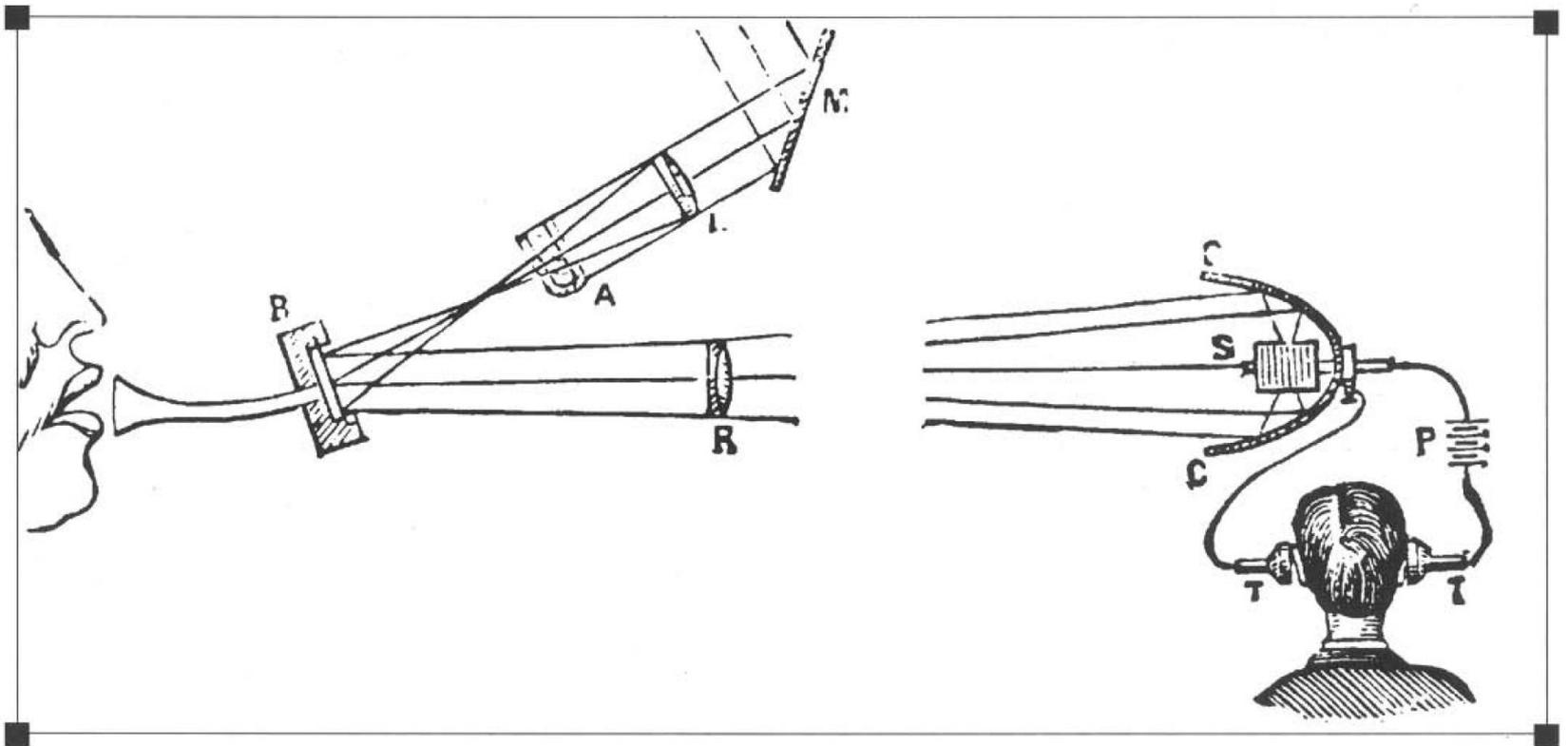


Sistemas de comunicação óptica

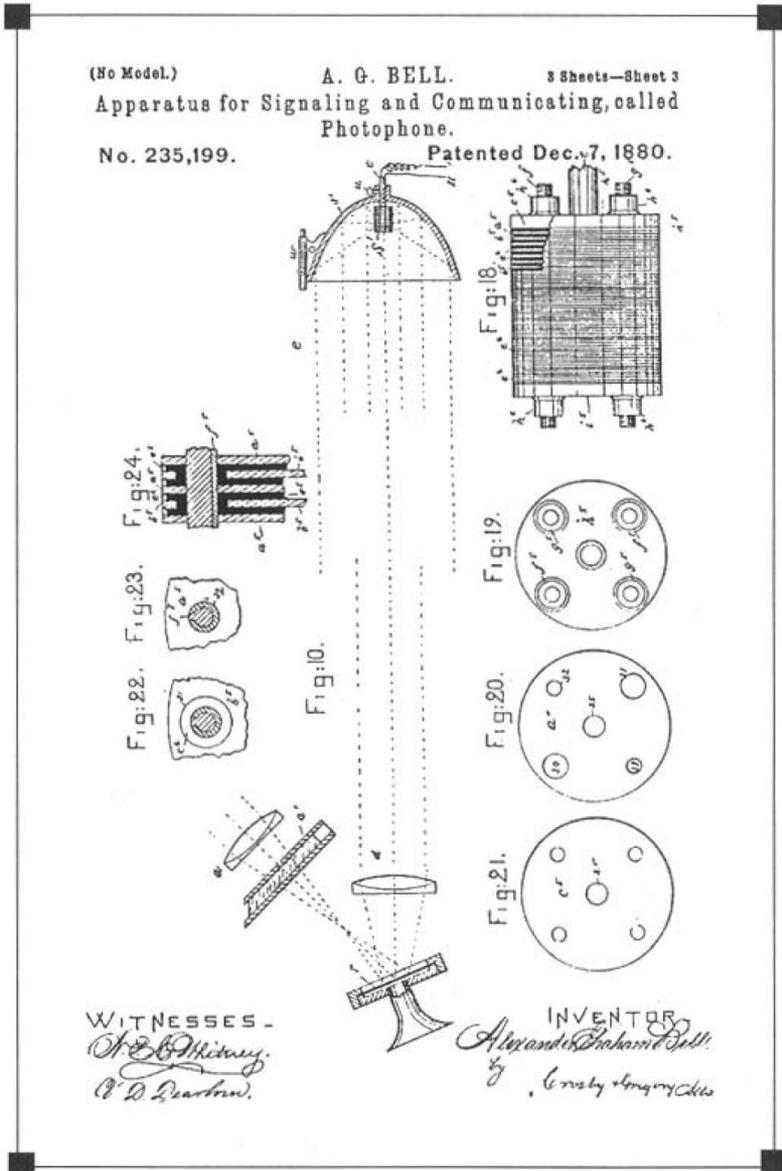
Introdução

- 1880 Alexander Graham Bell: Fotofone



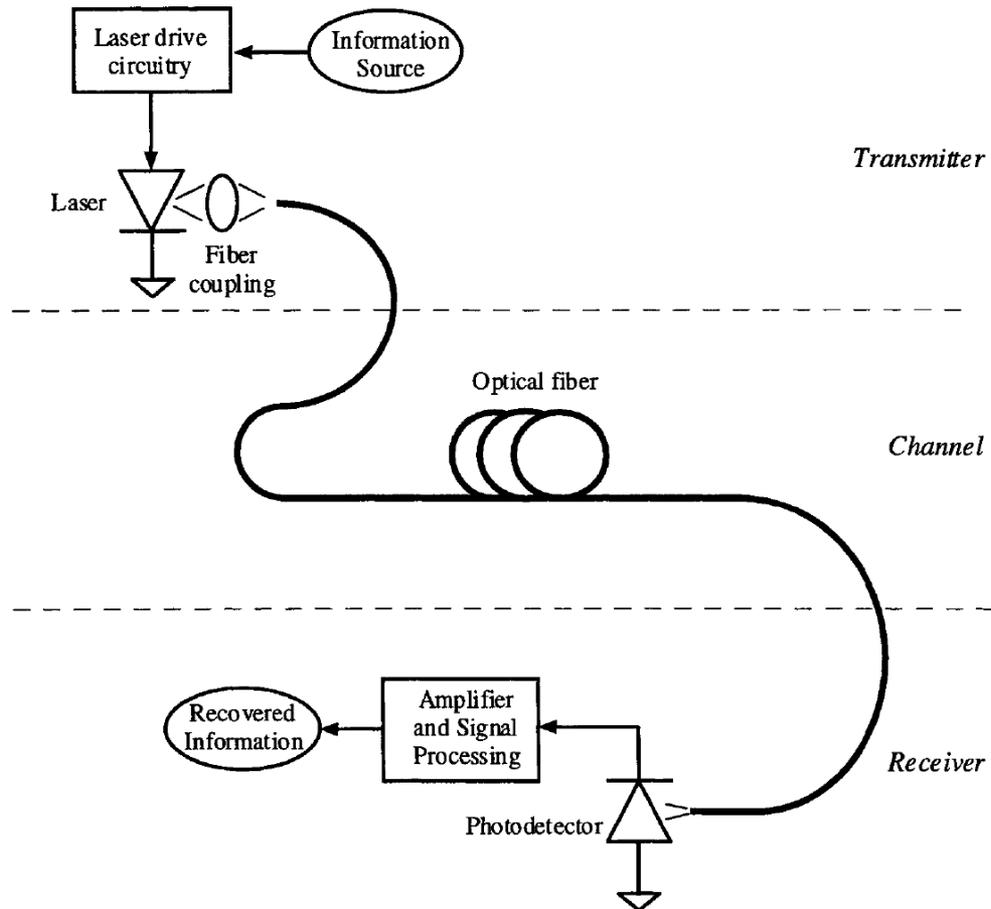
Introdução

- Patente do fofone:



Sistema de Fibra Óptica

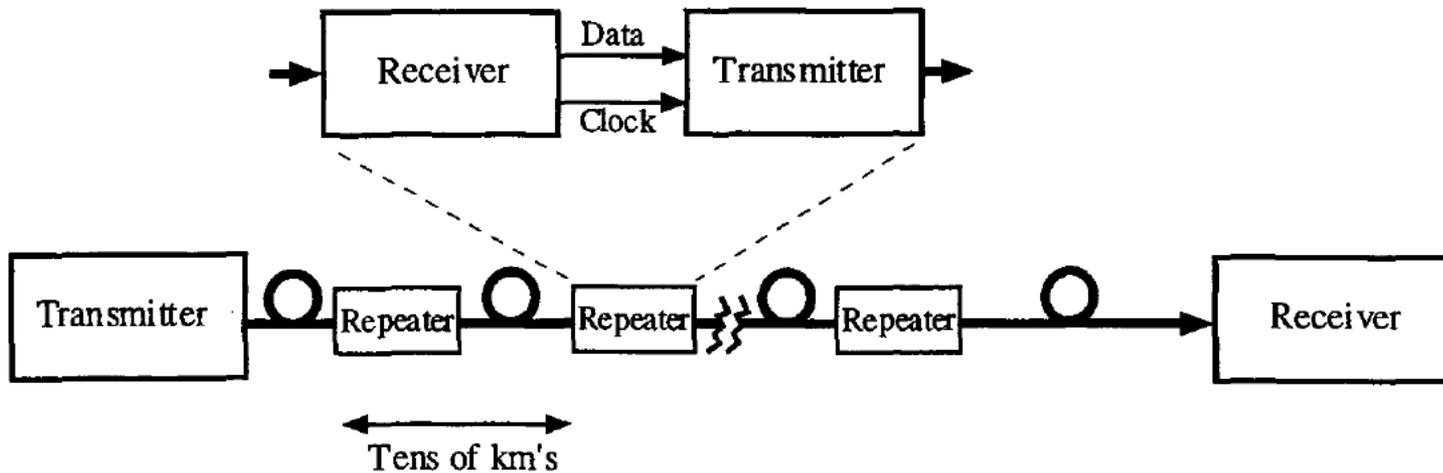
Ligação ponto-a-ponto



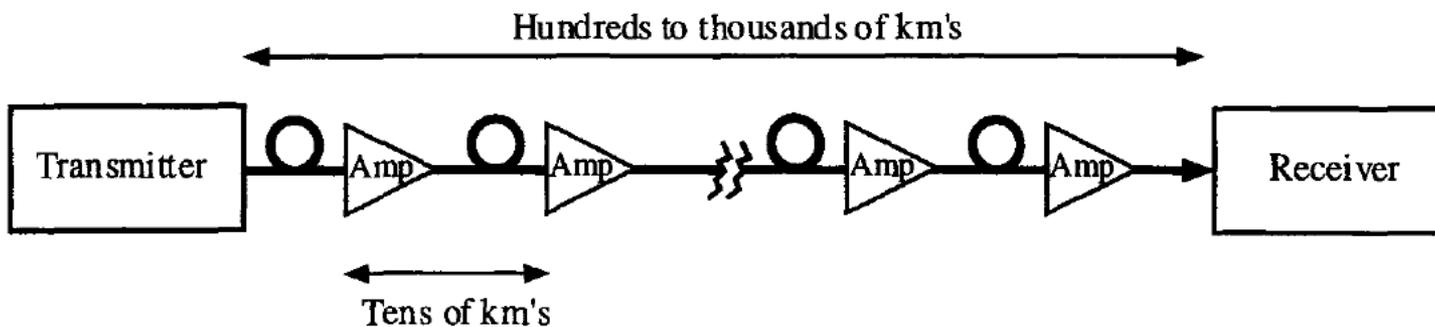
Sistema de Fibra Óptica

Sistemas de longa distância

Long-Haul using repeaters:



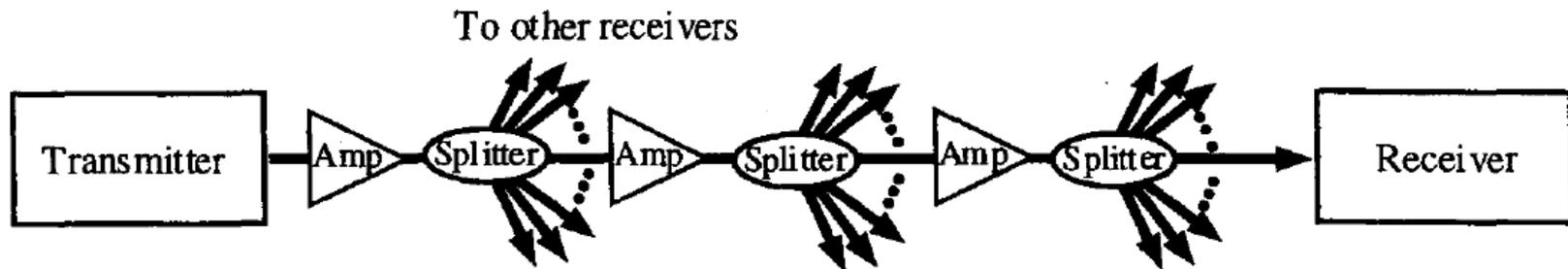
Repeaterless Long-Haul:



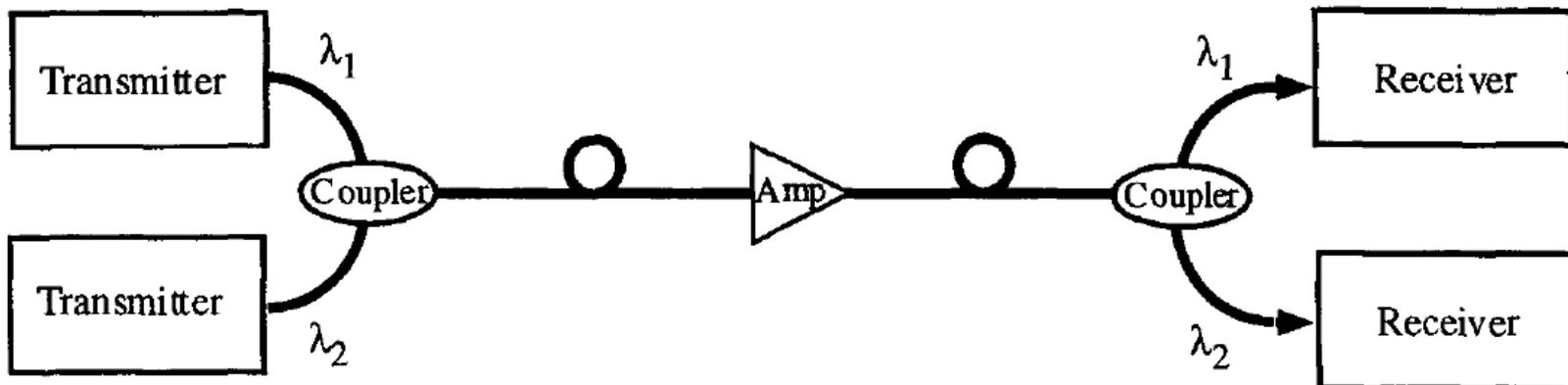
Sistema de Fibra Óptica

Sistemas de distribuição

Broadcast:



Wavelength Division Multiplexing:



Sistemas de comunicação óptica no espaço livre

Satélites

GEO (HEO): Geosynchronous-Earth-Orbit

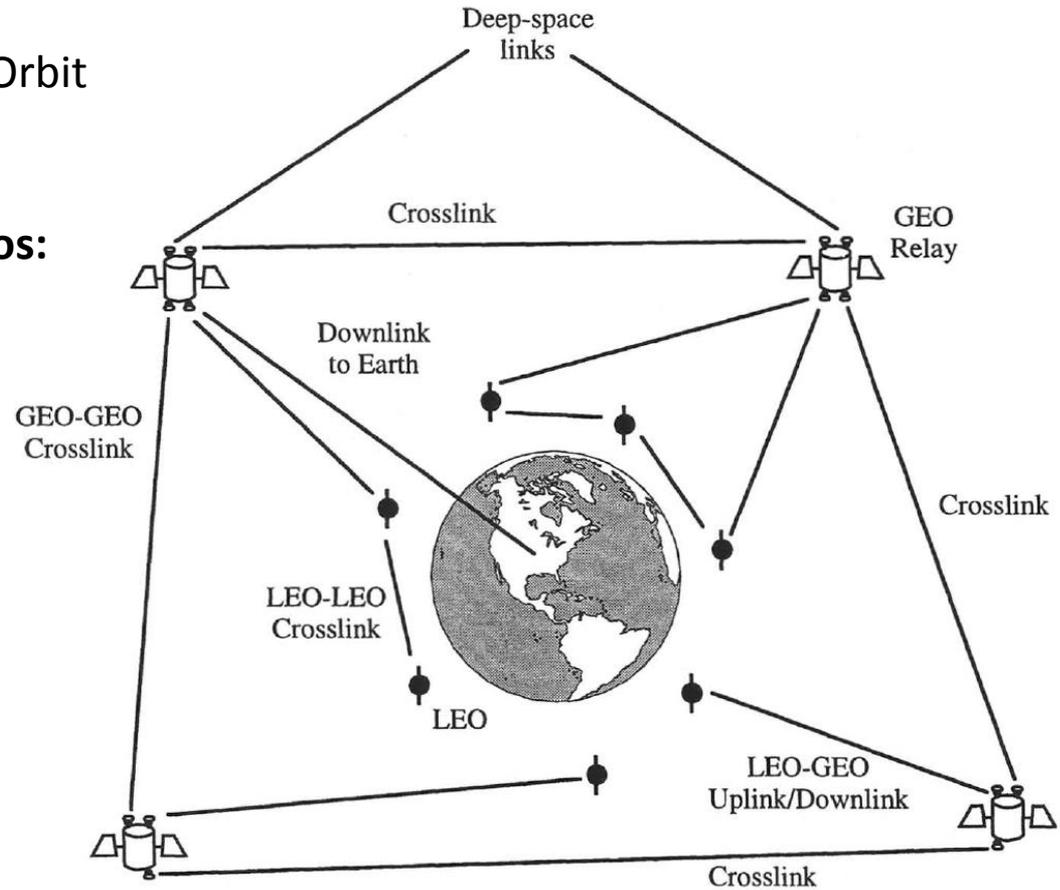
LEO: Low-Earth-orbit

Elevada taxa de transmissão de dados:

Fontes Laser a semiconductor

Apertura de telescópio de 25 cm

Taxa elevada de 1 Gbps



Sistemas de comunicação óptica no espaço livre

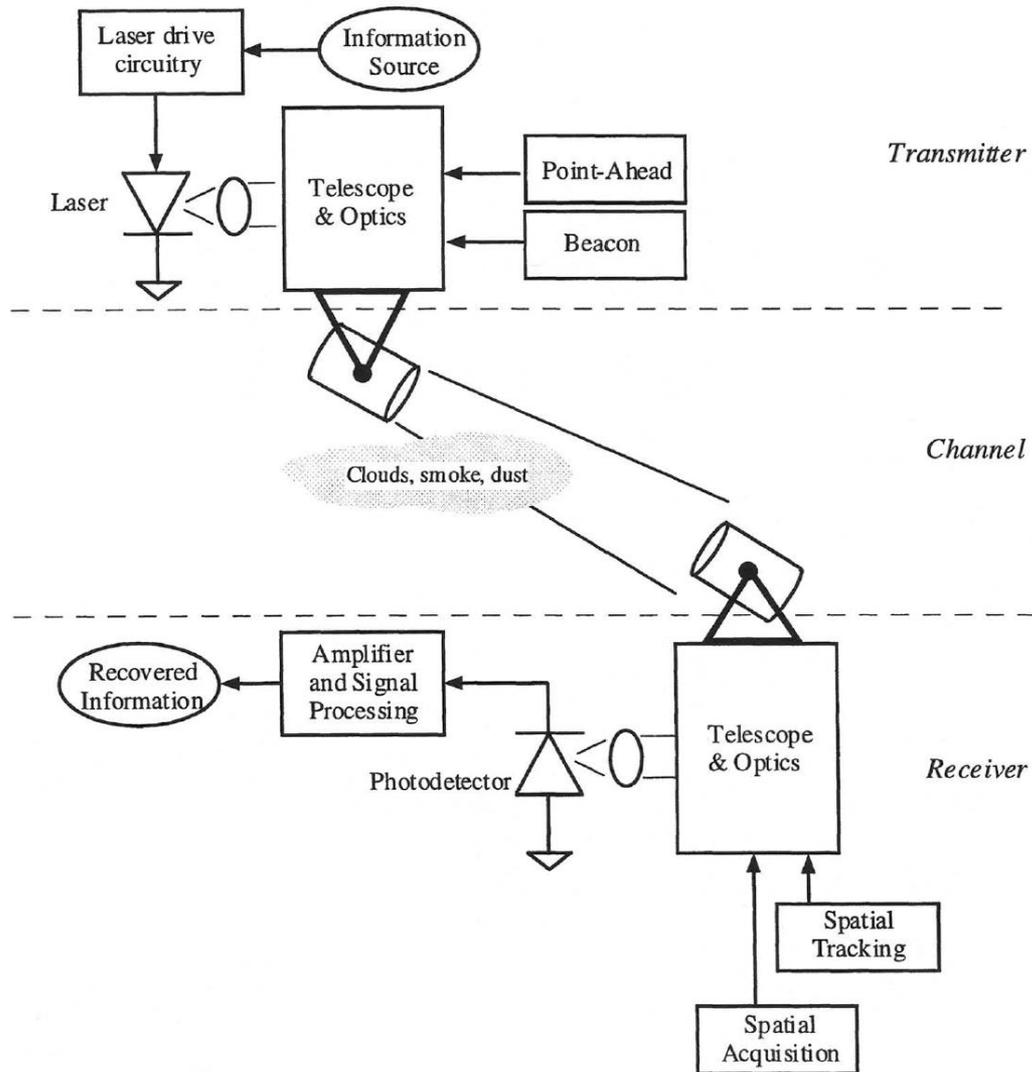


Diagrama esquemático de um subsistema de comunicação óptica no espaço livre

Sistemas de comunicação óptica no espaço livre

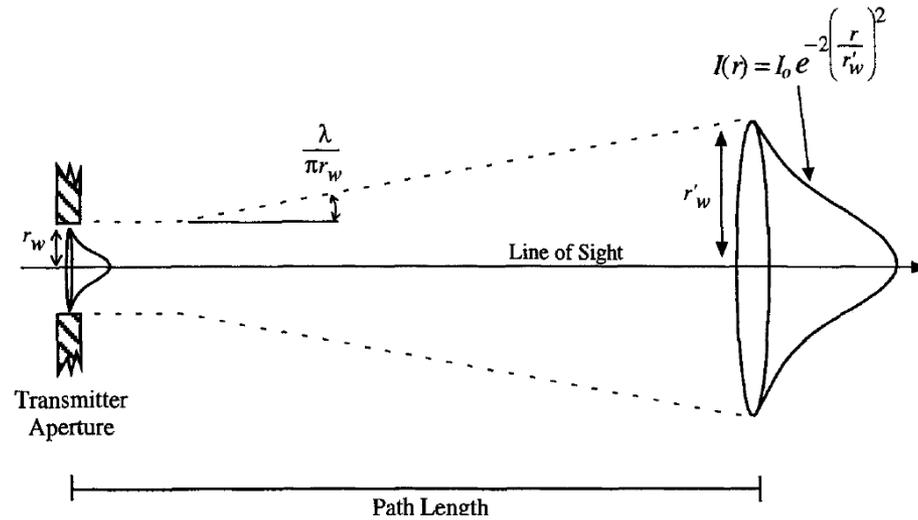
Fontes Laser para aplicação em comunicação óptica no espaço livre

<i>Laser Type</i>	<i>Examples</i>	<i>Operating Wavelengths</i>	<i>Drawbacks</i>
Semiconductor	AlGaAs InGaAsP	830 nm 980 nm 1550 nm	Low powers
Solid State	Nd:YAG	1060 nm	Separate Modulator
Gas	CO ₂ HeNe	10,600 nm 530 nm	Complex system Lifetime issues
Fiber	Erbium doped fiber	1550 nm	Unproven in a space environment

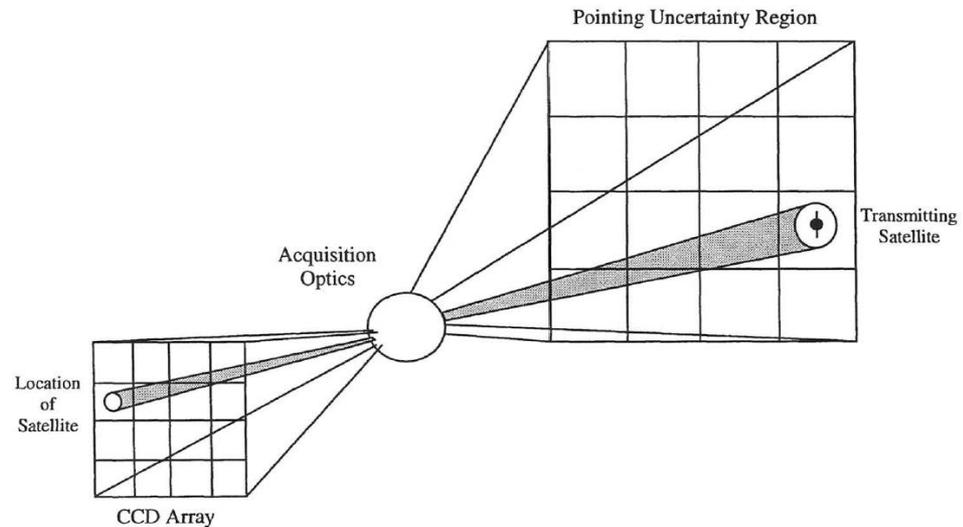
Sistemas de comunicação óptica no espaço livre

Ponto espacial e rastreamento

Difração do feixe transmitido:

