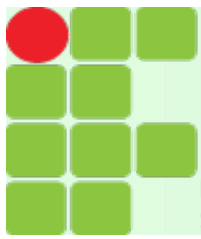


**INSTITUTO FEDERAL**  
SANTA CATARINA

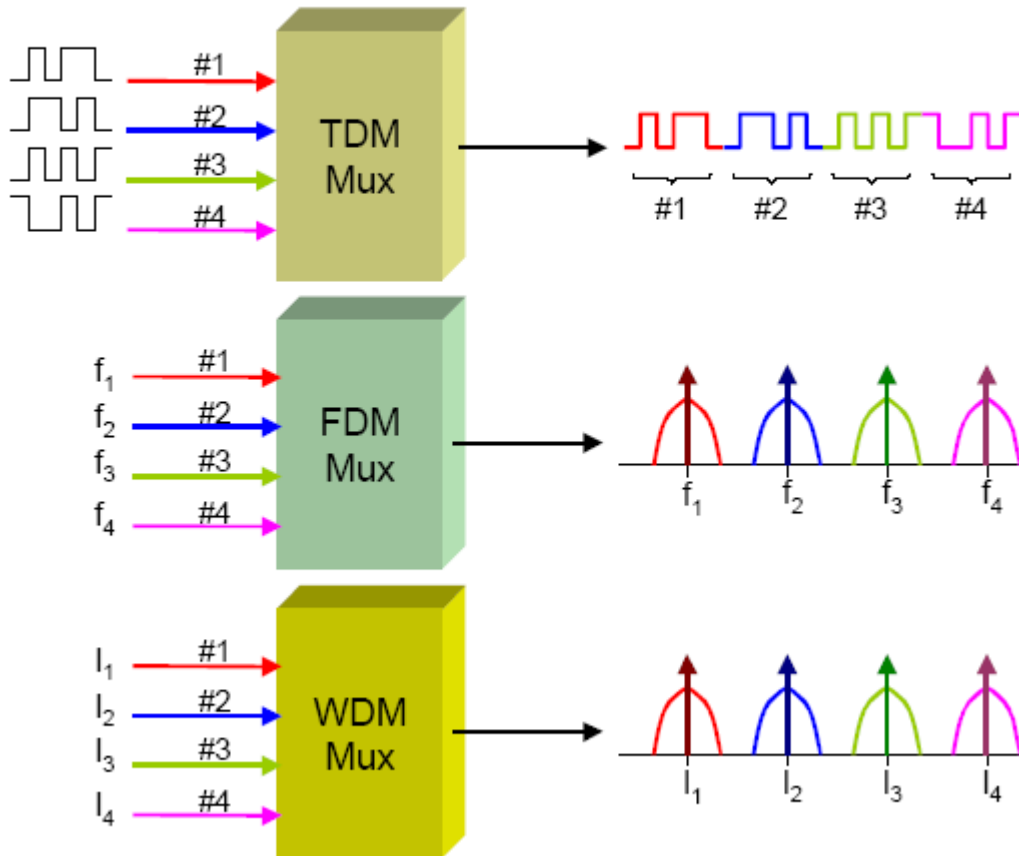
**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

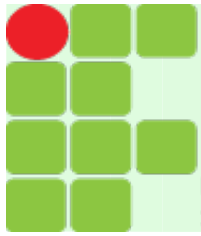
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina  
Campus São José – Área de Telecomunicações  
Curso Superior Tecnológico em Sistemas de Telecomunicações

# WDM



## TDM - FDM – WDM





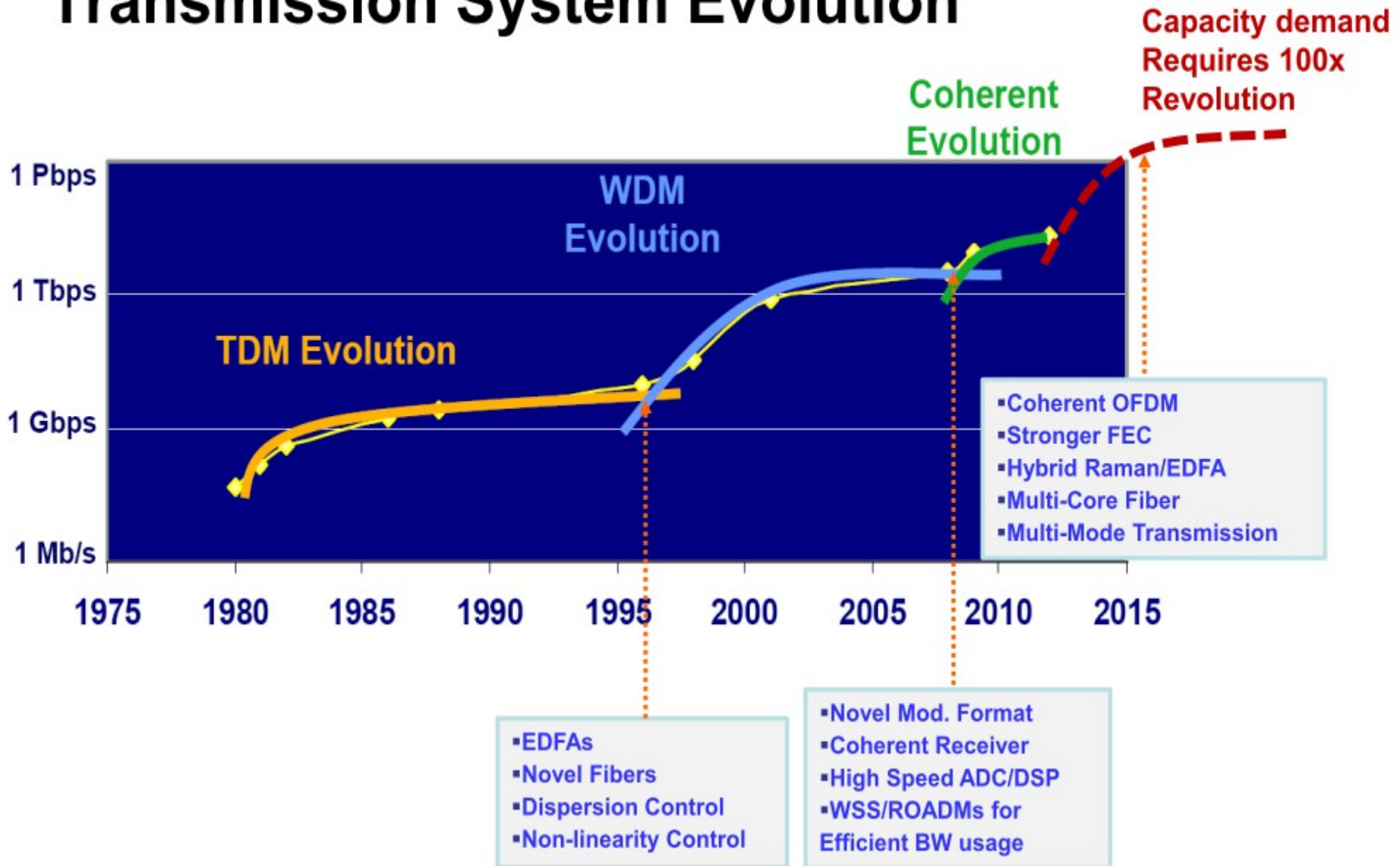
## WDM – multiplexação por divisão de comprimento de onda

