Érbio
- Laser de Bombeio
- Acoplador WDM
- Isoladores

Amplificadores Ópticos



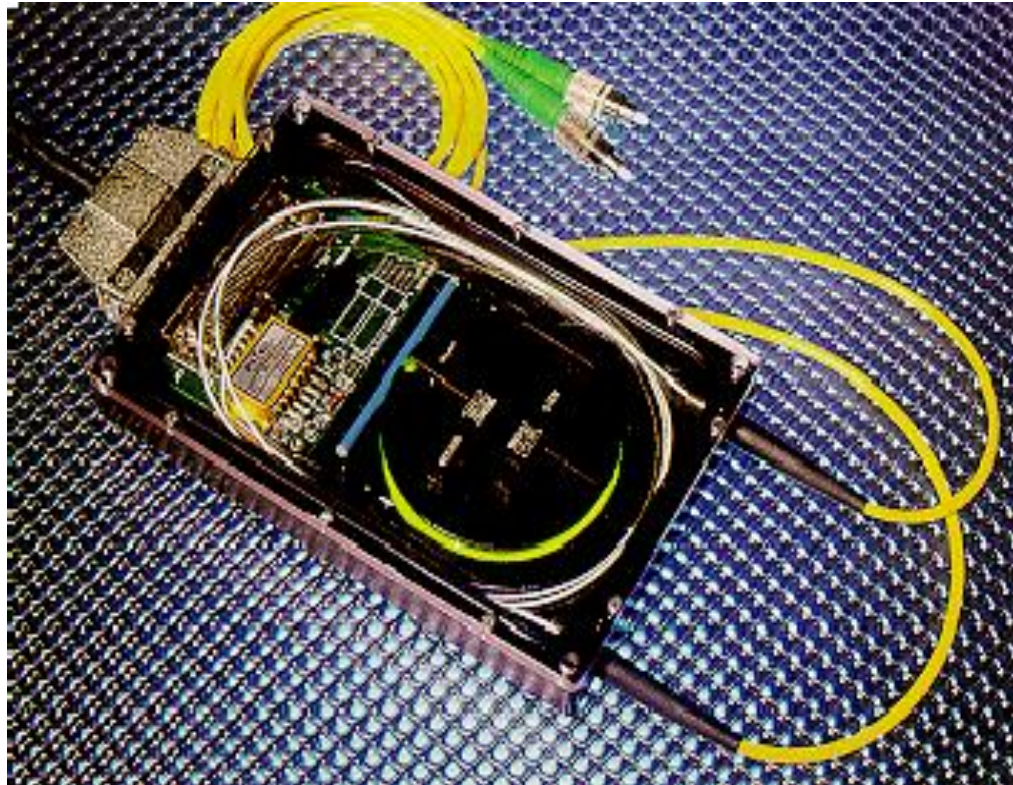
EDFA COMERCIAL



Fonte:
Corning

Amplificadores Ópticos

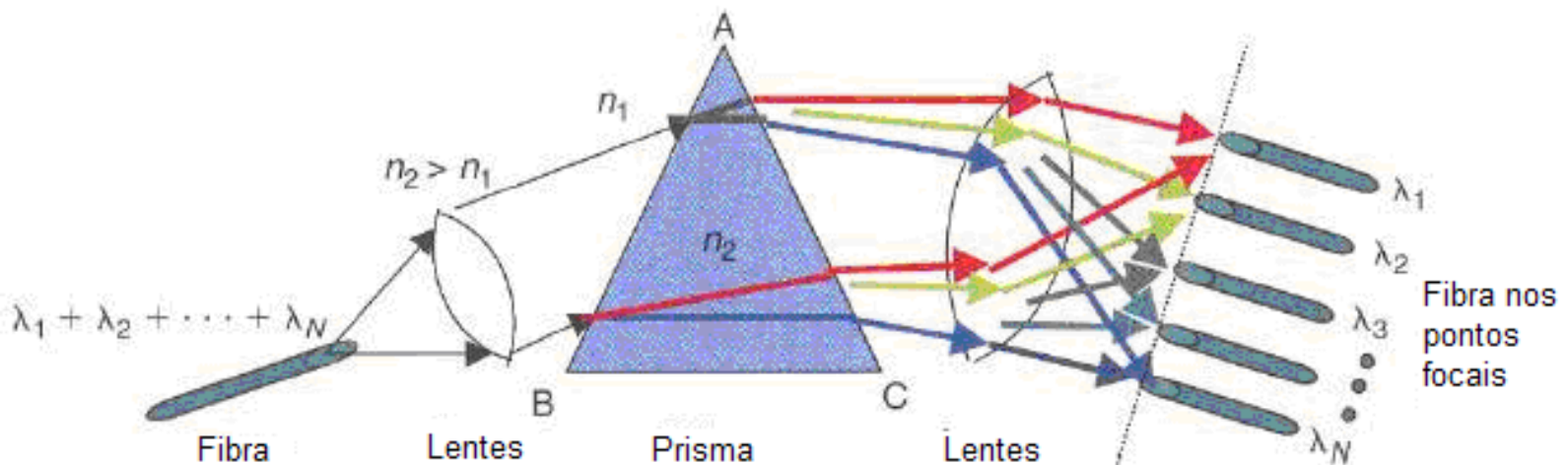
EDFA COMERCIAL



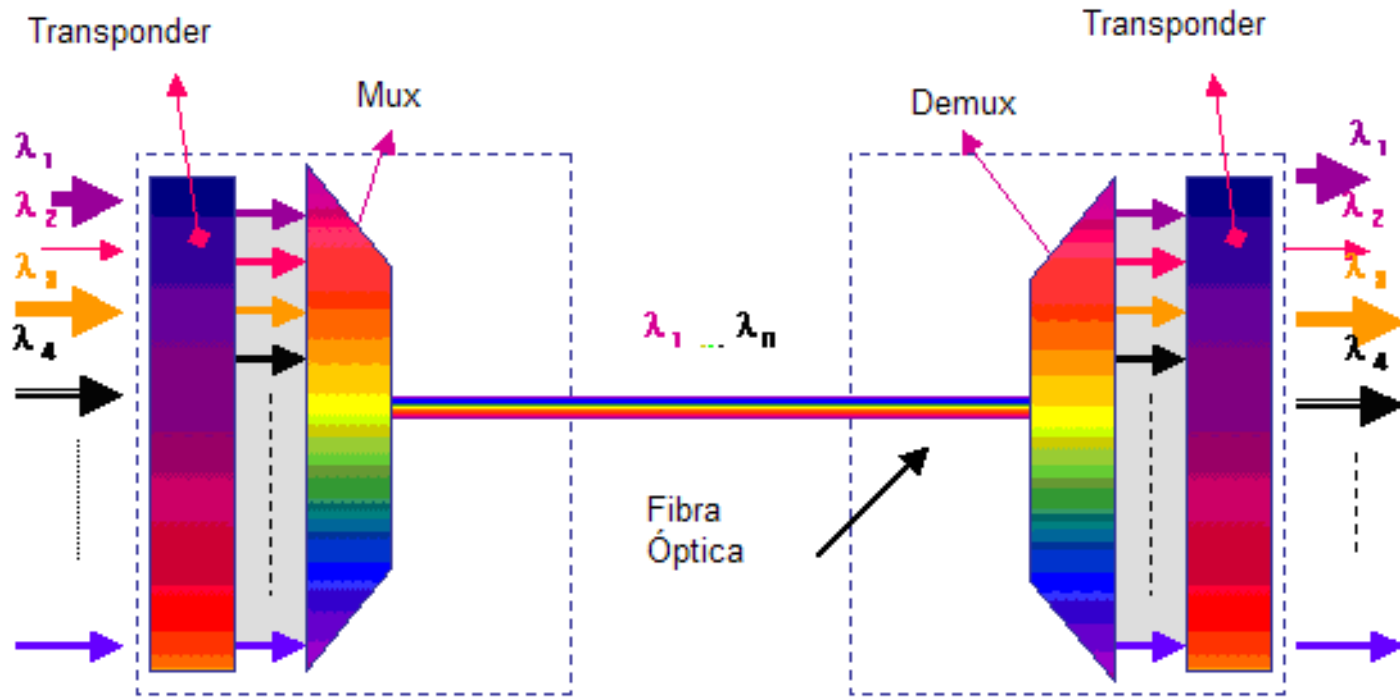
Fonte:
Corning

Sistemas WDM - Construção

- ✓ Uma maneira simples de multiplexação ou demultiplexação da luz é realizada utilizando-se um prisma



MUX, DEMUX e Transponder



Referências (1)

✓ Corning Inc.

- <https://www.youtube.com/watch?v=1bHVguGn4hU&list=PL516338BF64D50B6E&index=2>
- <https://www.youtube.com/watch?v=7FI-plS3u5s&list=PL516338BF64D50B6E&index=1>
- The Glass Age, Part 2: Strong, Durable Glass
 - <https://www.youtube.com/watch?v=13B5K IAabw>
- The Glass Age, Part 1: Flexible, Bendable Glass
 - <https://www.youtube.com/watch?v=12OSBJwogFc>

✓ TE Subcom Undersea Cable Network - Our Proces (cabo submarino)

- <https://www.youtube.com/watch?v=ovi5dEdkaoA>

Referências (2)

- ✓ Nasa
- ✓ Sensor de corrosão e substâncias químicas
 - https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2007/ps_1.html
- ✓ Boeing 777 Electrical Equipment Bay Tour
 - <https://www.youtube.com/watch?v=I5qNEkjtJbs>
- ✓ Boeing 777 E/E Bay
 - <https://www.youtube.com/watch?v=2S-Cggs1jOo>