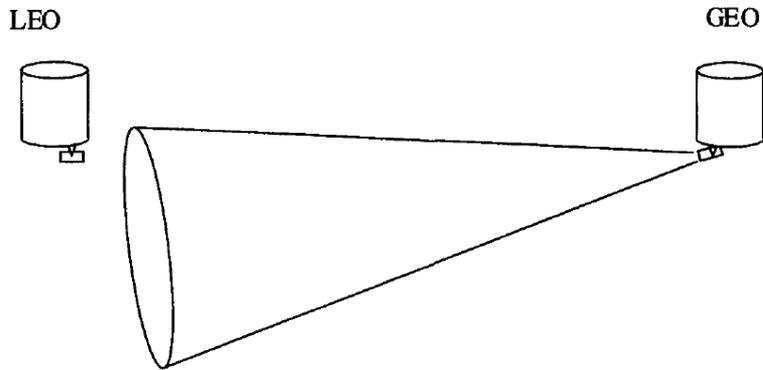


Algoritmo para identificar a posição do satélite

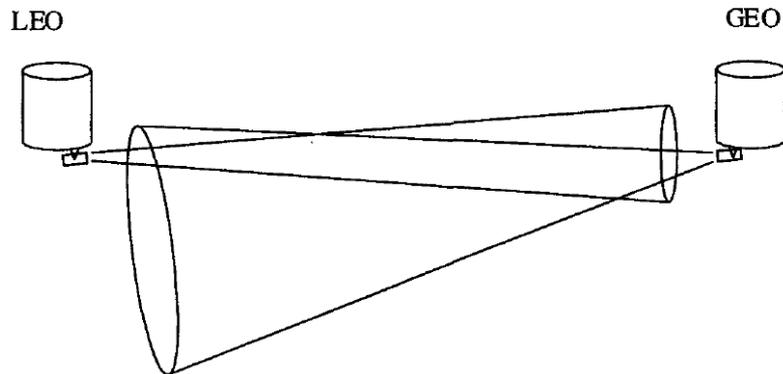


Sistemas de comunicação óptica no espaço livre

Ponto espacial e rastreamento



(A) GEO ilumina LEO com um feixe largo



(B) LEO adquire o feixe de GEO e retorna com um feixe estreito

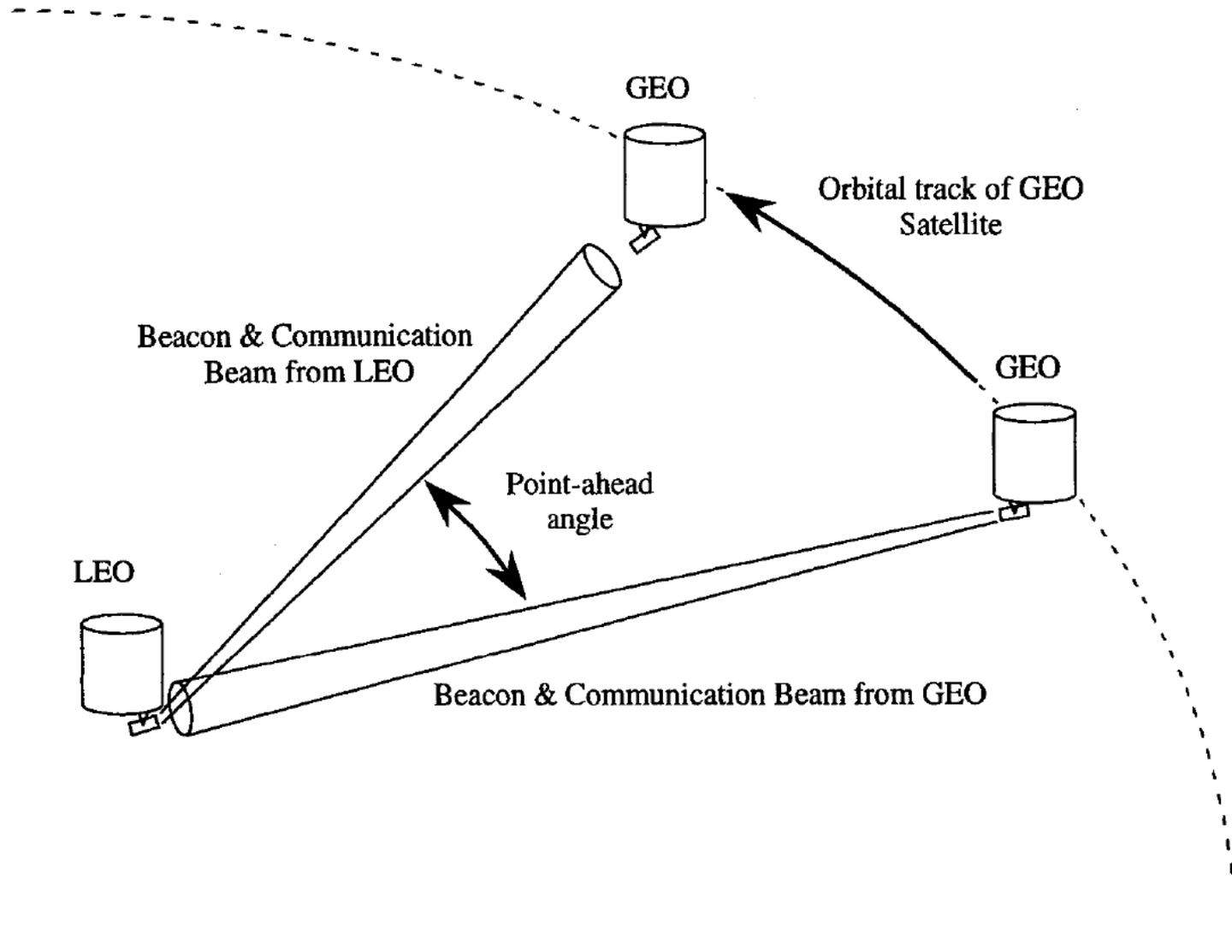


(C) GEO rastreia o feixe de LEO e retorna com um sinal de comunicação

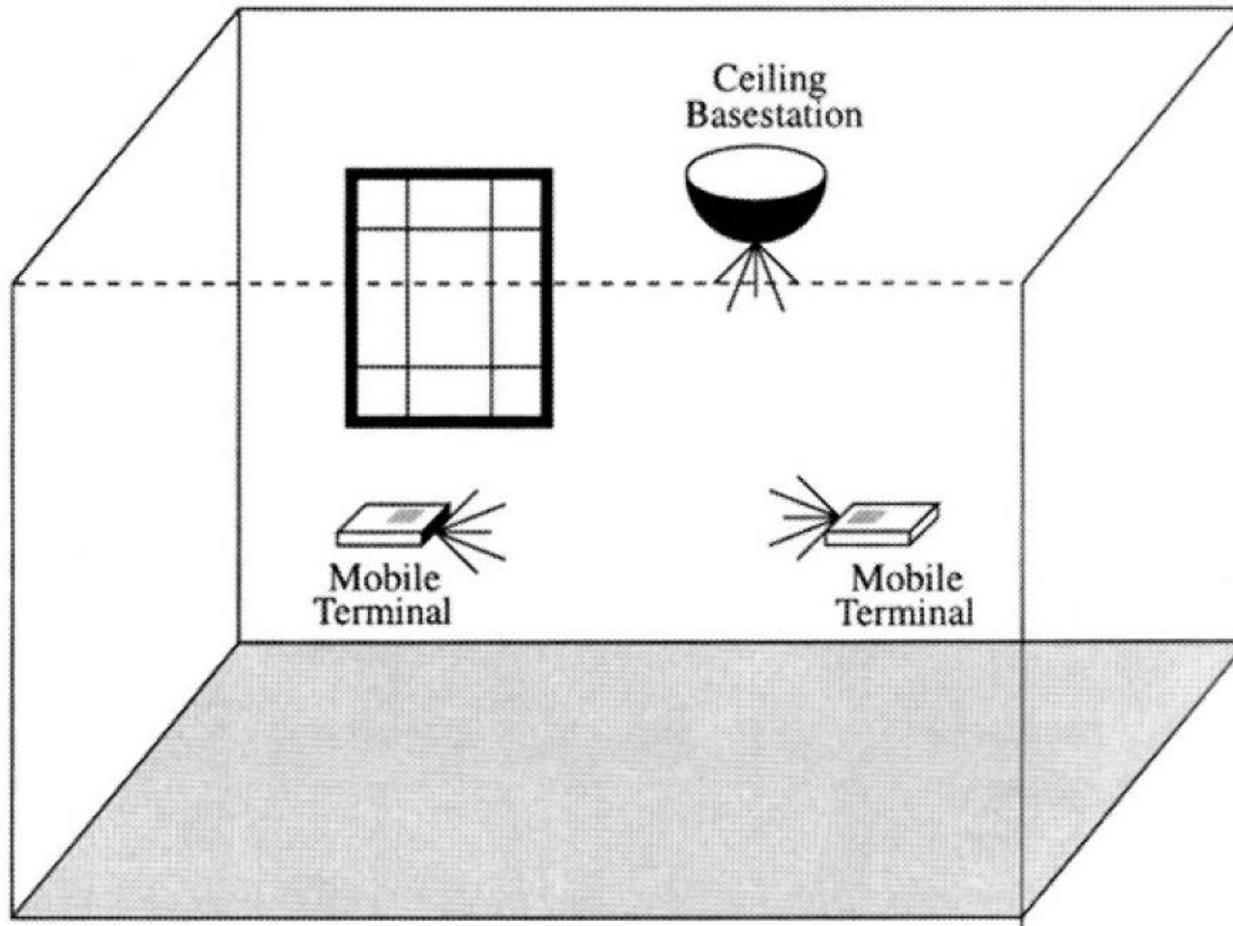


(D) LEO rastreia o feixe de GEO e retorna com um sinal de comunicação

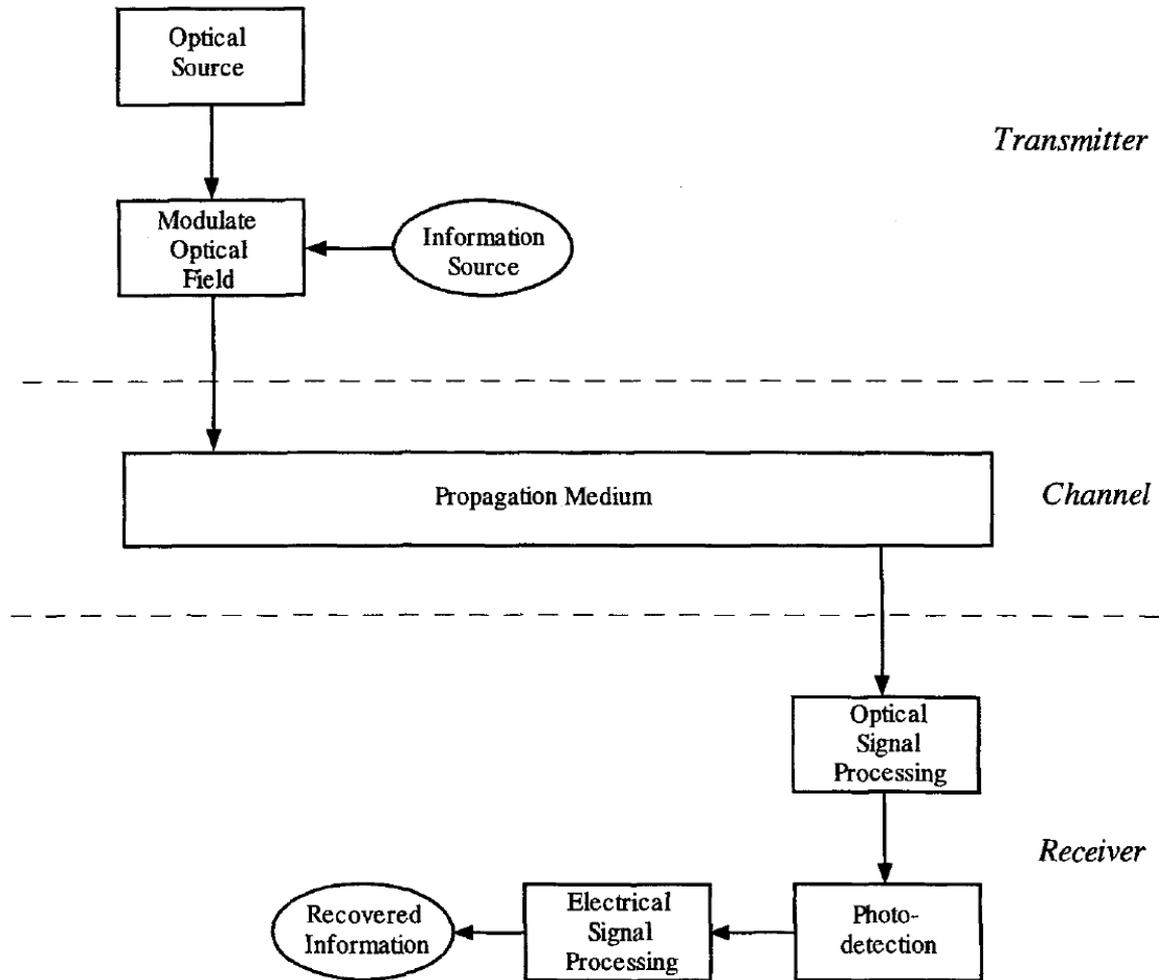
Sistemas de comunicação óptica no espaço livre



Rede óptica local wireless



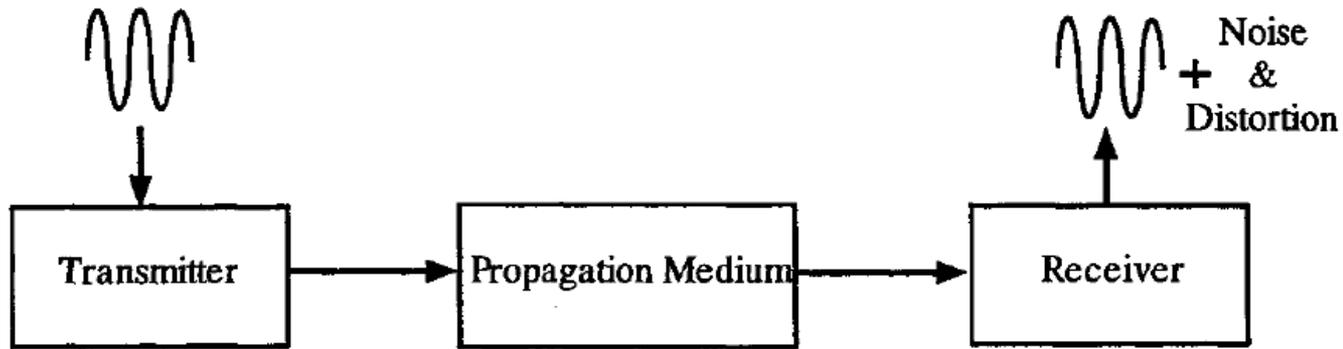
Desempenho dos sistemas de comunicação óptica



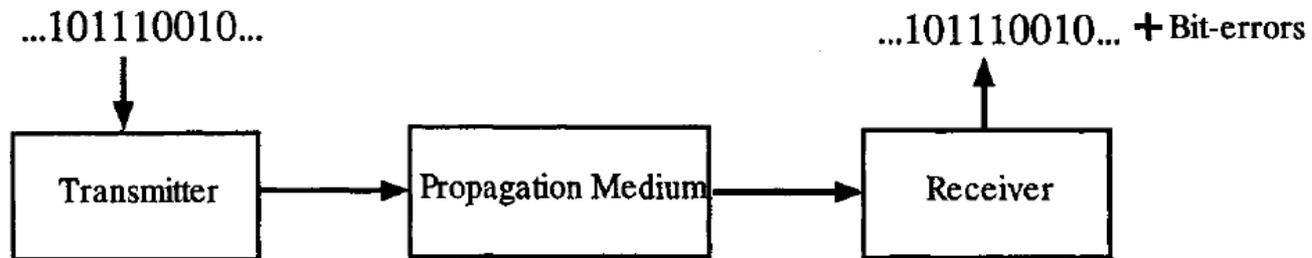
Linha generalizada do um sistema de comunicação óptica

Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Sistema de comunicação analógico



Sistema de comunicação digital

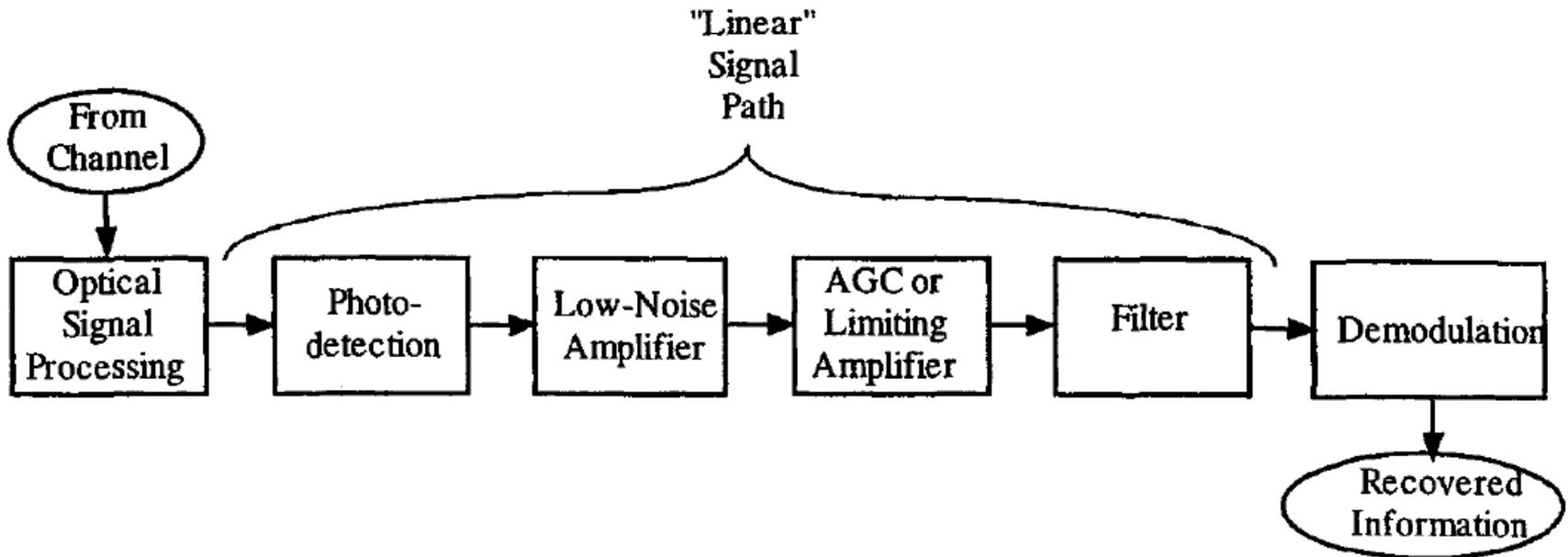


Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Indicador de desempenho: QOS (quality of service)

- .- Erro observável tolerável
- .- rapidez de recuperação após falhas
- .- Período de tempo sem erros
- .- Desempenho ideal (sem ruídos)

Subsistema receptor genérico : SNR (Signal to Noise Ratio)



Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Custo de potência no sistema óptico: representação gráfica “The Link budget”

Item	Valor	Valor em dB
Transmissor: 1.- Potência média do transmissor	1.0 mW	
Canal: 2.- Perdas de propagação	1%	
Receptor: 3ª .- Potência do sinal no receptor 3b .- Sensibilidade do receptor		
Margem de conexão (margem de potência)		

Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

**Custo de potência no sistema óptico: representação gráfica
“The Link budget”**

Item	Valor	Valor em dB
Transmissor: 1.- Potência média do transmissor	1.0 mW	0,0 dBm
Canal: 2.- Perdas de propagação	1%	20 dB
Receptor: 3ª .- Potência do sinal no receptor		-20 dBm
3b .- Sensibilidade do receptor	1 μ W	-30 dBm
Margem de conexão (margem de potência)		10 dB

Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Custo de potência no sistema óptico: representação gráfica
"The Link budget"

