

Elementos de Redes Ópticas

Componentes Passivos ; Amplificadores ; Sistemas WDM

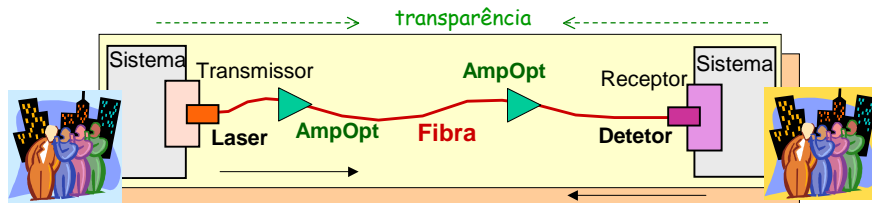
= Abril 2019 =

Felipe Rudge Barbosa
rudge@dsif.fee.unicamp.br
DSIF-FEEC-Unicamp

Ementa

- ❖ Enlaces de Redes Ópticas
- ❖ Fontes e Detetores
- ❖ Fibras Ópticas
- Dispositivos Ópticos
- Amplificadores
- Sistemas WDM
 - Efeitos Não-Lineares (em seguida)

Enlaces Ópticos



Transmissor
• Laser Semicondutor
• Fabry-Perot (FP)
• Feedback distribuído (DFB)
• Led
• ELed
• Slid

Receptor
• Fotorreceptor PIN
• Fotodetector APD
• Fibra Monomodo
• Fibra Multimodo

- Componentes óticos (ativos e passivos)
- *depois*: Amplificador Ótico

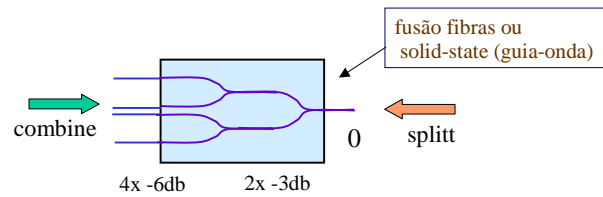
Componentes Óticos Passivos e Ativos

- Acopladores (splitt./combine)
- Filtros Óticos
- Multiplexadores (mux e demux)
- Isoladores e Circuladores
- Moduladores
- Chaves/Divisores

Componentes Óticos

Acopladores (*split*/*combine*)

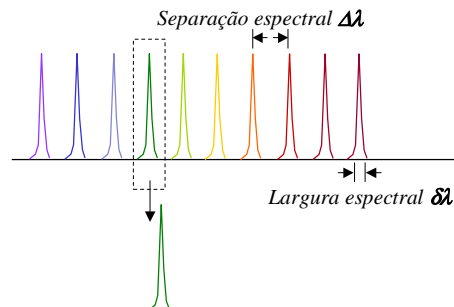
- Acopladores :: divisão (*split*) e combinação (*combine*) separam/combinam potencia ótica, sem separar comprimentos de onda;
- os acopladores tem as mesmas perdas na direção *split*. e *combine*; (conservação da energia);



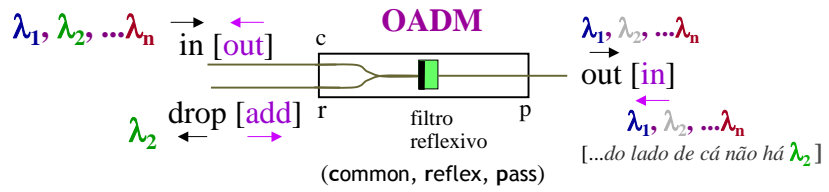
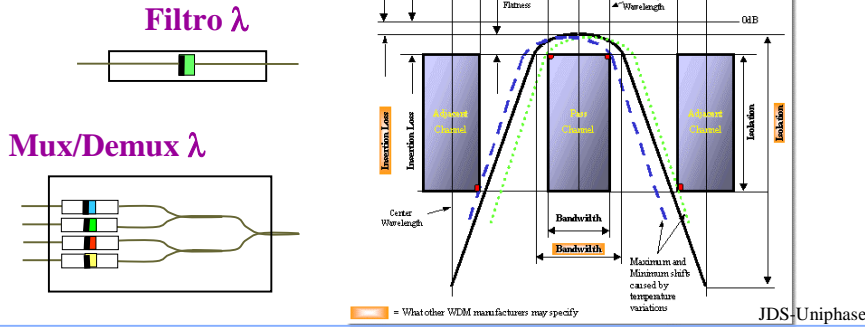
Filtros e Multiplexadores Óticos

