

DWDM – A Subcamada Física da Rede Kyatera

José Roberto B. Gimenez

Roteiro da Apresentação

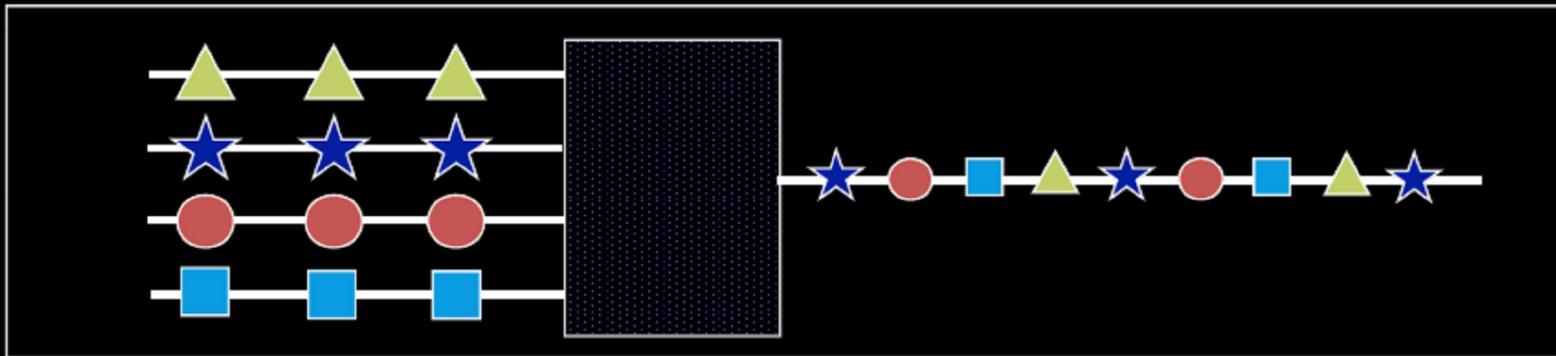
- Tecnologia DWDM
- A rede Kyatera
- SC09 Bandwidth Challenge
- Conclusão

Formas de Multiplexação em FO

- TDM – Time Division Multiplexing
- WDM – Wavelength Division Multiplexing

Time Division Multiplexing (TDM)

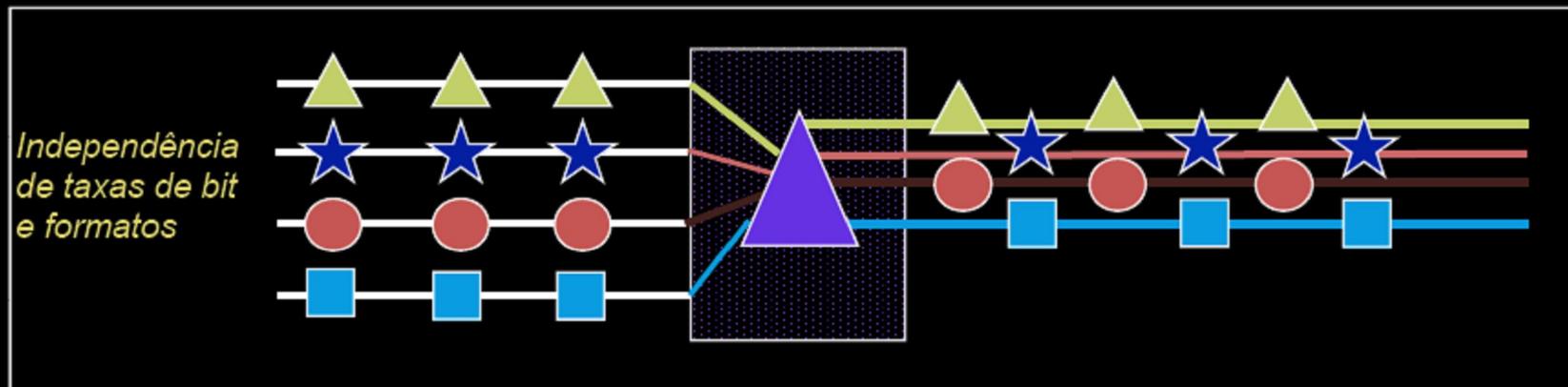
- Transmissão de bytes entrelaçados em um único comprimento de onda



- Combina tráfego de múltiplas entradas em uma única saída de alta capacidade de transmissão
- Permite alta flexibilidade no gerenciamento de tráfego
- Requer funcionalidade de multiplexação elétrica
- Atualmente limitado a 40 Gbit/s (STM-256)
- Maiores taxas de bit são muito suscetíveis a problemas de dispersão

Wavelength Division Multiplexing (WDM)

- Uma forma de multiplexação por divisão de frequência (FDM)
- Usa múltiplos comprimentos de onda sobre uma única fibra óptica



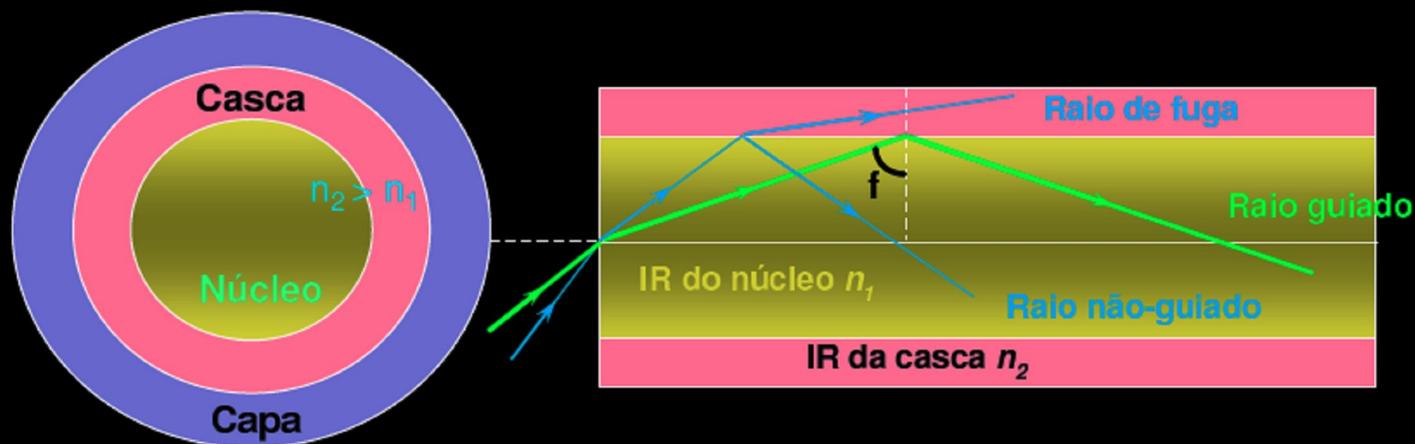
- Integra tráfego óptico sobre uma única fibra óptica
- Permite alta flexibilidade em expansão de largura de banda
- Reduz funções custosas de multiplexação e demultiplexação elétrica

Tecnologias que viabilizaram DWDM

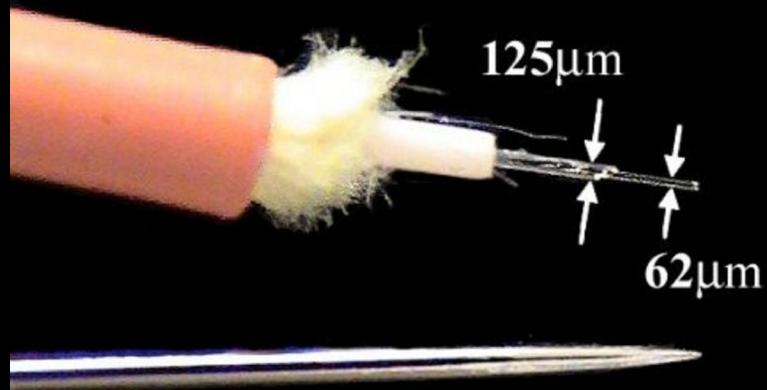
- Fibras óticas
- Lasers
- Amplificadores óticos
- Mux/Demux óticos