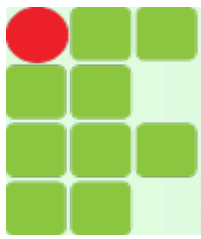
O sistema de transmissão WDM foi uma das soluções encontradas pelas indústrias de telecomunicações para atender a crescente demanda por banda passante.

O uso da fibra como meio de transmissão teoricamente permite atingir taxas de transmissão na ordem de Tera ou Peta bits por segundo. Porém, a transmissão de taxas dessa ordem em um único fluxo de bits não é possível devido as limitações dos transmissores, receptores e amplificadores, além das limitações geradas pela dispersão cromática da própria fibra.

As taxas de bits transmitidos em um único canal mais empregadas nos sistemas ópticos atuais são as de 2,5 e 10 Gbps.

# Transmission System Evolution





# WDM

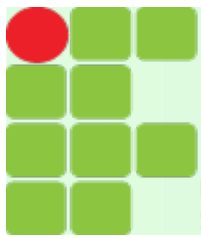
Para alcançar taxas mais elevadas de transmissão canais de 2,5 ou 10 Gbps são multiplexados gerando os sistemas WDM.

Estes atualmente atingem taxas de 40 a 100 Gbps.

Os sistemas WDM podem ser subdivididos em três grupos, conforme a distância entre os canais a serem transmitidos:

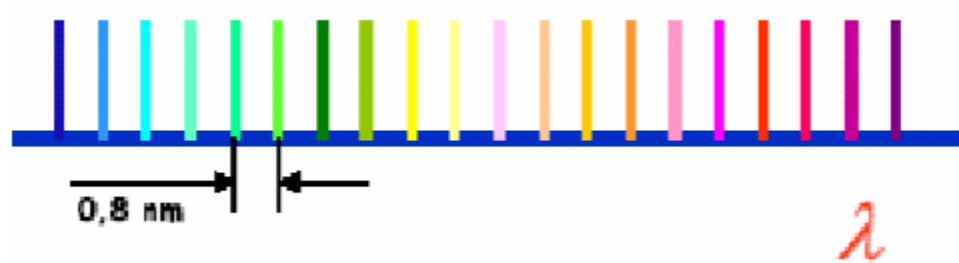
CWDM – afastamento entre canais de 20 nm, transmitem até 16 canais entre 1310 nm e 1610 nm. Utilizado em sistemas de curta distância que não necessitam de amplificação, pois devido a grande BW do sistema seria necessário demultiplexar os canais para proceder a amplificação.



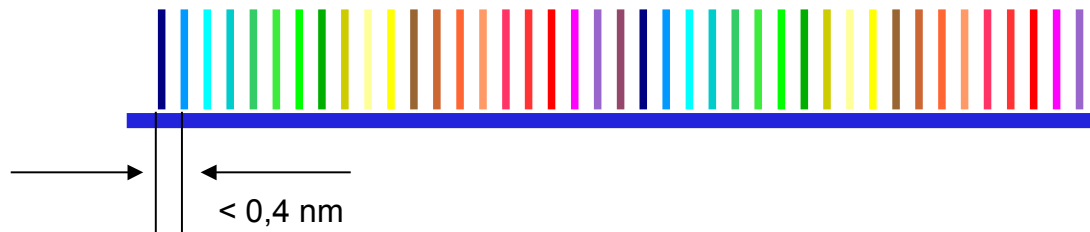


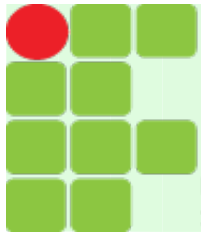
# WDM

DWDM (Dense WDM) – afastamento de 0,4 ou 0,8 nm, transmitem até 128 canais.



UDWDM (Ultra Dense WDM) – afastamento inferior a 0,4 nm, transmitem até 256 canais.

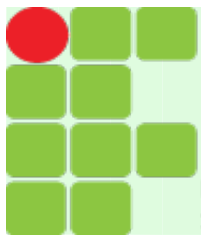




1) Considerando canais com taxas de 2,5 Gbps qual a máxima taxa de transmissão de um sistema:

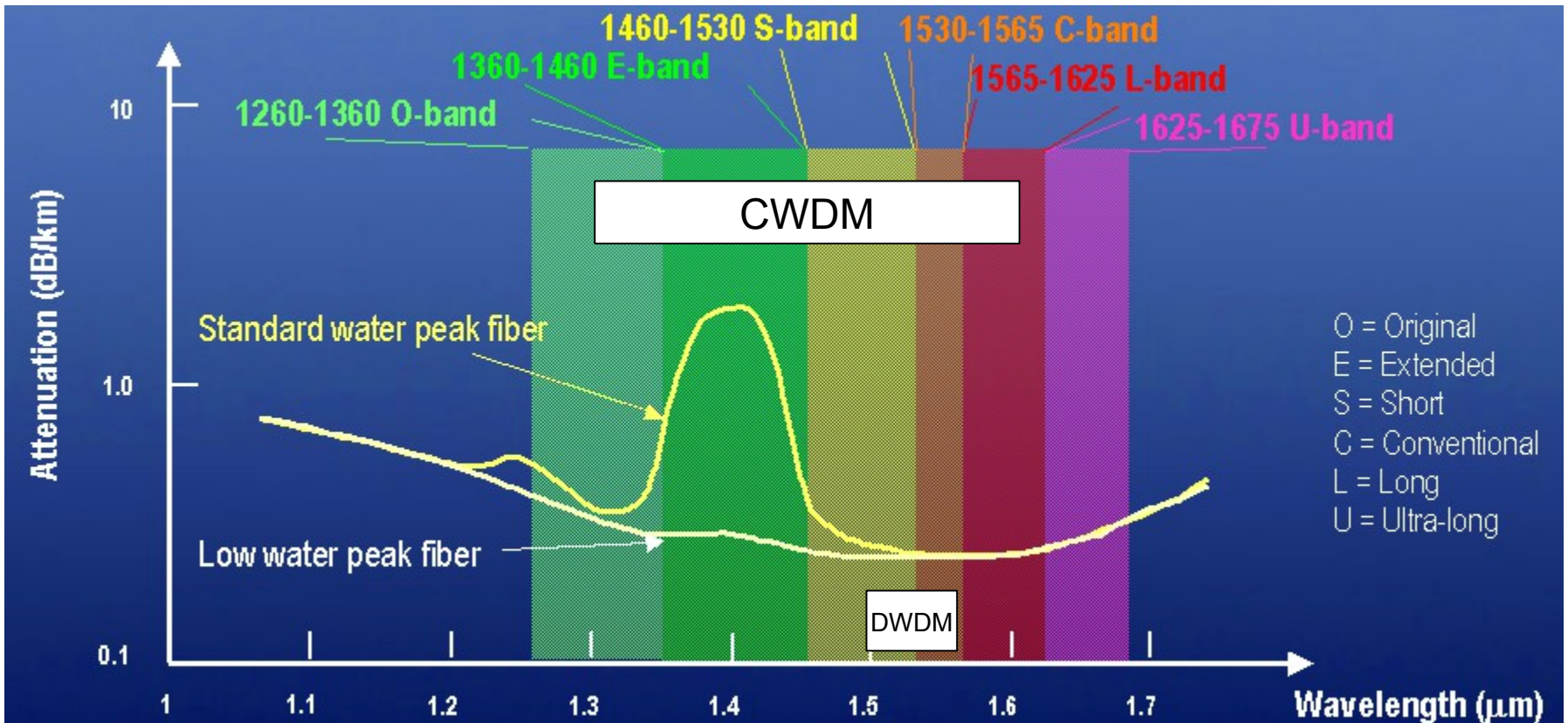
- a) CWDM
- b) DWDM
- c) UDWDM

2) Repita o exercício anterior considerando canais de 10 Gbps.

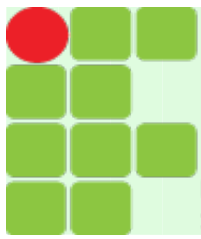


# WDM

O CWDM transmite canais nas faixas O, E, S, C e L.  
O sistema DWDM opera nas faixas S e C





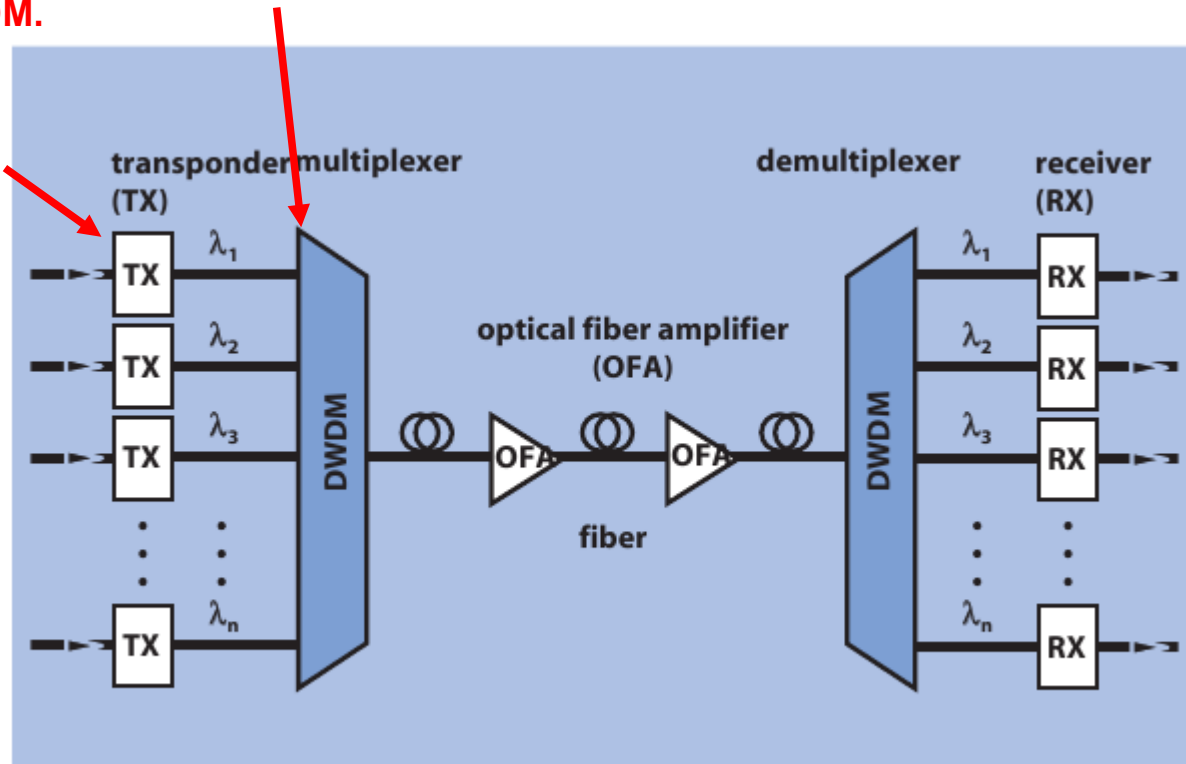


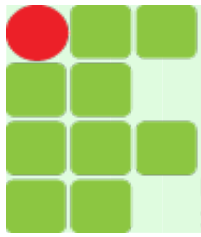
# WDM

Em um sistema ponto a ponto os componentes básicos de um sistema WDM são:

**transponder: converte o comprimento de onda dos tributários para os comprimentos de onda dos canais do sistema WDM.**

**fontes ópticas dos equipamentos geradores dos tributários (laser DFB ou DBR)**

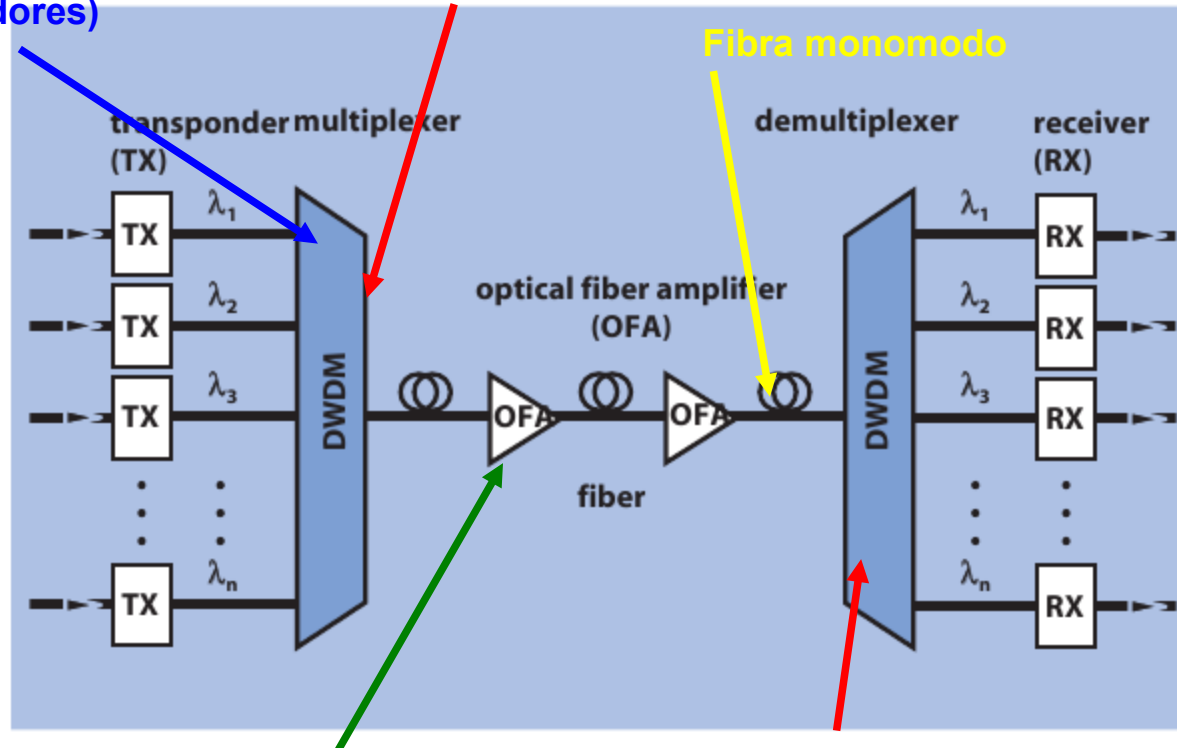




# WDM

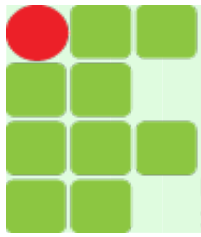
**Multiplexador:** agrupa todos as comprimentos de onda na mesma fibra (AWG, grades de difração, acopladores)

**Pós-amplificador (EDFA):** amplifica o sinal de saída do transponder



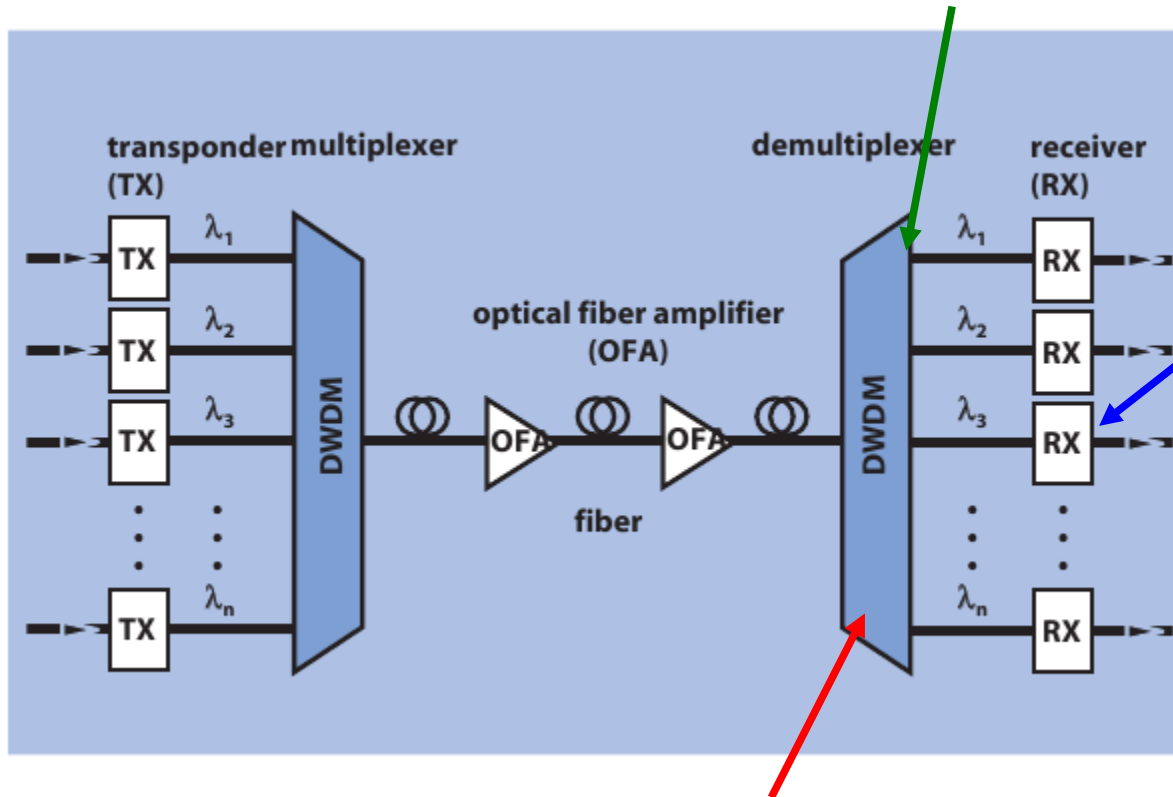
**Amplificador de linha (EDFA):** amplifica o sinal no meio do enlace.