- Filtros e Mux/Demux óticos são utilizados para filtrar (significa deixar passar só o que se quer) e separar/agregar (mux/demux), sinais propagantes de diferentes comprimentos de onda;
- Os filtros podem ser transmissivos ou refletivos (isso em geral depende mais do fornecedor do que da aplicação);
- Podem ser executadas na *origem*, no *destino* ou *na linha*;

- Filtragem:



Filtros e Multiplexadores Ópticos



Filtros e Multiplexadores Ópticos

Mux/Demux//OADM



WDM



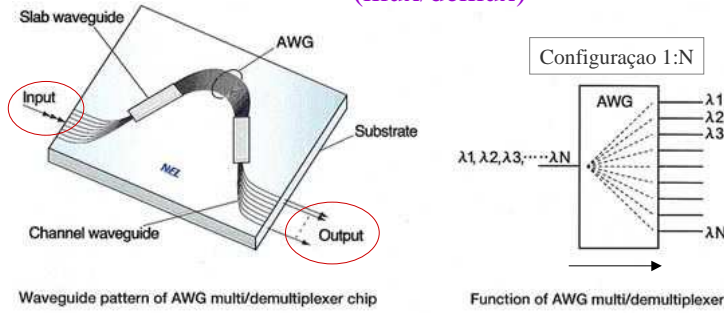
OADM

em geral, obedecem grade ITU;



Filtros e Multiplexadores Óticos

Arrayed Waveguide Grating (mux/demux)

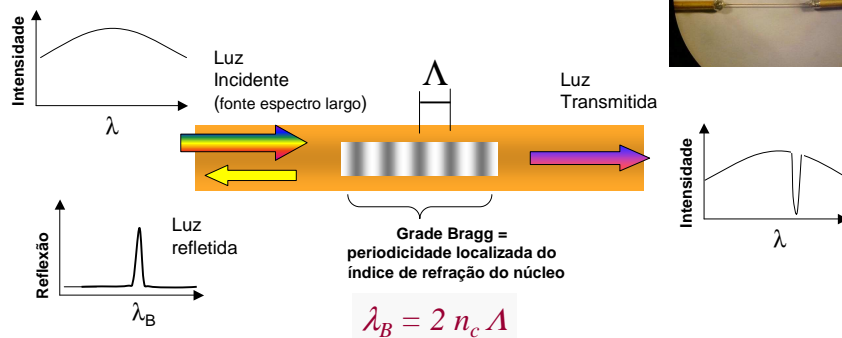


filtragem por dispersão e difusão



Filtros e Multiplexadores Óticos

❖ Fibra com Grade Bragg (*Fiber Bragg-grating*)

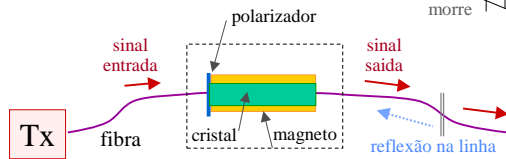


- * Sintonia por *temperatura* ou *tração/compressão* mecânica (até 10nm!)
- ⇒ variação axial no período grade, induz variação λ refletido;
- ⇒ pode ser usado como filtro add/drop (OADM);

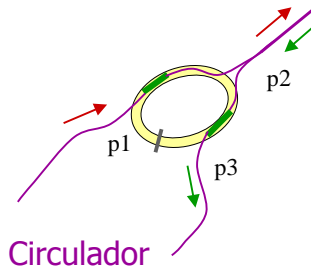
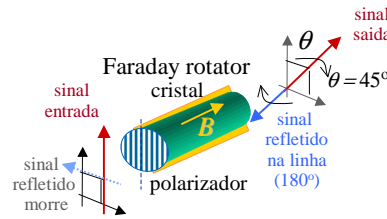


Isolador e Circulador Ótico

Isolador



Operam em faixas espectrais limitadas (λ , algumas dezenas nm)



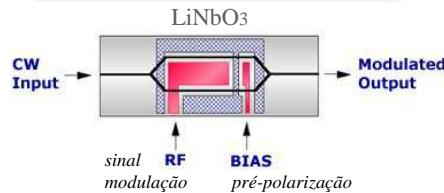
Circulador
(combinação de isoladores e acopladores)