A Fibra Ótica

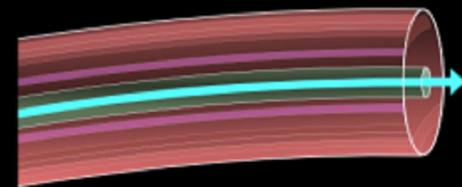
- Modos guiados
 - Raios “aprisionados” que satisfazem a condição de interferência construtiva
- Fibra Multimodo: vários modos são suportados
 - Dispersão intermodal limita sua aplicação em comunicações
- Fibra Monomodo (*Single-Mode Fiber* – SMF): somente um modo guiado é suportado



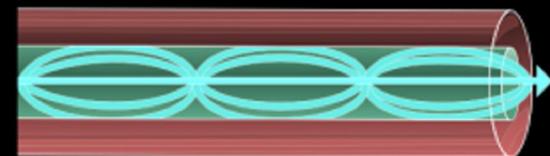
A Fibra ótica



Fibra monomodo
(núcleo de $8\mu\text{m}$)



Fibra multimodo
(núcleo de $62\mu\text{m}$)



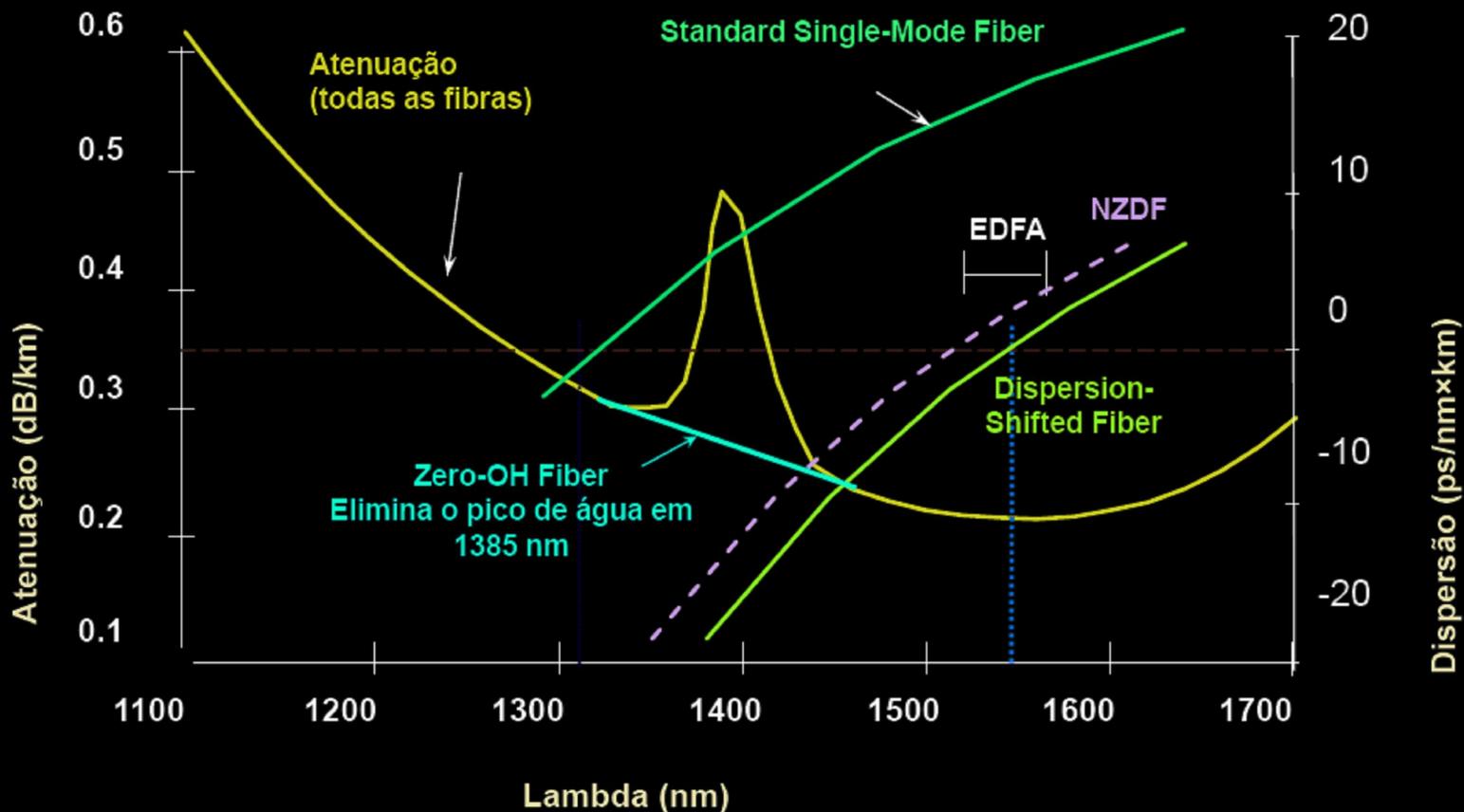
Fibras Óticas Mono-modo

- **Standard Single Mode Fiber (SMF)**
 - Dispersão zero em 1310 nm
- **Dispersion-Shifted Fiber (DSF)**
 - Curva de dispersão deslocada para comprimentos de onda superiores para ter dispersão zero em 1550 nm
 - Sistemas ópticos com um λ em 1550 nm
- **Non-Zero Dispersion Shifted Fiber (NZDSF)**
 - Uma pequena dispersão é introduzida na janela de 1550 nm para evitar o principal efeito não linear: Four Wave Mixing
 - Sistemas DWDM de longo alcance e com altas taxas de bit
- **Zero Water Peak Fiber**
 - Eliminação do pico de água (OH), abrindo toda a janela ótica, de 1300 a 1600 nm
 - Sistemas metropolitanos CWDM

Limitações das Transmissões Óticas

- Atenuação
- Ruído
- Dispersão Cromática
- Dispersão do Modo de Polarização (PMD)
- Efeitos Não-Lineares

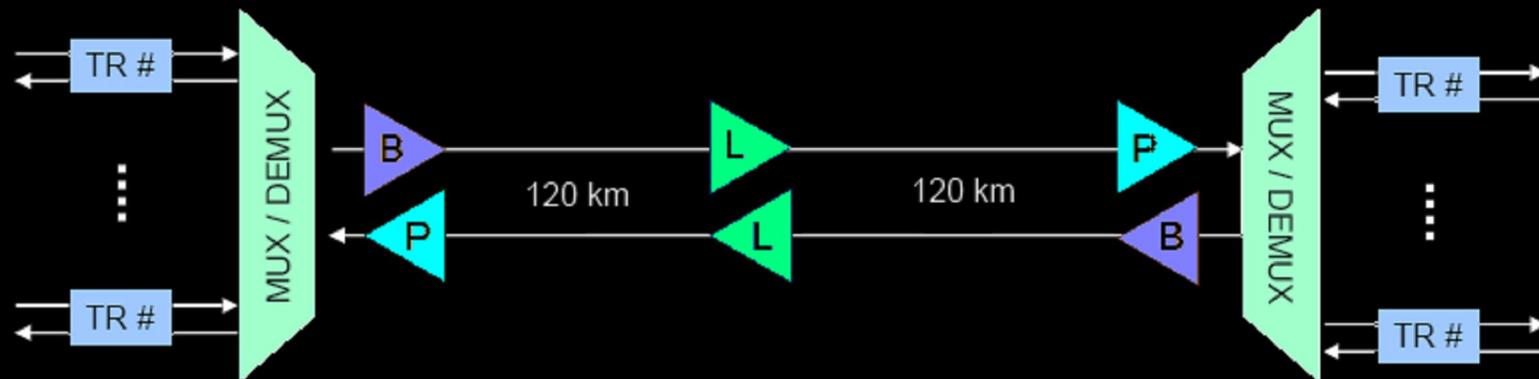
Atenuação e Dispersão Ótica



Amplificadores Óticos

- Potências Típicas de amplificação: de 12 até 30 dB.
- Érbio é utilizado como componente dopante em amplificadores óticos a fibra (EDFA = *Erbium Doped Fiber Amplifier*)
- Amplificadores Óticos geram um ruído de faixa larga denominado ASE - *Amplified Spontaneous Emission*