**Pré-amplificador (EDFA):** amplifica o sinal antes de repassá-lo para o demultiplexador



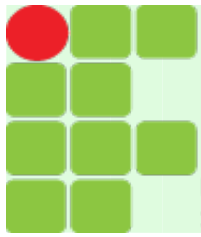
# WDM

**Transponder:** converte os comprimentos de onda dos canais para os comprimentos de onda dos receptores

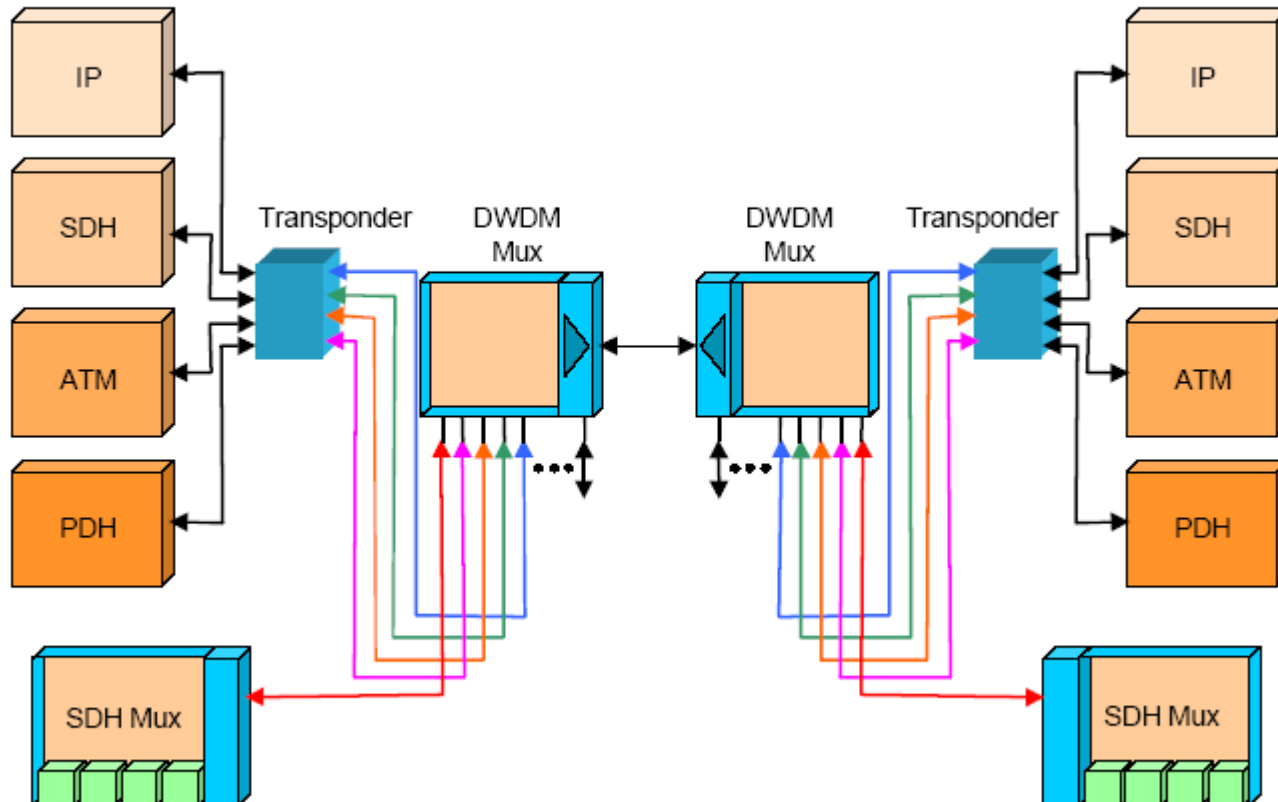


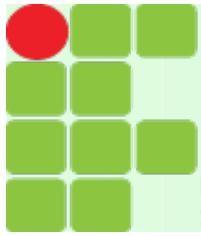
**receptores ópticos:**  
convertem o sinal  
de óptico para  
elétrico (APD, PIN)

**Demultiplexador:** divide os comprimentos de onda e os repassa para o transponder (acopladores, filtros dielétricos, circuladores com grades de Bragg, AWG).