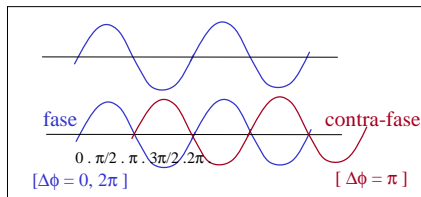
Moduladores Óticos

Modulador Eletro-ótico LiNbO₃

- Sistemas com transmissão em taxas muito altas (acima 10 Gb/s); e outras aplicações de modulação e chaveamento de sinais requerem moduladores de alto desempenho;
- O modulador mais utilizado em **Sistemas de Comunic. Óptica** é o **Modulador Mach-Zender em Niobato de Lítio (LiNbO₃)**; é o que dá *melhor desempenho* e *menor nível de ruído*;
 - ❑ Funciona separando um sinal CW de entrada em dois braços idênticos, formados por guias de onda no cristal; tensão elétrica (voltagem) aplicada sobre esses braços faz variar o índice de refração efetivo do cristal, fazendo com que os sinais de um e outro braço estejam em fase ou contrafase, gerando "um" ou "zero"; >>

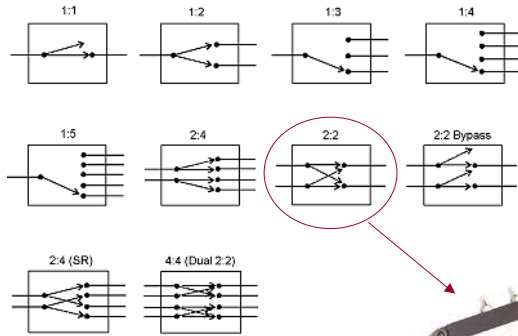


Base de Interferometro Mach-Zender



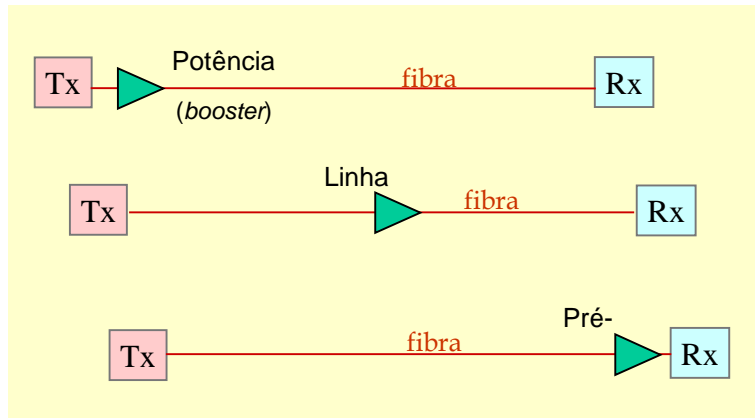
Chaves Óticas

Chaves Eletro-ópticas



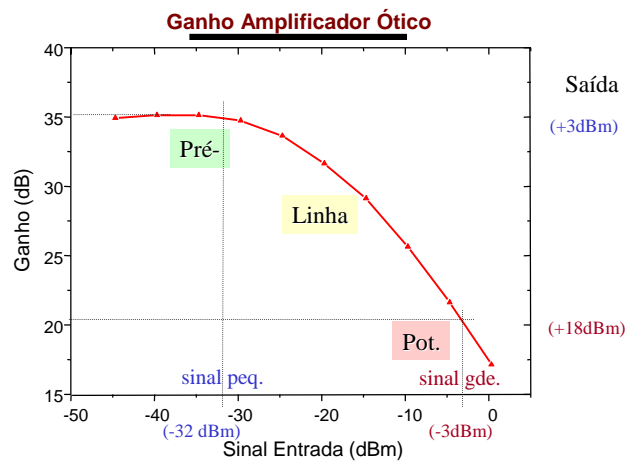
Amplificadores Ópticos

Amplificadores Óticos



as configurações específicas do “power”, do linha e do pré- são diferentes, pois trabalham em regimes diferentes de amplificação

Amplificadores Óticos (AFDE)



