

TUTORIAIS NIC.BR

08 DE DEZEMBRO DE 2017 , SEDE DO NIC.BR (NAÇÕES UNIDAS), SÃO PAULO

DWDM

em curtas e longas distâncias

São Paulo, 8 de dezembro de 2017



Rinaldo Vaz

Especialista em redes ópticas de longa distância,
sistemas DWDM e roteamento inter-AS

Chief Technology Officer



Certifique-se de estar com a versão [atualizada](#)

- **Sistemas DWDM em curtas distâncias**
- **Sistemas DWDM em longas distâncias**

Baixe a calculadora de potência em:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1anpFh0-v3lBnCEQF2gEHx5r7FbJW0RaPiFTZ1eAkGj4/edit?usp=sharing>

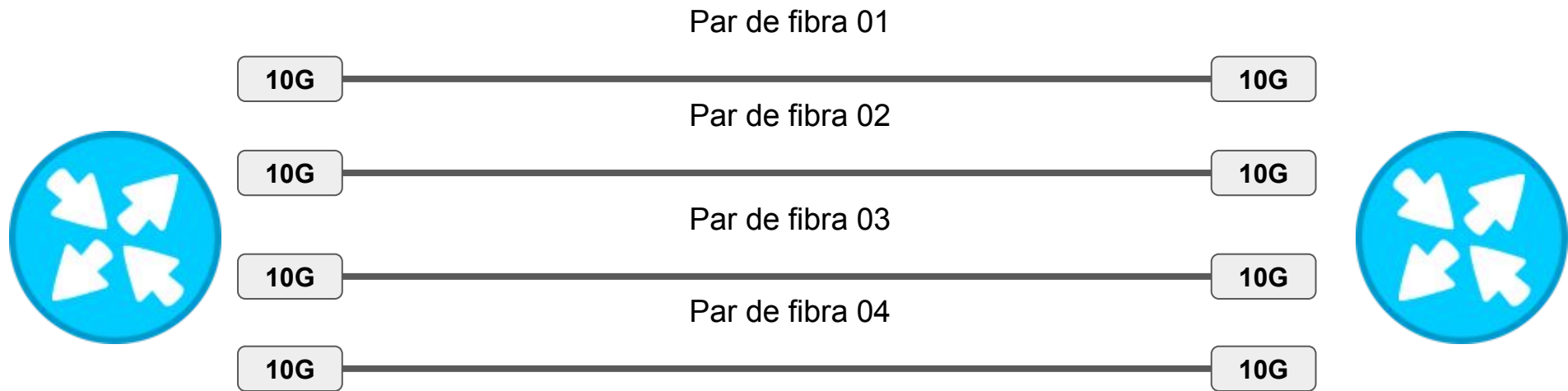
Sistemas DWDM em curtas distâncias

Tecnologia DWDM

→ Tecnologia DWDM



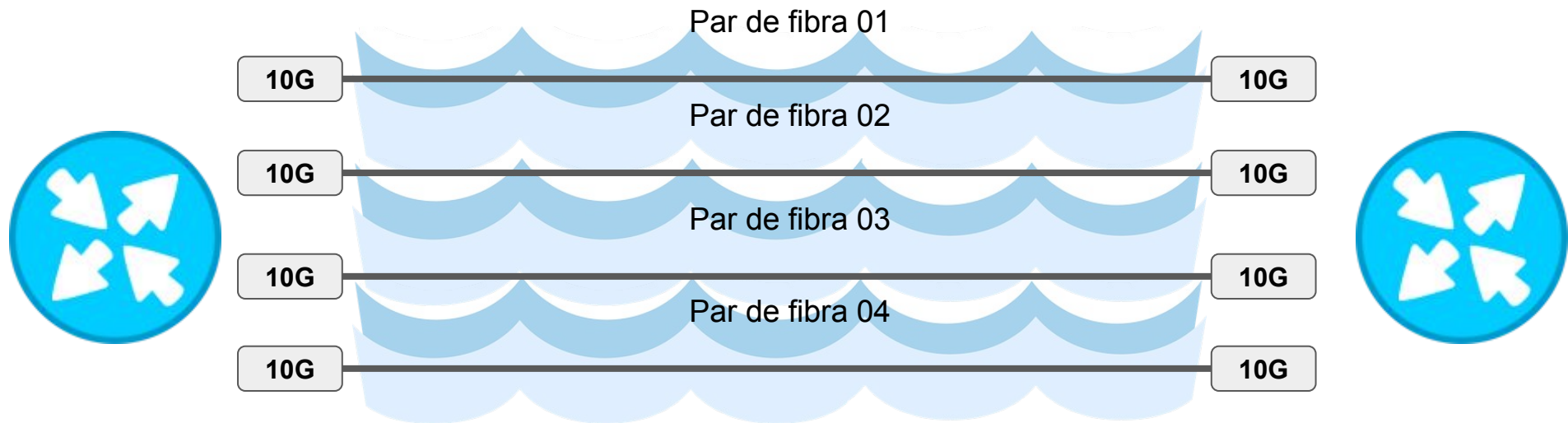
- Alta demanda x quantidade de fibras
 - Sistemas terrestres



→ Tecnologia DWDM



- Alta demanda x quantidade de fibras
 - Sistemas submarinos



→ Tecnologia DWDM



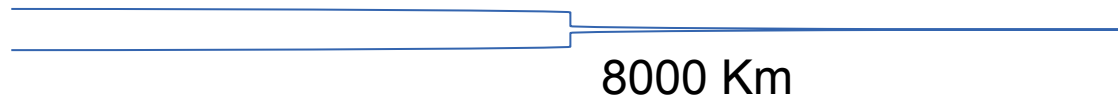
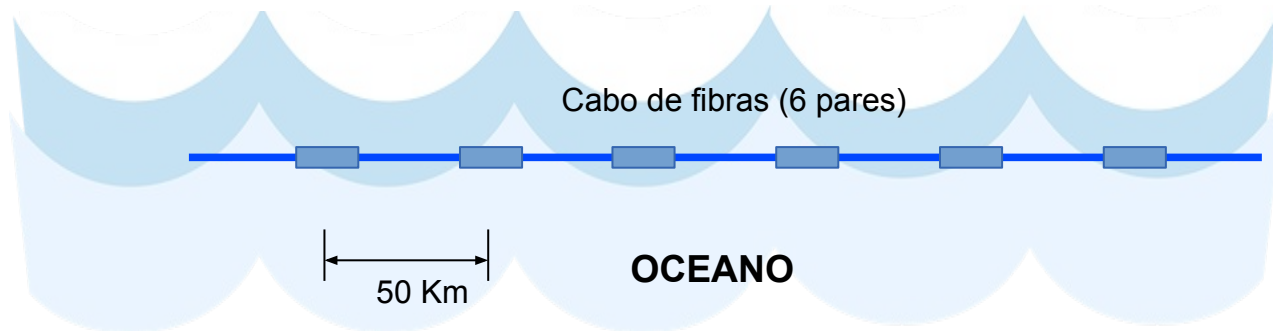
- Alta demanda x quantidade de fibras
 - Sistemas submarinos



→ Tecnologia DWDM



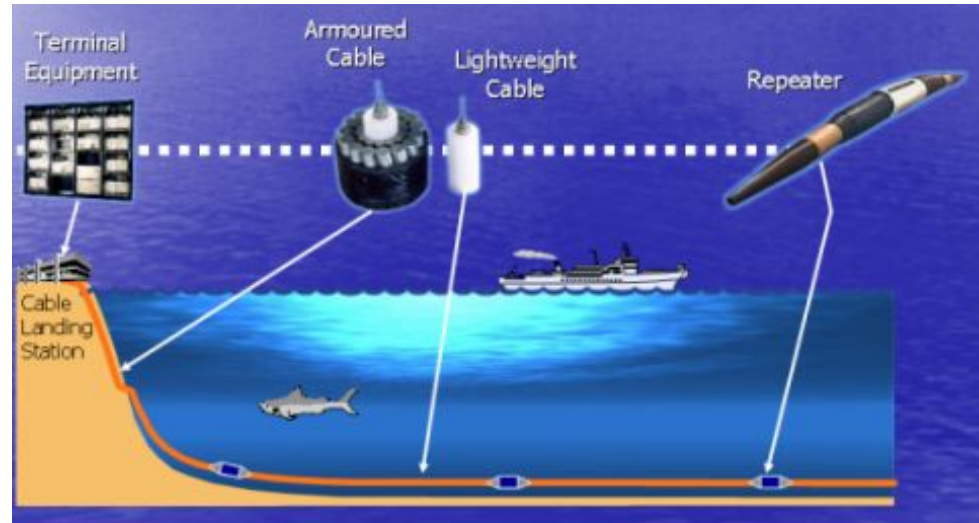
- Alta demanda x quantidade de fibras
 - Sistemas submarinos



→ Tecnologia DWDM



- Alta demanda x quantidade de fibras
 - Sistemas submarinos



→ Tecnologia DWDM



- Alta demanda x quantidade de fibras
 - Sistemas submarinos

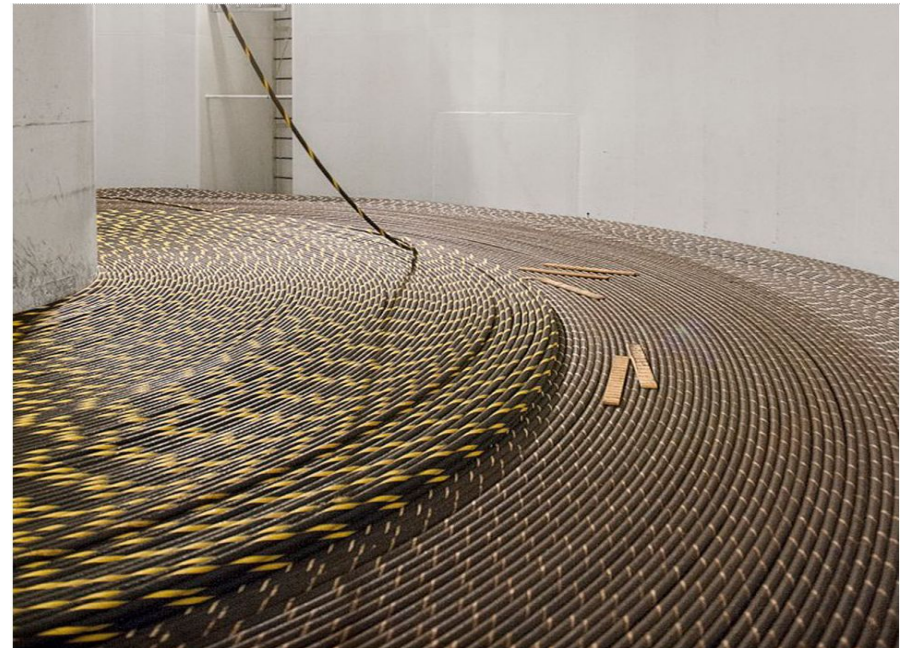


→ Tecnologia DWDM



- Alta demanda x quantidade de fibras
 - Sistemas submarinos

CABO ÓPTICO SUBMARINO
EMBARCADO PARA
LANÇAMENTO

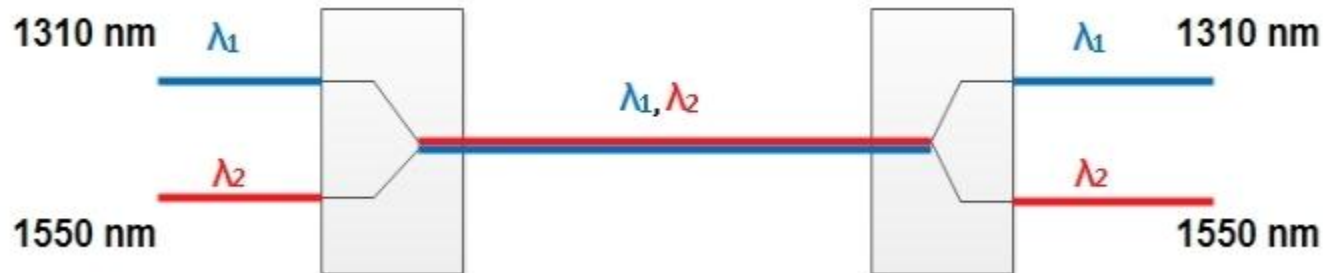


→ Tecnologia DWDM



→ Sistema WDM

- Canais independentes em frequências distintas



→ Tecnologia DWDM



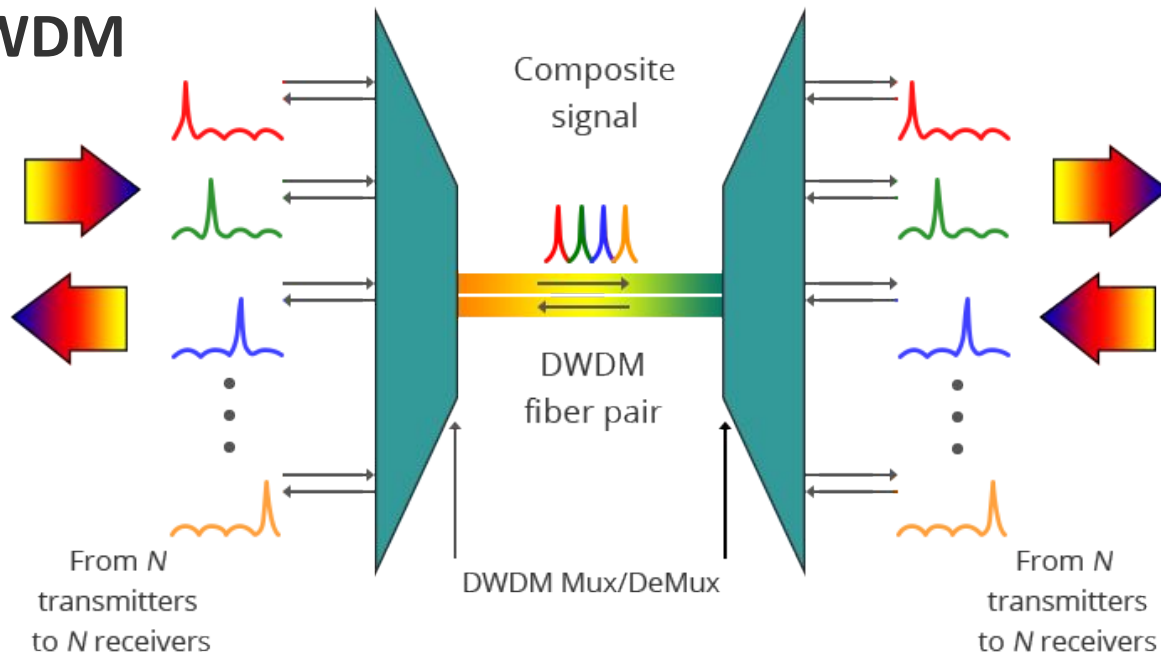
→ Sistema WDM

- Canais independentes em frequências distintas
- Todo sistema **DWDM** é um sistema **WDM**
- Nem todo sistema **WDM** é um sistema **DWDM**

→ Tecnologia DWDM



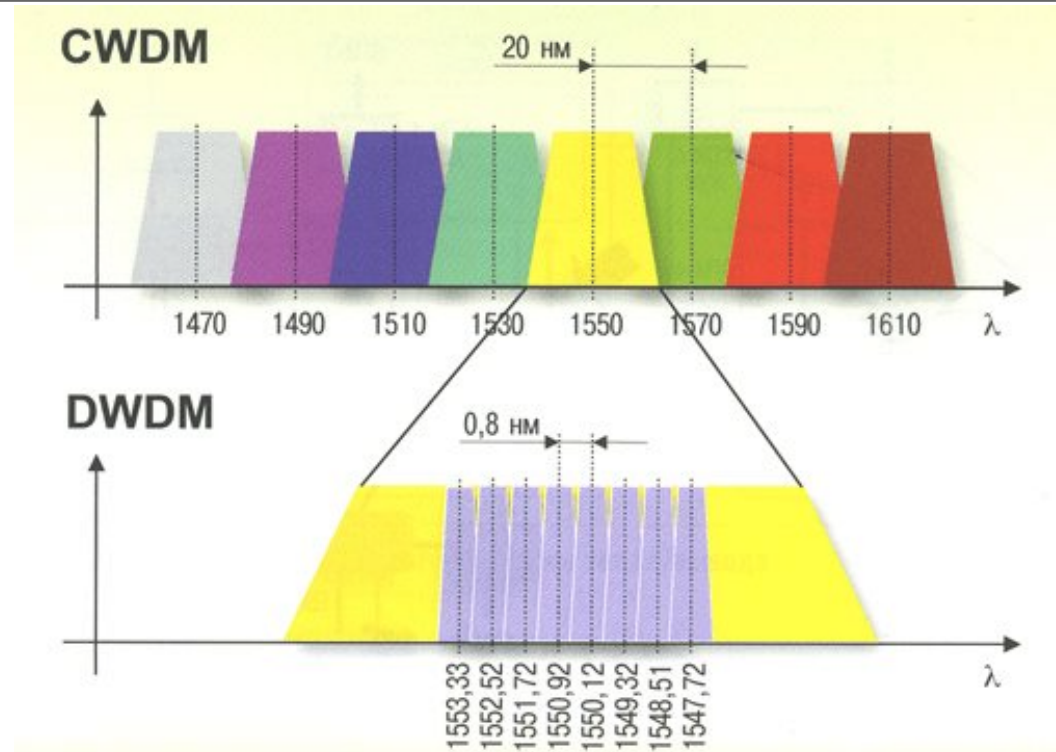
→ Sistemas CWDM e DWDM



→ Tecnologia DWDM

→ Diferença :

- CWDM
 - (C)oarse
- DWDM
 - (D)ense



→ Tecnologia DWDM



→ Diferença :

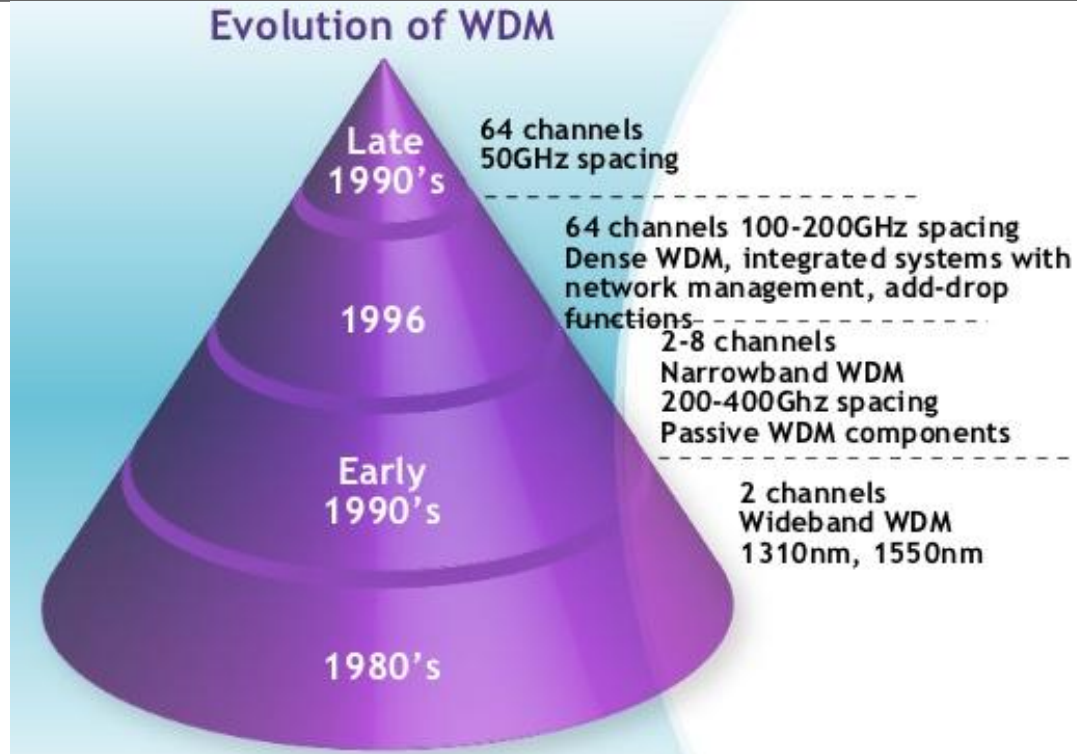
- **CWDM**
 - **(C)oarse**
- **DWDM**
 - **(D)ense**

	Optical band	Wavelengths
○	(Original)-Band	1260 nm – 1360 nm
E	(Extended)-Band	1360 nm – 1460 nm
S	(Short)-Band	1460 nm – 1530 nm
C	(Conventional)-Band	1530 nm – 1565 nm
L	(Long)-Band	1565 nm – 1625 nm
U	(Ultralong)-Band	1625 nm – 1675 nm