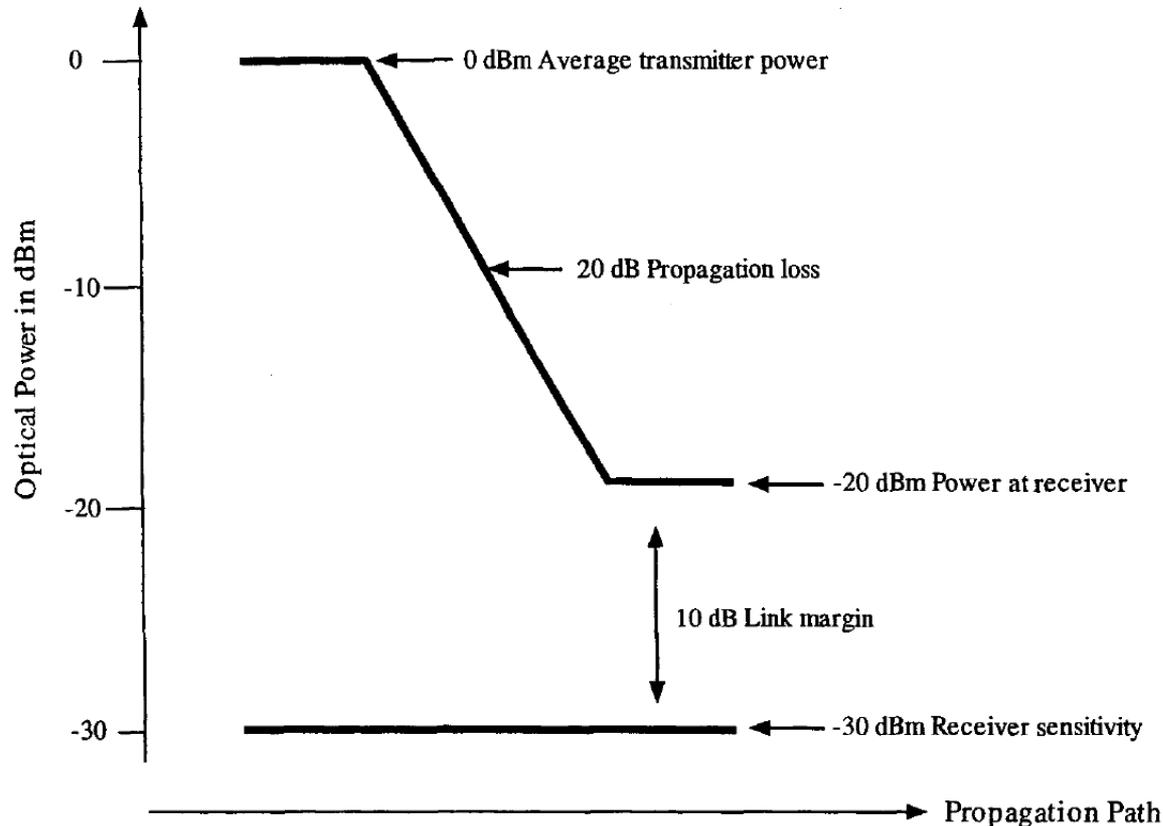


Gráfico do custo em potência considerando que a sensibilidade do detector é constante

Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

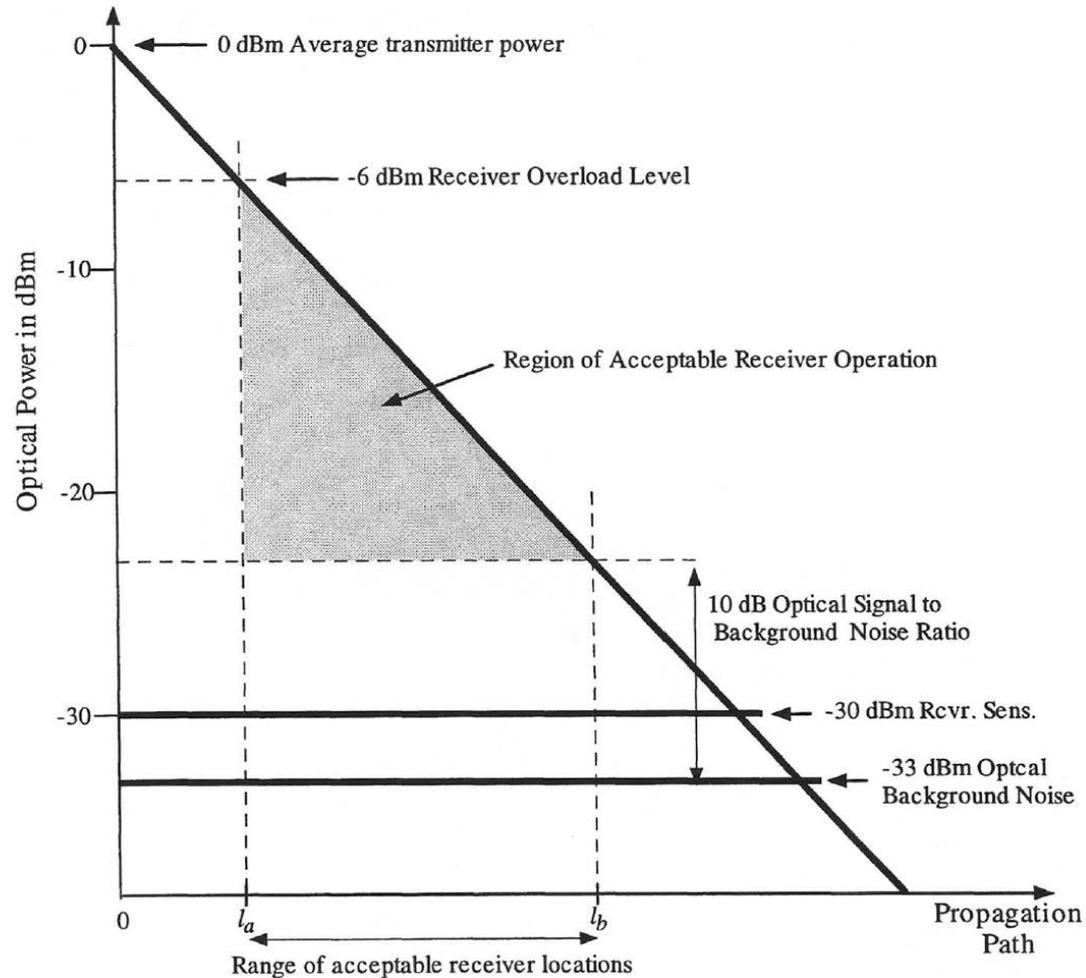
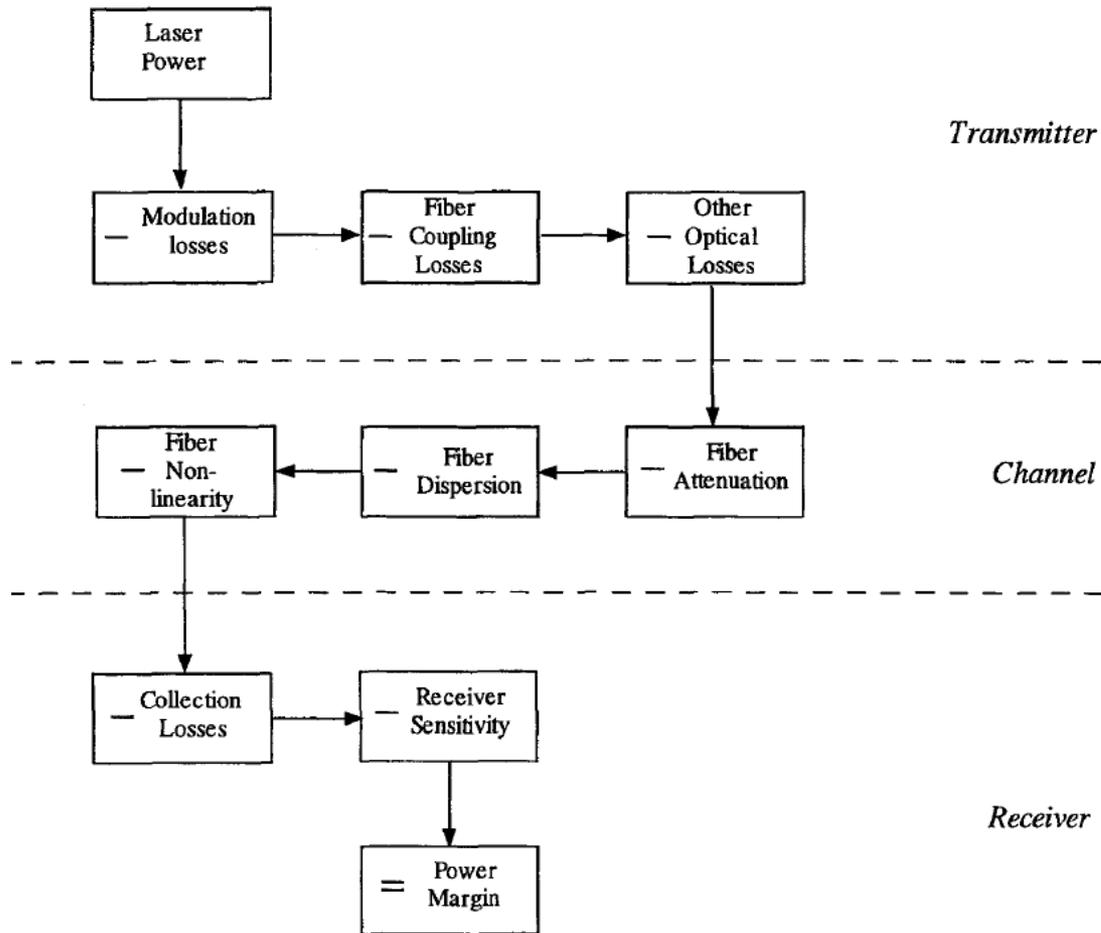


Gráfico do custo em potência considerando a existência de um “background” de ruído constante e o efeito de saturação do detector para uma condição de :
SNR = 10 dB

Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Custo de potência no sistema óptico com canal de comunicação de fibra óptica



Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Custo de potência no sistema óptico com canal de comunicação de fibra óptica

Perda na Fibra óptica de Comprimento "L"