Emprego de Amplificadores



Booster – saída do transmissor

Linha – ao longo do caminho

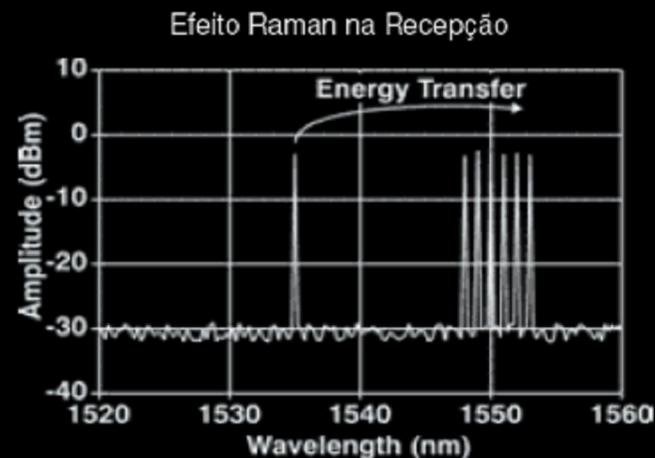
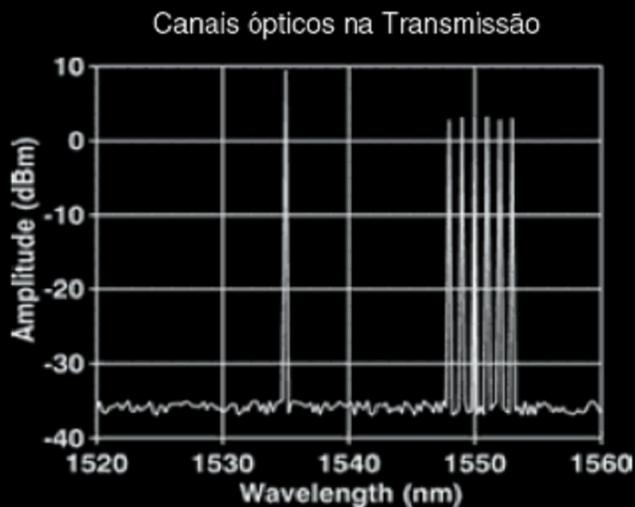
Pré – entrada do receptor

Amplificador Ótico Raman

- Laser(s) de bombeio de alta potência contra-propagante transforma a fibra de transmissão em um meio de ganho de potência
- Até 7 dB de ganho, dependendo do tipo de fibra óptica
- Espectro de ganho móvel, dependendo do comprimento de onda de bombeio
- Banda de amplificação ~ 50 nm

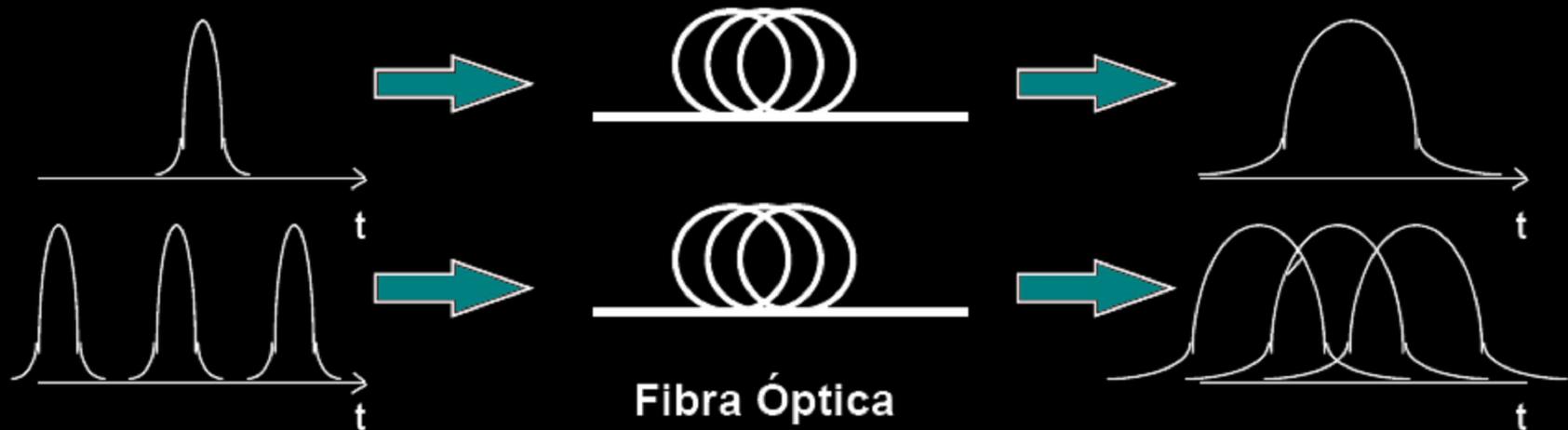
Amplificador Ótico Raman

- pode ser obtido em qualquer fibra
- sem adição de ruído na ausência de bombeio
- largo espectro de ganho - *fundamental para WDM*
- ganho independente da polarização da luz



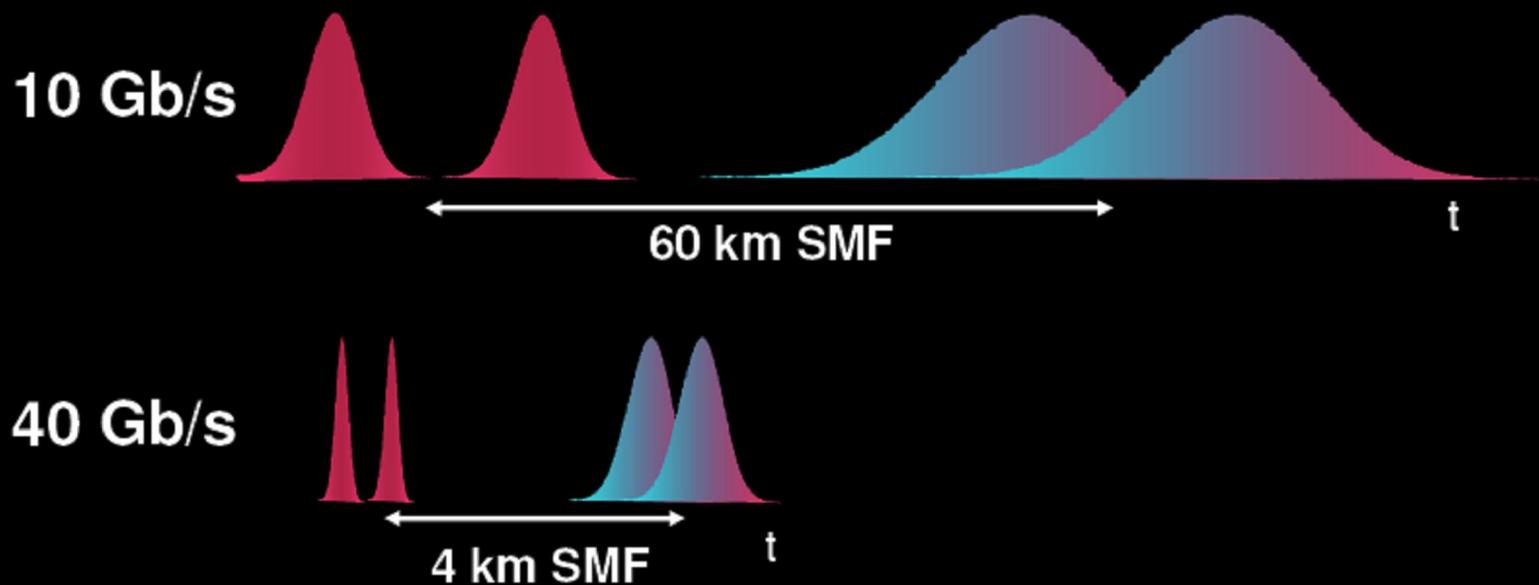
Dispersão Cromática

- Diferentes comprimentos de onda se propagam com diferentes velocidades.
- O efeito resultante é um alargamento dos pulsos ópticos e uma conseqüente interferência entre estes pulsos.