→ Tecnologia DWDM



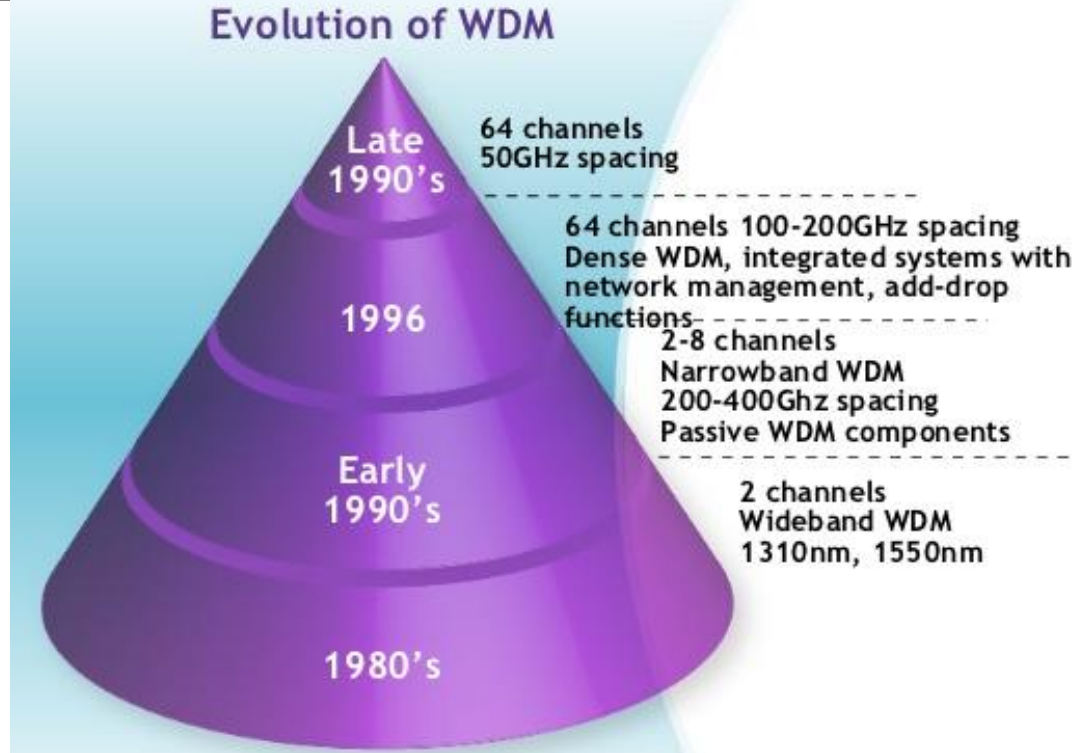
→ Evolução na quantidade de canais



→ Tecnologia DWDM



- Evolução na quantidade de canais
- Menor espaçamento dos canais

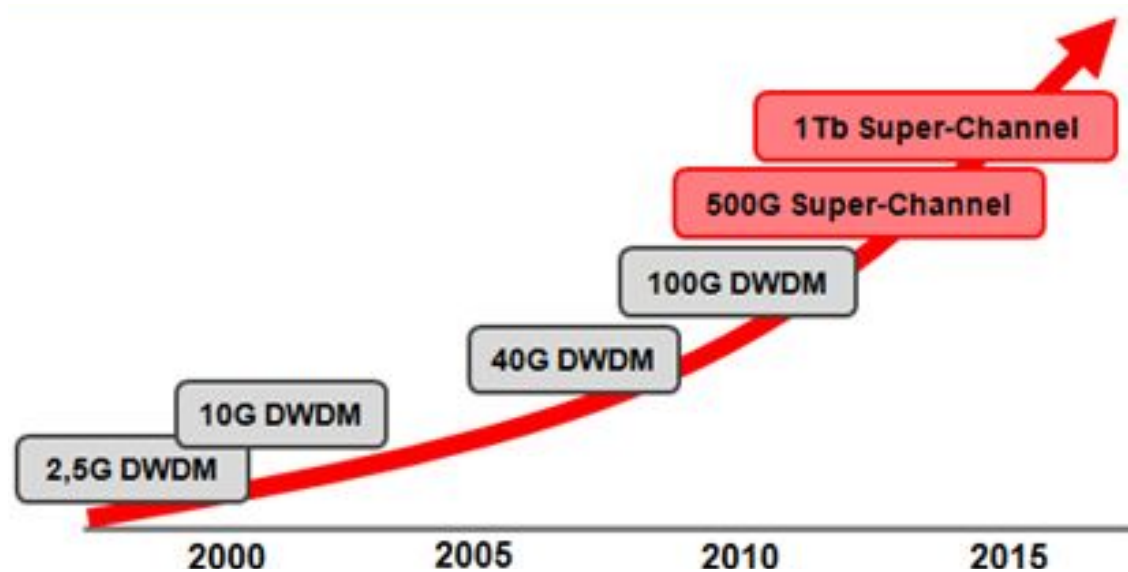


→ Tecnologia DWDM



→ Evolução na capacidade dos canais

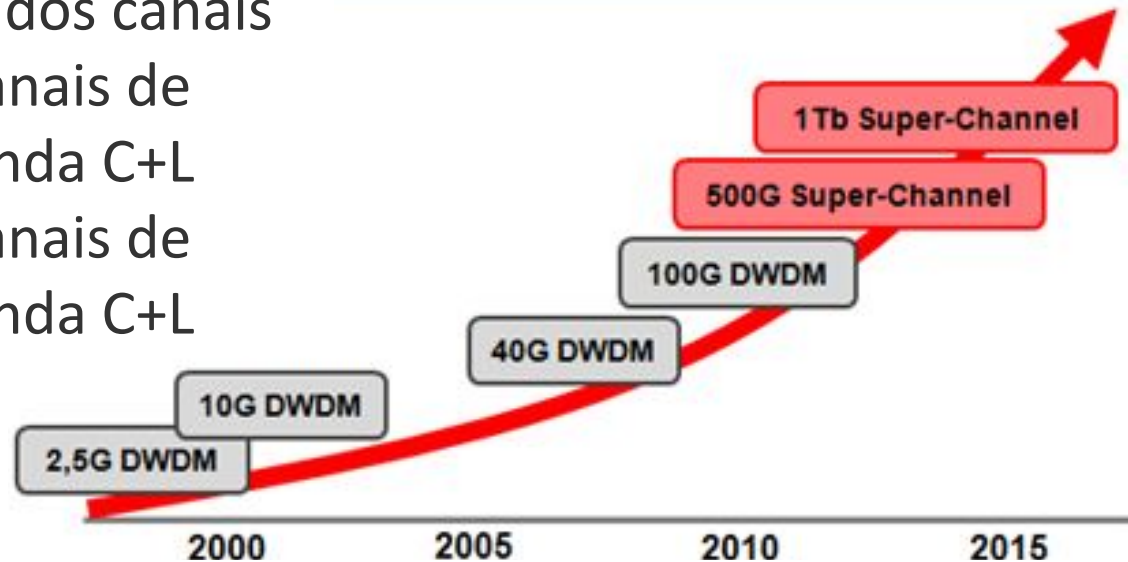
→



→ Tecnologia DWDM



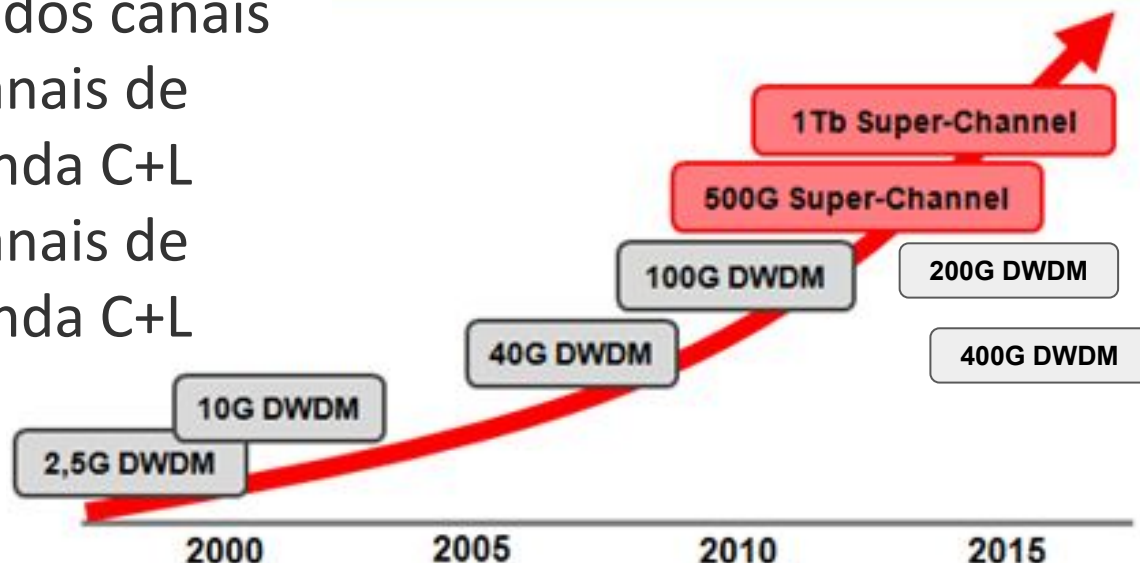
- Evolução na capacidade dos canais
- Sistemas com até 160 canais de 100Gbs (16 Tb/s) em banda C+L
- Sistemas com até 160 canais de 200Gbs (32 Tb/s) em banda C+L



→ Tecnologia DWDM



- Evolução na capacidade dos canais
- Sistemas com até 160 canais de 100Gbs (16 Tb/s) em banda C+L
- Sistemas com até 160 canais de 200Gbs (32 Tb/s) em banda C+L



→ Escalabilidade e custos de expansão

- Quantidade máxima de canais
 - Limitações por largura de canal (Ghz)
 - Limitações por capacidade de amplificadores
- Transponders
 - Transponders simples
 - Transponders multilinha
 - Muxponders

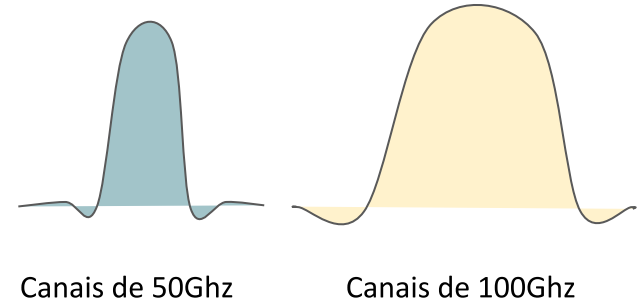
→ Escalabilidade e custos de expansão



→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por largura de canal (Ghz)

Banda C: 1531nm to 1570nm

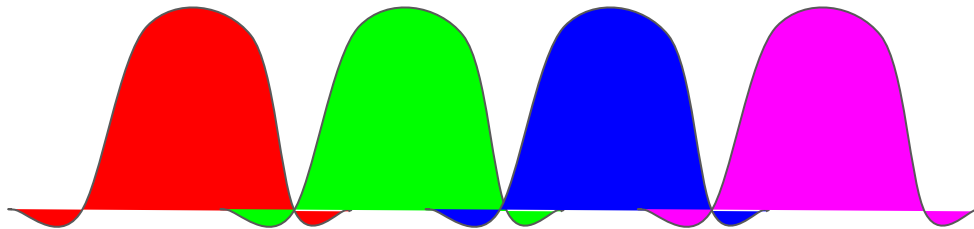
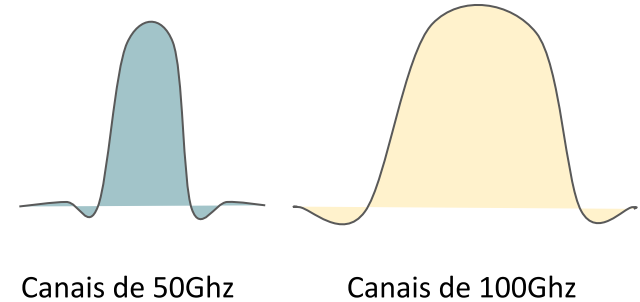


→ Escalabilidade e custos de expansão

→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por largura de canal (Ghz)

Banda C: 1531nm to 1570nm



← MUX/DEMUX de 40 Canais

→ Escalabilidade e custos de expansão

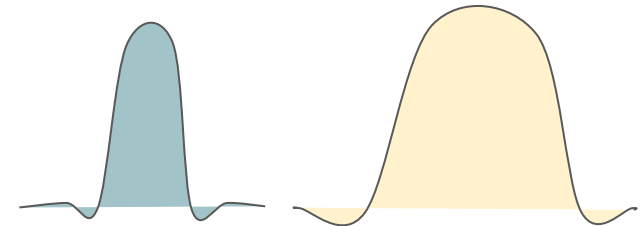
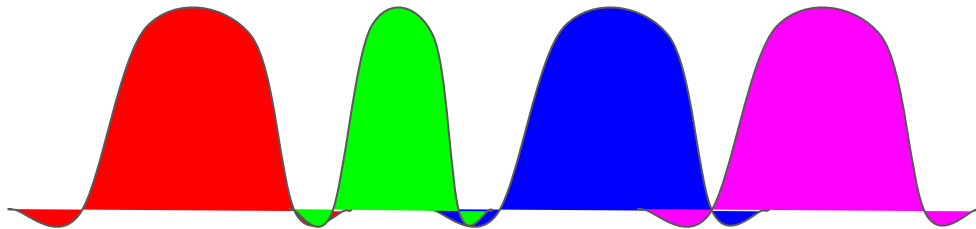
→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por largura de canal (Ghz)

Banda C: 1531nm to 1570nm

100G - 100 GHz

400G - 61 GHz



Canais de 50Ghz

Canais de 100Ghz

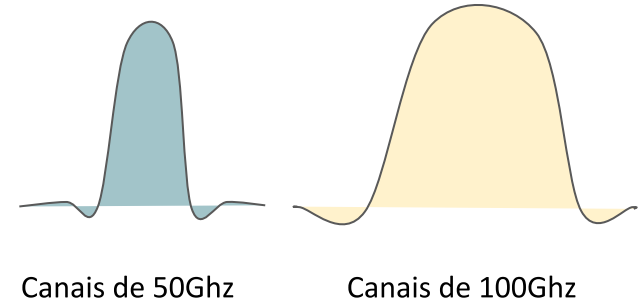
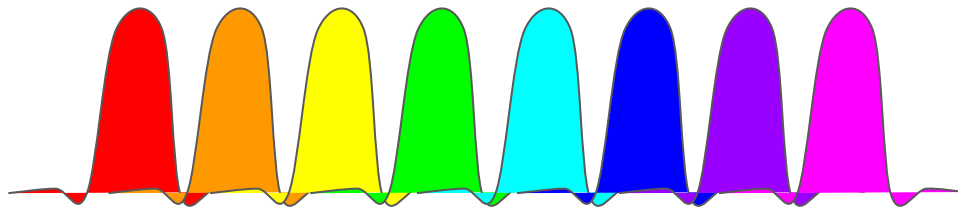
← MUX/DEMUX de 40 Canais

→ Escalabilidade e custos de expansão



- Quantidade máxima de canais
- Limitações por largura de canal (Ghz)

Banda C: 1531nm to 1570nm



← MUX/DEMUX de 80 Canais

→ Escalabilidade e custos de expansão

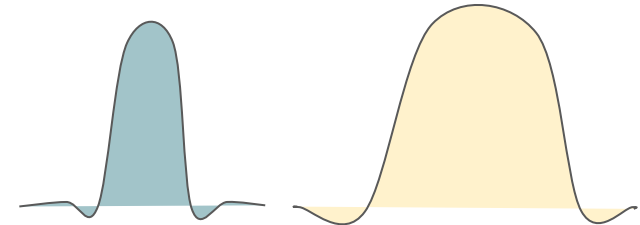
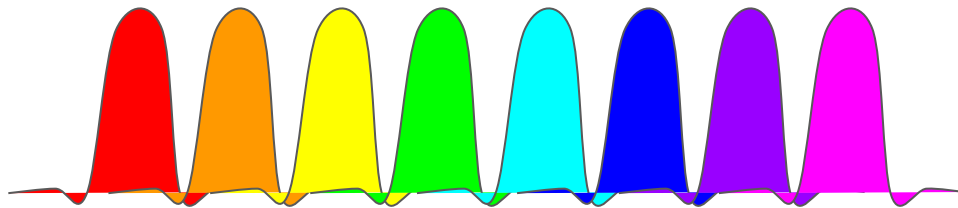


→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por largura de canal (Ghz)

Banda C: 1531nm to 1570nm

100G - 50 GHz
100G - 50 GHz
100G - 50 GHz
100G - 50 GHz



Canais de 50Ghz

Canais de 100Ghz

← MUX/DEMUX de 80 Canais

→ Escalabilidade e custos de expansão

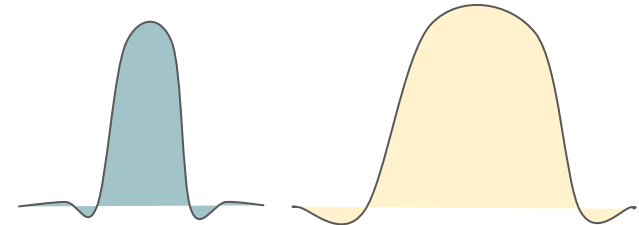
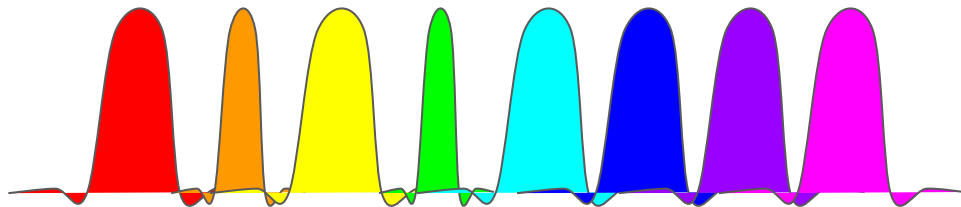


→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por largura de canal (Ghz)

Banda C: 1531nm to 1570nm

100G - 50 GHz
100G - 37 GHz
200G - 50 GHz
200G - 37 GHz



Canais de 50Ghz

Canais de 100Ghz

← MUX/DEMUX de 80 Canais

→ Escalabilidade e custos de expansão

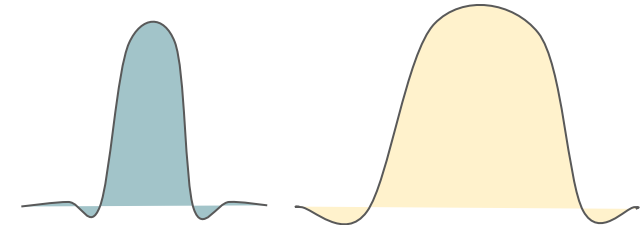
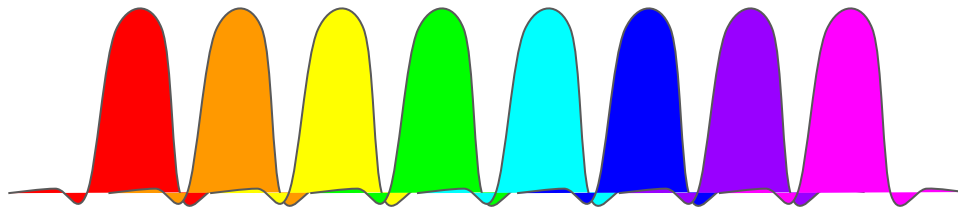


→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por largura de canal (Ghz)

Banda C: 1531nm to 1570nm

100G - 50 GHz
100G - 50 GHz
100G - 50 GHz
100G - 50 GHz



Canais de 50Ghz

Canais de 100Ghz

← Sistemas FLEXGRID

→ Escalabilidade e custos de expansão

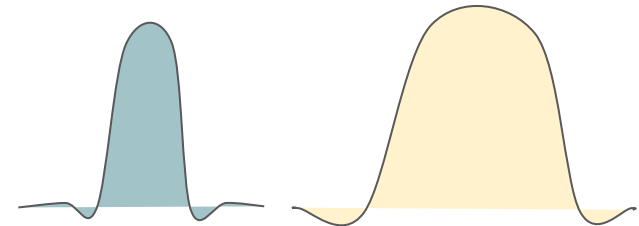
→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por largura de canal (Ghz)

Banda C: 1531nm to 1570nm

400G - 150GHZ

100G - 50 GHZ



Canais de 50Ghz

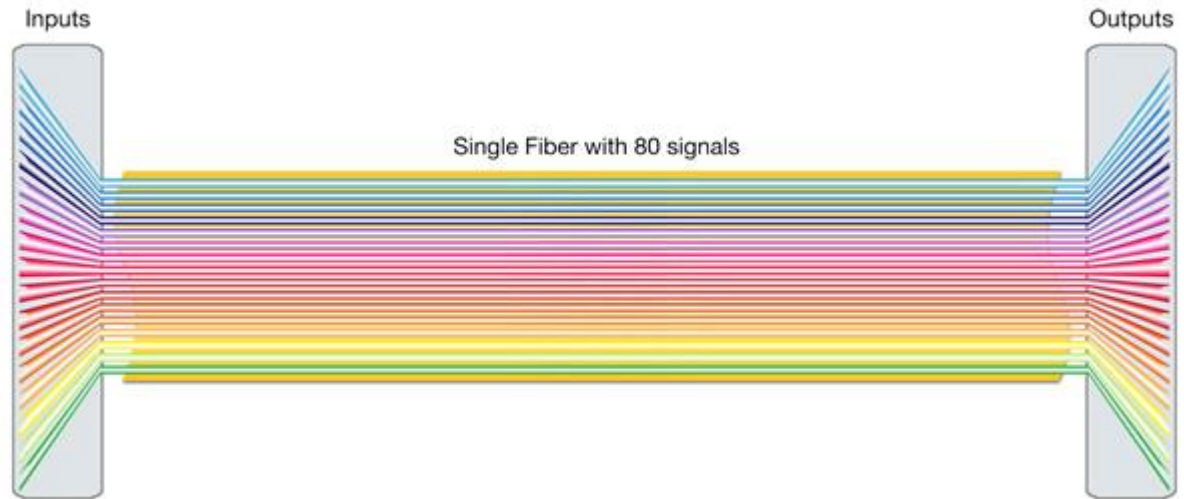
Canais de 100Ghz

← Sistemas FLEXGRID

Multiplexadores e Demultiplexadores

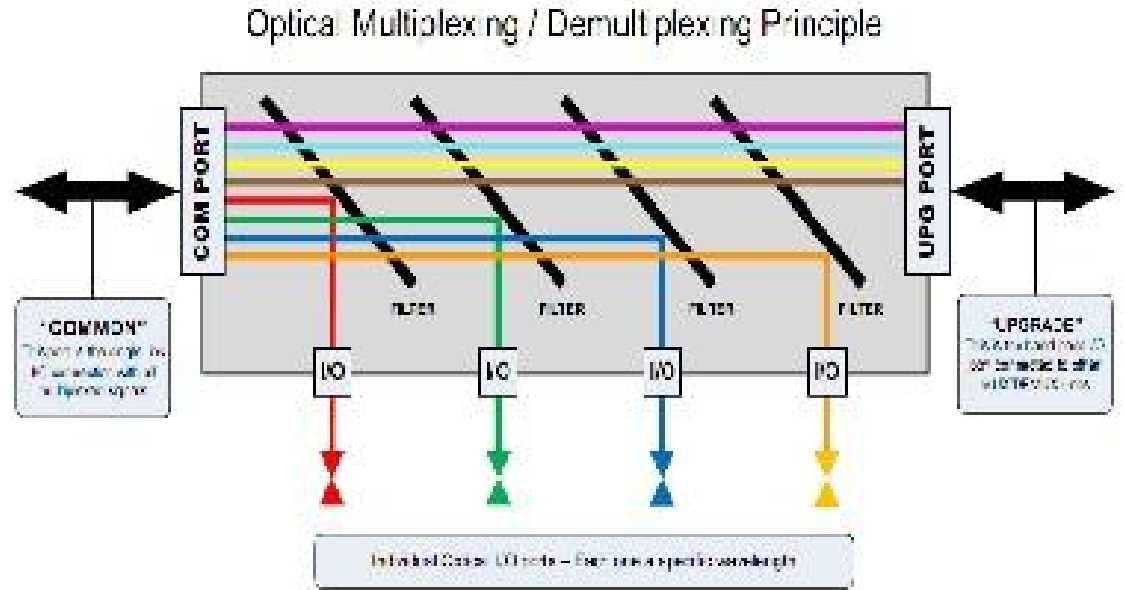
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ Passivos



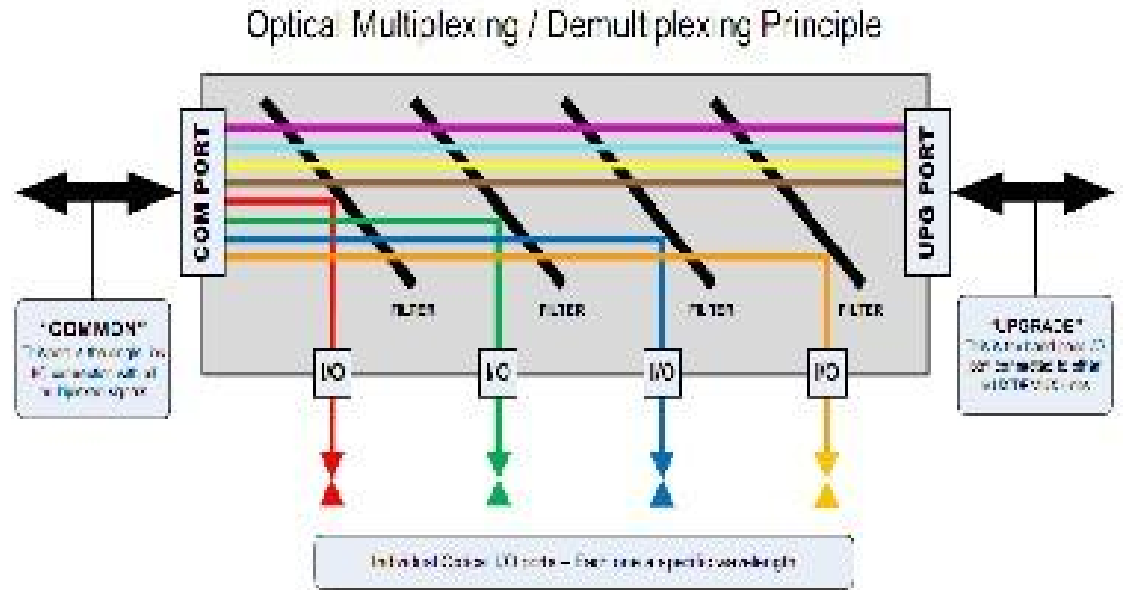
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

- Passivos
- Pequenos “espelhos”
-



→ Multiplexadores e Demultiplexadores

- Passivos
- Pequenos “espelhos”
- Atenuação (IL)

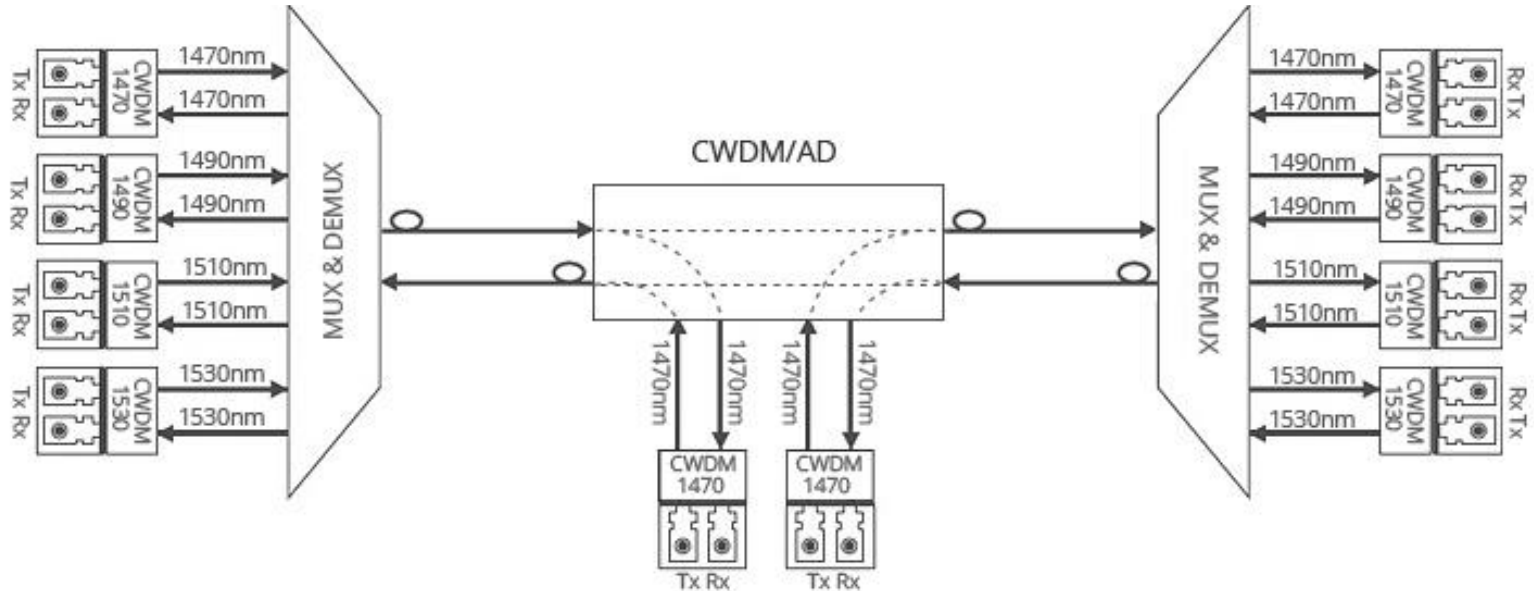


OADM

(Optical add/drop Multiplexer)