Amplificadores Óticos

- ❖ Amplificadores a fibra (principal EDFA)
 - amplificação de sinais em linhas ópticas;
 - fibra dopada (terras raras; Er+, Yb-, Te+, Pr-);
 - fibra "natural" = Raman;
 - tipos básicos: potência, linha e pré.
 - Potência, para início do enlace junto ao Tx;
 - Linha, ao longo do enlace
 - Pré-, junto a recepção Rx, (antes da detecção!).
- ❖ Amplificadores integrados (principal EDWA)
 - guia de onda dopado (Er+, Yb-, Te+, Pr-)
- ❖ Amplificadores a semiconductor (SOA)
 - amplificação e processamento de sinais ;
 - conversão de comprimento de onda;
 - codificação de sinais



Amplificadores Óticos

➢ Parâmetros Relevantes:

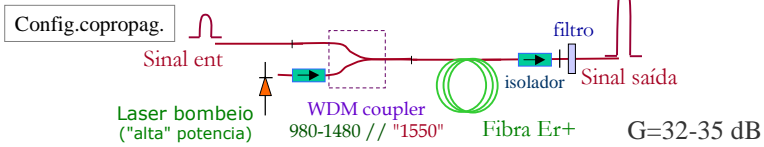
- Ganho: $G = 10 \log (P_{out(mW)}/P_{in(mW)}) = P_{out(dBm)} - P_{in(dBm)}$; [dB]
- Potência de saída : $P_{out} = P_{in} + G$ [dBm]
 - ⇒ na verdade, $P_{out} = (P_s + P_{RF} + P_{RL}) + P_{RA} + P_{ASE}$, *fótons misturados!*
 onde, s-sinal, RF-ruído fonte; RL-ruído linha, RA-ruído amplific.;
 Ase- amplified spontaneous emission (do proprio amplificador);
- Figura de Ruído : $N_F = (SNR)_{ent} / (SNR)_{sai}$; $N_F > 2$
- Ganho :
 - ⇒ dependência com polarização
 - ❖ AFDE: $G_x = G_y$ sempre ;
 - ❖ SOA, EDWA : $G_x \approx G_y$ (hoje!)
 - ⇒ saturação:
 - ⇒ por sinal de entrada mto. alto; por limitação bombeio.
- Filtragem e Isolação (ópticas)
 - ⇒ necessárias para atenuação RA e RL



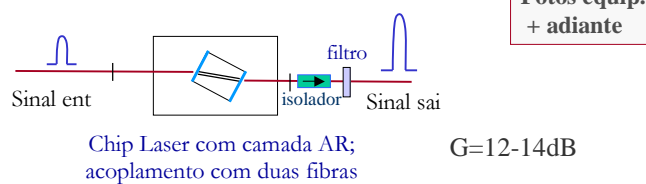
Amplificadores Óticos



- ❖ Amplificadores a fibra
(pode ser tb. duplo bombeio)