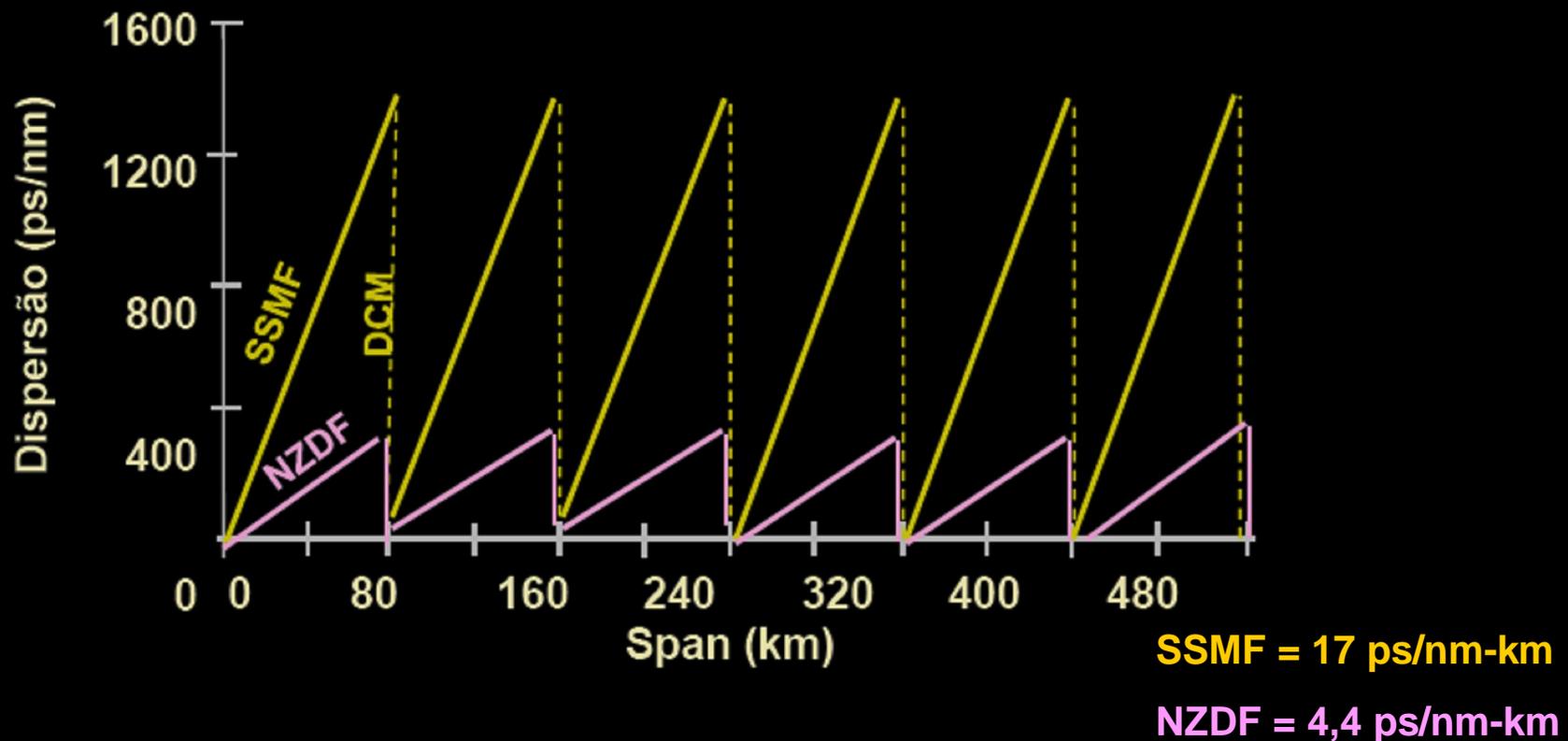
Dispersão Cromática

- Taxas de bit mais altas são mais suscetíveis à Dispersão Cromática.

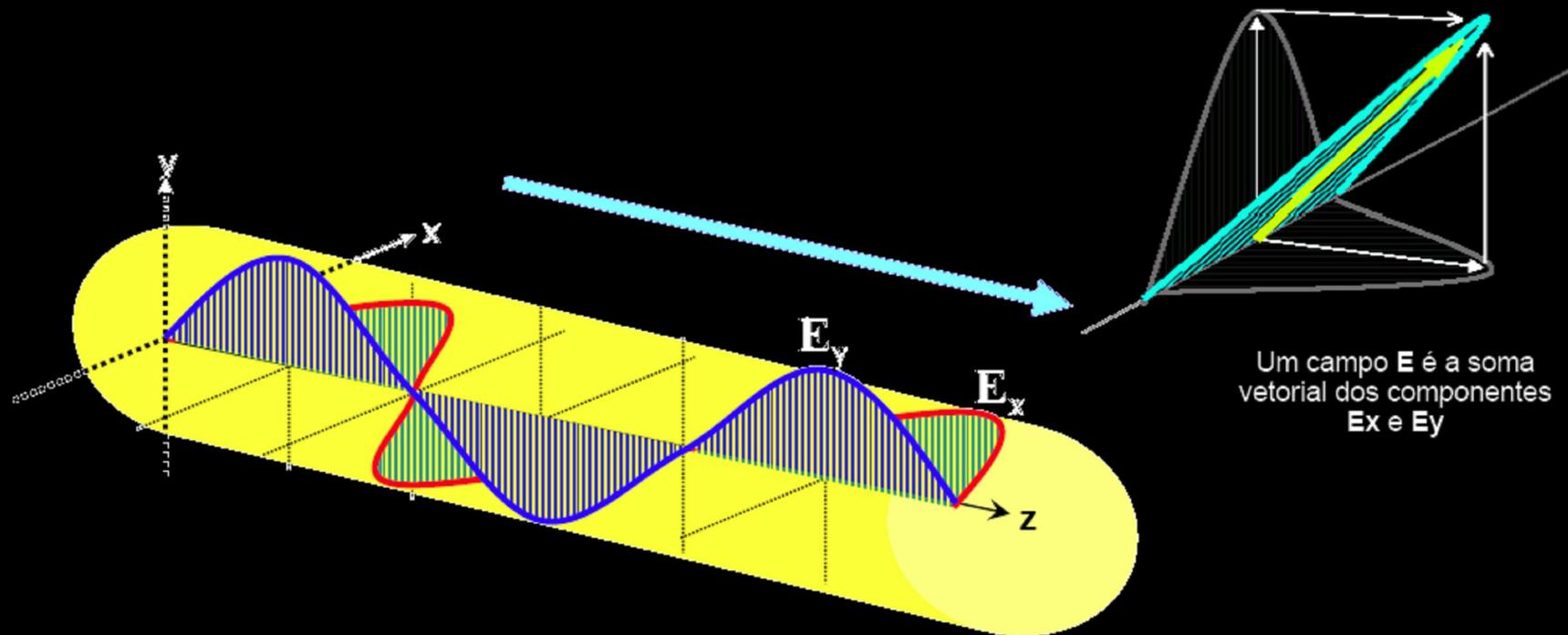


Compensação de Dispersão Cromática

Módulos Compensadores de Dispersão (MCD) são usados para compensar as diferenças de atraso nas componentes do sinal