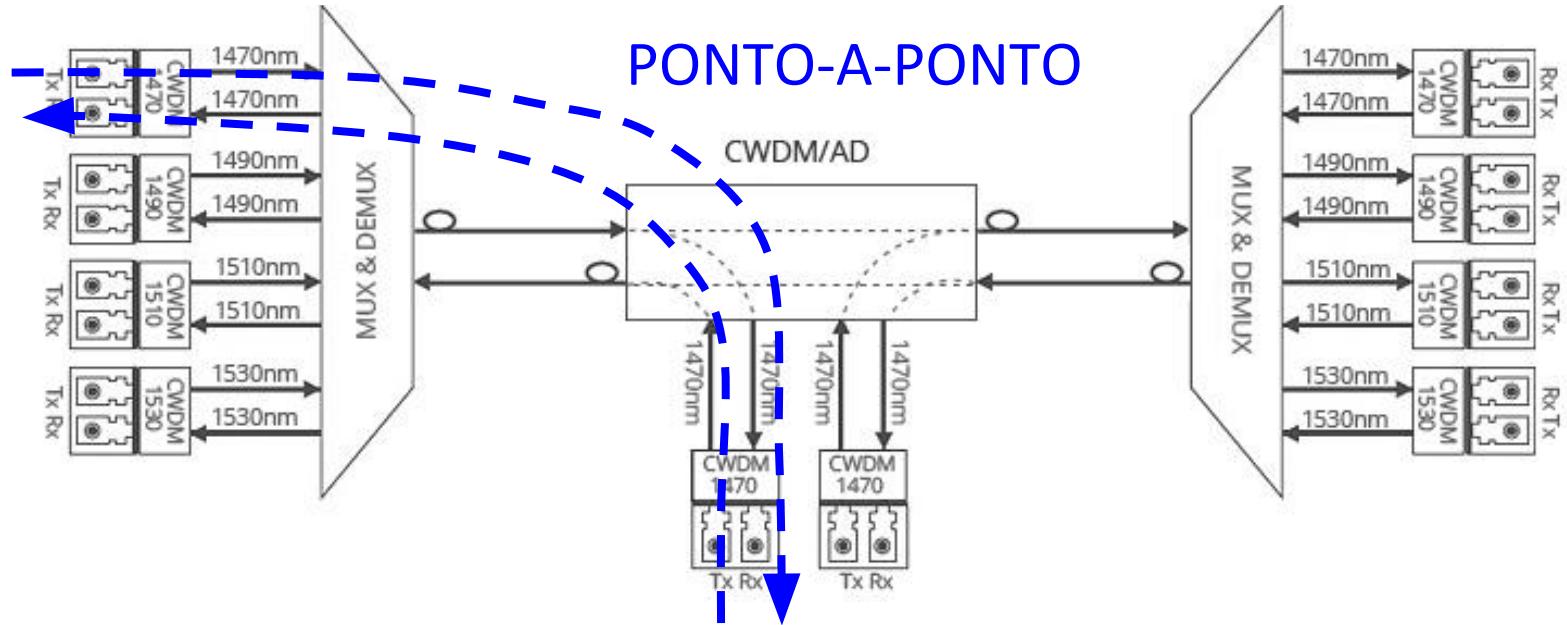
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ OADM - Optical add/drop Multiplexer



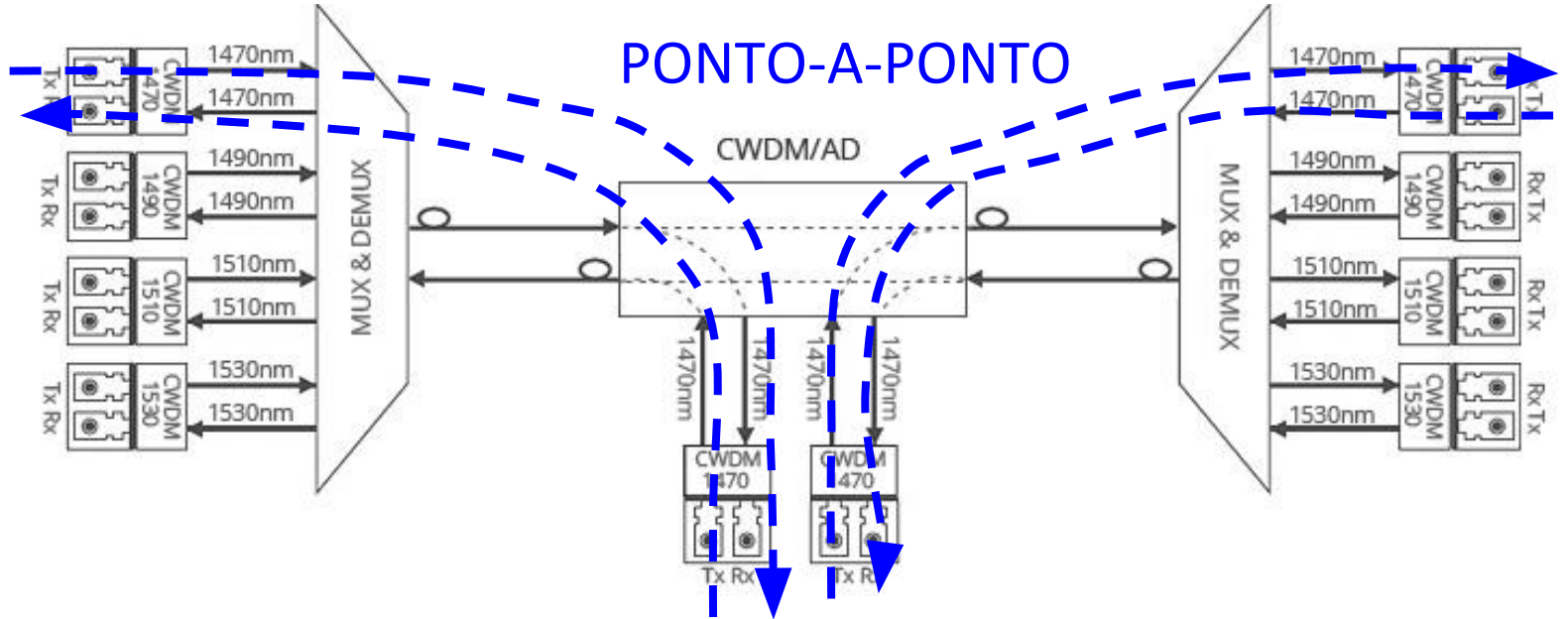
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ OADM - Optical add/drop Multiplexer



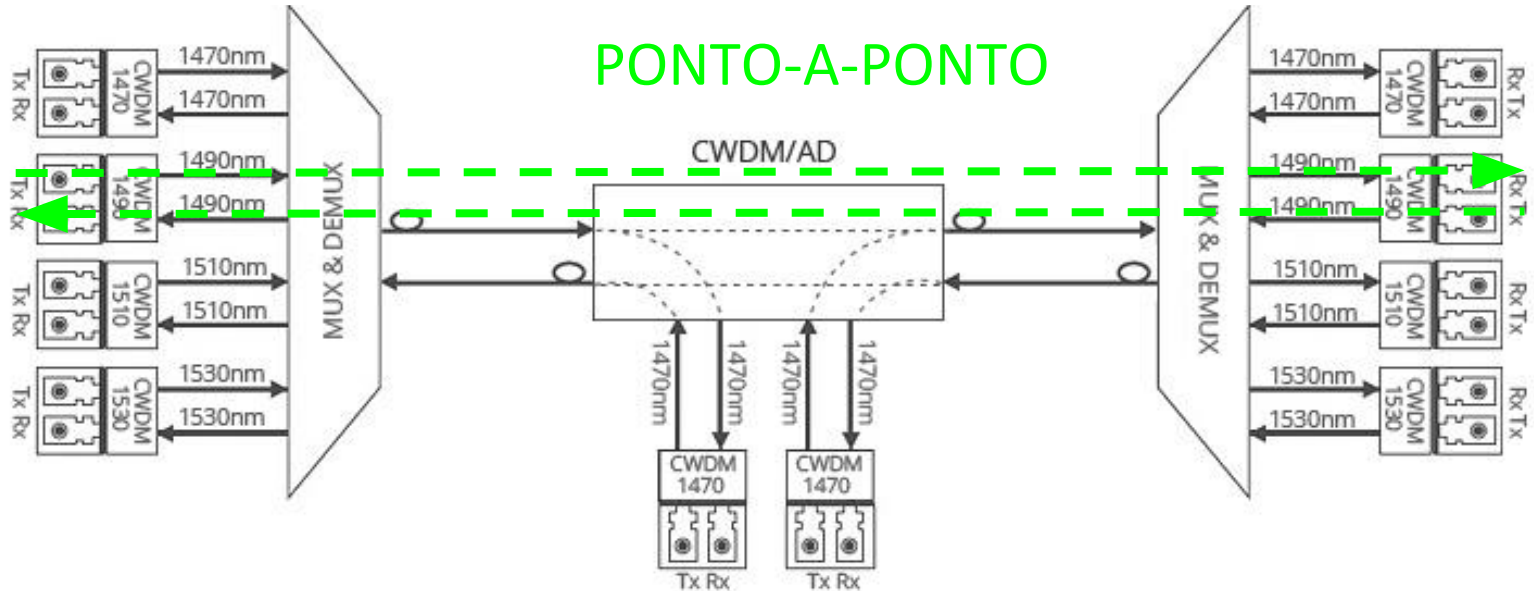
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ OADM - Optical add/drop Multiplexer



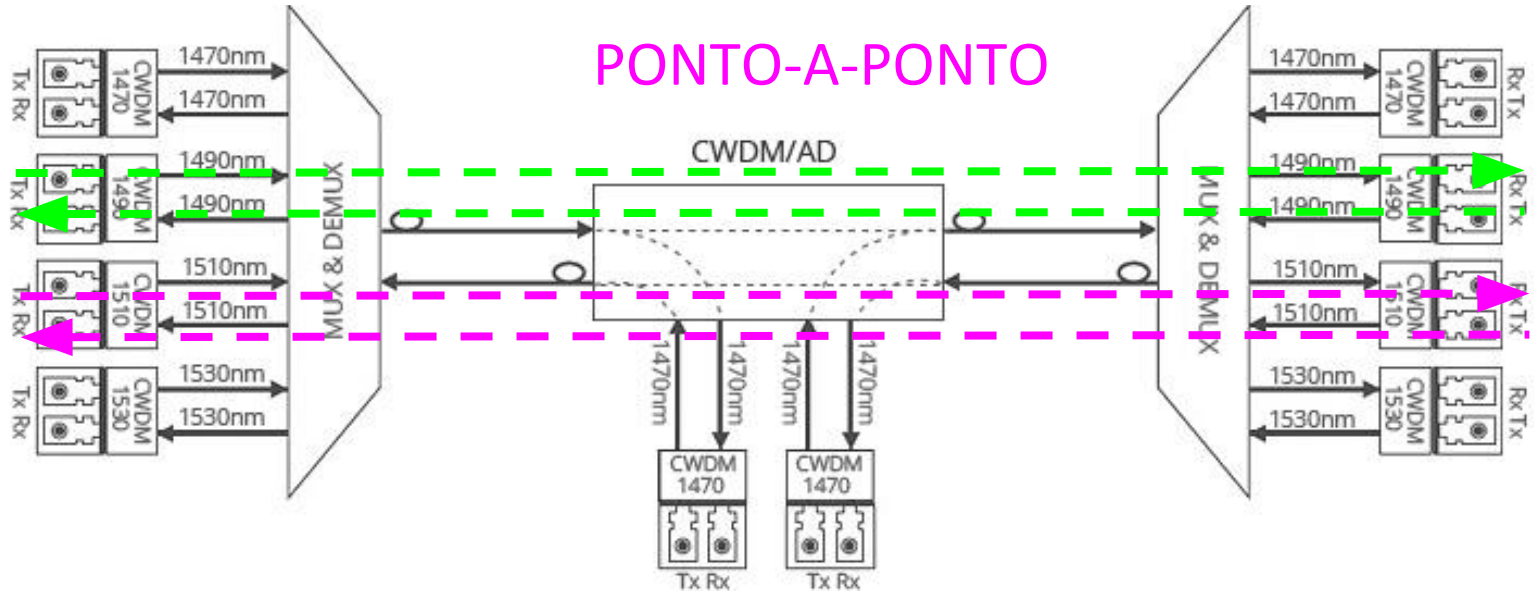
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ OADM - Optical add/drop Multiplexer



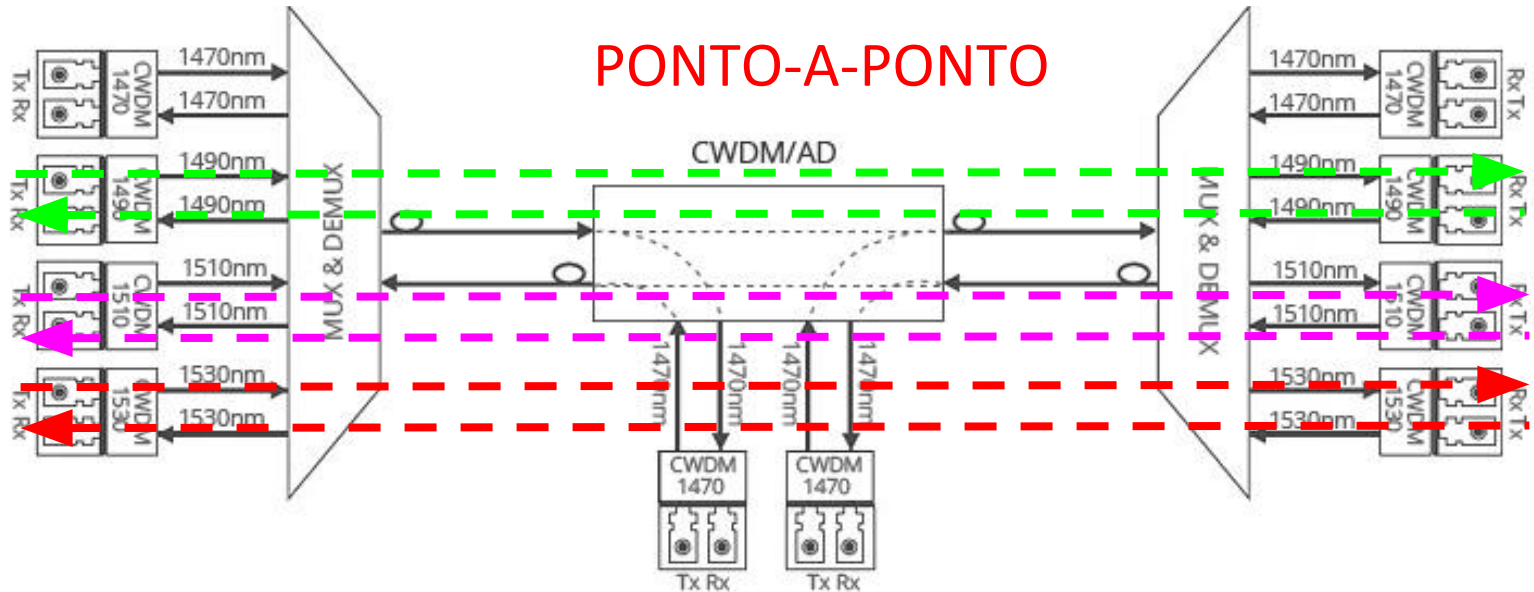
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ OADM - Optical add/drop Multiplexer



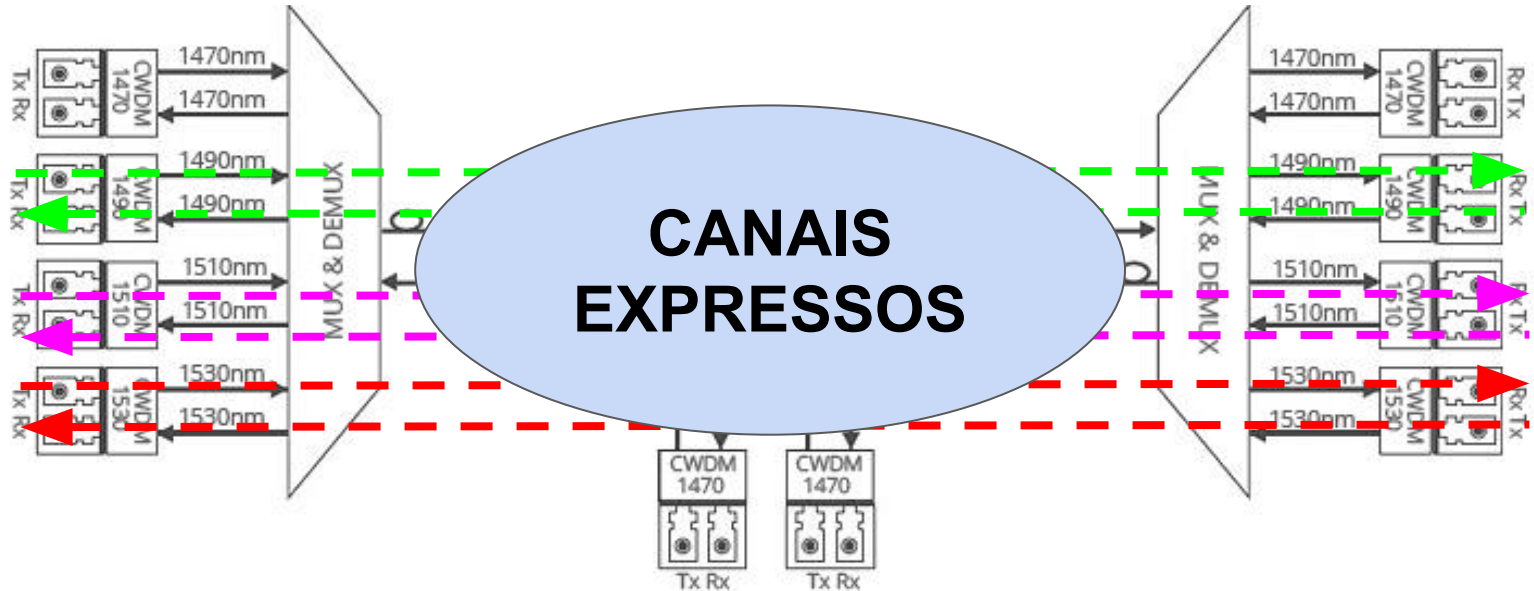
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ OADM - Optical add/drop Multiplexer



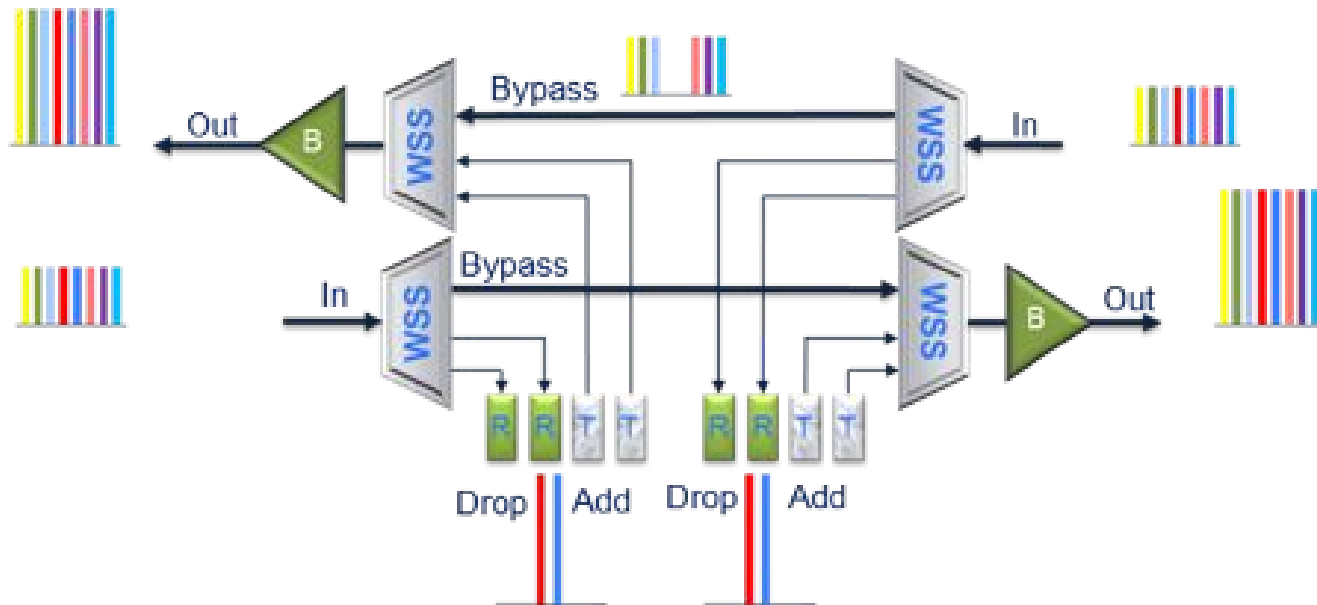
→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ OADM - Optical add/drop Multiplexer



→ Multiplexadores e Demultiplexadores

→ ROADM - Reconfigurable Optical add/drop Multiplexer



Projetos em curtas distâncias

→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

-

→ Projetos em curtas distâncias

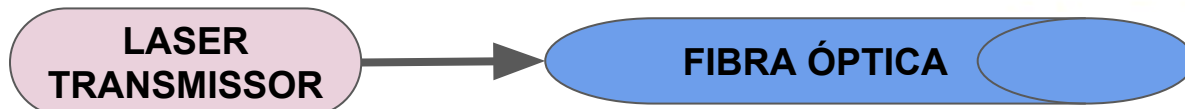
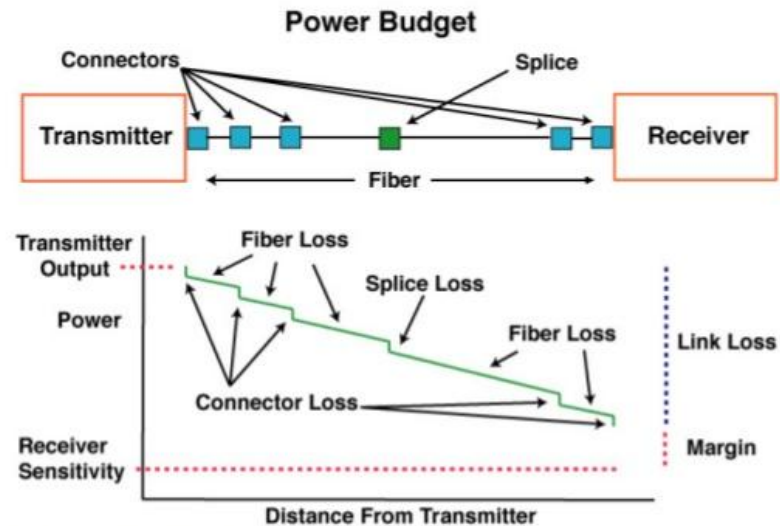
- Itens básicos em um link óptico convencional
 - Potência de saída



→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

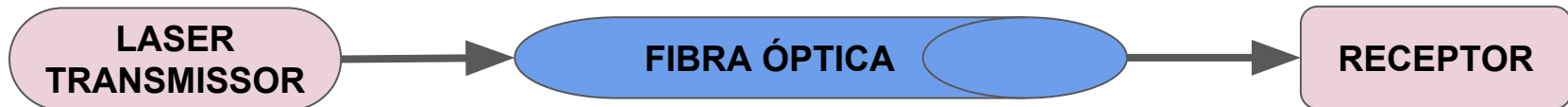
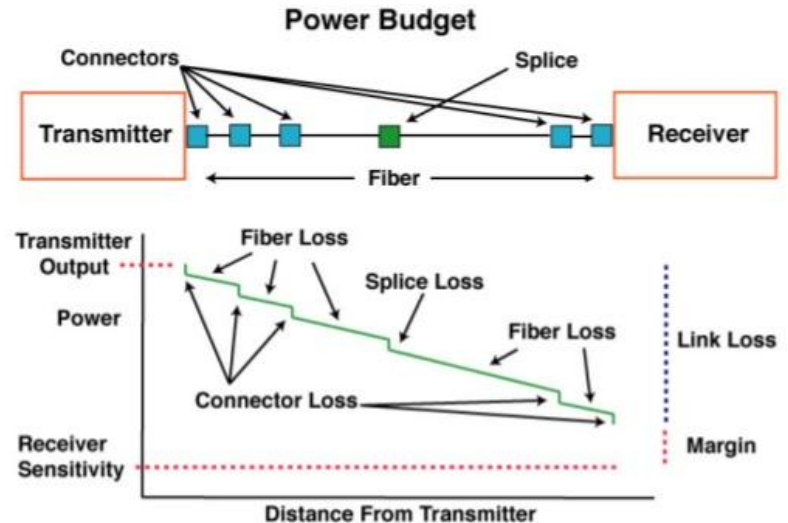
- Potência de saída
- Atenuação