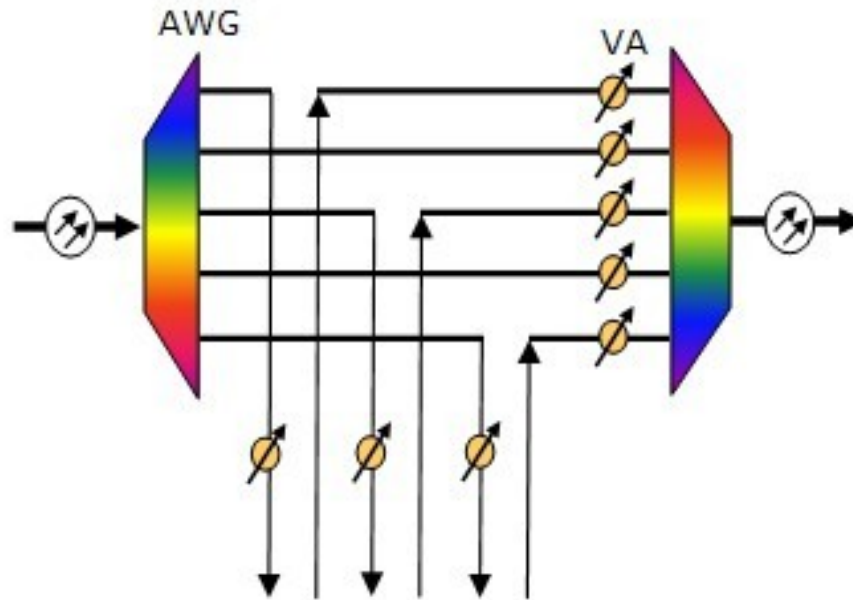
# WDM

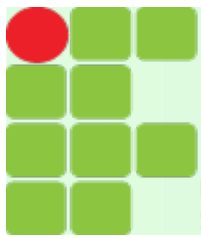




# WDM

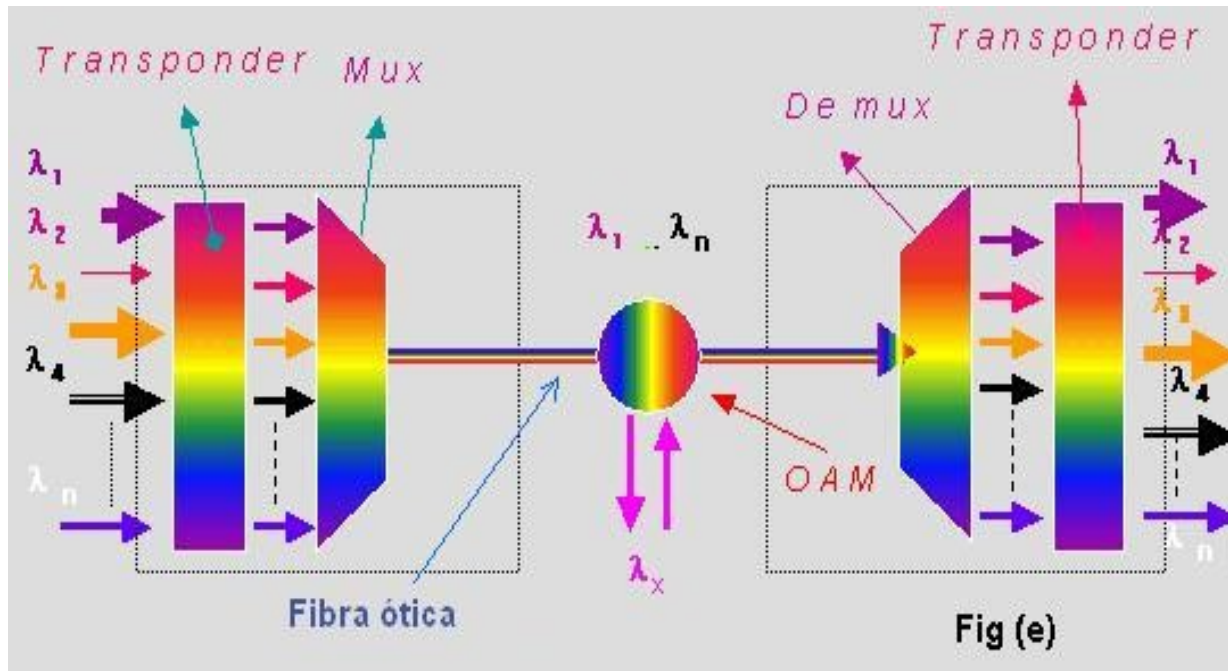
Podemos incluir nos sistemas ponto-a-ponto os OADM, equipamentos que permitem a extração de alguns canais (comprimentos de onda) e a inserção de outros.

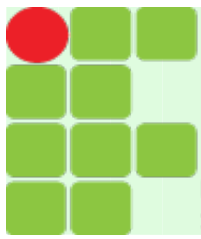




# WDM

## Sistema ponto a ponto com OADM



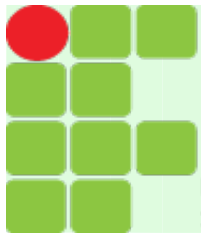


## Perturbações em sistemas WDM

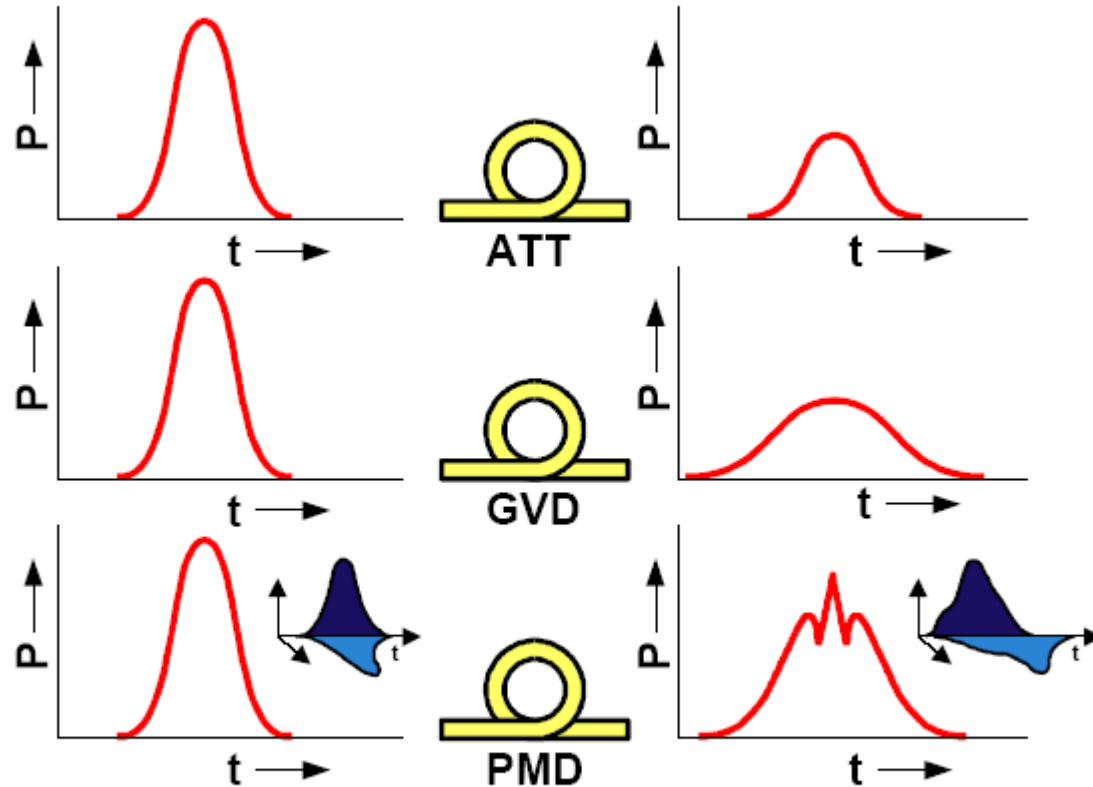
A transmissão de vários canais numa mesma fibra aumenta a densidade luminosa no núcleo da fibra gerando perturbações que não estão presentes nas transmissões ópticas monocanais.