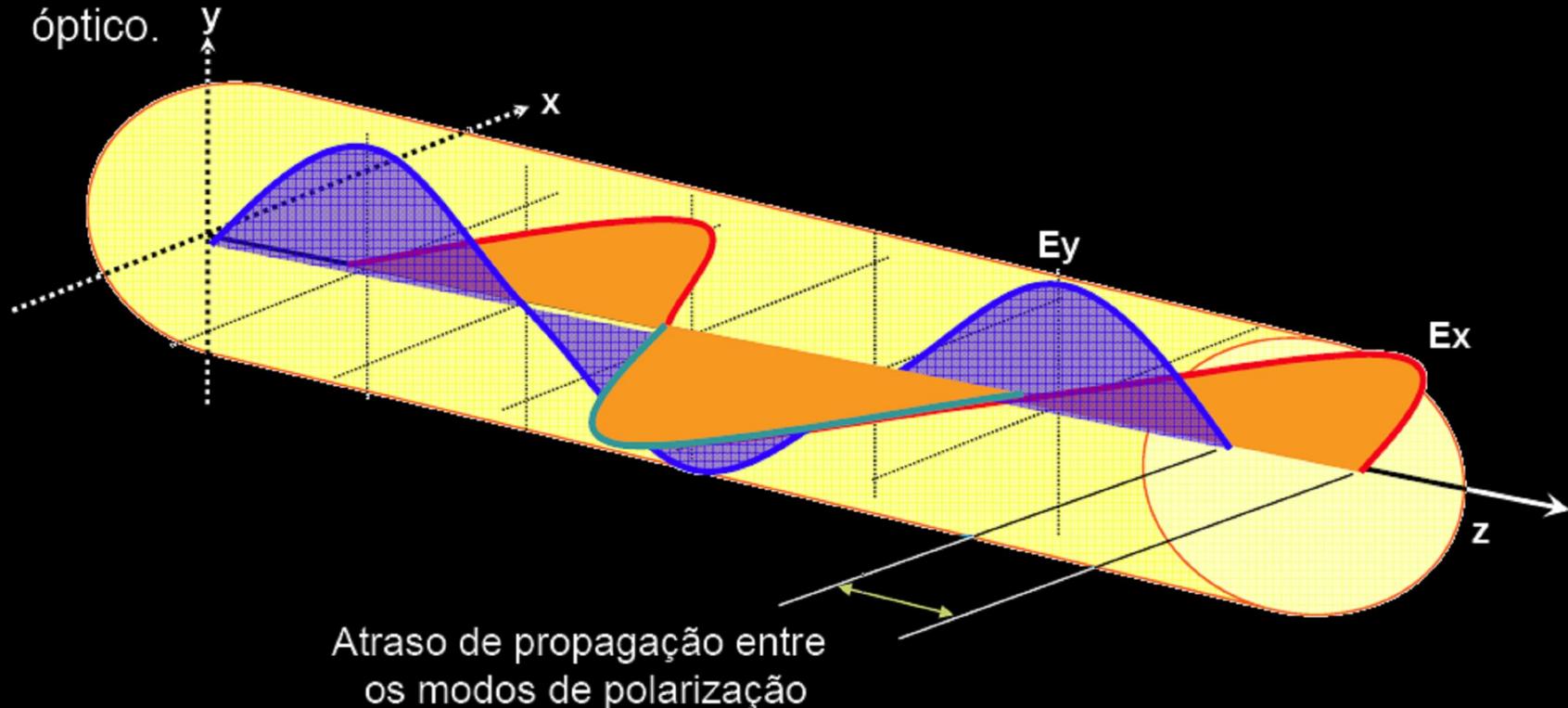
Modos de Polarização da Luz



O plano de oscilação do campo eletromagnético é uma combinação de dois planos principais de oscilação (x e y), que definem os modos de polarização da luz

Polarization Mode Dispersion

Simetria não perfeita da fibra óptica (núcleo da fibra não perfeitamente concêntrico) causa uma diferença entre as velocidades de propagação dos dois modos de polarização na fibra resultando no alargamento do pulso óptico.