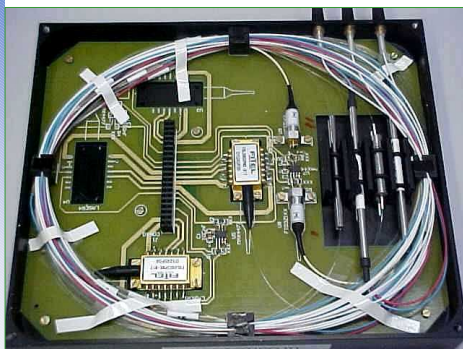


- ❖ Amplificadores a semiconductor

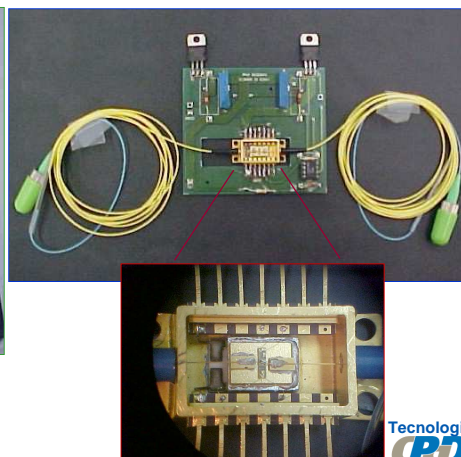


Amplificadores Óticos

Amplificador AFDE



Amplificador SOA

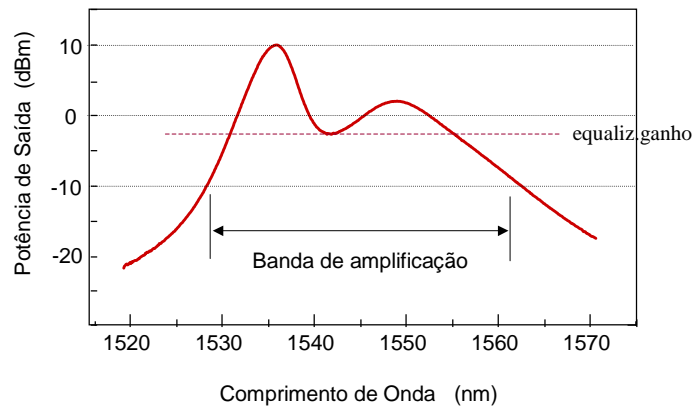


Amplificadores Óticos

AFDE Espectro de Emissão - Banda C

$N_F = 5-7$ (típico)

Fibra sílica : Er+/Al-Ge ; L ~ 30-40m

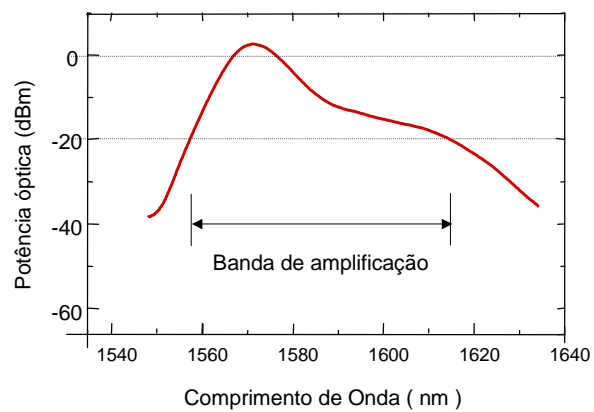


Amplificadores Óticos

AFDE Espectro de Emissão - Banda L

$N_F = 5-7$ (típico)

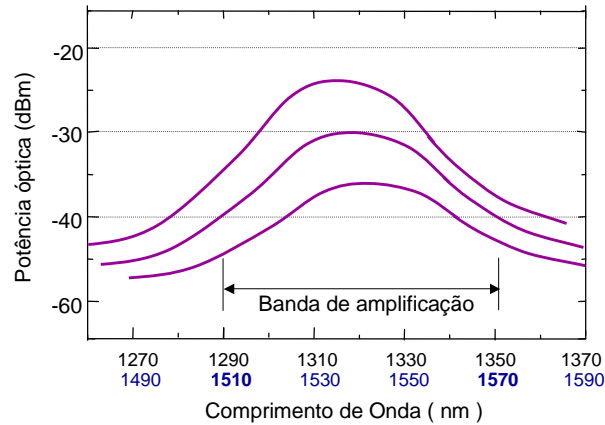
Fibra sílica : Er+/Al-Ge ; L ~ 150-200m



Amplificadores Óticos

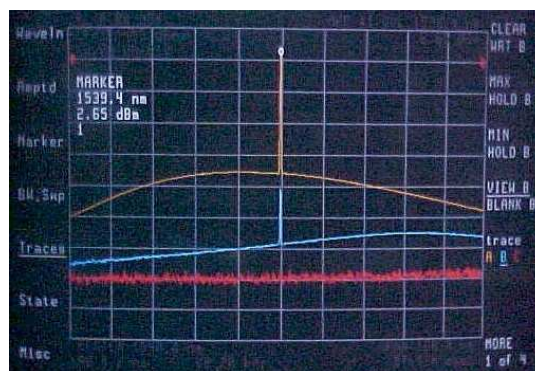
SOA Espectro de Emissão

$N_F = 9-12$ (típico)



Amplificadores Óticos

SOA Espectro de Emissão – com laser DFB +3dBm

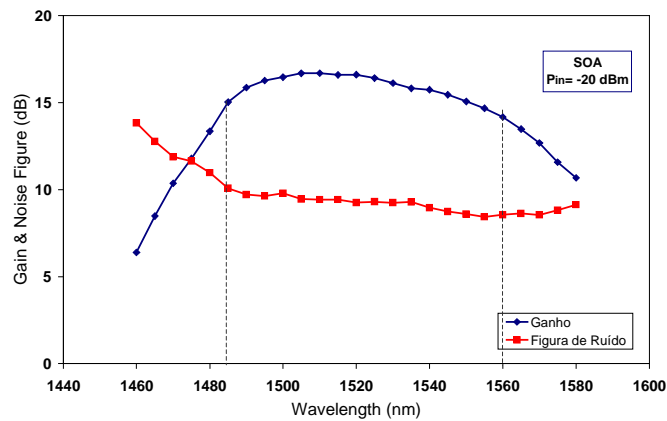


160
80
0 mA

1500 1520 1540 1560 1580 nm

Amplificadores Óticos

SOA Ganho e Figura Ruído – com laser DFB 0dBm



Amplificadores Óticos

➤ Outros amplificadores:

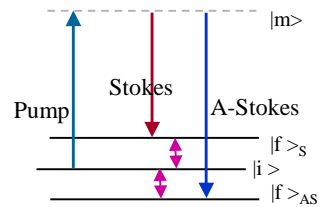
- **Raman** : baseado em efeito Raman estimulado (SRS), que cria uma *inversão de população* no meio (fibra ótica); utiliza a própria estrutura vibracional molecular da fibra para armazenar energia e amplificar com baixo ruído, o sinal ótico de entrada;
 - pode ser usado em qualquer janela, só depende do laser de bombeio;
 - Hoje é **muito utilizado**; disponível comercialmente.

- **FOPA** : baseado na amplificação paramétrica na fibra, através do efeito não-linear de mistura de quatro ondas (FWM) e casamento de fase ajustado pela dispersão de guia de onda D_{go} ;
 - também pode ser usado em qualquer janela, ajustando D_{go} , mas é melhor nas bandas C e L.
 - Dispositivo (equipamento) ainda experimental.

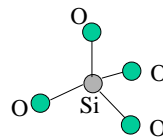
Amplificadores Óticos

Optn

- Amplificador Raman
 - Efeito Raman envolve transições de 2a. ordem, ditas não-lineares pois introduzem novas frequencias no sinal propagante;
 - entretanto essas novas frequencias podem ser usadas como bombeio pra o sinal principal de interesse na transmissão.
 - No amplificador Raman usam-se apenas as frequencias do lado Stokes (comprim. onda + longo)

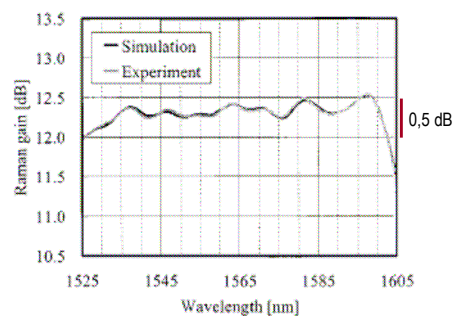
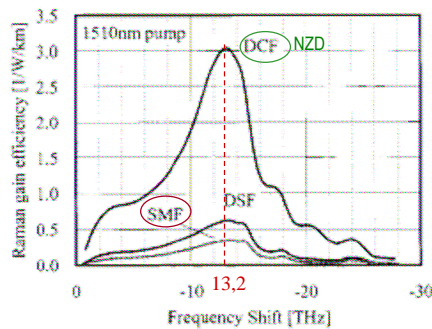


$$\sum_m \langle f|H|m\rangle \langle m|H|i\rangle$$



Amplificadores Óticos

Perfil de ganho Raman



Bombeio simples

13 Thz ~ 105 nm
 $\lambda_s=1565\text{nm} \leftarrow \lambda_p=1460\text{nm}$
 $\lambda_s=1555\text{nm} \leftarrow \lambda_p=1450\text{nm}$

Bombeio Múltiplo
(8 lasers)



LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Sistemas e Redes Ópticas

Sistema Óptico WDM

UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Sistemas Ópticos de Transmissão

muitas fibras

Rede Acesso Multiserviço

Rede Acesso Multiserviço

cada fibra
muitos lambdas
(todos amplificados)

- ▭ Controle de dispersão - DCF/DCM
- Amplificação Óptica - AFDE

UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Sistemas Óticos de Transmissão

Nó B Amp+DCM Nó A

Sistema WDM bidirec
 40 canais ópticos 2,5 Gb/s
 ou 20 canais ópticos 10 Gb/s
 => Amplificados e com
 Controle de Dispersão
 (Marconi – 2003-2004)

UNICAMP

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Sistemas Óticos de Transmissão