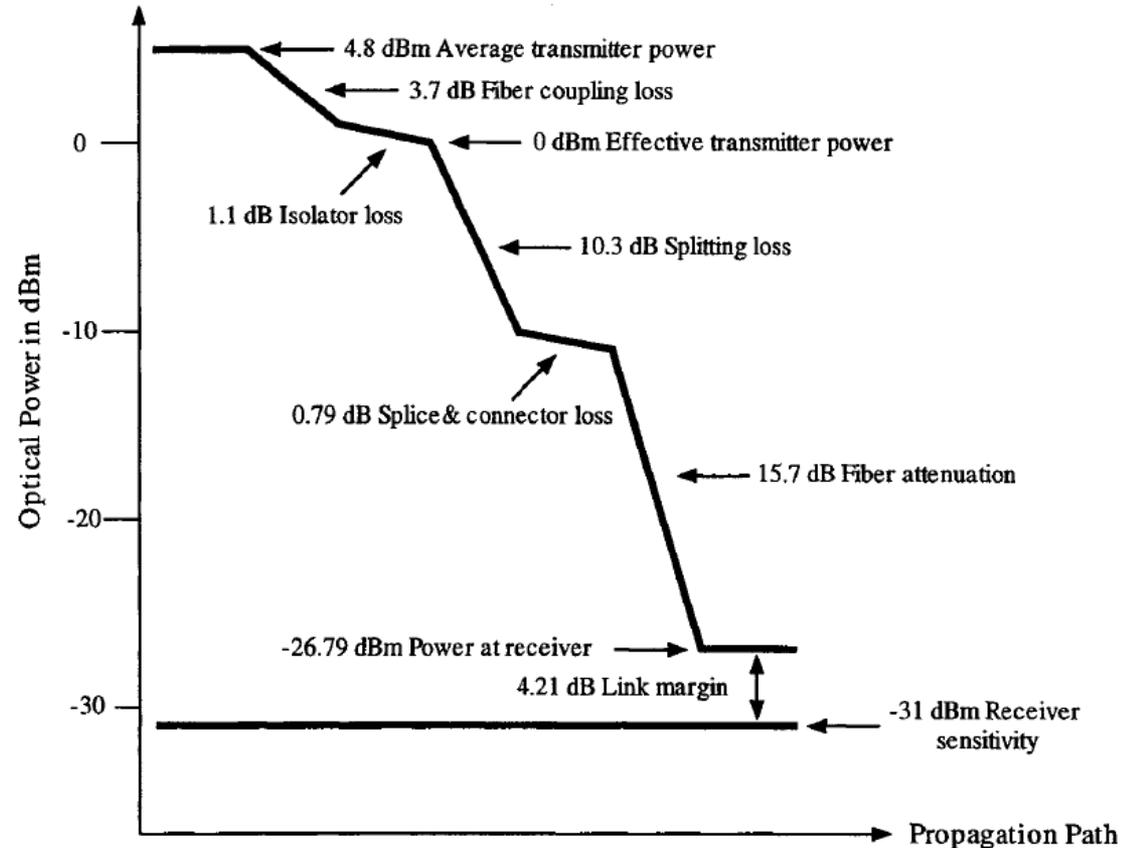
$$P_L = P_0 \exp(-\alpha L)$$

α : coeficiente de absorção (cm^{-1})

Perdas em unidades de dB

$$P_L = P_0 10^{\left(-\frac{\alpha_{\text{dB}} L}{10}\right)}$$

α_{dB} : coeficiente de absorção (dB/Km)



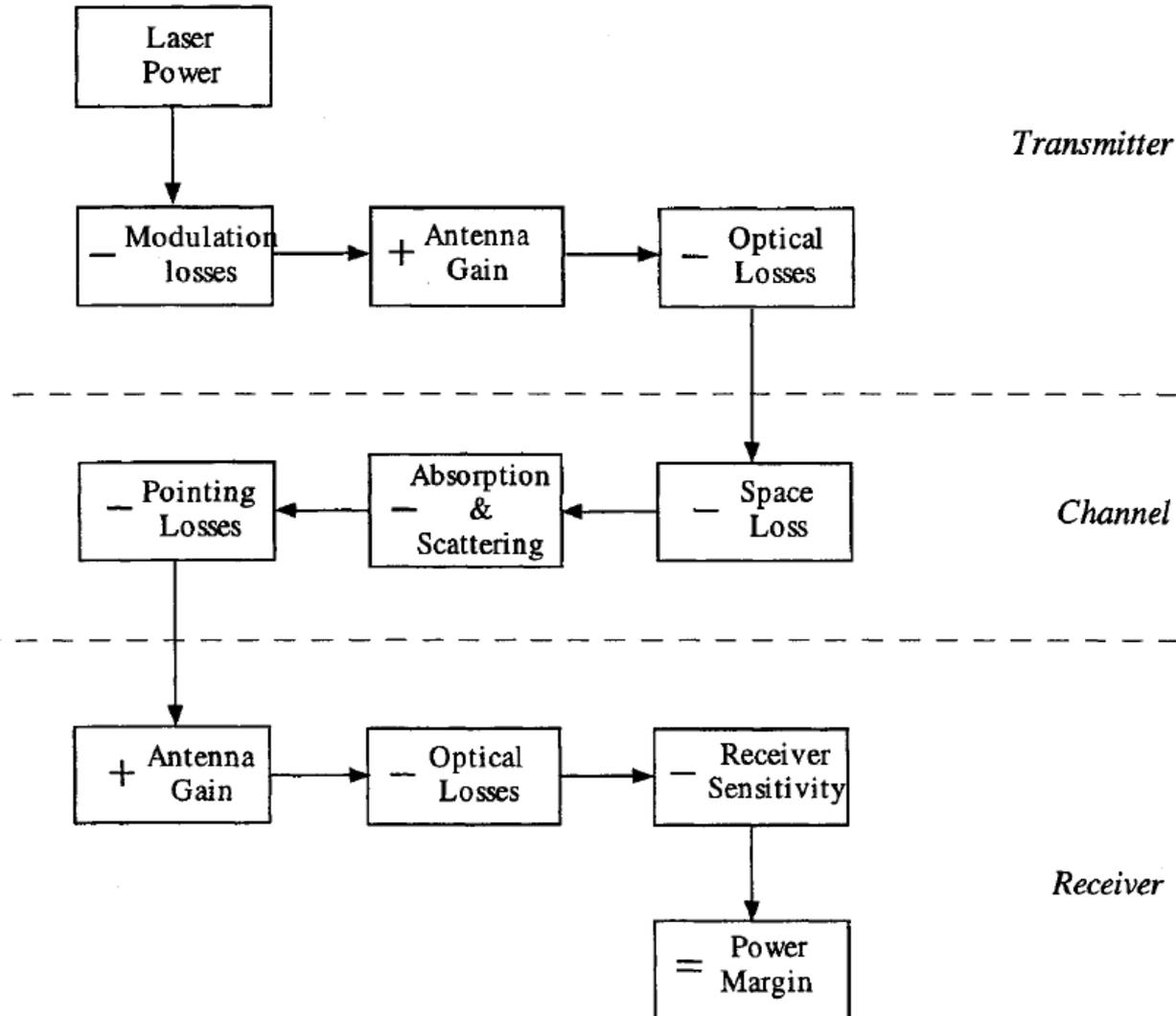
Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Custo de potência no sistema óptico com canal de comunicação de fibra óptica

α dB (dB/Km)	Potência do transmissor (dB)	Sensibilidade do receptor (dB)	Lmax (Km)
2	0	-30	
2	10	-30	
2	0	-40	
0,2	0	-30	

Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Custo de potência no sistema óptico com canal de comunicação no espaço livre



Desempenho dos sistemas de comunicação óptica

Custo de potência no sistema óptico com canal de comunicação no espaço livre

Ganho da antena de telescópio

$$G_a = 10 \log \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (dB)$$

Perdas devido ao alargamento do feixe que se propaga no espaço livre

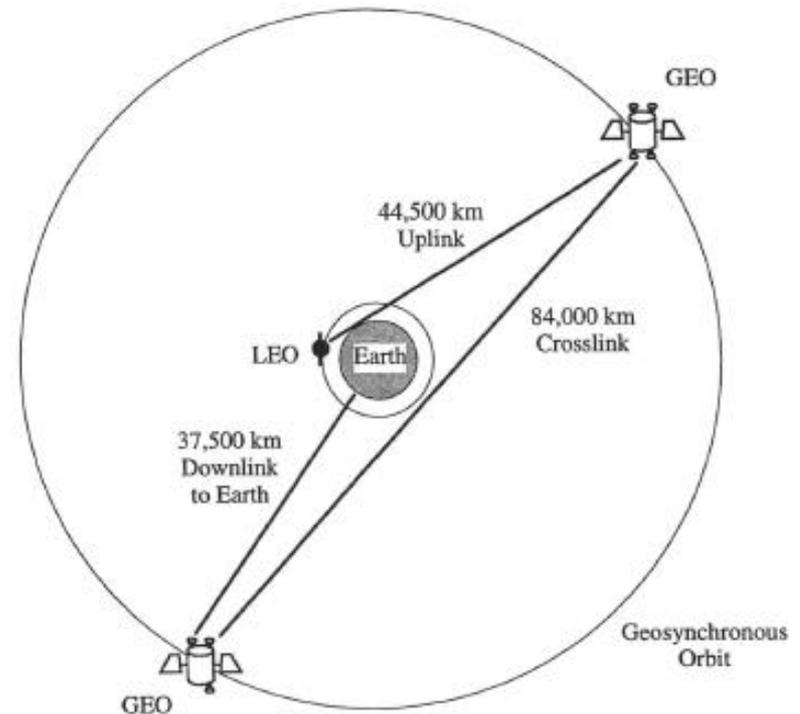
$$L_p = 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi L} \right)^2 \quad (dB)$$

Onde:

L: comprimento de propagação em metros

λ : Comprimento de onda do feixe luz

D: Diâmetro da antena



Especificação de um receptor analógico

Indicadores de desempenho:

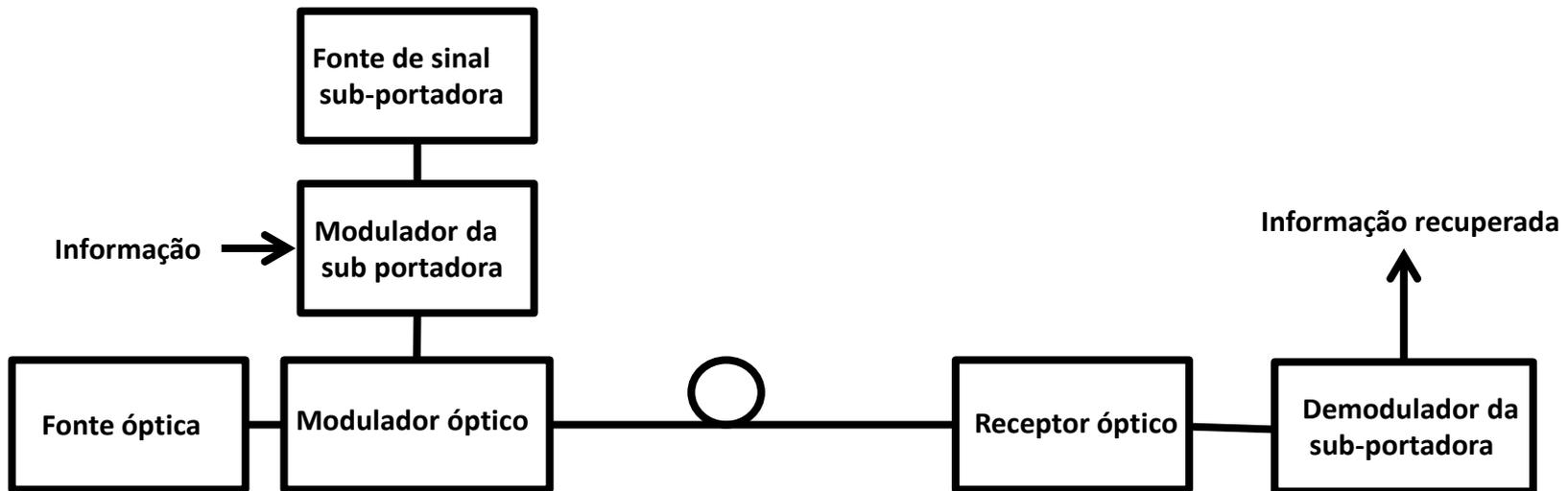
1.- Razão sinal-ruído (SNR) do sinal recuperado

Em sistemas de TV a cabo utiliza-se a razão sinal da portadora –ruído: (CNR)

CNR: “Carrier to noise ratio”

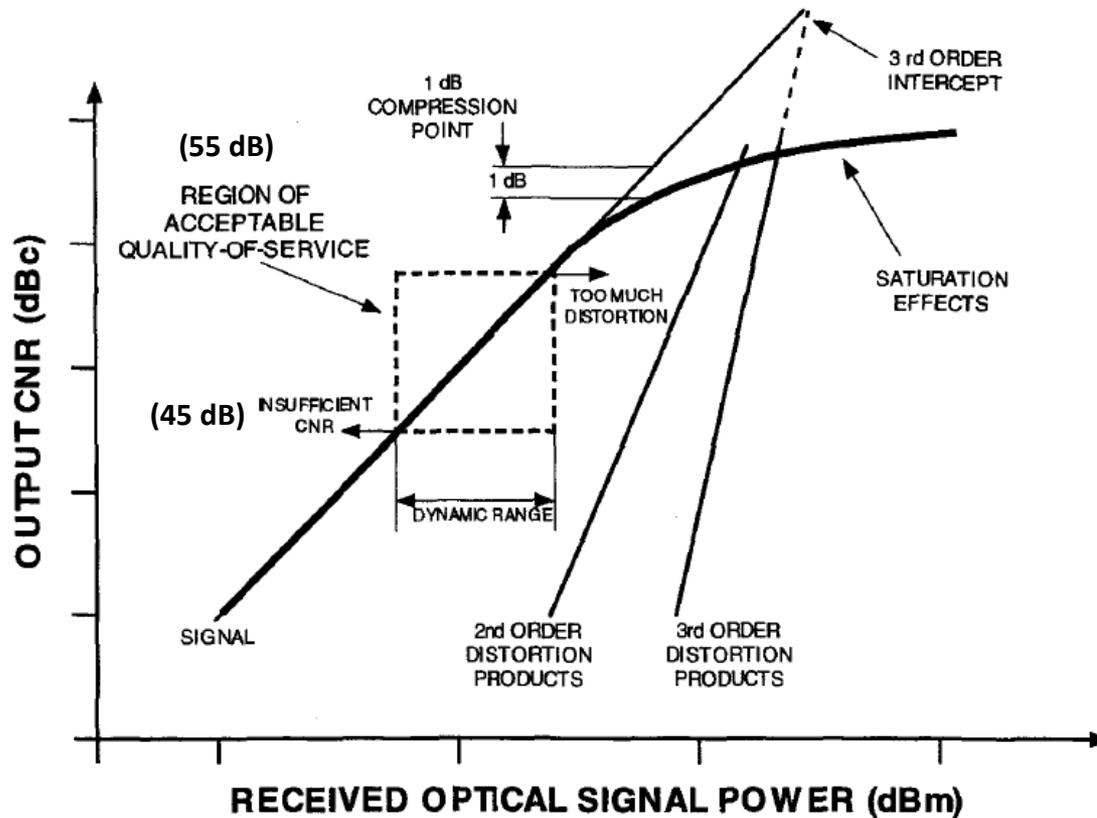
2.- Amplitude do sinal de onda recuperada

3.- Nível de distorção da onda recuperada



Sistema óptico analógico com modulação de sub-portadores

Especificação de um receptor analógico



Exemplo de curvas de desempenho CNR de um receptor analógico

Sinal de saída do receptor analógico:

$$v_{out} = A_0 + A_1 P_{rcvd}(t) + A_2 P_{rcvd}^2(t) + A_3 P_{rcvd}^3(t) + \dots + A_n P_{rcvd}^n(t)$$

Especificação de um receptor Digital

Indicador de desempenho:

BER : “bit error rate”

Espaço livre:

$B = 10^{-6}$ bps

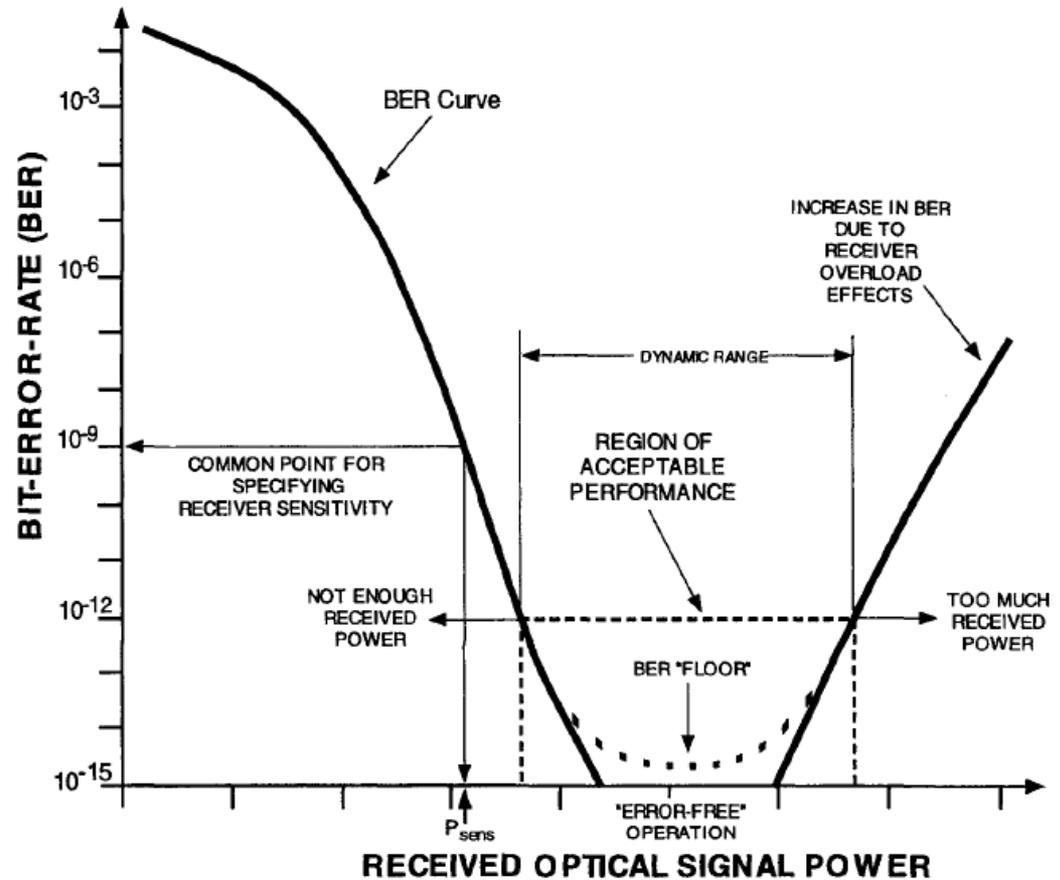
Fibra óptica:

.- Redes locais :

BER = 10^{-9} bps

.- Redes para transferência de dados:

BER = 10^{-12} bps



Curva de desempenho de um receptor digital

Especificação de um receptor Digital

Considerações de potência e energia

Energia de um fóton:

$$E = h\nu \text{ (Joules)}$$

Constante de Planck: $h = 6,6262 \times 10^{-34} \text{ Js}$
 ν : frequência da luz

Taxa de fótons no receptor:

$$r = \frac{P}{h\nu} \text{ (fótons/s)}$$

P: potencia em watts

Número de fótons por bit:

$$n_p = \frac{r}{R} = \frac{P}{h\nu R}$$

R: Taxa de transmissão de dados (bit/segundo)