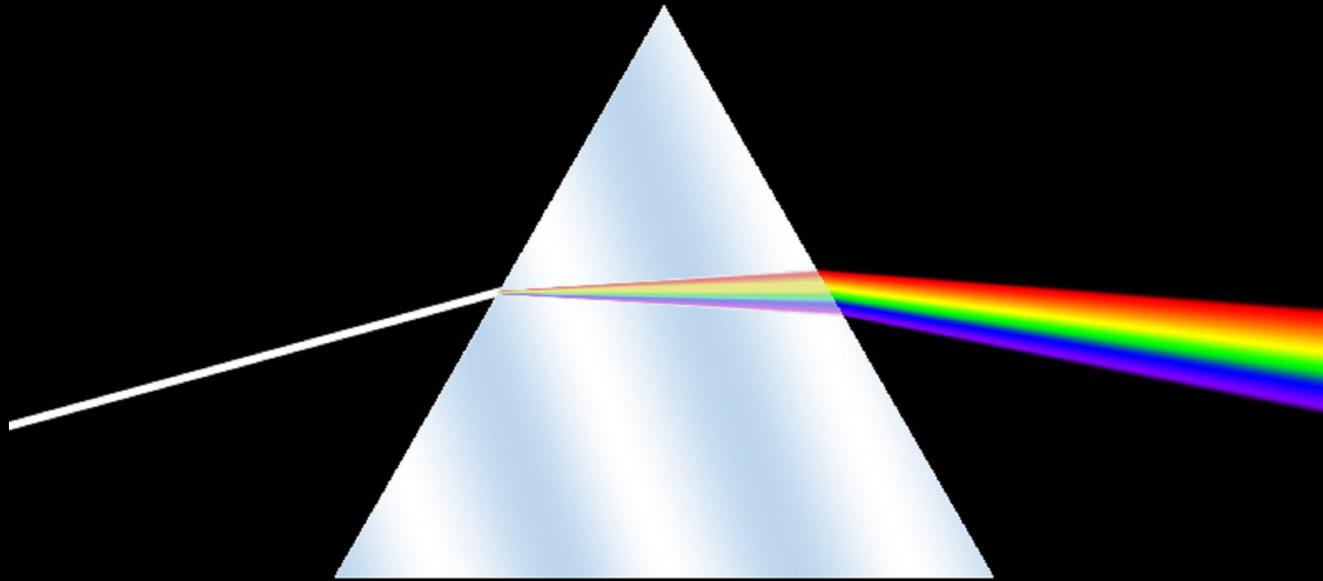


Efeitos Não Lineares

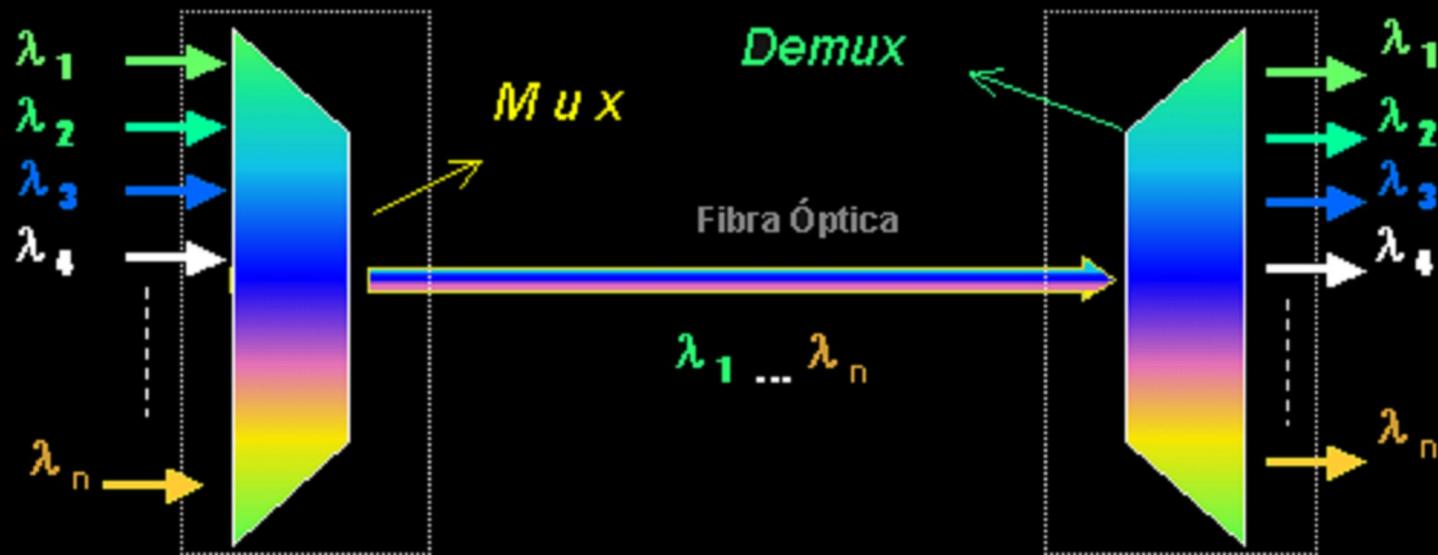
- Efeitos de Espalhamento Estimulados (*associadas ao espalhamento*)
 - Stimulated Brillouin Scattering (SBS) → limitações na potência de tx
 - Stimulated Raman Scattering (SRS) → crosstalk
- Efeitos devido à Variação no Índice de Refração (*modulação do índice de refração pela variação na intensidade da luz*)
 - Self Phase Modulation (SPM) → alargamento espectral → distorção
 - Cross Phase Modulation (XPM) → alargamento espectral, crosstalk
 - Four-Wave Mixing (FWM) → crosstalk

Amplificadores ópticos de alta potência podem gerar todos os efeitos não-lineares acima, levando à degradação do desempenho do sistema óptico.

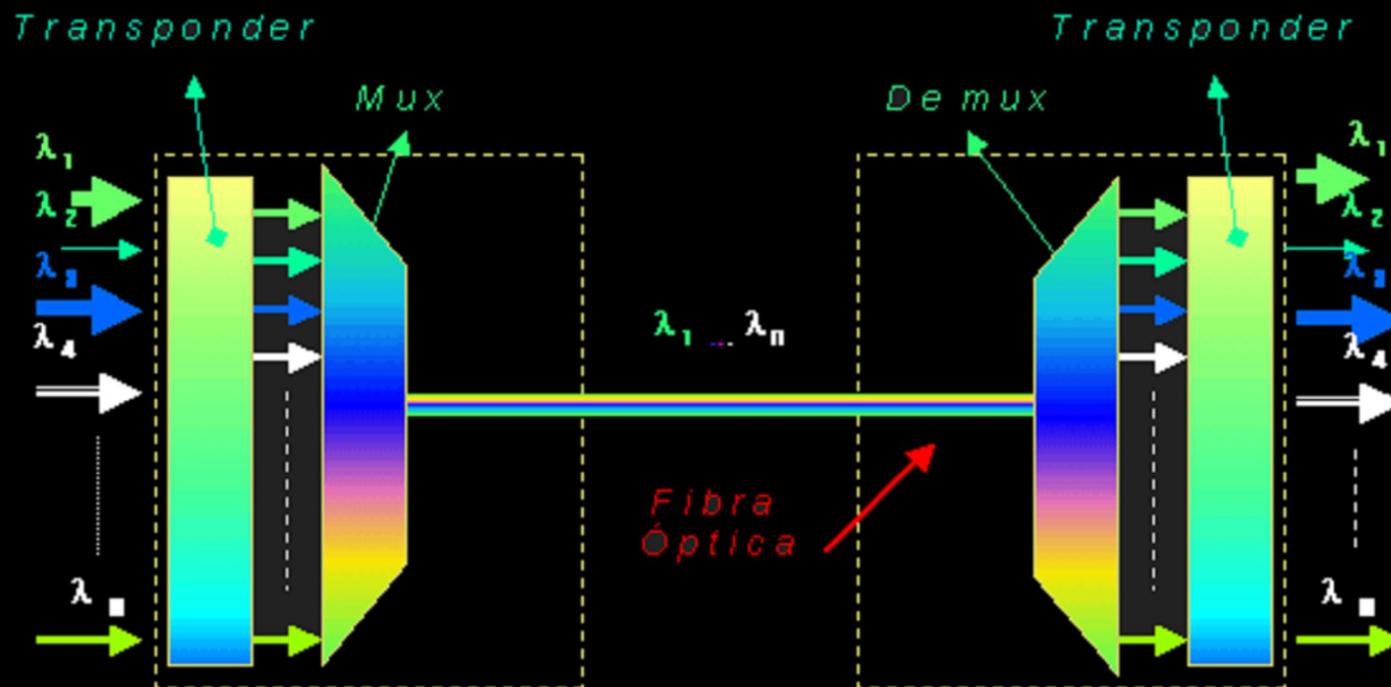
Mux/Demux ótico



Mux e Demux



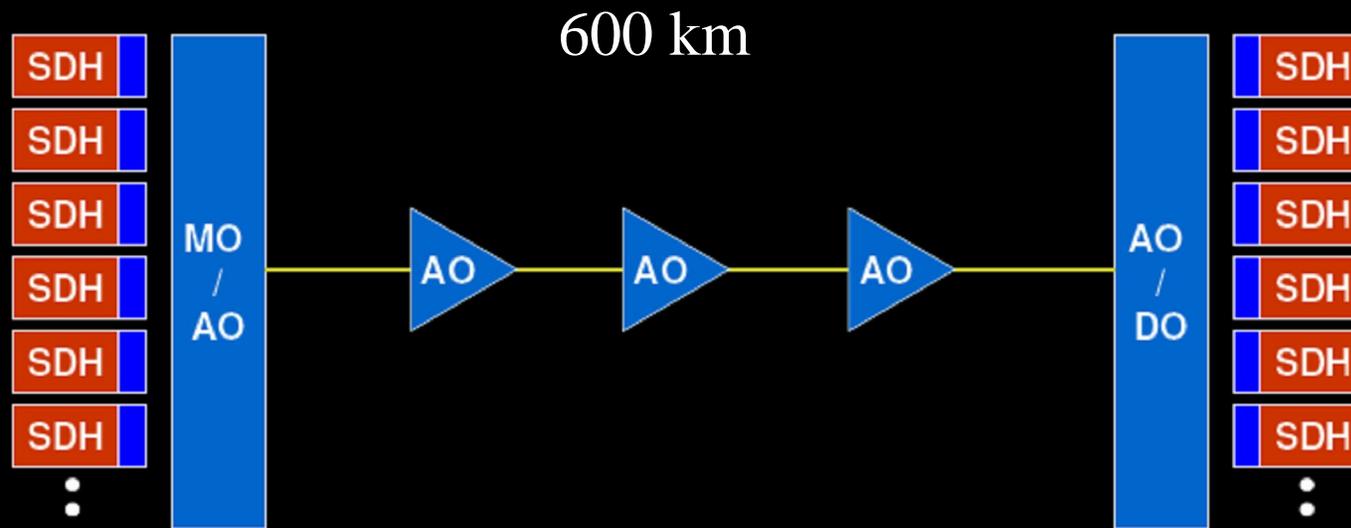
Transponders



Tipos de Transponders

- 1R – Executa somente a função de **Re-amplification**
- 2R – Executa as funções de **Re-amplification** e **Re-shaping**
- 3R – Executa as funções de **Re-amplification**, **Re-shaping** e **Re-timing**