Diagrama de Olho e Taxa de Erro

BER = $\frac{\text{\# bits errados recebidos}}{\text{\# total bits enviados}}$

BER-meter BER-meter

Manda EUT Recebe

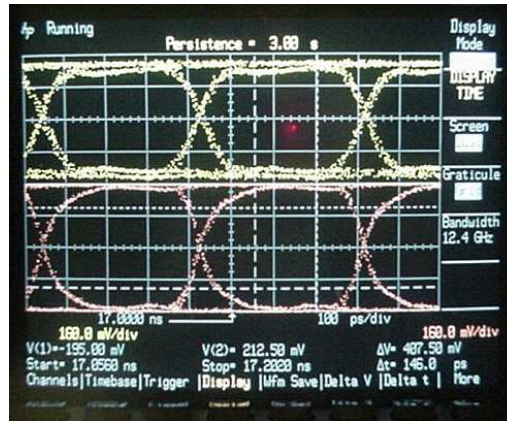
sinal ref

mesmo equipamento

UNICAMP

Sistemas Óticos de Transmissão

Diagrama de Olho -- IM-DD



- Input elétrico;
- Output óptico
- Tx – Rx
- Altas taxas;
- PRBS

Sistemas e Redes Ópticas

Datacenters WDM

Optical Transmission & Storage Systems

Nov. 2011

- While Google uses ordinary hardware components for its servers, it doesn't use conventional packaging. Google required Intel to create custom circuit boards.
- Ar
- 40
- ca
- As
- ma



↪ $20f+20b=40$ server racks

Optical

Systems

Ago. 2012

Google
(Georgia, USA)



LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Optical Transmission & Storage Systems



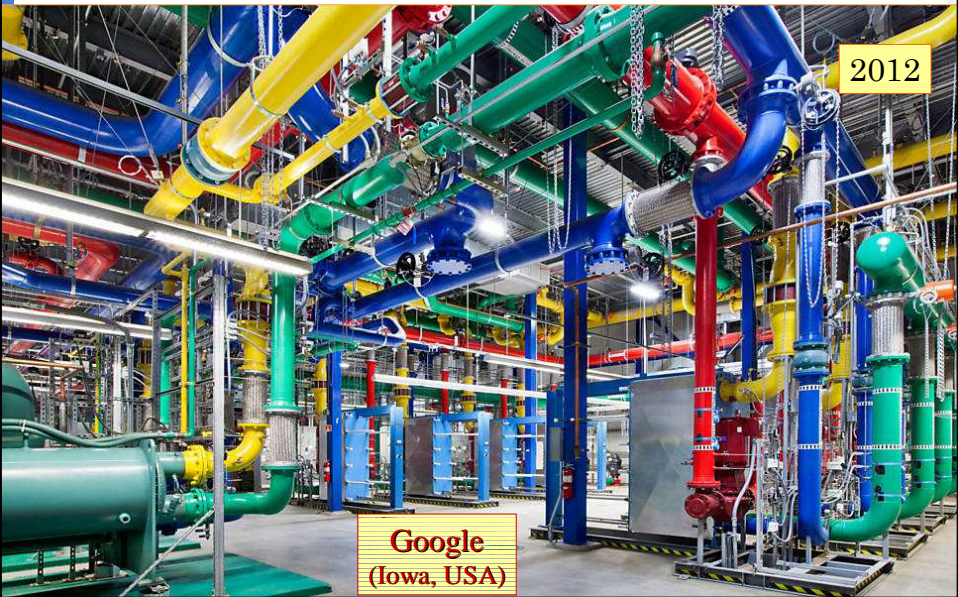
2012

Google
(Iowa, USA)

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

Optical Transmission & Storage Systems



2012

Google
(Iowa, USA)

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

www.laserfocusworld.com

December 2012

LaserFocusWorld

International Resource for Technology and Applications in the Global Photonics Industry

Photonics drives the datacenter
PAGE 29

- ▶ Laser spectroscopy measures motor oil consumption PAGE 45
- ▶ The quest for high-efficiency photovoltaics PAGE 50
- ▶ Interferometry moves beyond the lab PAGE 54
- ▶ Optimizing image sensor parameters PAGE 62

The top 20 technology picks for 2012
PAGE 31

UNICAMP

Dez.2012

LTF Laboratório de TECNOLOGIA FOTÔNICA

Comunicações Ópticas

FEEC
Fora da foto!

UNICAMP

End of this chapter