- ✓ Boeing 787 Main Equipment Bay (2:06 minutos)
 - <https://www.youtube.com/watch?v=z7kiWrLah10>

Referências (3)

✓ Omnisens

- Long distance power cable and umbilical monitoring
 - <https://www.youtube.com/watch?v=Pb1eLM7Lupw>
- Why every new pipeline should have fiber optic monitoring
 - <https://www.youtube.com/watch?v=a0eX6inST3Y>

Referências

- ✓ Avionics Optical Cables, OFS Optics, Furukawa Co. (bom texto)
 - www.ofsoptics.com/pdf/avionics_brochure.pdf
- ✓ Aertec: Fiber optics in aircraft
 - www.aertecsolutions.com/2014/03/03/fiber-optics-on-aircrafts/?lang=en
- ✓ Photonics: Fiber optics in avionics: Upward bound
 - www.photonics.com/Article.aspx?AID=43343
- ✓ Tomorrow's airplanes may have fiber optic sensors
 - <http://sti.epfl.ch/page-81186-en.html>
- ✓ On Airplanes, Fiber Optics Poised To Reach New Heights
 - www.sciencedaily.com/releases/2006/09/060918164717.htm
- ✓ Fiber Optics For Flight Control Systems: Bryan William Harris, University of Dayton, master thesis
 - https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=dayton1418340523&disposition=inline
- ✓ Aircraft Fiber Optic Maintenance, KITCO Fiber Optics
 - www.copybook.com/companies/kitco-fiber-optics/articles/aircraft-fiber-optic-maintenance
- ✓ Luna: sensores
 - www.youtube.com/watch?v=T-ZVWUx8gBo&feature=youtu.be