Uma solução DWDM Típica



32 Clientes => 2 Fibras + Amplificadores Ópticos

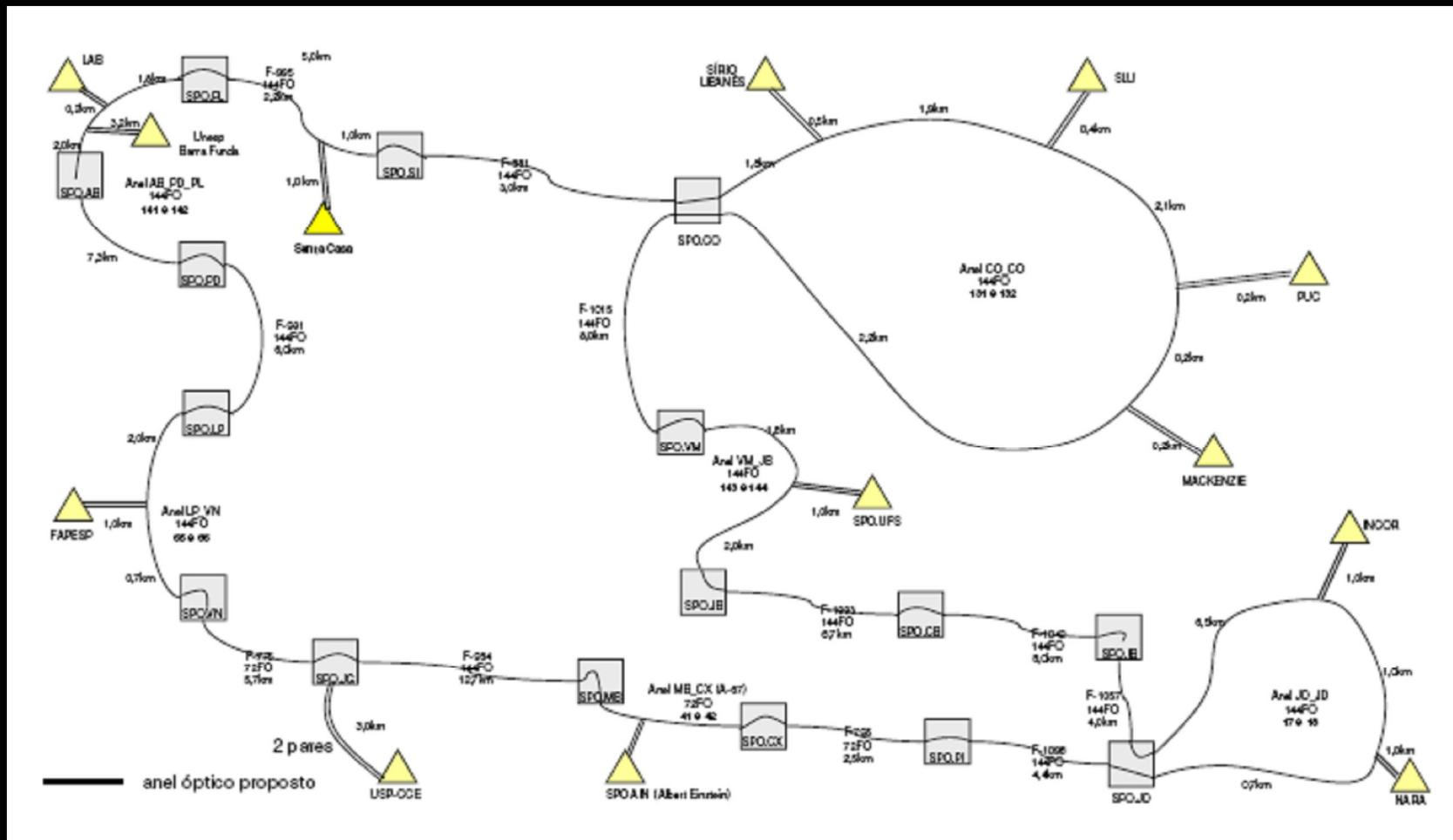
Rede Kyatera



Características da rede Kyatera

- Mantida pela FAPESP
- Exclusivamente dedicada a pesquisa científica
- Enlaces óticos dedicados
- Utiliza DWDM como subcamada física
- Velocidades de 1 Gb/s e 10 Gb/s
- Finalidade experimental