Nos sistemas WDM estão presentes as seguintes perturbações:

- a) Atenuação (A): espalhamento de Rayleigh, absorção, curvaturas.
- b) Dispersão cromática (DC): diferença de velocidade dos comprimentos de onda.
- c) Dispersão de modo de polarização (DMP): diferença de velocidade dos modos de transmissão ortogonais da luz.



# WDM

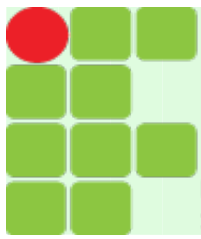


ATT – Atenuação

GVD – Group Velocity Dispersion

PMD – Polarization Mode Dispersion

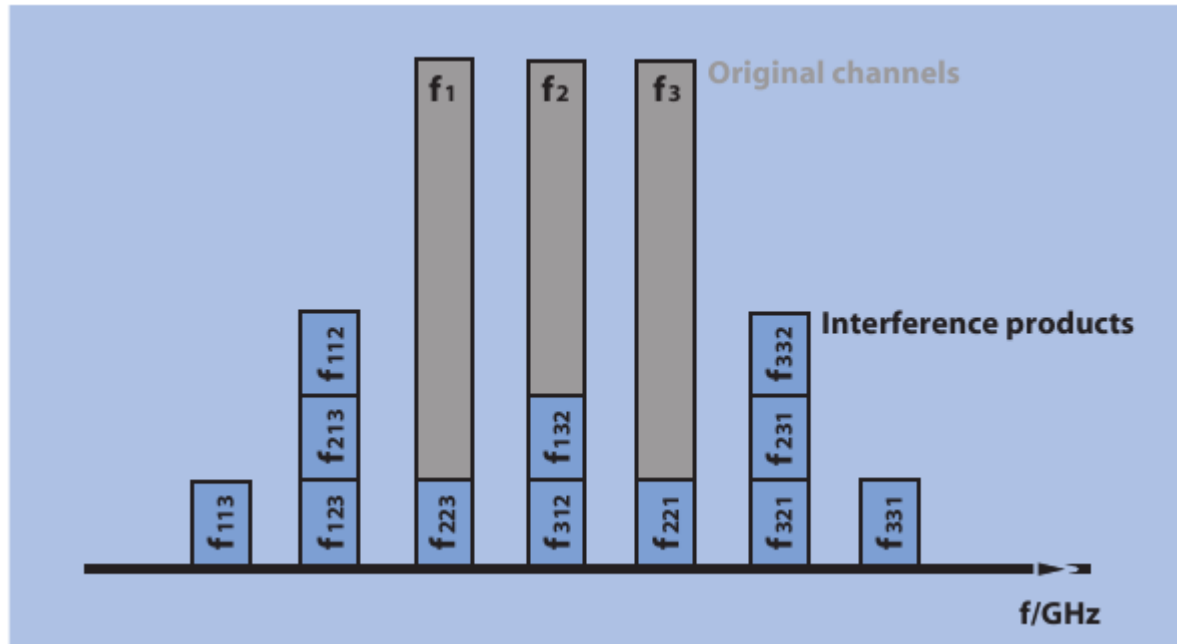


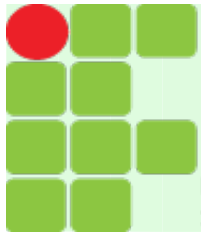


# WDM

## Perturbações geradas em função da alta densidade de potência (>15 dBm)

a) **FWM (Four Wave Mixing)** – a interação entre 3 ou mais canais ópticos transmitidos na mesma fibra produz novos canais, conhecidos como canais fantasmas. A partir de três frequências (canais) outros canais são gerados. Alguns desses novos canais podem coincidir com canais de transmissão gerando crosstalk. Um WDM com 4 canais pode gerar até 24 canais fantasmas, e um sistema com 16 canais pode gerar 1920 canais fantasmas. ( $F_{xyz} = F_x + F_y - F_z$ )





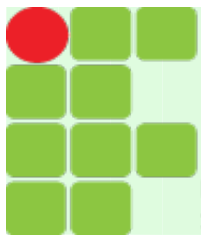
# WDM

A dispersão diminui o efeito da FWM, uma vez que os canais irão percorrer a fibra em velocidades diferentes diminuindo o acoplamento entre eles.

Esta foi uma das razões para a não aplicação de fibras com dispersão deslocada em enlaces WDM.

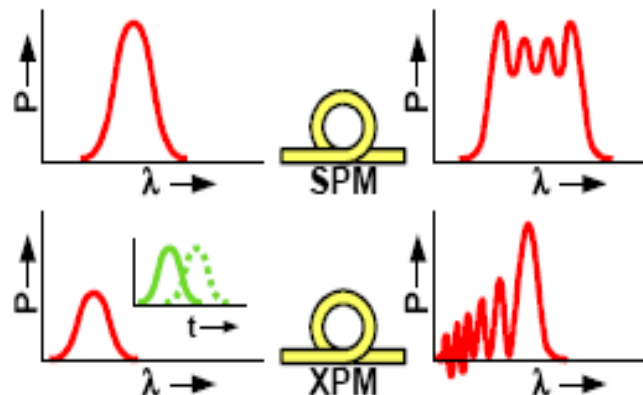
Essas fibras tornavam a dispersão igual a zero na região de 1550 nm, o que aumentava o problema da FWM.

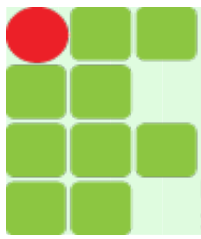
Nos sistemas WDM são mais empregadas as fibras padrão e a fibra com dispersão deslocada não igual a zero. Nessas duas fibras existe dispersão na região dos sistemas DWDM.