→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

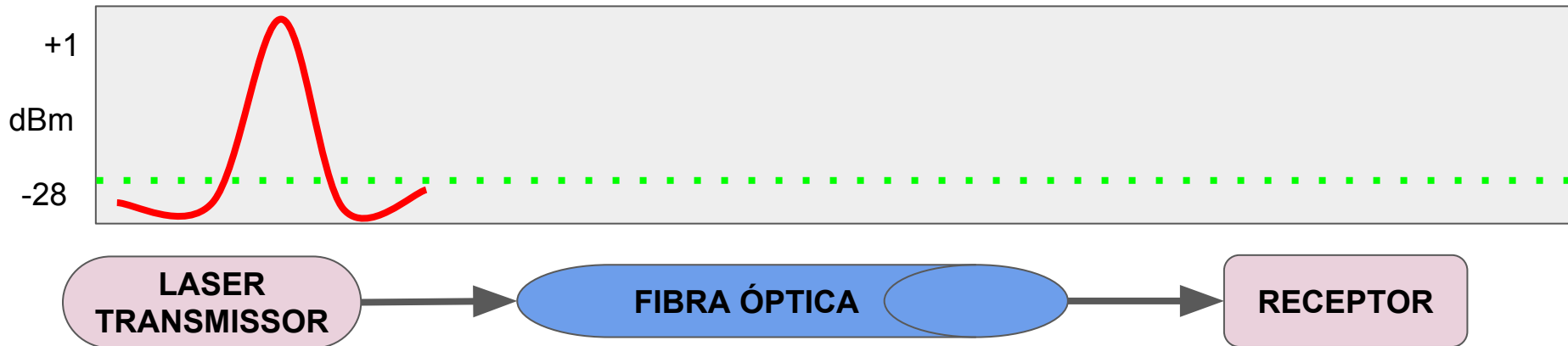
- Potência de saída
- Atenuação
- Sensibilidade do receptor



→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

- Potência de saída
- Atenuação
- Sensibilidade do receptor

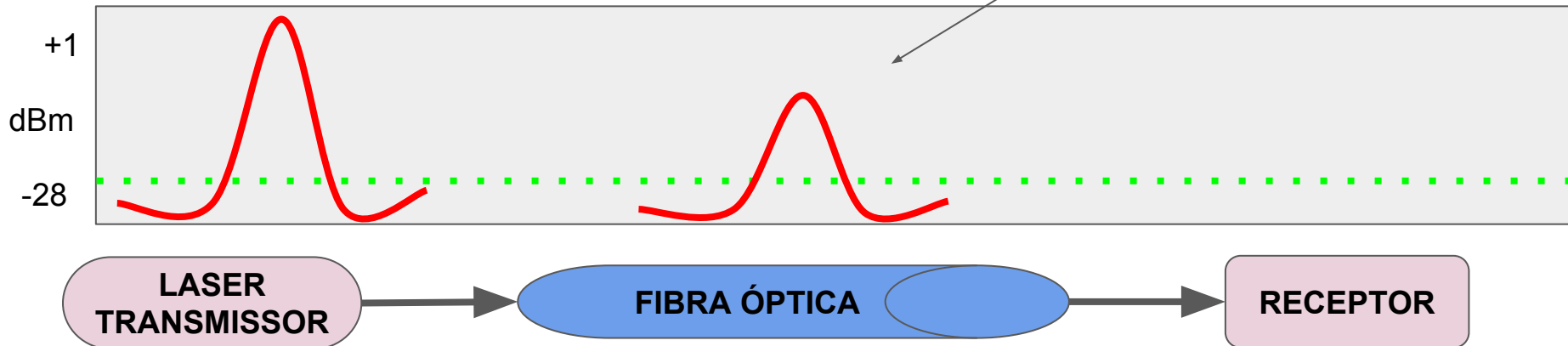


→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

- Potência de saída
- Atenuação
- Sensibilidade do receptor

Atenuação aceitável
na fibra

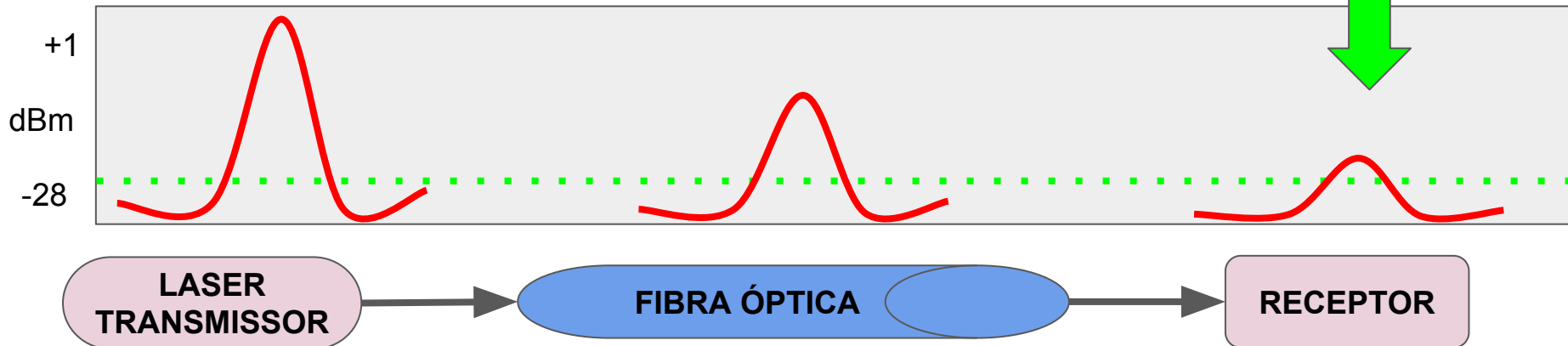


→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

- Potência de saída
- Atenuação
- Sensibilidade do receptor

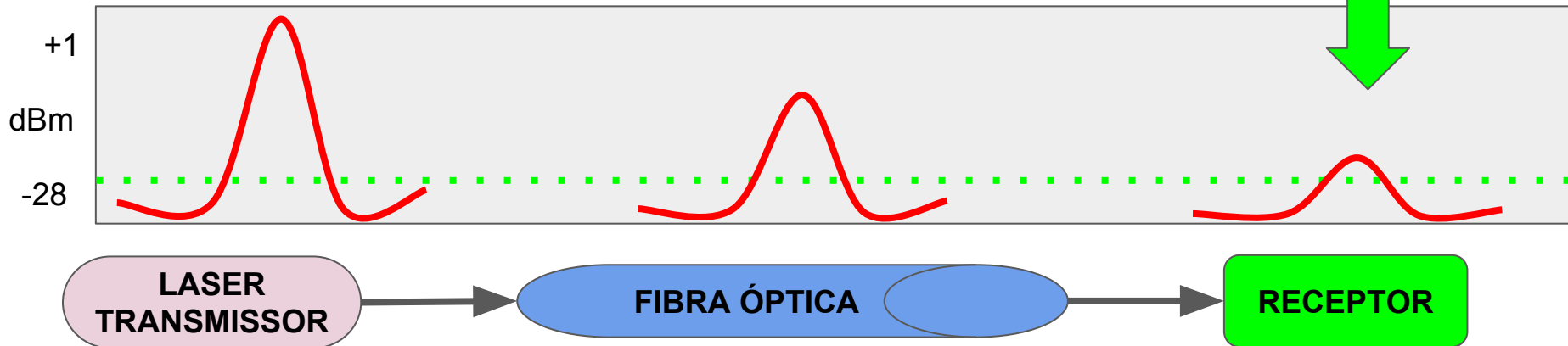
Sinal ACIMA do limite de sensibilidade



→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

- Potência de saída
- Atenuação
- Sensibilidade do receptor

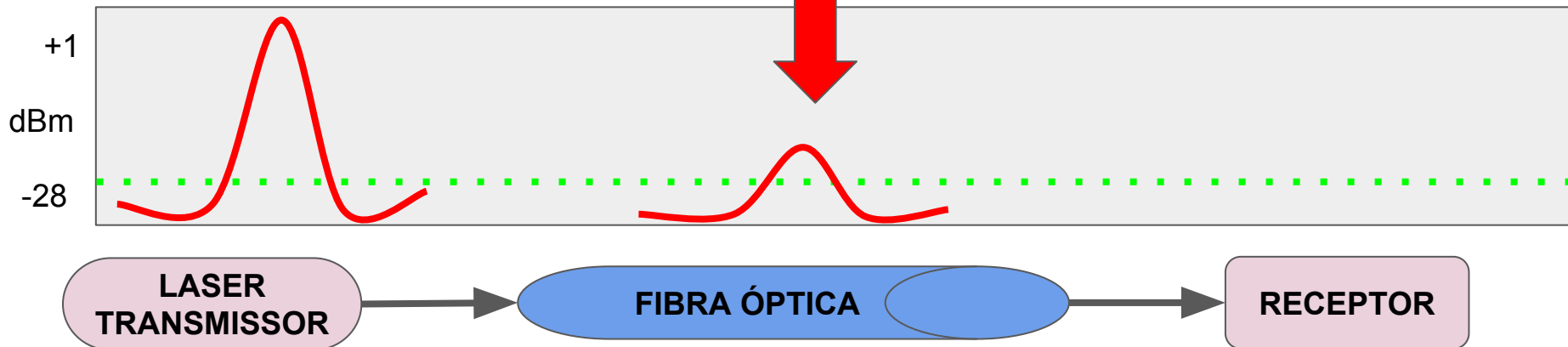


→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

- Potência de saída
- Atenuação
- Sensibilidade do receptor

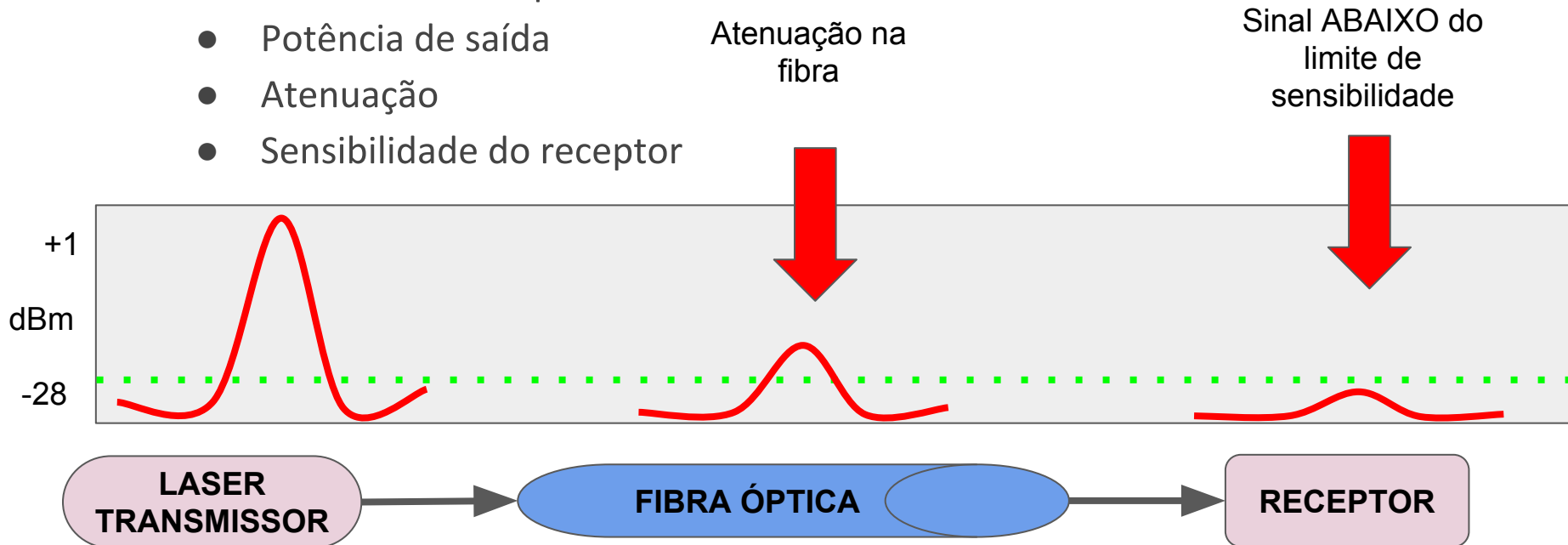
Atenuação na fibra



→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

- Potência de saída
- Atenuação
- Sensibilidade do receptor

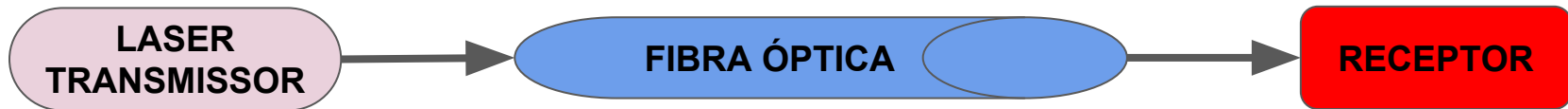
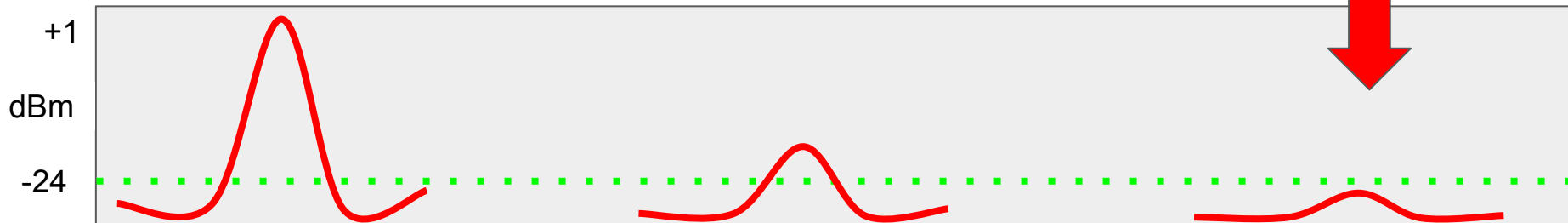


→ Projetos em curtas distâncias

→ Itens básicos em um link óptico convencional

- Potência de saída
- Atenuação
- Sensibilidade do receptor

Link DOWN ou
BIT Errors

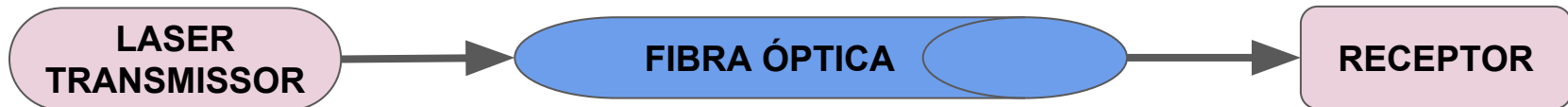


EXEMPLO PRÁTICO: LINK COMUM 1550nm

→ Projetos em curtas distâncias

→ Características do link:

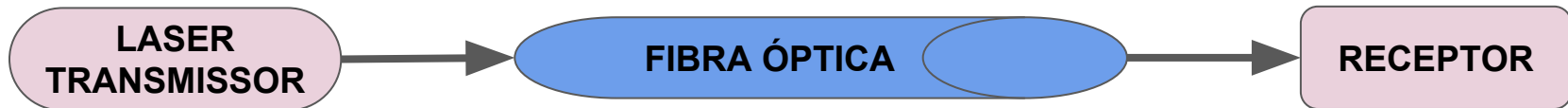
- Tranceiver 80km - TX Power: **+1 dBm**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Características do link:

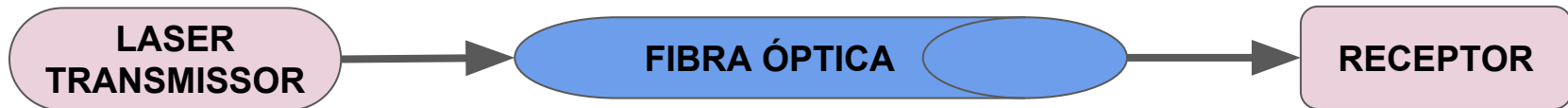
- Tranceiver 80km - TX Power: +1 dBm
- Fibra óptica com 80km: **0,22 dB/km**



→ Projetos em curtas distâncias

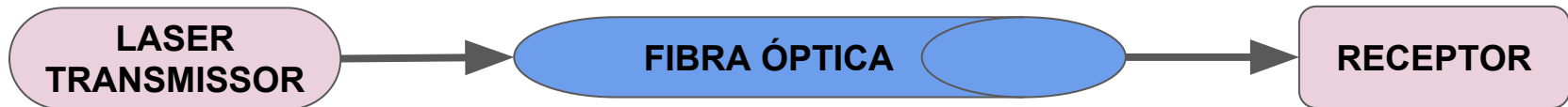
→ Características do link:

- Tranceiver 80km - TX Power: +1 dBm
- Fibra óptica com 80km: 0,22 dB/km
- Tranceiver 80km - RX Sens: **-24 dBm**



→ Projetos em curtas distâncias

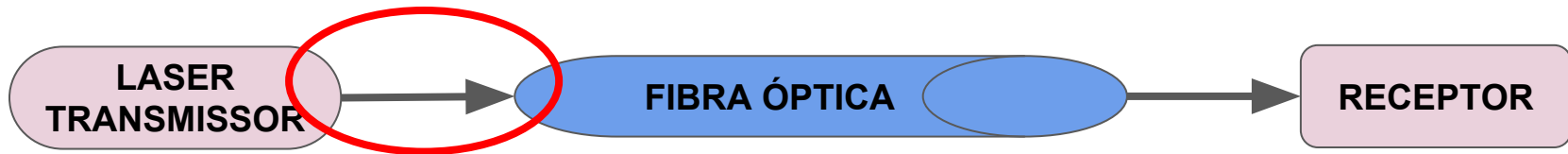
→ Calculando atenuação total:



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

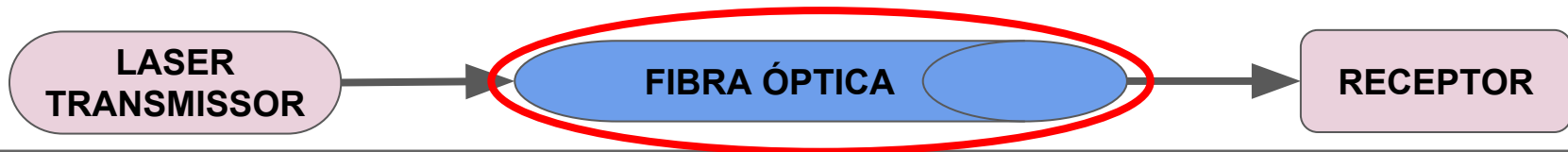
- Conector lado A - Tranceiver->DIO: **0,5 dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

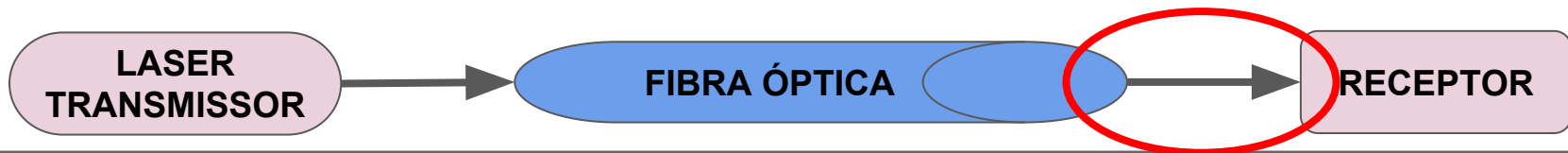
- Conector lado A - Tranceiver->DIO: 0,5 dB
- 80 km de fibra: $80 \times 0,22 = 17,6$ dB



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

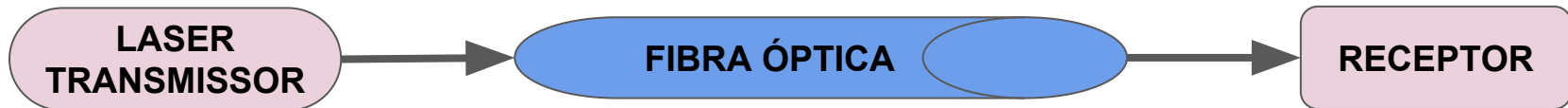
- Conector lado A - Tranceiver->DIO: 0,5 dB
- 80 km de fibra: $80 \times 0,22 = 17,6$ dB
- Conector lado B - DIO->Tranceiver: **0,5 dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

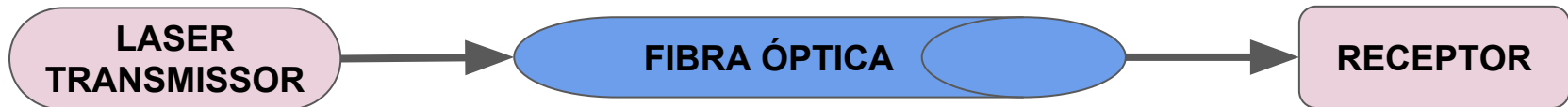
- Conector lado A - Tranceiver->DIO: 0,5 dB
- 80 km de fibra: $80 \times 0,22 = 17,6$ dB
- Conector lado B - DIO->Tranceiver: 0,5 dB
- Total: $0,5 + 0,5 + 17,6 = \mathbf{18,6 \text{ dB}}$



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando sinal esperado:

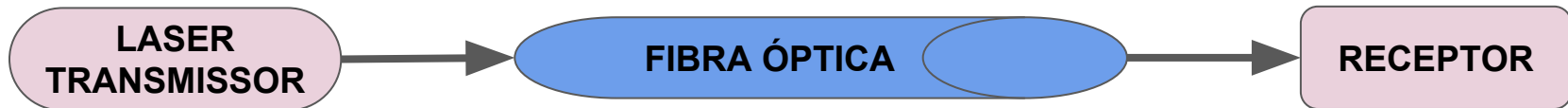
- Potencia de TX: +1 dBm



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando sinal esperado:

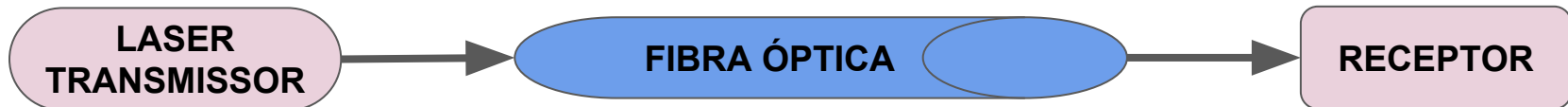
- Potencia de TX: +1 dBm
- Atenuação total: **18,6 dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando sinal esperado:

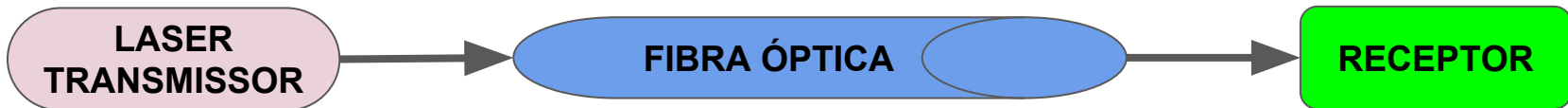
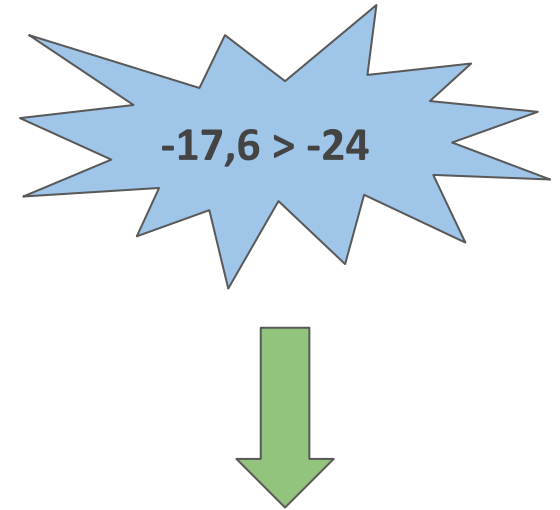
- Potencia de TX: +1 dBm
- Atenuação total: 18,6 dB
- Sinal esperado: **+1 - 18,6 = -17,6**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando sinal esperado:

- Potencia de TX: +1 dBm
- Atenuação total: 18,6 dB
- Sinal esperado: $+1 - 18,6 = -17,6$



EXEMPLO PRÁTICO: SISTEMA DWDM COM 4 CANAIS

→ Projetos em curtas distâncias

→ Características do link:

- Tranceivers $\lambda 1-4$ - 80km - TX Power: **+1 dBm**

→ Projetos em curtas distâncias

→ Características do link:

- Tranceivers $\lambda 1-4$ - 80km - TX Power: +1 dBm
- Fibra óptica com 80km: **0,22 dB/km**

→ Projetos em curtas distâncias

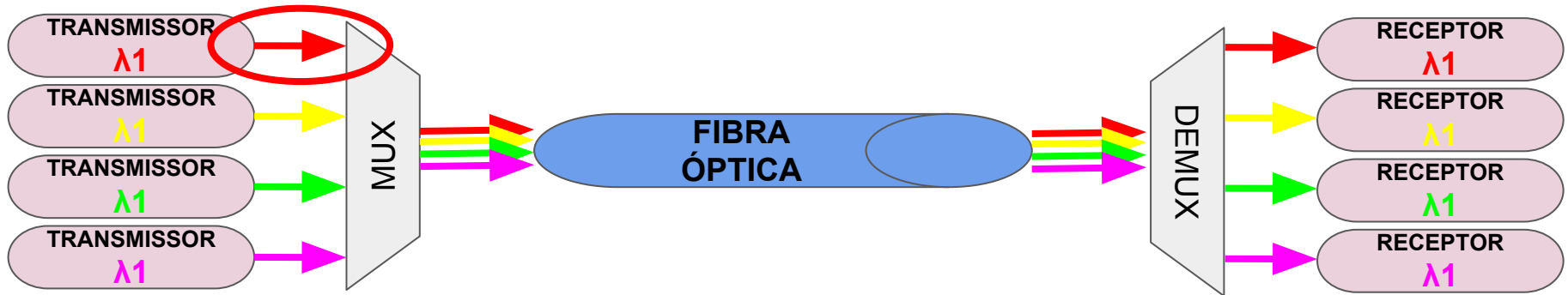
→ Características do link:

- Tranceivers $\lambda 1-4$ - 80km - TX Power: +1 dBm
- Fibra óptica com 80km: 0,22 dB/km
- Tranceivers $\lambda 1-4$ - 80km - RX Sens: **-24 dBm**

→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

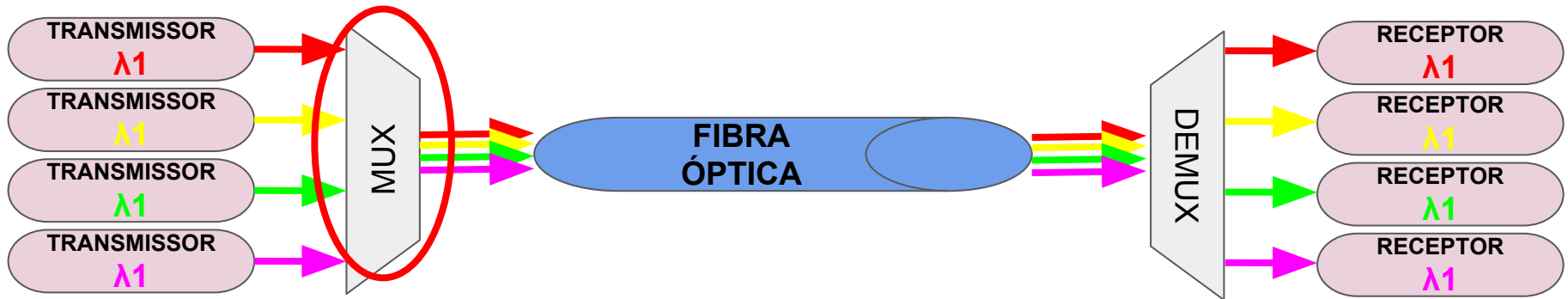
- Conector lado A - Tranceiver λ_n ->MUX: **0,5 dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

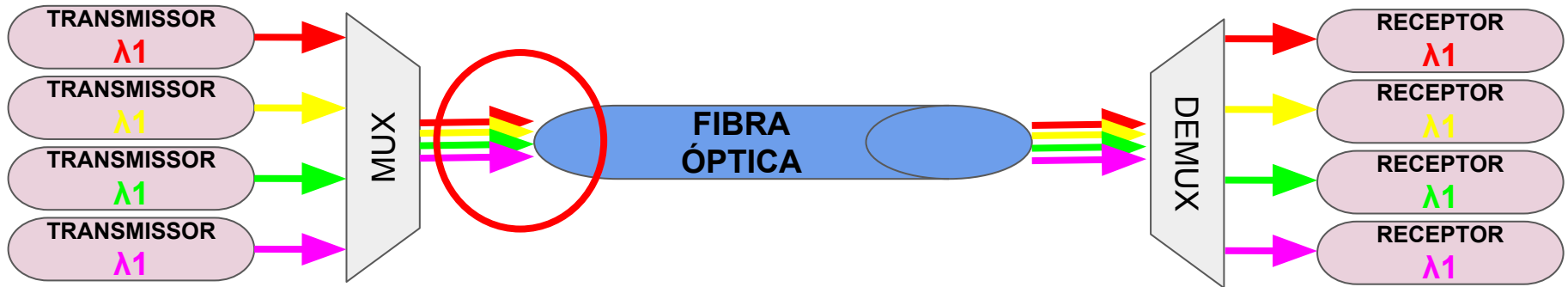
- Conector lado A - Tranceiver λ_n ->MUX: 0,5 dB
- MUX lado A: **3 dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

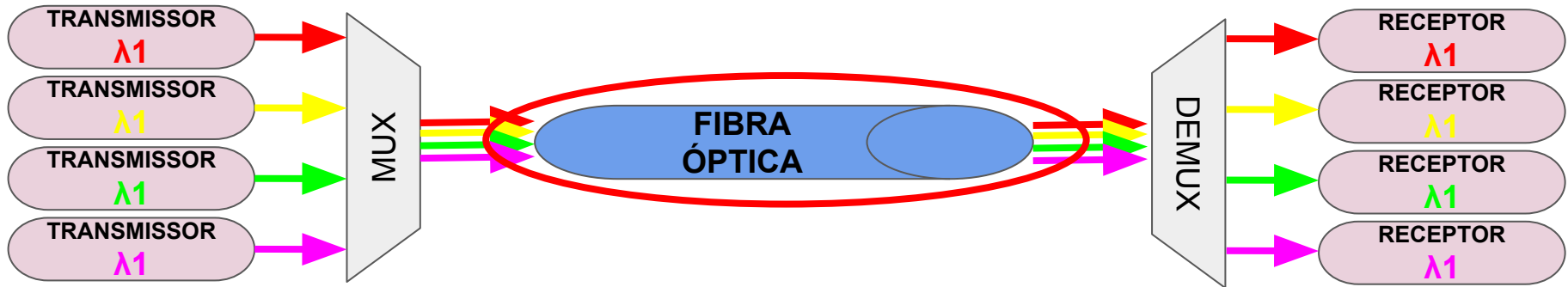
- Conector lado A - Tranceiver λ_n ->MUX: 0,5 dB
- MUX lado A: 3 dB
- Conector lado A - MUX->DIO: **0,5* dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

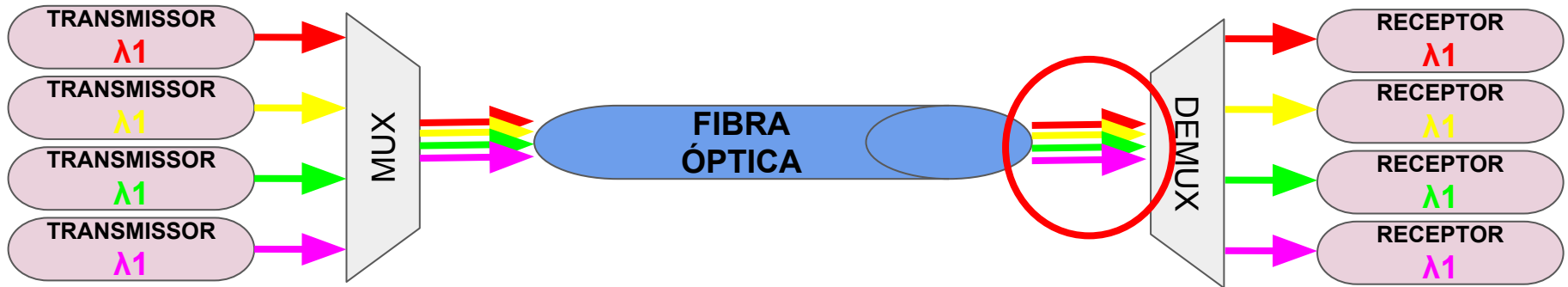
- Conector lado A - Tranceiver λ_n ->MUX: 0,5 dB
- MUX lado A: 3 dB
- Conector lado A - MUX->DIO: 0,5* dB
- 80 km de fibra: $80 \times 0,22 = 17,6$ dB



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

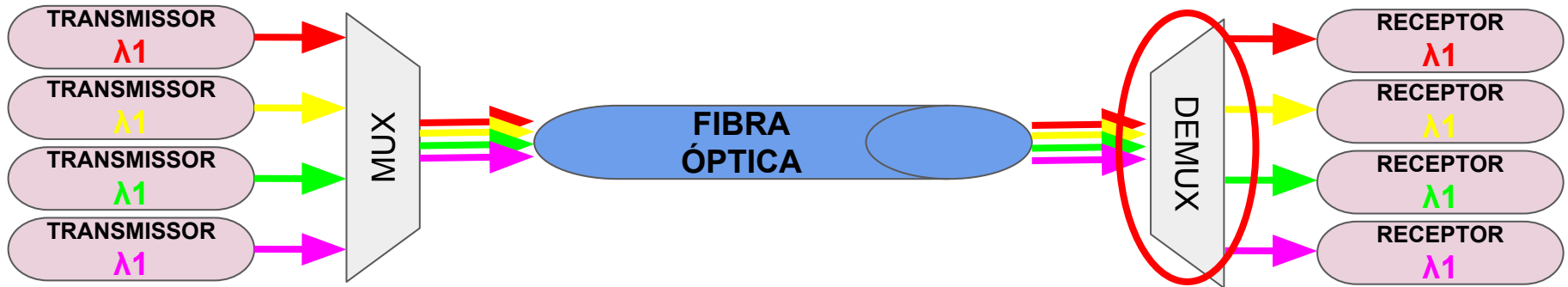
- Conector lado B: DIO->DEMUX: **0,5* dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

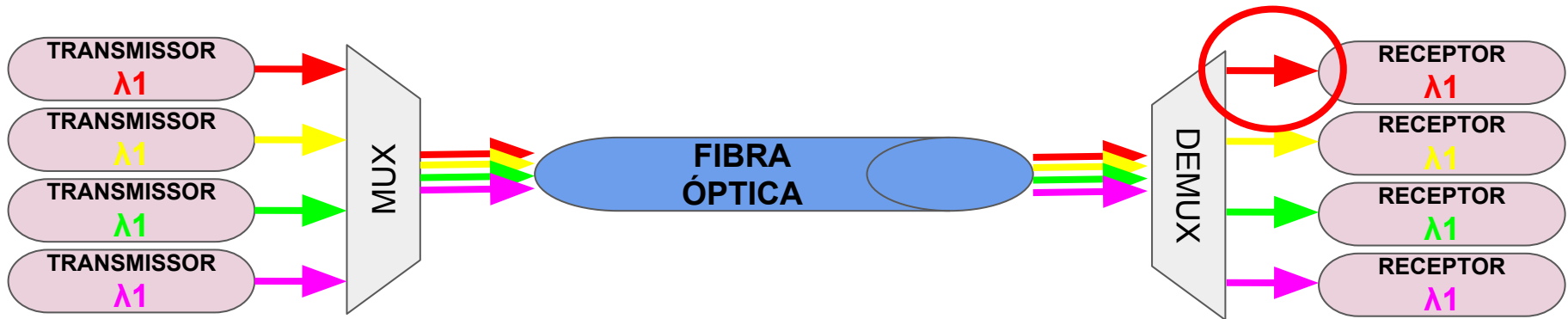
- Conector lado B: DIO->DEMUX: 0,5* dB
- DEMUX lado B: **3 dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

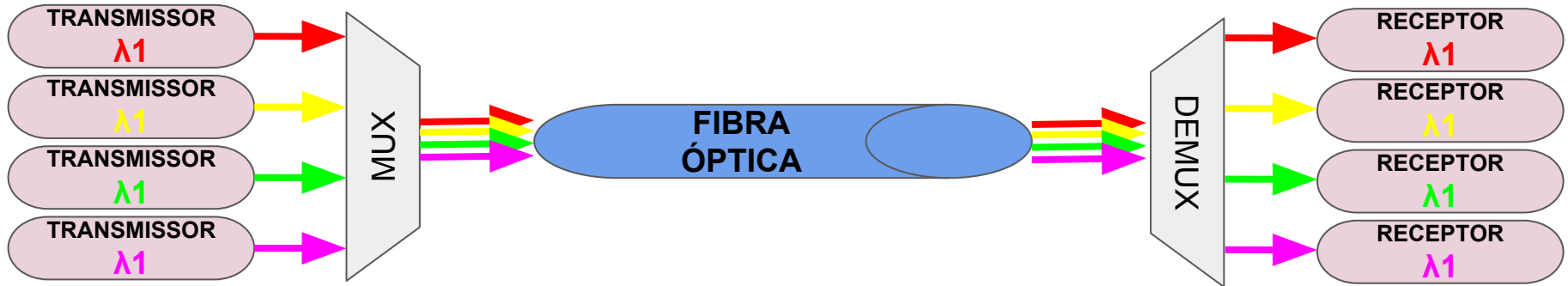
- Conector lado B: DIO->DEMUX: 0,5* dB
- DEMUX lado B: 3 dB
- Conector lado B - DEMUX->Tranceiver λ_n : **0,5 dB**



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

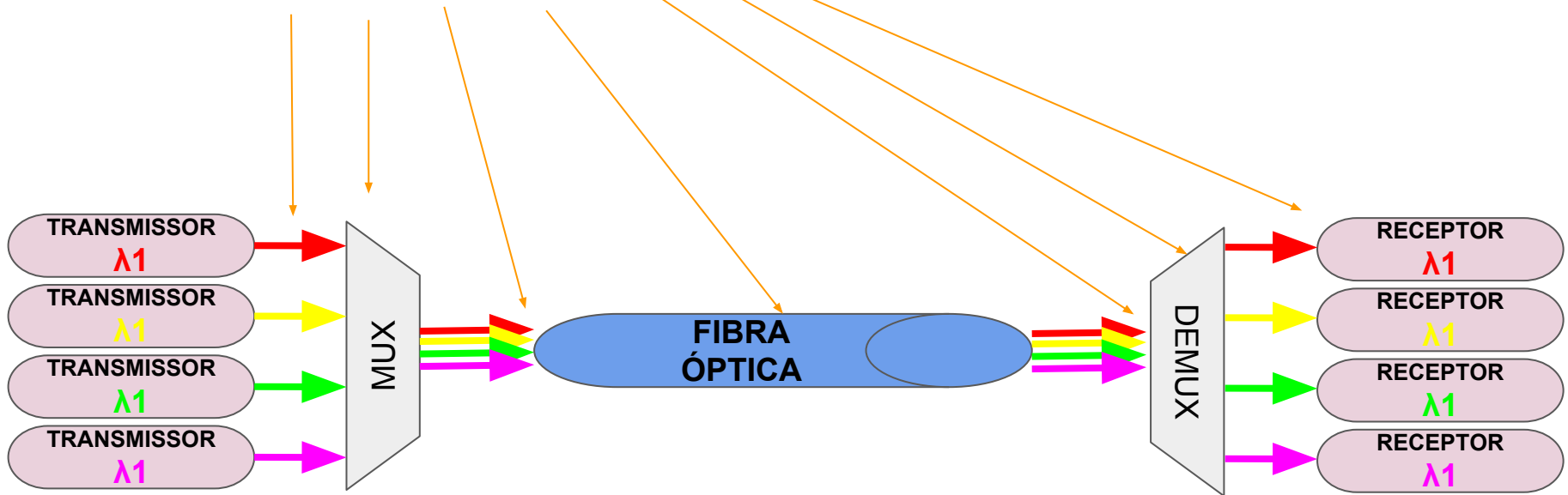
- $0,5 + 3 + 0,5 + 17,6 + 0,5 + 3 + 0,5 = 25,6 \text{ dB}$



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

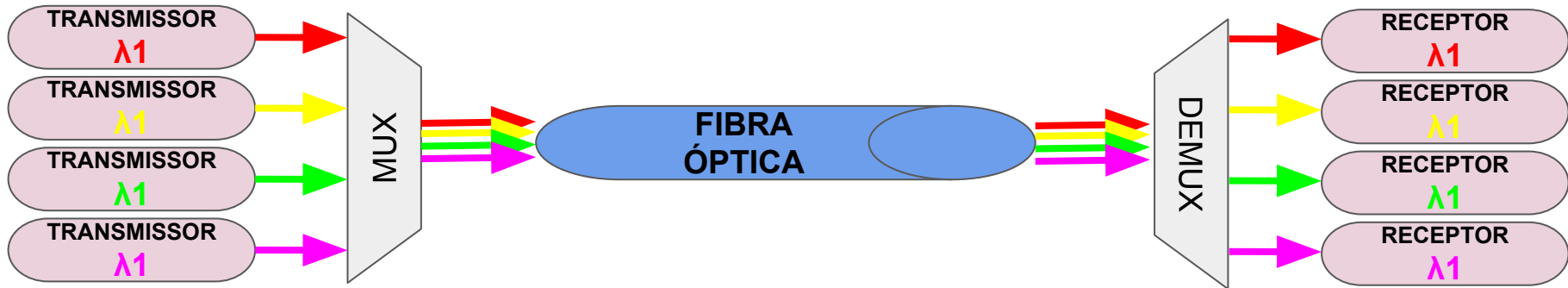
- $0,5 + 3 + 0,5 + 17,6 + 0,5 + 3 + 0,5 = 25,6 \text{ dB}$



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando sinal esperado:

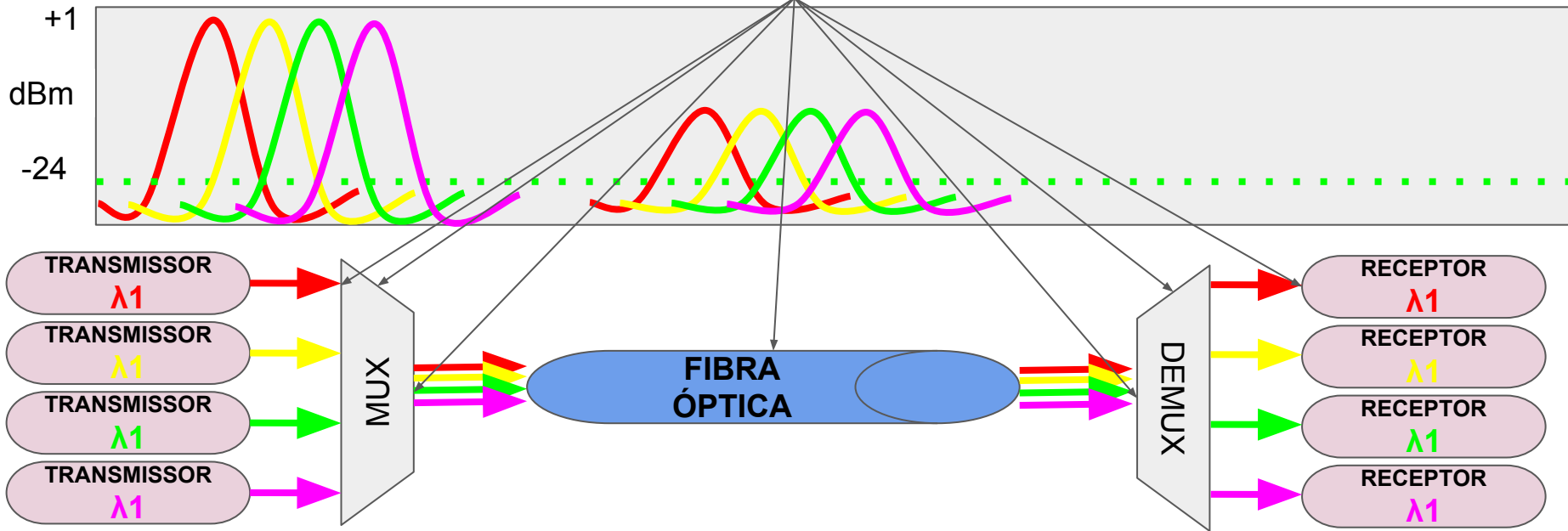
sinais: +1 dBm



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando sinal esperado:

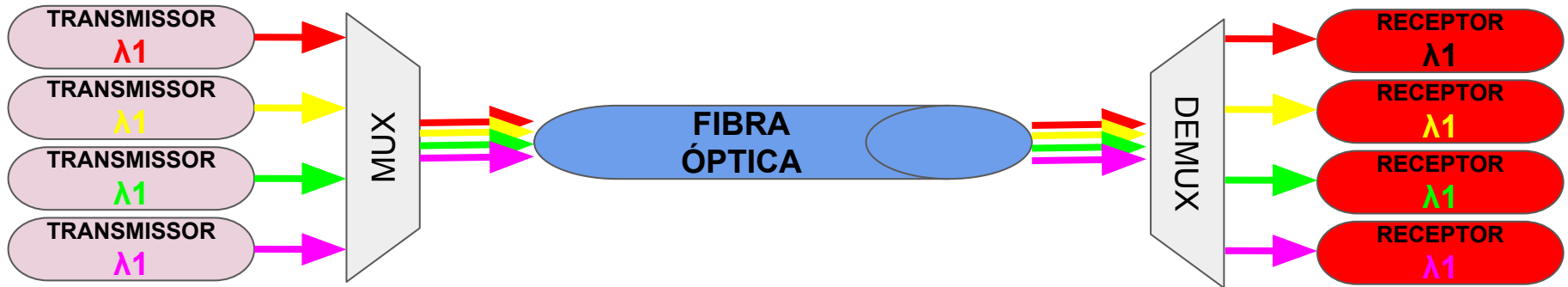
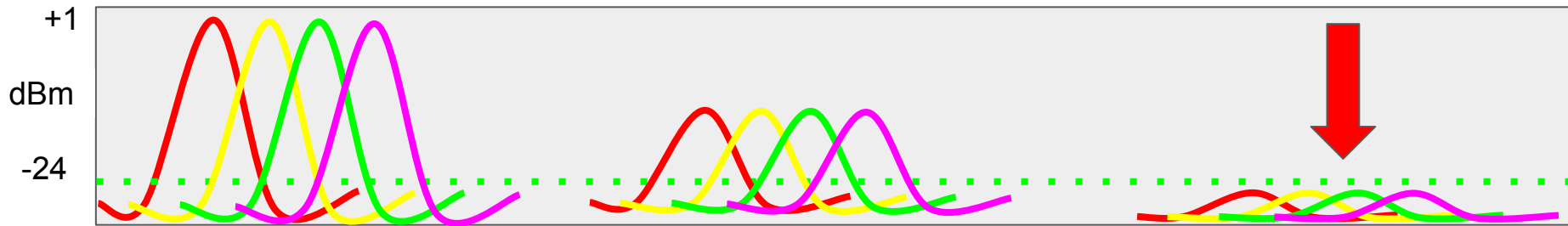
Atenuação: 25,6 dB



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando sinal esperado:

Sinal individual:
 $+1 - 25,6 = -24,6 \text{ dBm}$



→ **Projetos em curtas distâncias**



→ **Soluções:**



→ **Projetos em curtas distâncias**

→ **Soluções:**

- Melhorar a qualidade da fibra

→ Projetos em curtas distâncias

→ Características do link:

- Tranceivers $\lambda 1-4$ - 80km - TX Power: +1 dBm
- Fibra óptica com 80km: **0,20 dB/km**
- Tranceivers $\lambda 1-4$ - 80km - RX Sens: -24 dBm

→ Projetos em curtas distâncias

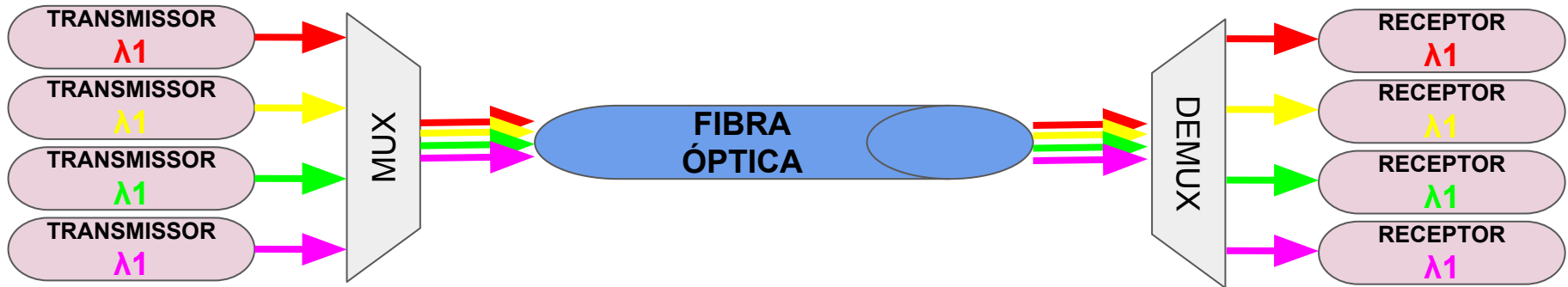
→ Características do link:

- Tranceivers $\lambda 1-4$ - 80km - TX Power: +1 dBm
- Fibra óptica com 80km: **0,20 dB/km** ← FIBRA MELHORADA
- Tranceivers $\lambda 1-4$ - 80km - RX Sens: -24 dBm

→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

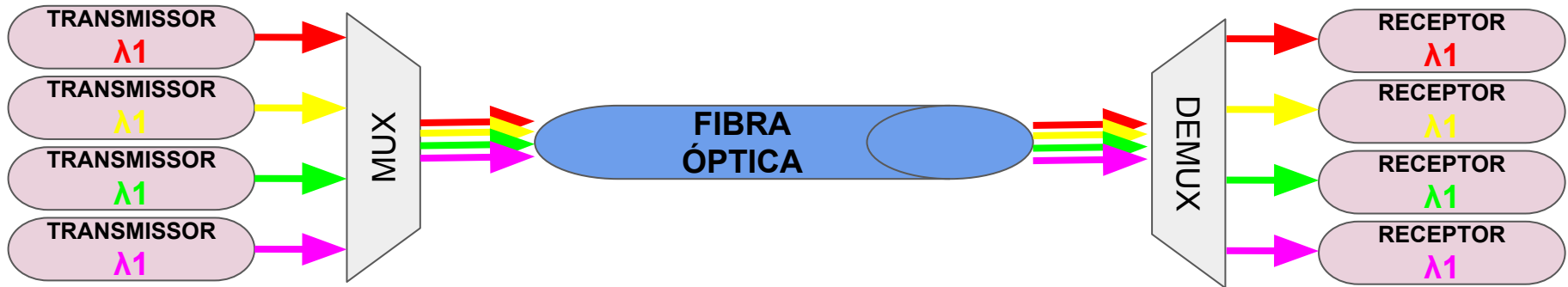
- Conector lado A - Tranceiver λ_n ->MUX: 0,5 dB
- MUX lado A: 3 dB
- Conector lado A - MUX->DIO 0,5* dB
- 80 km de fibra: $80 \times 0,20 = 16$ dB ←