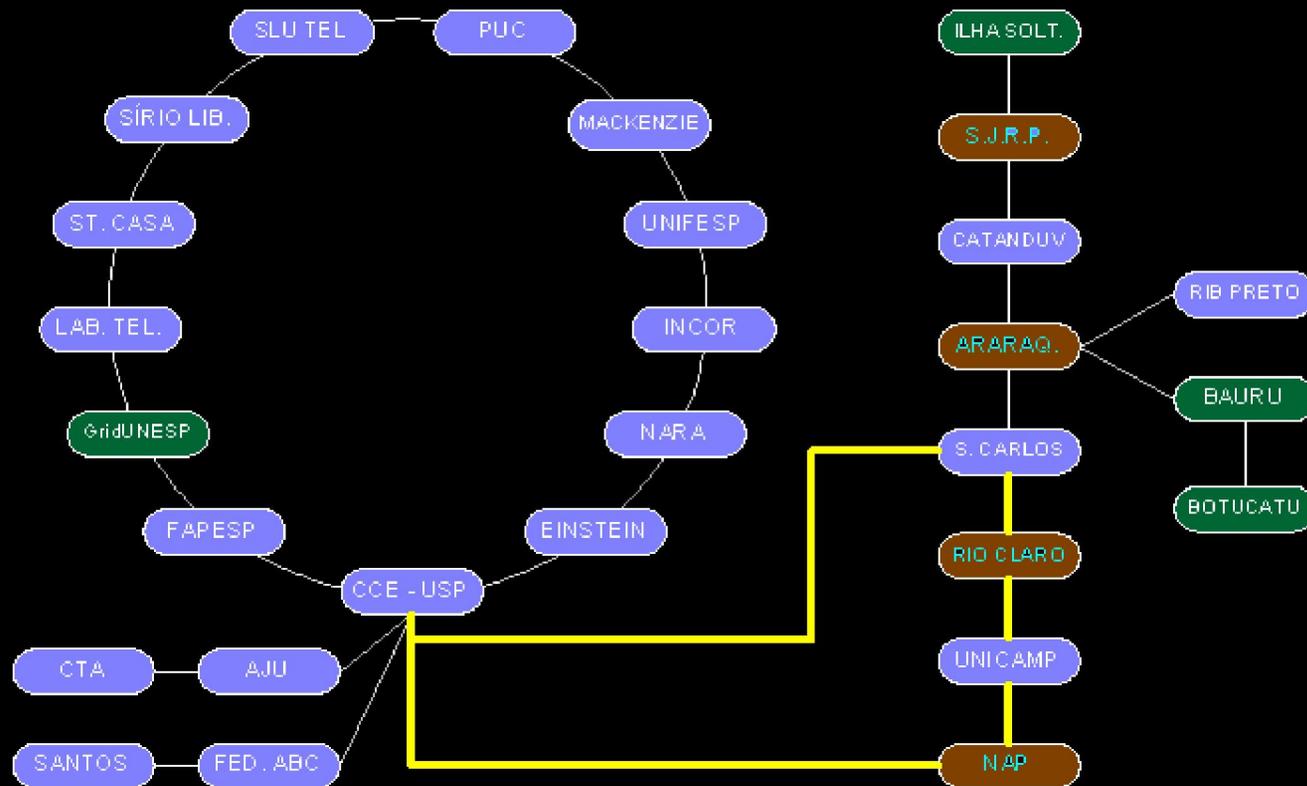
Rede KyaTera – Anel São Paulo



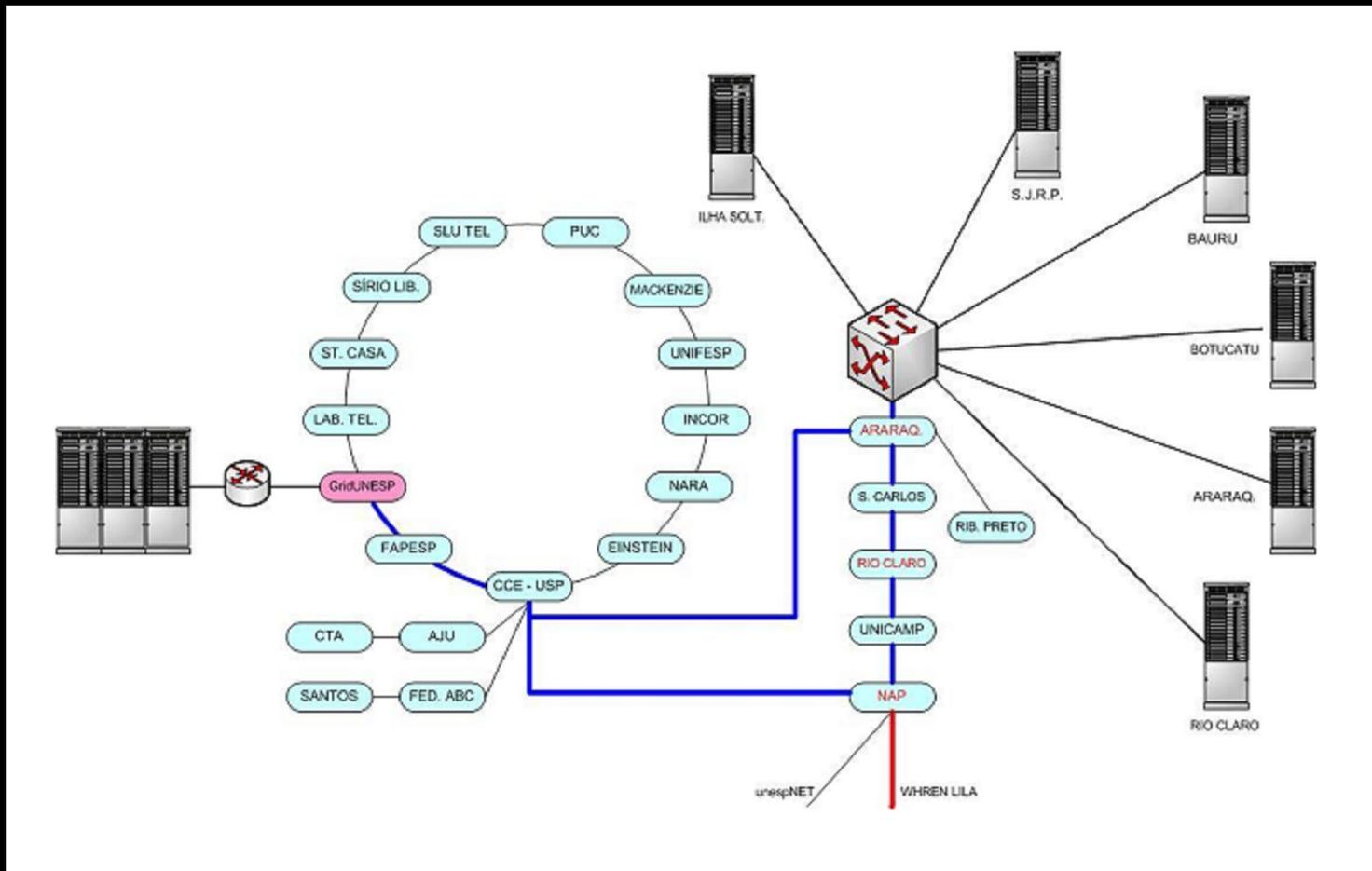
Inserção do GridUNESP na rede Kyatera

- Inserir novas localidades (Bauru, Botucatu, Ilha Solteira e Barra Funda);
- Alterar a topologia em alguns pontos;
- Reparar pequenas deficiências;
- Criar um lambda exclusivo para o GridUNESP;
- Construir uma nova camada de rede, administrada pelo pessoal do GridUNESP.

Topologia da Rede KyaTera



A sub-rede do GridUNESP

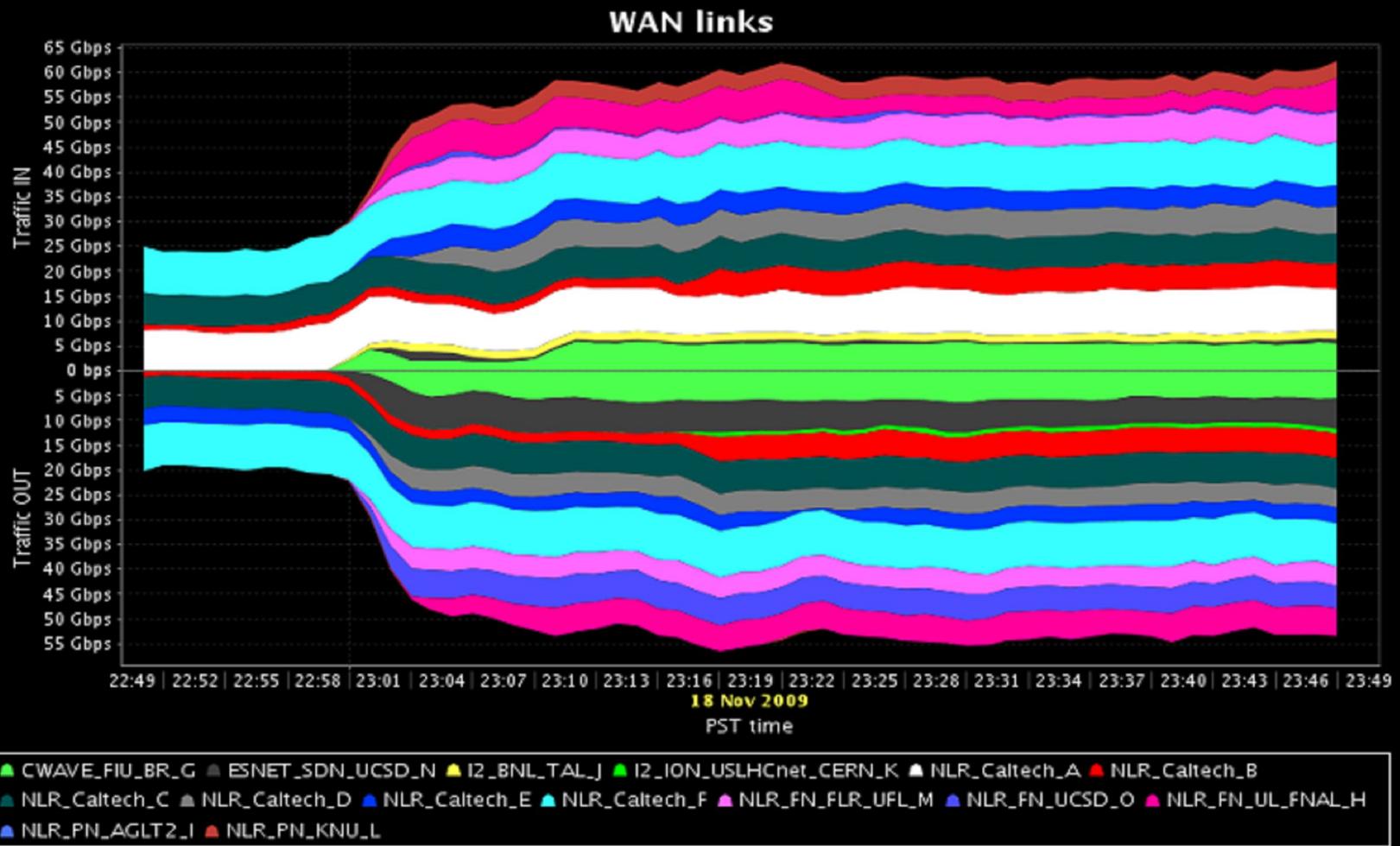


9ª Super Computing



- Participação no Bandwidth Challenge Award
- Utilização dos links da RNP, ANSP e Recursos do GridUNESP
- Conexão entre o Campus da Barra Funda e o Oregon Convention Center em Portland, OR
- Taxa de transferência de 8,26 Gb/s sustentada
- Maior taxa de transferência já registrada entre os hemisférios norte e sul

Super Computing Bandwidth Challenge



Esquema da rede utilizada

SPRACE / GridUNESP
switch port mapping