# WDM

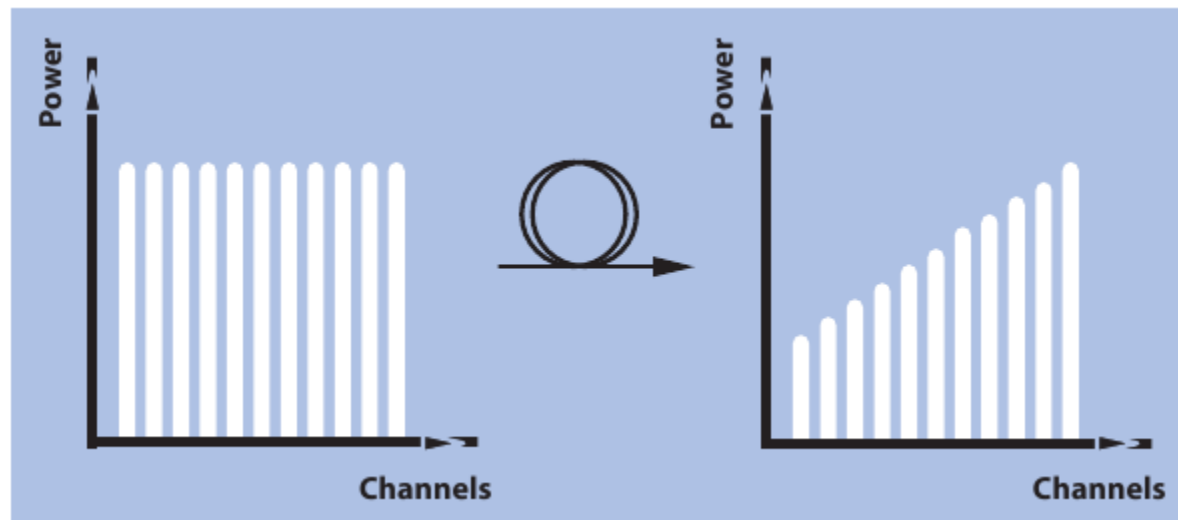
- b) SPM (Self Phase Modulation): Devido a alta densidade do sinal luminoso a luz auto induz variações locais no índice de refração, conhecidas como efeito Kerr. Em função dessas alterações a fase do canal é alterada, isto provoca um alongamento do pulso e mudanças nos comprimentos de onda do canal.
- c) XPM (Cross Phase Modulation): Corresponde a mudança da fase e o alargamento de um canal em função da alta densidade do sinal luminoso de outro canal. O fenômeno físico é o mesmo da SPM, efeito Kerr, porém considera-se a alteração do índice de refração em função do aumento da densidade luminosa de outro canal. O alargamento do pulso nesse caso tende a aumentar o número de comprimento da onda do canal.

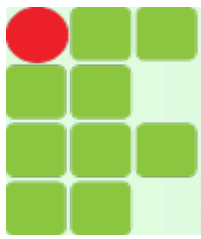




# WDM

d) **SRS (Stimulated Raman Scattering)**: a intensidade luminosa provoca o espalhamento Raman. Devido a interação entre a luz e as vibrações mecânicas da fibra, a potência luminosa de um comprimento de onda é transferida para outro comprimento de onda. Essa transferência sempre ocorre do menor comprimento para o maior comprimento de onda.

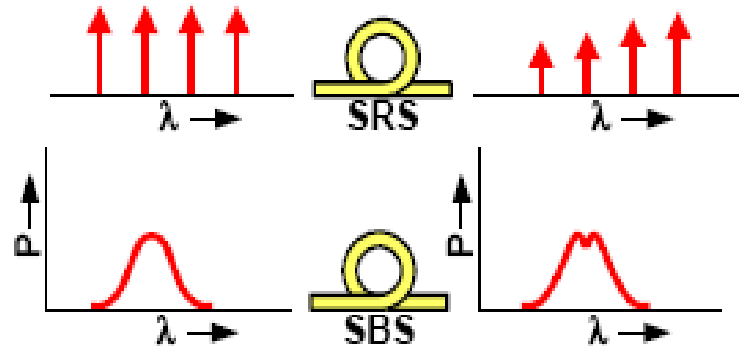


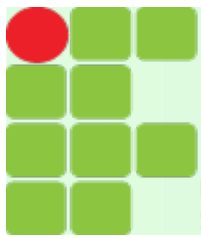


# WDM

- e) **SBS (Stimulated Brillouin Scattering):** o espalhamento de Brillouin também é resultante da alta densidade de potência e provoca perda de potência, pois parte da potência luminosa é espalhada no sentido inverso ao da transmissão.

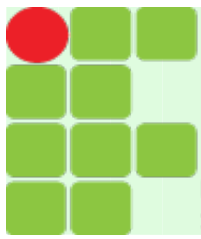
## Stimulated scattering processes





# WDM

prejuízo	causa	Potência crítica p/ canal	Efeito	Compensação
Atenuação / Ruído	Absorção material / espalhamento		Diminuição da potência de pico. erro de bit	menores distâncias, fibra de material puro
CD	Velocidade de grupo dependente do $\lambda$		Diminuição da potência de pico. Aumento da largura espectral do pulso. Erro de bit	uso de fibras (DCF) ou módulos com valores reversos de dispersão (DCM)
PMD	Imperfeições da fibra causando mudanças no índice de refração.		Diminuição da potência de pico. Distorção do forma do pulso. erro de bit	Novas fibras com baixos valores de PMD, com perfeitas geometria, cuidadosa instalação de fibra



# WDM

<b>perturbação</b>	<b>causa</b>	<b>Pot. crítica p/ canal</b>	<b>Efeito</b>	<b>Compensação</b>
<b>SRS</b>	Interação de fótons com a fonética óptica.	1 mW	diminuição da potência de pico. Diminuição da relação sinal ruído. Diafonia óptica especialmente em sistemas bidirecionais. erro de bit	Cuidado com o nível de potência projetado.
<b>SBS</b>	Interação dos fótons com a acústica óptica	5 mW	Diminuição da potência de pico. Diminuição da RSR. Instabilidade do sinal. Diafonia óptica, principalmente em sistemas bidirecionais. erro de bit	Limitação da largura espectral das fontes de luz.
<b>FWM</b>	Interferência entre sinais	10 mW	Transferência de potência do sinal original para novos sinais. Produção de harmônicas. Diafonia entre canais. erro de bit	Uso de fibras com dispersão, maior espaçamento dos canais.
<b>SPM, XPM</b>	Índice de refração dependente da intensidade do sinal (Efeito Kerr).	10 mW	Alargamento do espectro. Diafonia entre canais devido a passagem de potência para os canais com comprimentos de onda maiores. erro de bit	Uso de fibras com dispersão.