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

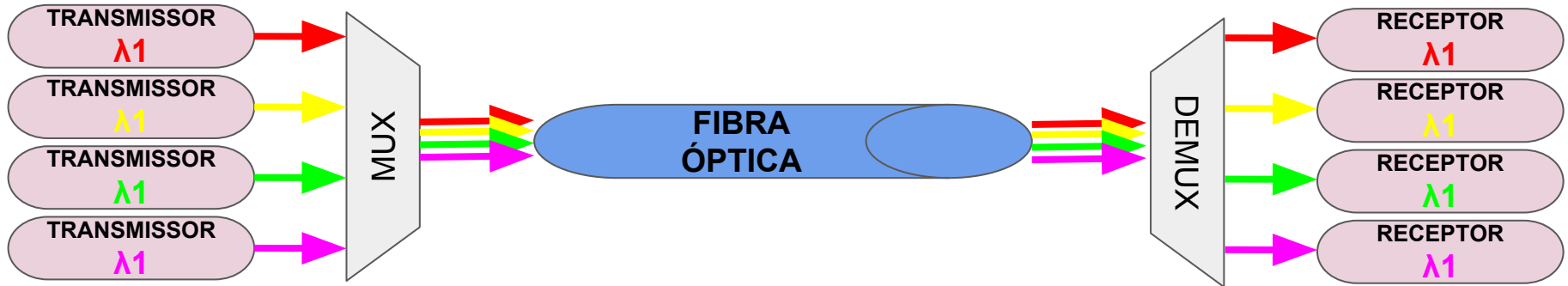
- Conector lado B: DIO->DEMUX: 0,5* dB
- DEMUX lado B: 3 dB
- Conector lado B - DEMUX->Tranceiver λ_n : 0,5 dB



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando atenuação total:

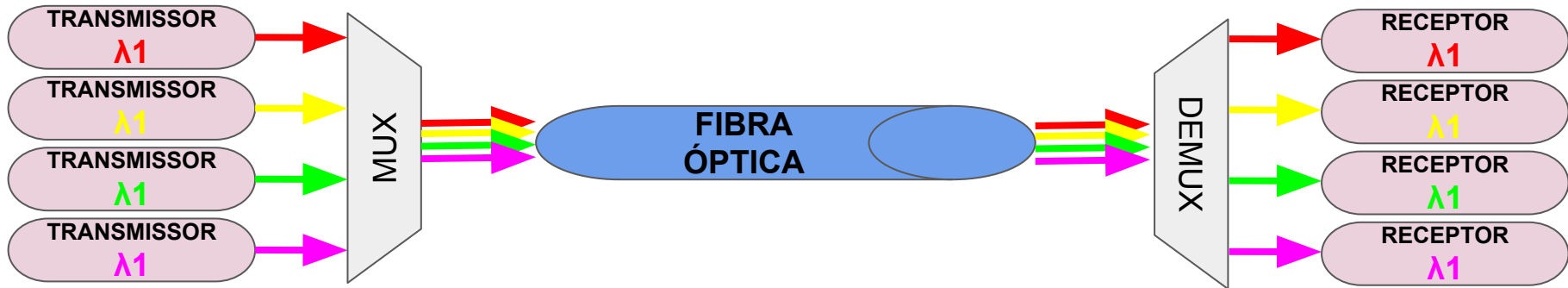
- $0,5 + 3 + 0,5 + 16 + 0,5 + 3 + 0,5 = 24 \text{ dB}$



→ Projetos em curtas distâncias

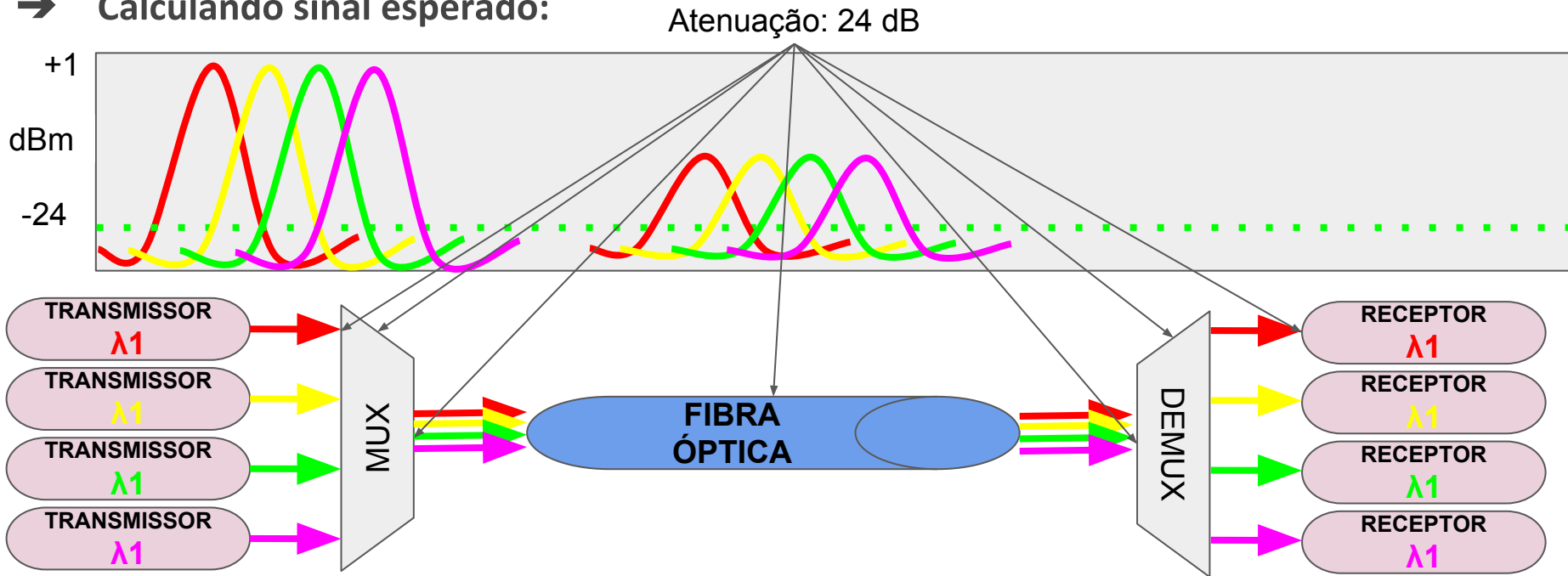
→ Calculando sinal esperado:

sinais: +1 dBm



→ Projetos em curtas distâncias

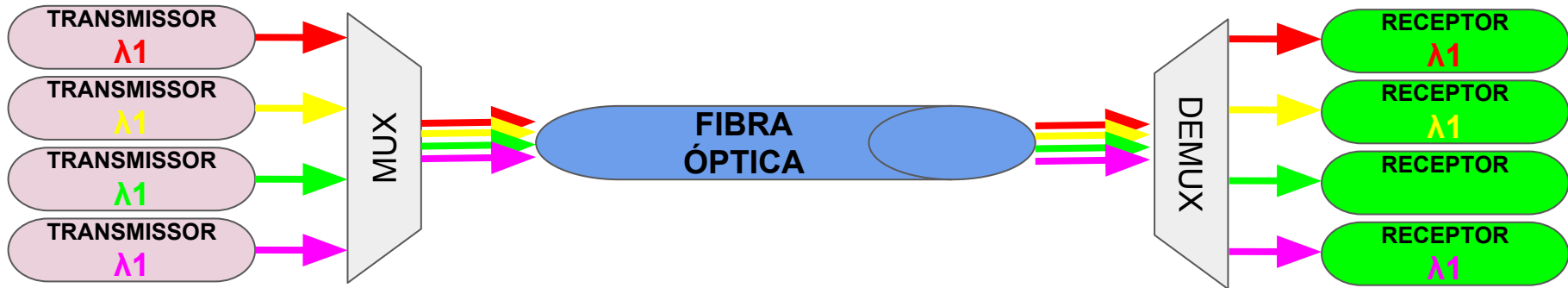
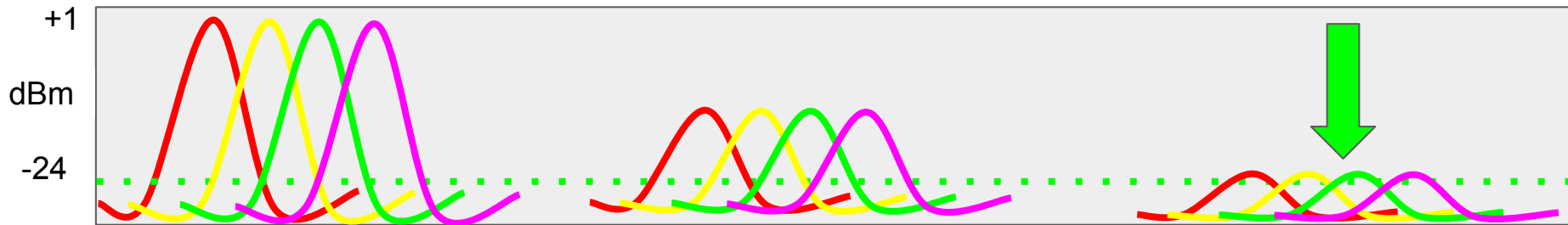
→ Calculando sinal esperado:



→ Projetos em curtas distâncias

→ Calculando sinal esperado:

Sinal individual:
 $+1 - 24 = -23$ dBm





Tranceivers vencem distância ou ATENUAÇÃO?

→ Projetos em curtas distâncias

→ Modelo sem uso de EDFA



→ Projetos em curtas distâncias

→ Modelo sem uso de EDFA

- Simplicidade em acender novos canais
-

→ Projetos em curtas distâncias

→ Modelo sem uso de EDFA

- Simplicidade em acender novos canais
- Baixo/NULO crosstalk



→ Projetos em curtas distâncias

- Modelo sem uso de EDFA
 - Simplicidade em acender novos canais
 - Baixo/NULO crosstalk
- Curtas distâncias
 - Baixos níveis de dispersão cromática
-

→ Projetos em curtas distâncias

- Modelo sem uso de EDFA
 - Simplicidade em acender novos canais
 - Baixo/NULO crosstalk
- Curtas distâncias
 - Baixos níveis de dispersão cromática
- Simplicidade

→ **Projetos em curtas distâncias**



→ **Outras soluções:**



→ **Projetos em curtas distâncias**

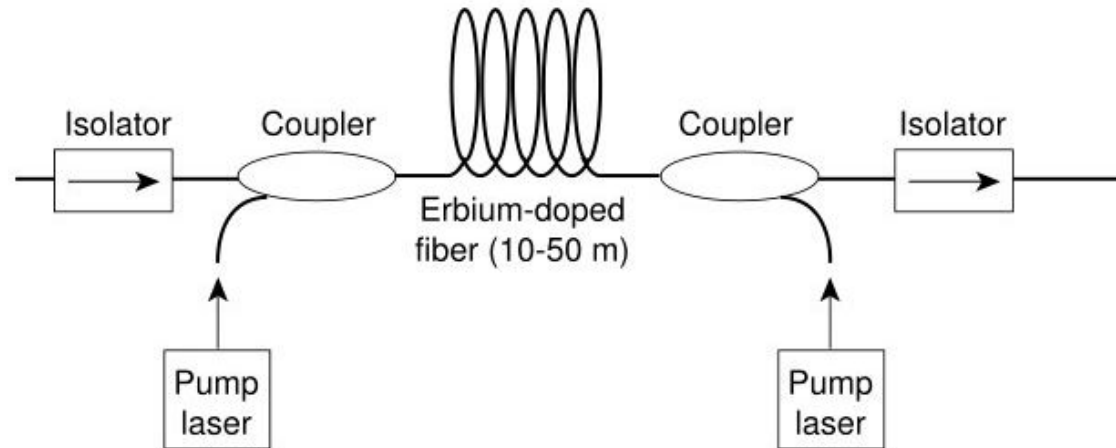
→ **Outras soluções:**

- Injetar sinais com maior potência

AMPLIFICADORES EDFA

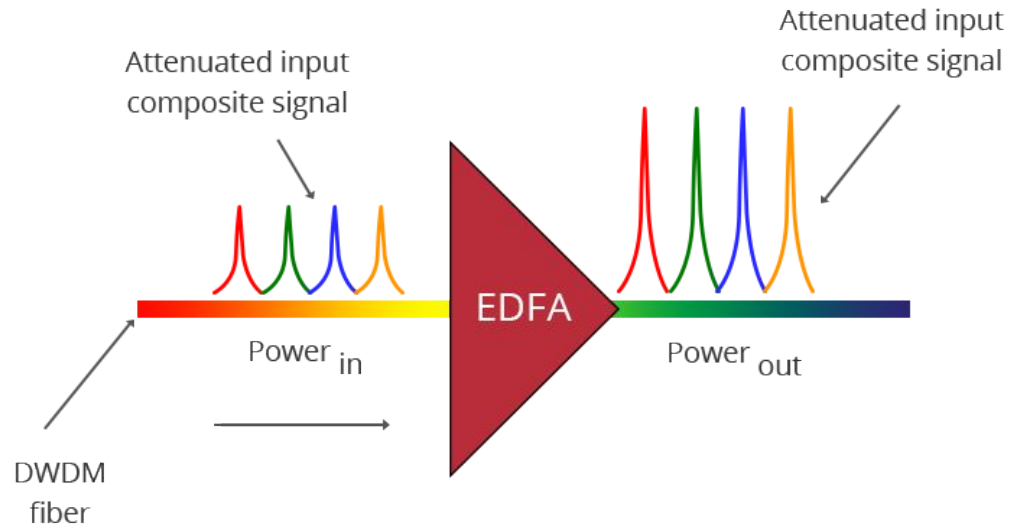
→ Amplificadores EDFA

→ Funcionamento

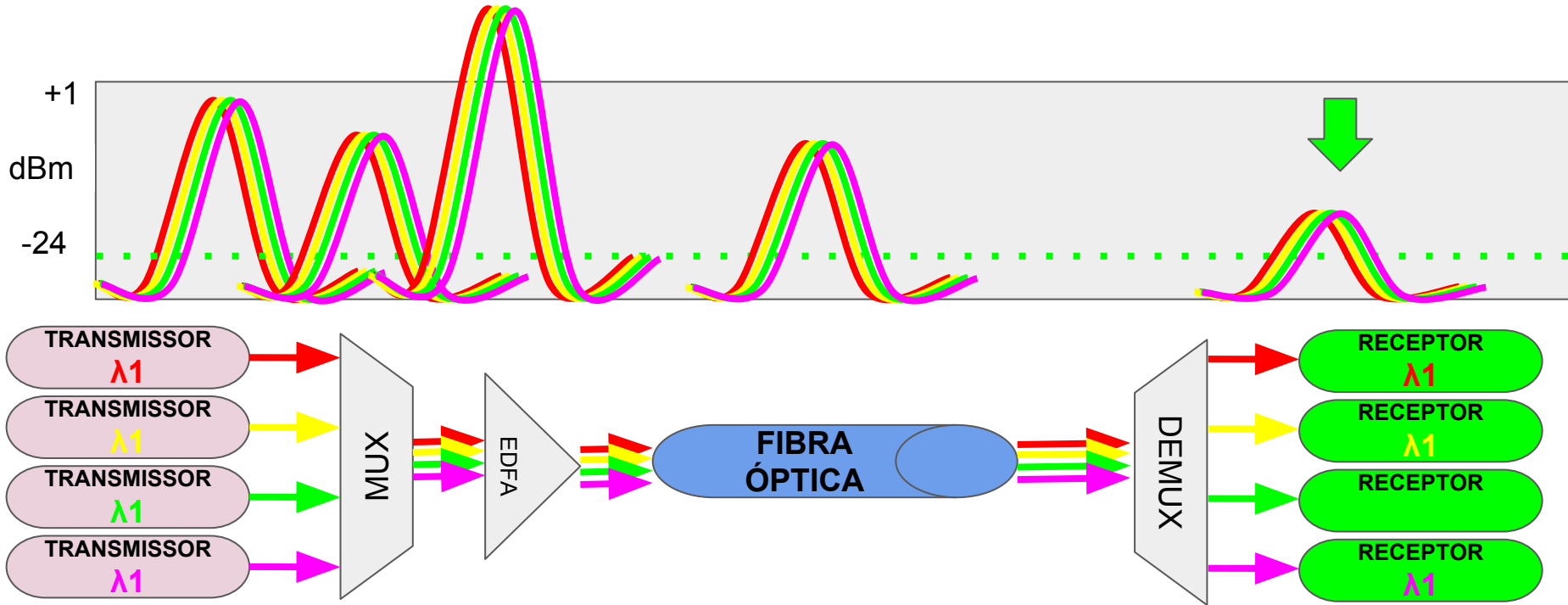


→ Amplificadores EDFA

→ Funcionamento



→ Amplificadores EDFA



→ Amplificadores EDFA



→ Calculando sinal esperado:

- Mudança radical na forma de calcular sinais individuais
-

→ Amplificadores EDFA



→ Calculando sinal esperado:

- Mudança radical na forma de calcular sinais individuais
- Atuação do EDFA em todos os canais simultaneamente
-

→ Amplificadores EDFA

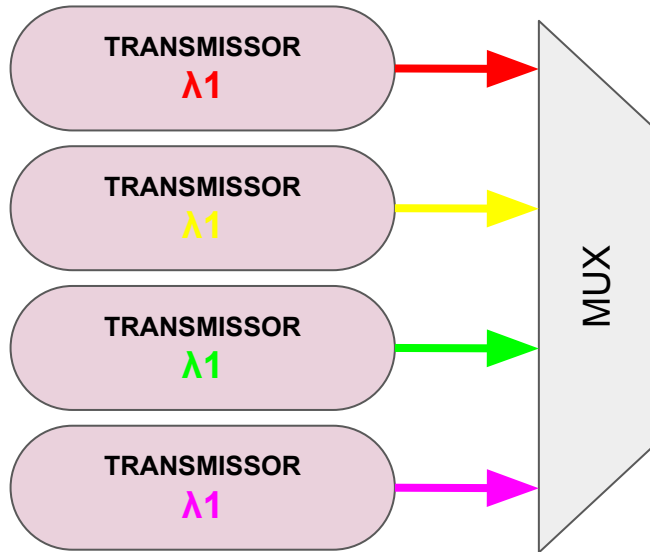


→ Calculando sinal esperado:

- Mudança radical na forma de calcular sinais individuais
- Atuação do EDFA em todos os canais simultaneamente
- Canais compartilham a potência total

→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:

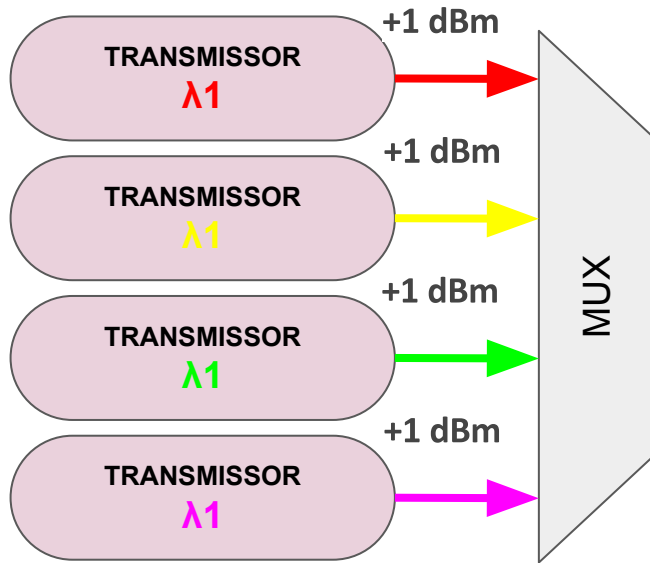


4x sinais de +1 dBm entram no MUX

ATENÇÃO!
VAMOS IGNORAR AS
PERDAS DE CONECTOR
PARA SIMPLIFICAR O
ENTENDIMENTO

→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



4x sinais de +1 dBm entram no MUX

$$1\text{dBm} + 1\text{dBm} + 1\text{dBm} + 1\text{dBm} = ?$$

→ Amplificadores EDFA



→ Calculando sinal esperado:

1dBm + 1dBm + 1dBm + 1dBm = ?

→ Amplificadores EDFA



→ Calculando sinal esperado:

$$1\text{dBm} + 1\text{dBm} + 1\text{dBm} + 1\text{dBm} = 7 \text{ dBm}$$

→ Amplificadores EDFA

→ Fórmula para somar sinais diretamente em dBm:

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntSinais}))$$

Potencia dos Sinais Individuais: +1

Quantidade de sinais: 4

$$+1 + (10 * \log_{10}(4))$$

→ Amplificadores EDFA

→ Fórmula para somar sinais diretamente em dBm:

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntSinais}))$$

Potencia dos Sinais Individuais: +1

Quantidade de sinais: 4

$$+1 + (10 * \log_{10}(4))$$

$$+1 + (10 * 0,6)$$

→ Amplificadores EDFA

→ Fórmula para somar sinais diretamente em dBm:

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntSinais}))$$

Potencia dos Sinais Individuais: +1

Quantidade de sinais: 4

$$+1 + (10 * \log_{10}(4))$$

$$+1 + (10 * 0,6)$$

$$+1 + 6$$

→ Amplificadores EDFA

→ Fórmula para somar sinais diretamente em dBm:

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntSinais}))$$

Potencia dos Sinais Individuais: +1

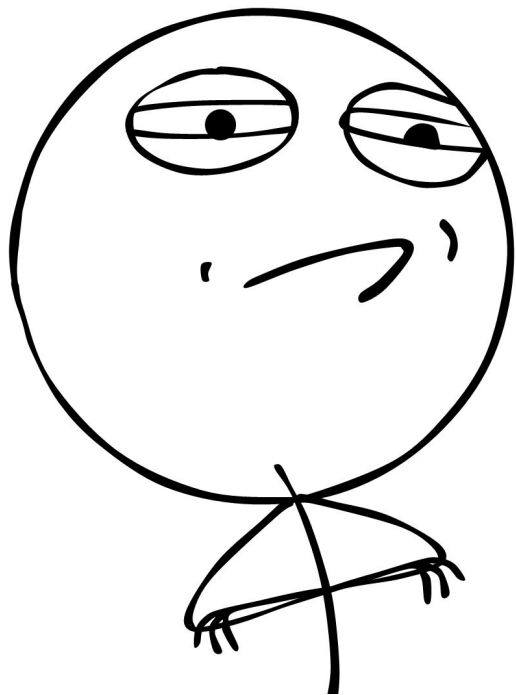
Quantidade de sinais: 4

$$+1 + (10 * \log_{10}(4))$$

$$+1 + (10 * 0,6)$$

$$+1 + 6$$

$$7 \text{ dBm}$$



PROVANDO A FORMULA

**SE CADA VEZ QUE O SINAL
“DOBRA” SUA POTENCIA
TEMOS UM AUMENTO DE
3 dBm...**

→ Amplificadores EDFA

→ Fórmula para somar sinais diretamente em dBm:

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntSinais}))$$

Potencia dos Sinais Individuais: +1

Quantidade de sinais: 8

$$+1 + (10 * \log_{10}(8))$$

→ Amplificadores EDFA

→ Fórmula para somar sinais diretamente em dBm:

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntSinais}))$$

Potencia dos Sinais Individuais: +1

Quantidade de sinais: 8

$$+1 + (10 * \log_{10}(8))$$

$$+1 + (10 * 0,9)$$

→ Amplificadores EDFA

→ Fórmula para somar sinais diretamente em dBm:

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntSinais}))$$

Potencia dos Sinais Individuais: +1

Quantidade de sinais: 8

$$+1 + (10 * \log_{10}(8))$$

$$+1 + (10 * 0,9)$$

$$+1 + 9$$

→ Amplificadores EDFA

→ Fórmula para somar sinais diretamente em dBm:

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntSinais}))$$

Potencia dos Sinais Individuais: +1

Quantidade de sinais: 8

$$+1 + (10 * \log_{10}(8))$$

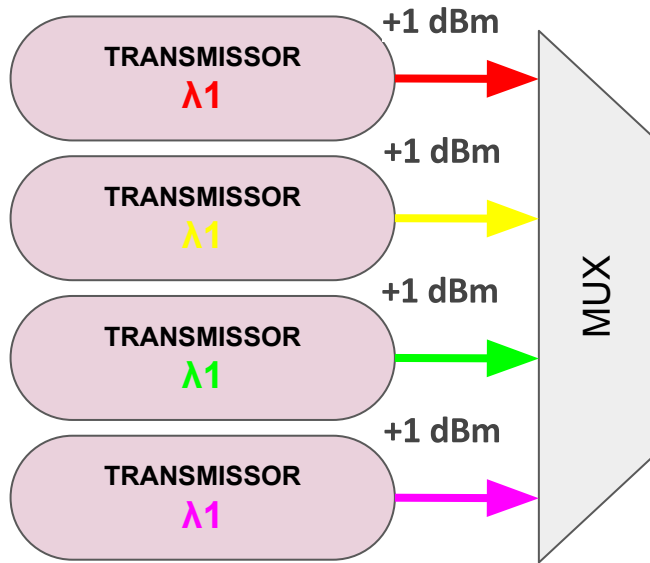
$$+1 + (10 * 0,9)$$

$$+1 + 9$$

$$10 \text{ dBm}$$

→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



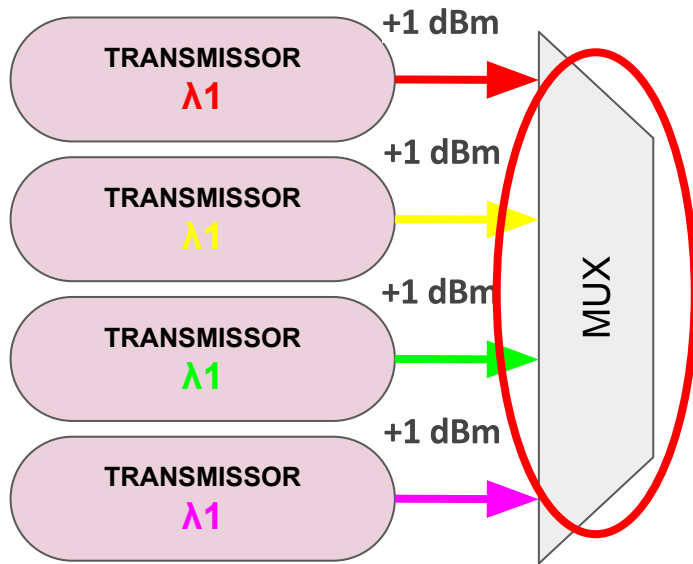
4x sinais de +1 dBm entram no MUX

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntCanais}))$$

$$+1 + (10 * \log_{10}(4)) = +7,02 \text{ dBm}$$

→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



4x sinais de +1 dBm entram no MUX

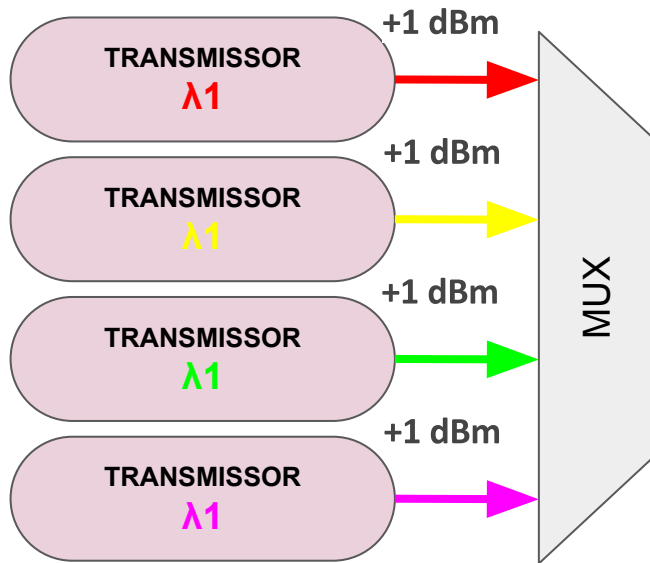
$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntCanais}))$$

$$+1 + (10 * \log_{10}(4)) = +7,02 \text{ dBm}$$

$$+7,02 \text{ dBm} - (\text{perda de inserção do MUX})$$

→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



4x sinais de +1 dBm entram no MUX

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntCanais}))$$

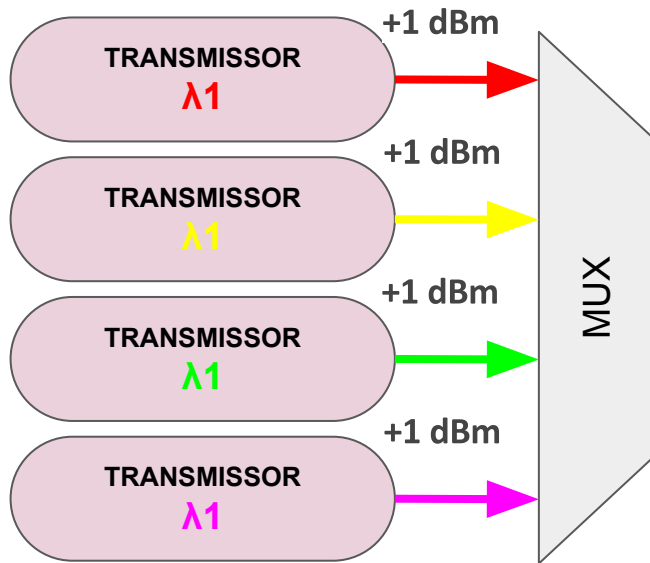
$$+1 + (10 * \log_{10}(4)) = +7,02 \text{ dBm}$$

$$+7,02 \text{ dBm} - (\text{perda de inserção do MUX})$$

$$+7,02 - 3 =$$

→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



4x sinais de +1 dBm entram no MUX

$$\text{SinIndEntrada} + (10 * \log_{10}(\text{QntCanais}))$$

$$+1 + (10 * \log_{10}(4)) = +7,02 \text{ dBm}$$

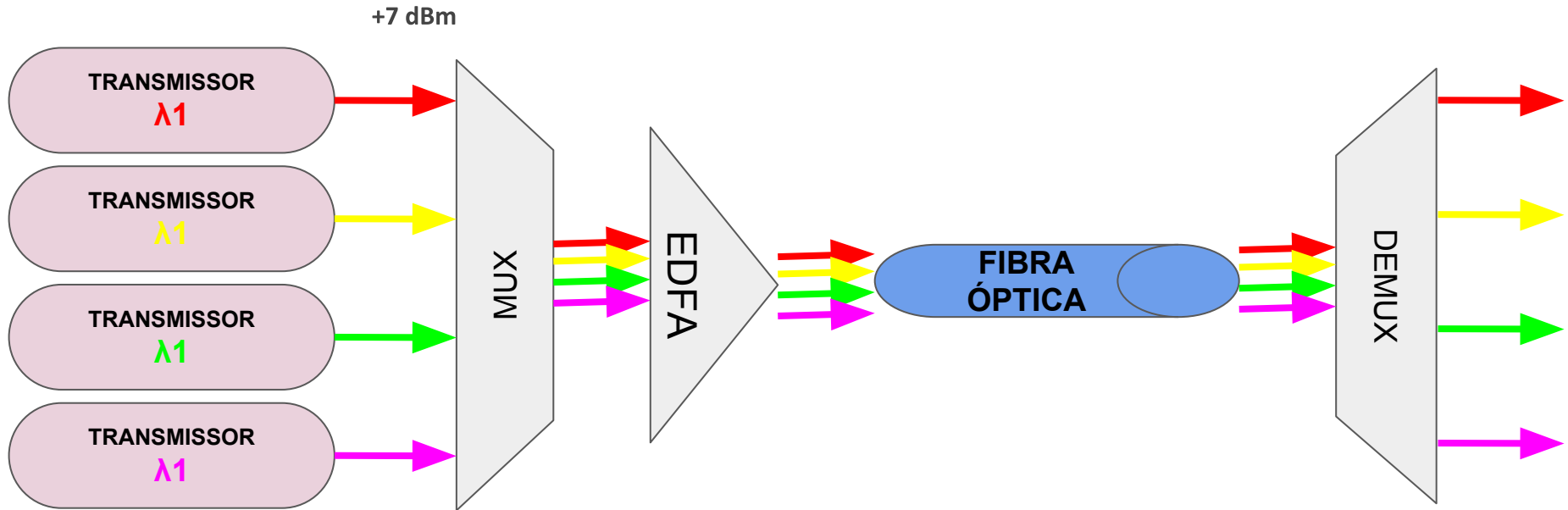
$$+7,02 \text{ dBm} - (\text{perda de inserção do MUX})$$

$$+7,02 - 3 =$$

$$+4,02 \text{ dBm}$$

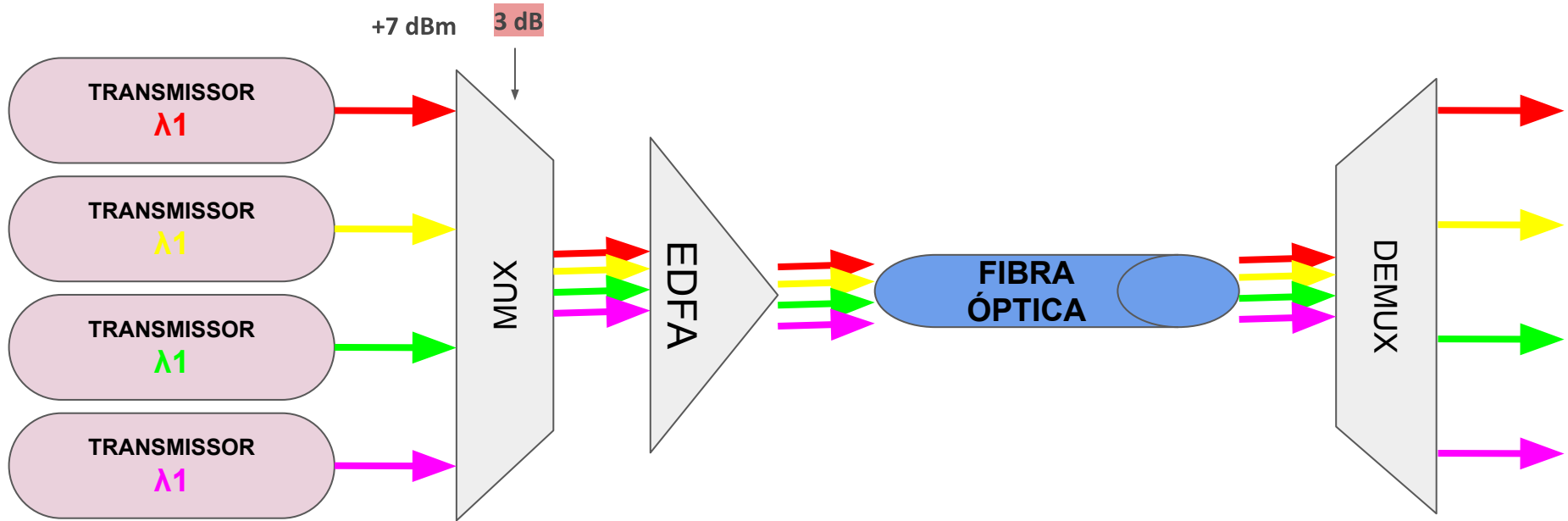
→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



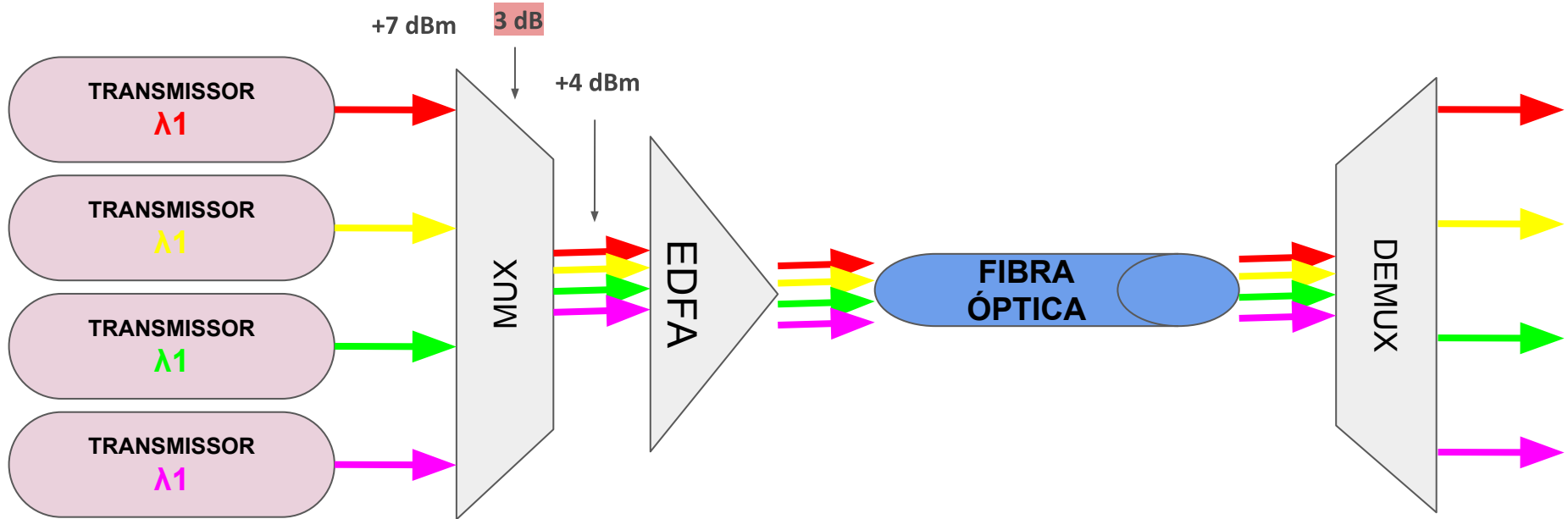
→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



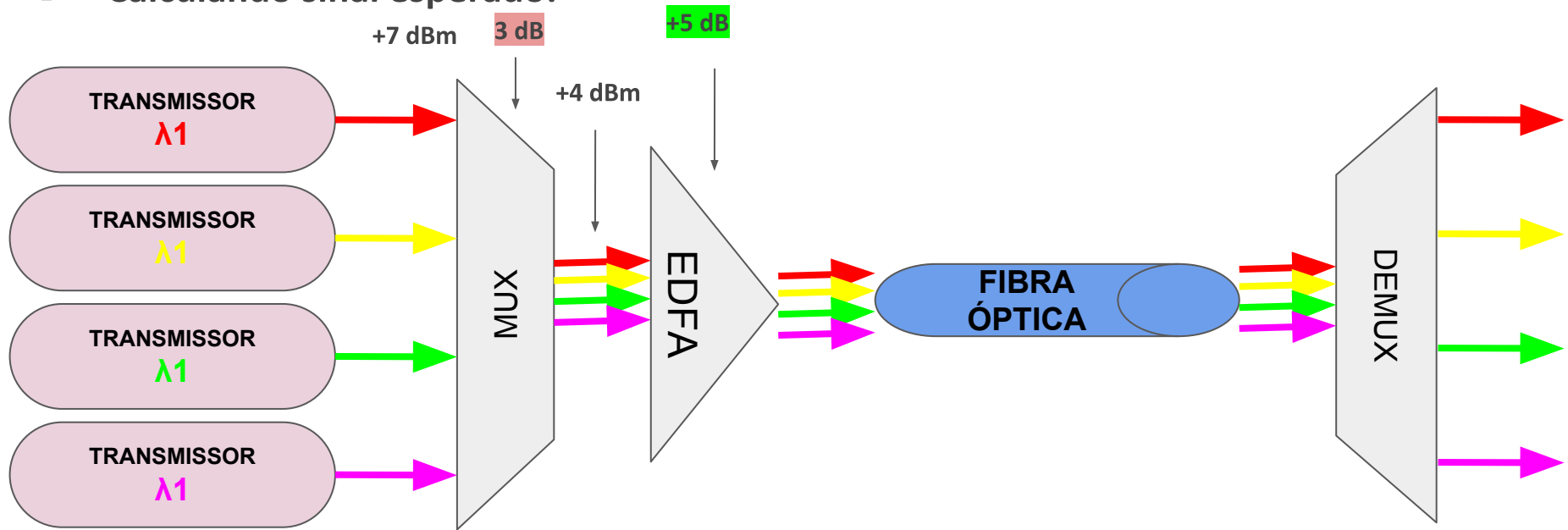
→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



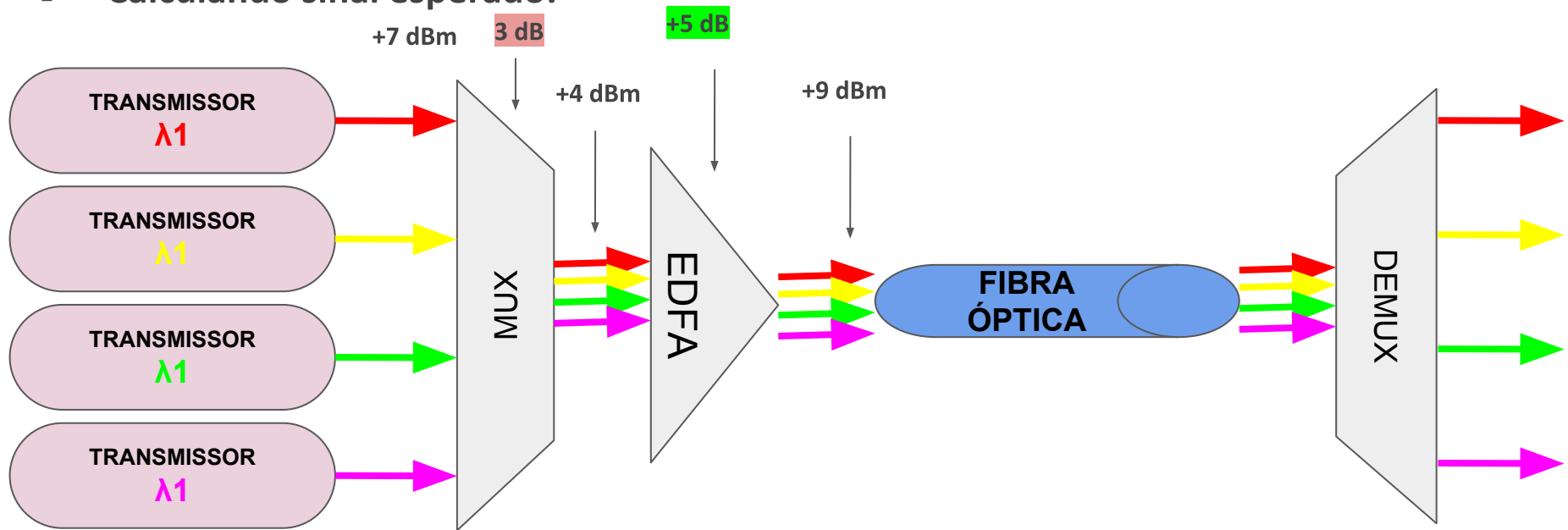
→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



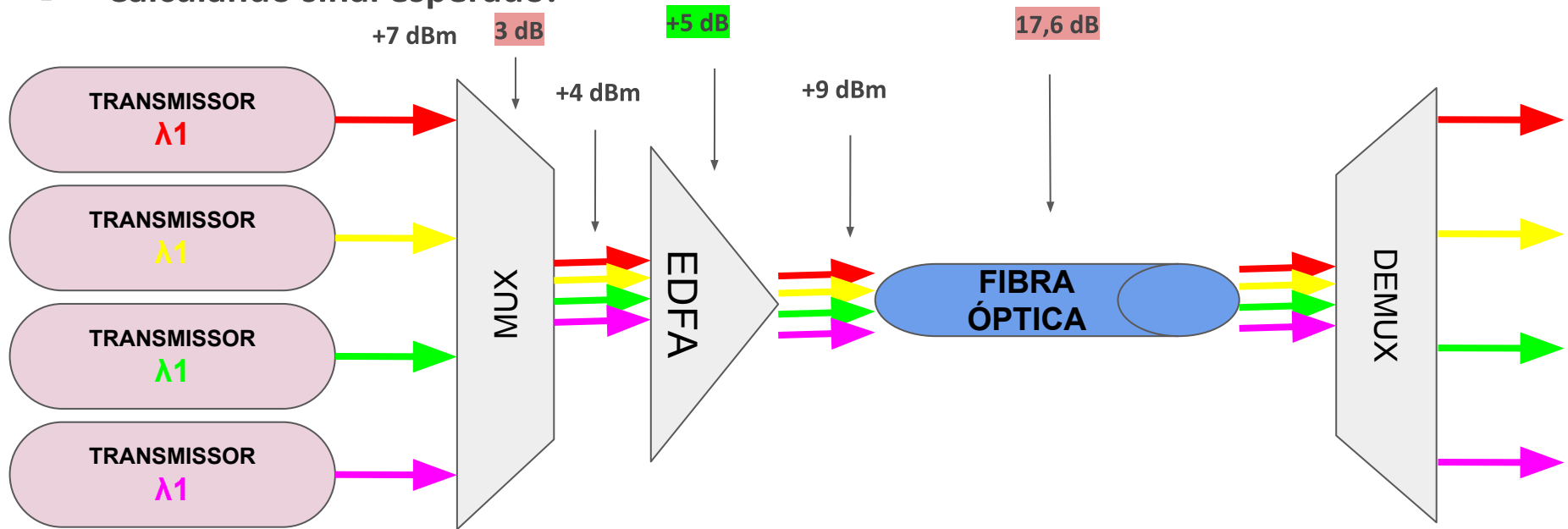
→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



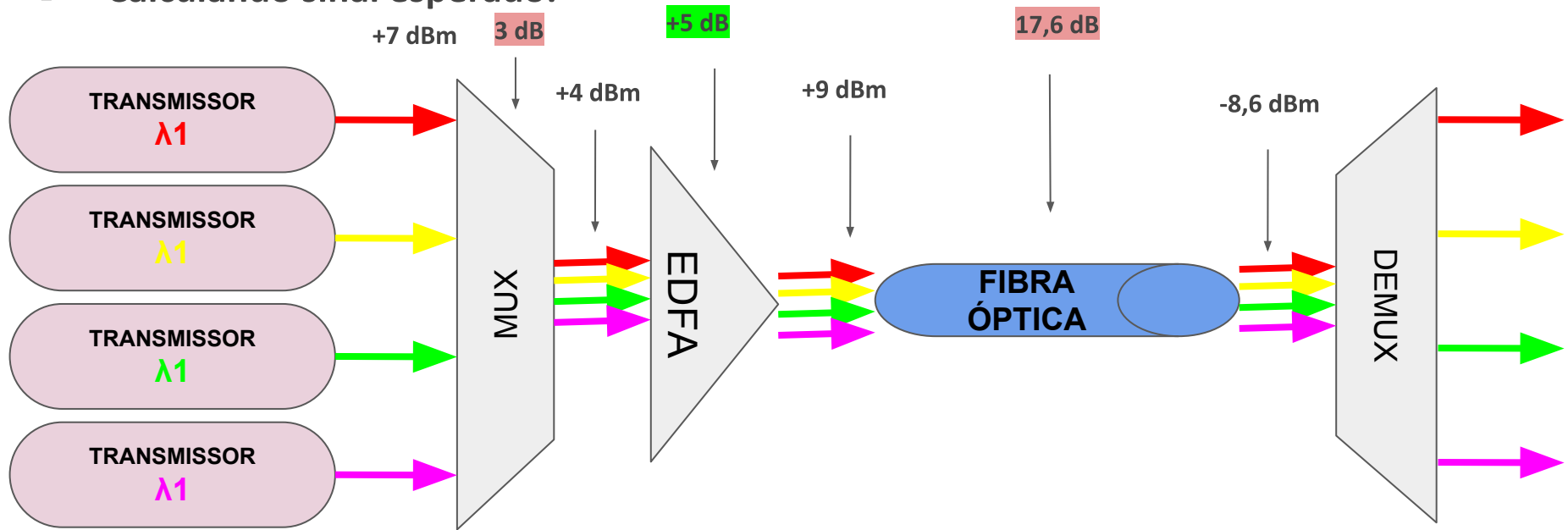
→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



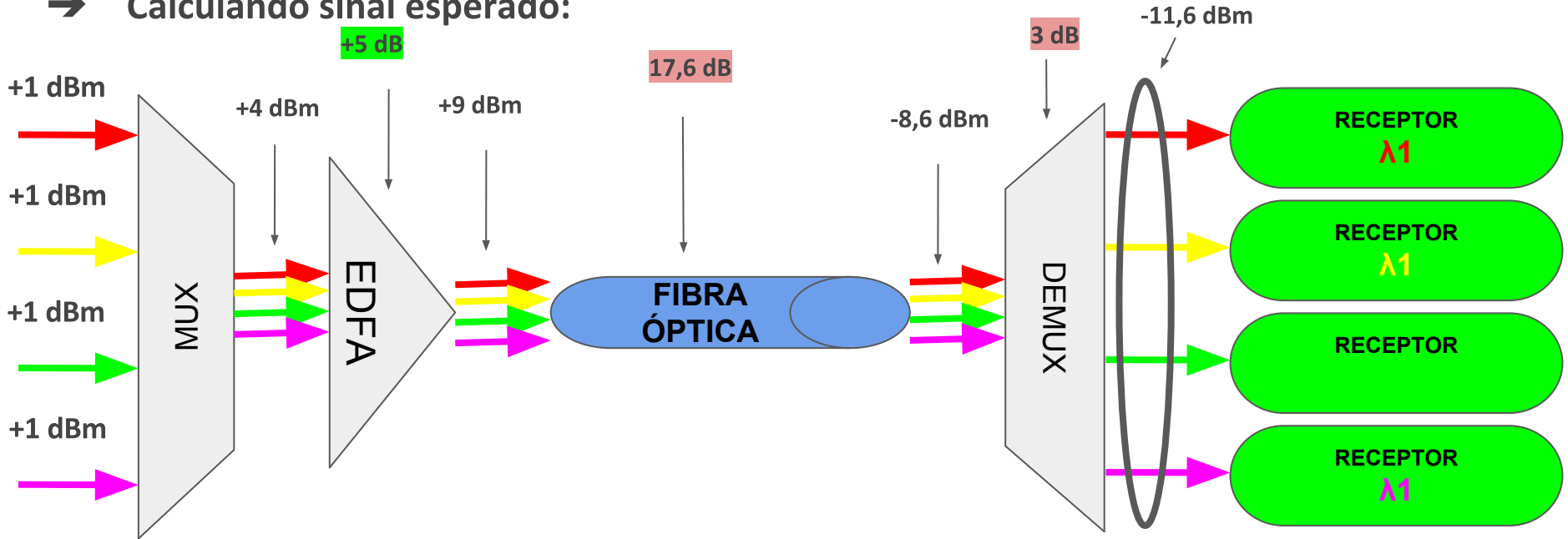
→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



→ Amplificadores EDFA

→ Calculando sinal esperado:



→ Amplificadores EDFA

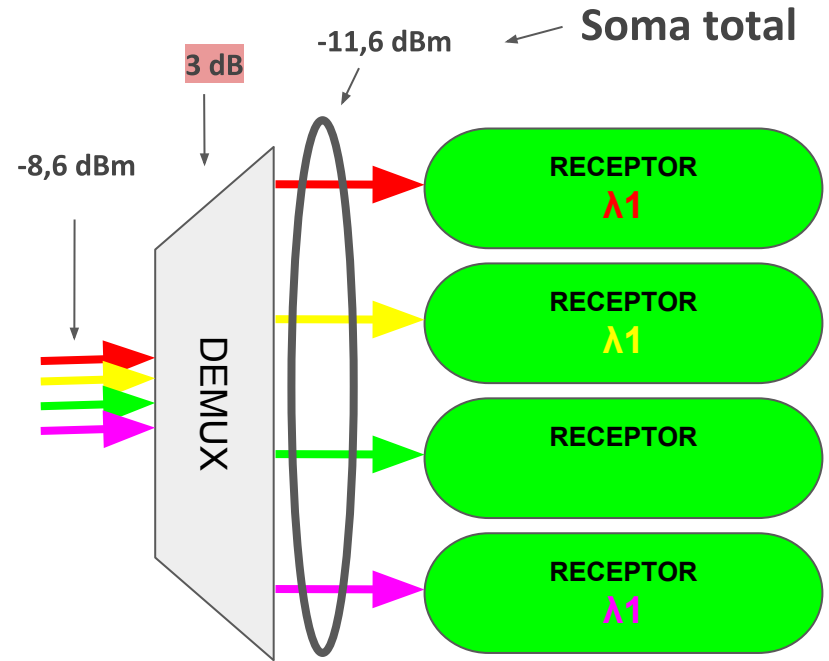
→ Calculando sinal esperado:

- Sinais individuais:

1x sinal de -5,6 dBm sai do DEMUX com 4 canais individuais

SinalTotal - $(10 * \log_{10}(\text{QntCanais}))$

$$-11,6 - (10 * \log_{10}(4)) = -17,62$$



→ Amplificadores EDFA

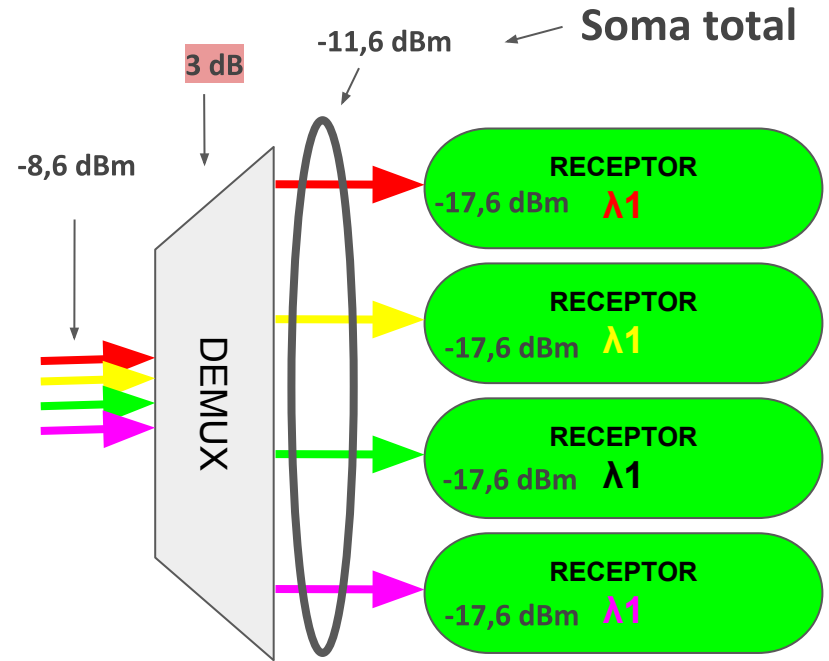
→ Calculando sinal esperado:

- Sinais individuais:

1x sinal de -5,6 dBm sai do DEMUX com 4 canais individuais

$$\text{SinalTotal} - (10 * \log_{10}(\text{QntCanais}))$$

$$-11,6 - (10 * \log_{10}(4)) = -17,62$$



→ Amplificadores EDFA

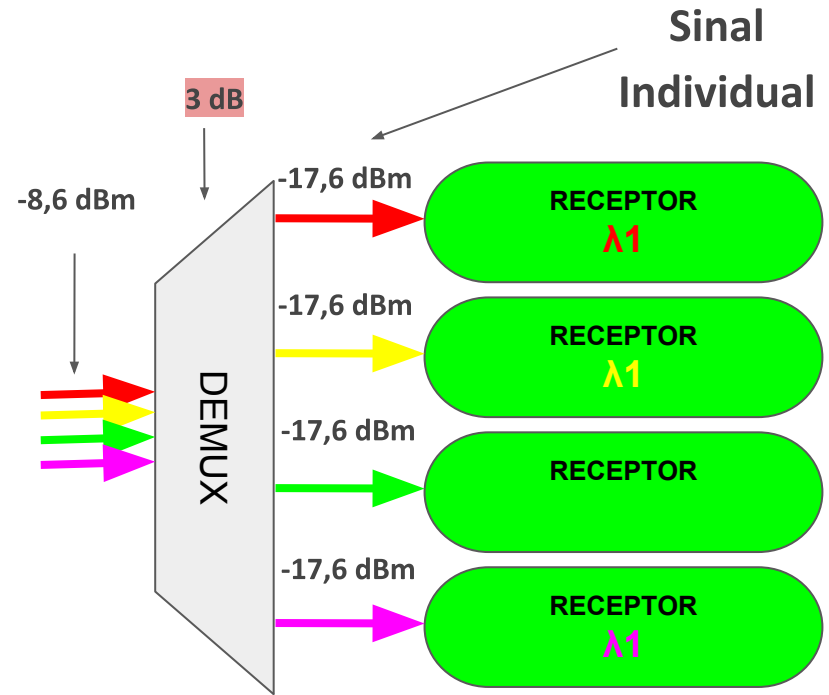
→ Calculando sinal esperado:

- Sinais individuais:

1x sinal de -5,6 dBm sai do DEMUX com 4 canais individuais

$$\text{SinalTotal} - (10 * \log_{10}(\text{QntCanais}))$$

$$-11,6 - (10 * \log_{10}(4)) = -17,62$$



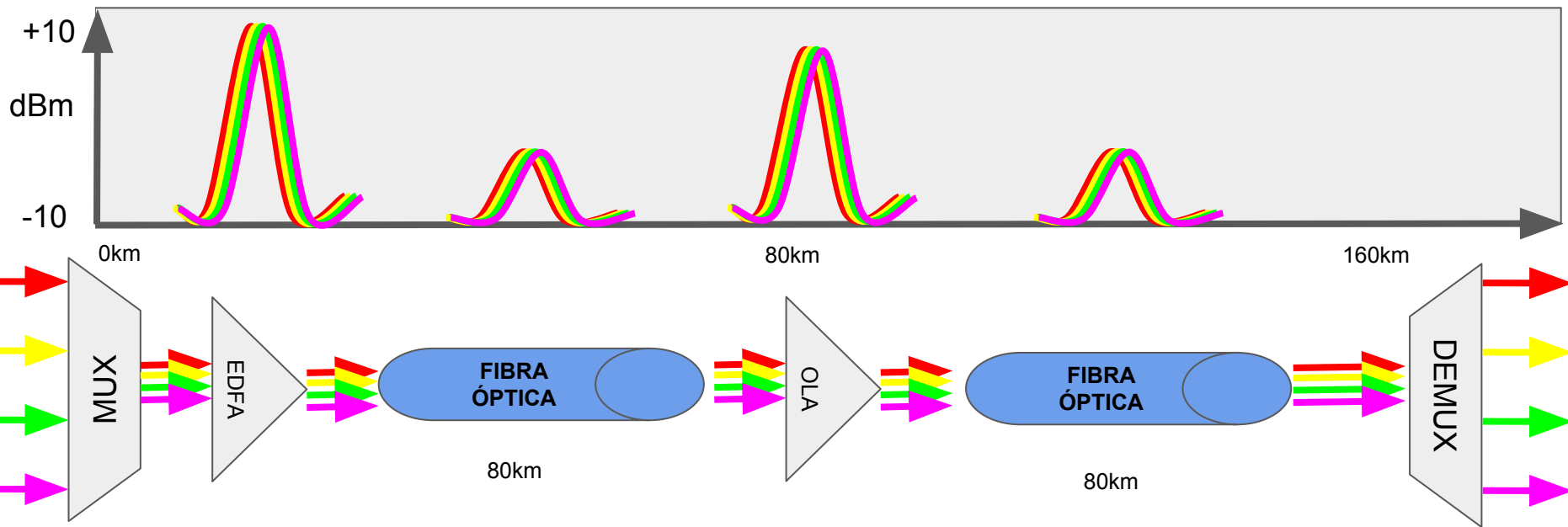
→ Amplificadores EDFA



→ É possível assim vencer grandes distâncias :

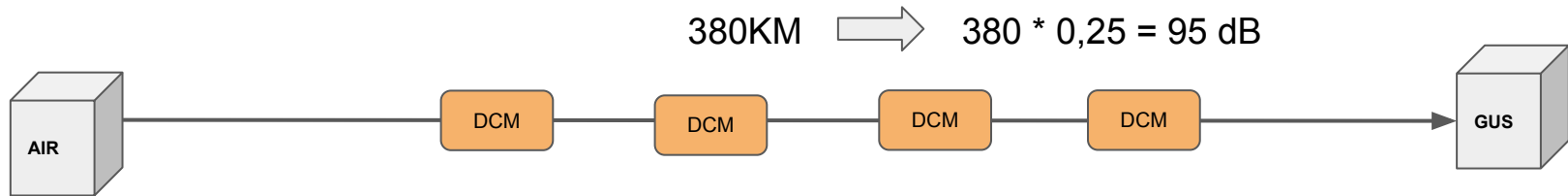
→ Amplificadores EDFA

→ É possível assim vencer grandes distâncias :



→ Amplificadores EDFA

→ É possível assim vencer grandes distâncias :



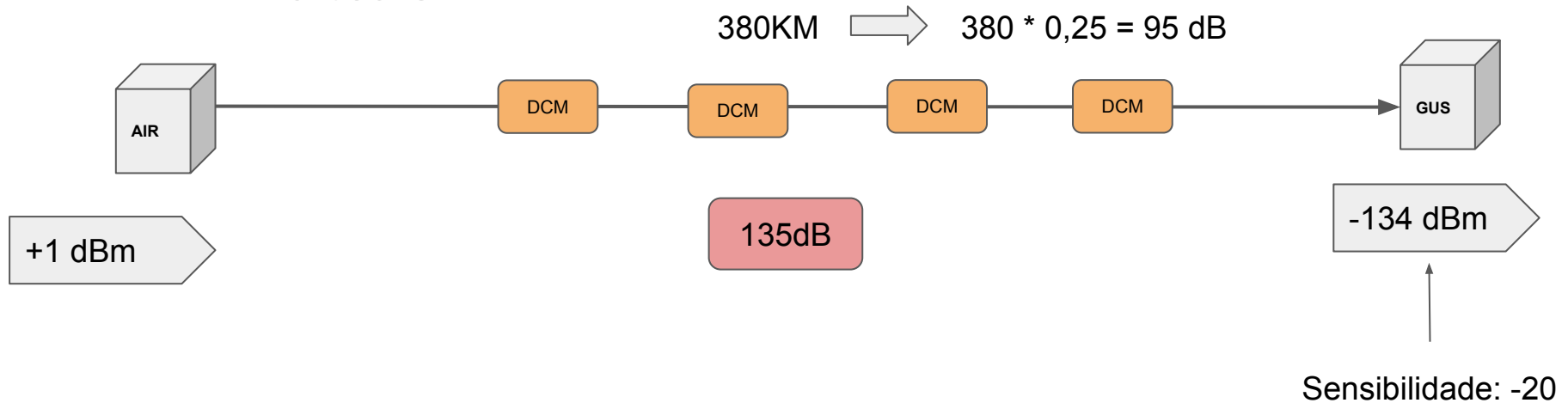
→ Atenuação Total

- Fibra: $380 * 0,25 = 95 \text{ dB}$
- DCM: 4x DCM de 7 dB = 28 dB
- MUX/DEMUX: 10dB
- Conectores: 2dB
- Total: $95+28+10+2=135 \text{ dB}$

→ Amplificadores EDFA

→ Distância entre sites ADD/DROP

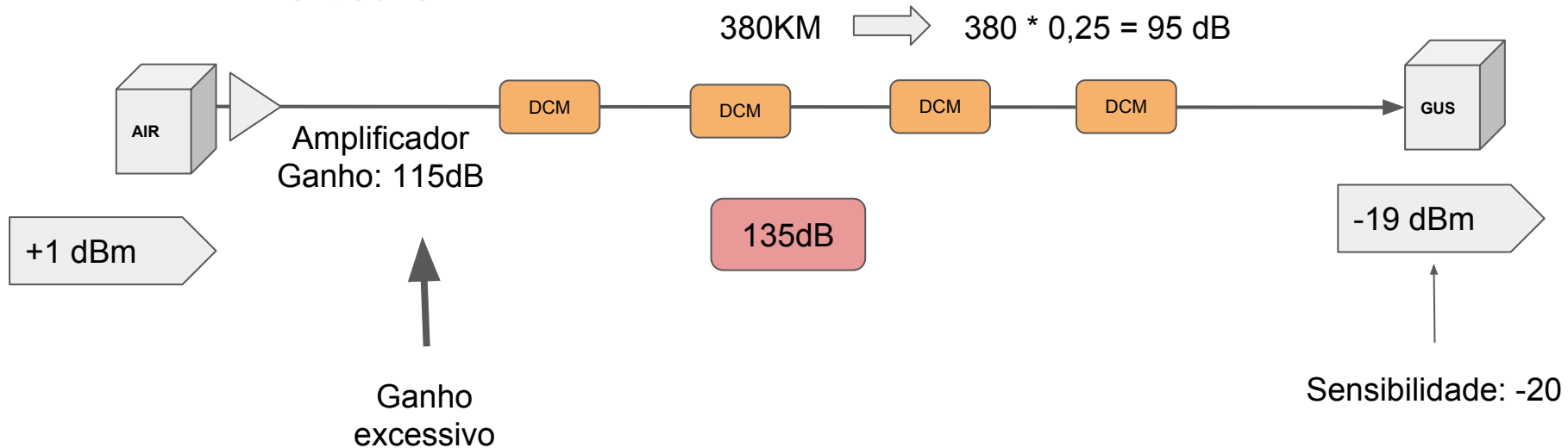
- Sites OLA



→ Amplificadores EDFA

→ Distância entre sites ADD/DROP

- Sites OLA



→ Amplificadores EDFA

- Distância entre sites ADD/DROP
- Sites OLA

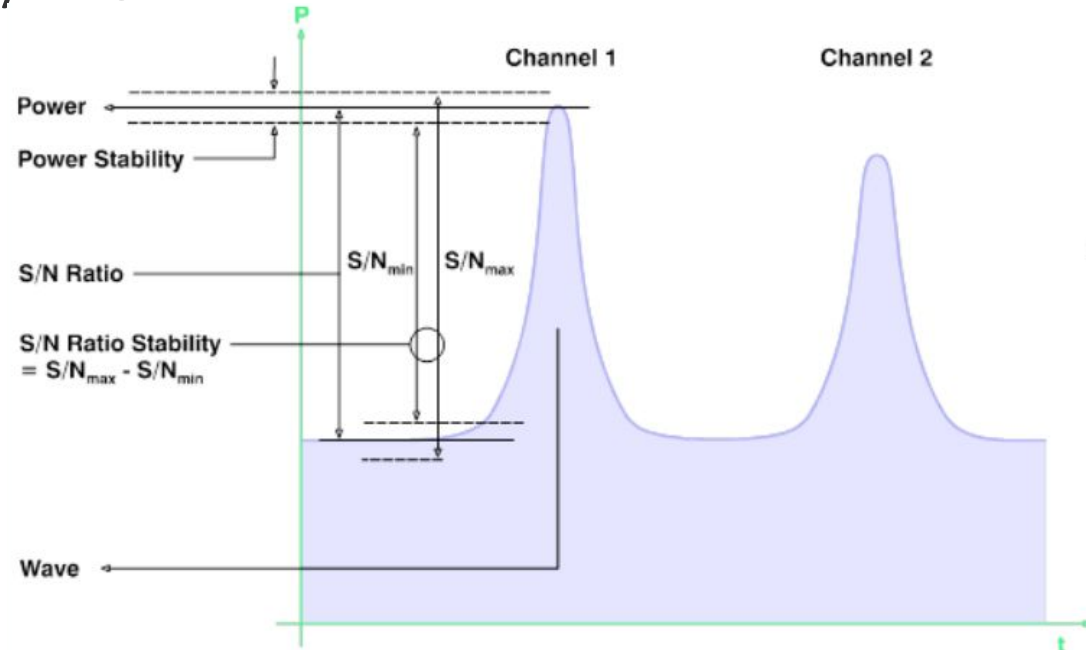
Alto ganho → Alto ruído → baixo SNR



→ Amplificadores EDFA

→ Distância entre sites ADD/DROP

- Sites OLA

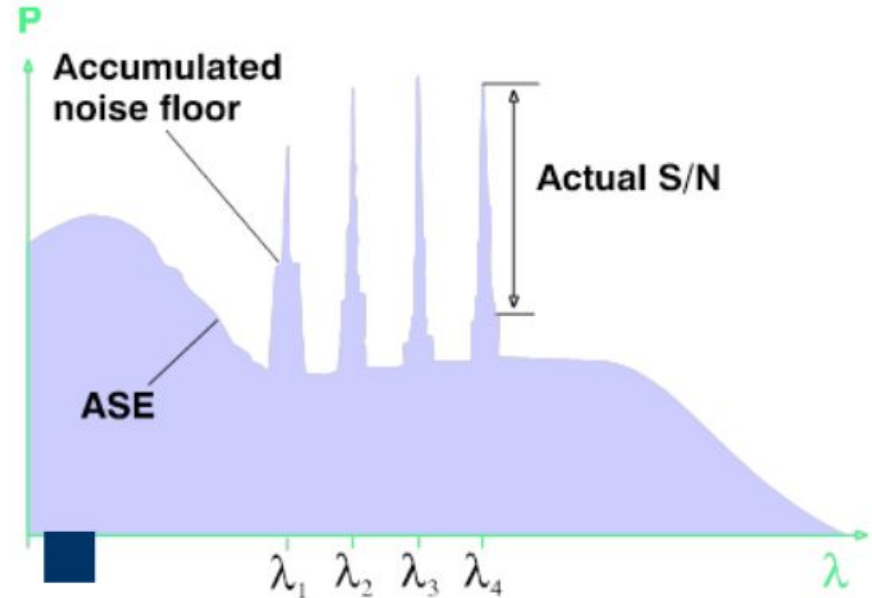


→ Amplificadores EDFA

- Distância entre sites ADD/DROP
 - Sites OLA

Datasheet:
OSNR: 16 dB

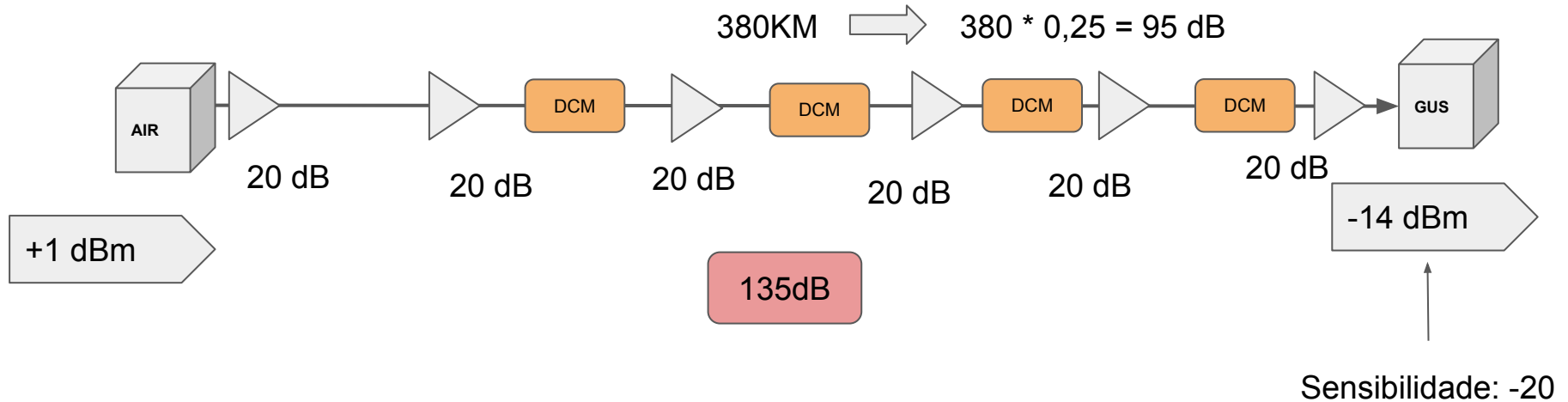
Sinal -19 ruído máximo de -35



→ Amplificadores EDFA

→ Distância entre sites ADD/DROP

- Sites OLA



→ Amplificadores EDFA



- É possível vencer grandes distâncias :
- Porém outros fatores precisam ser considerados

→ Efeitos não lineares



→ Efeitos não lineares

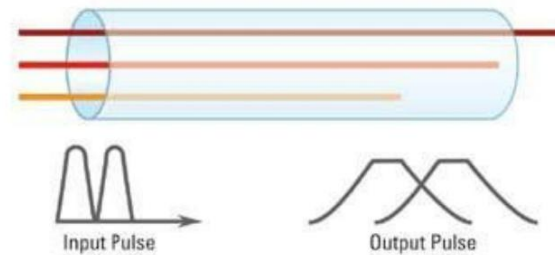


→ Dispersão Cromática

→ Efeitos não lineares

→ Dispersão Cromática

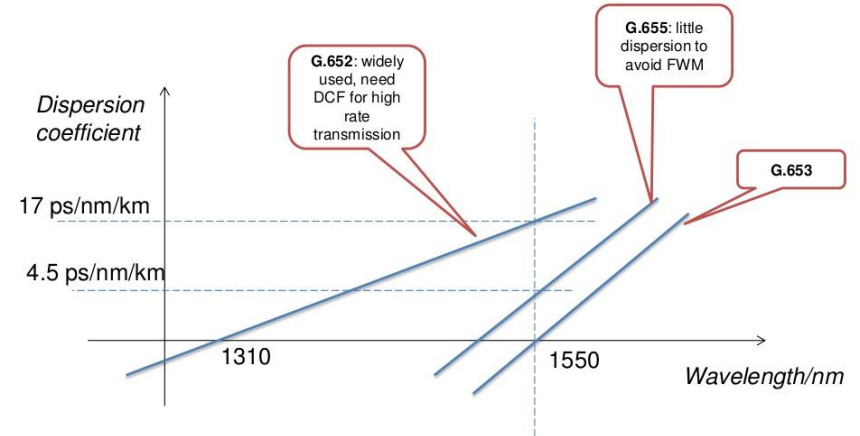
- Fenômeno que afeta o sinal em grandes distâncias



→ Efeitos não lineares

→ Dispersão Cromática

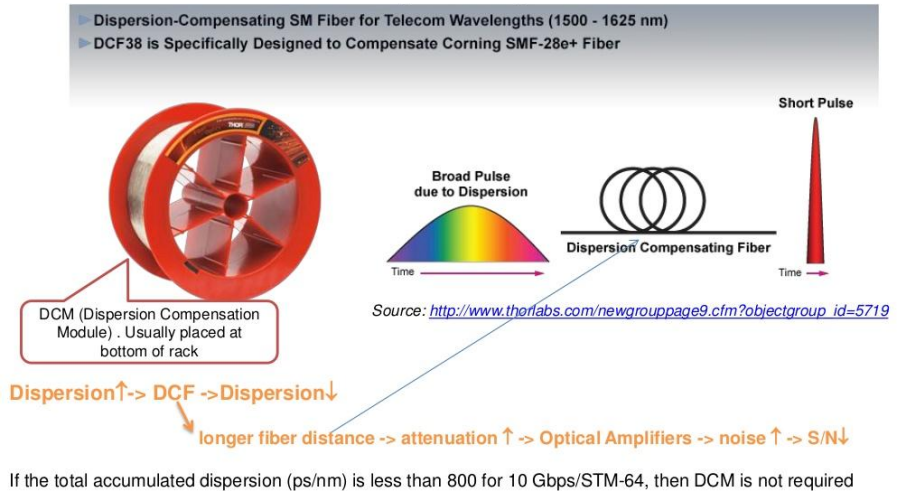
- Fenômeno que afeta o sinal em grandes distâncias
- Variações de acordo com tipos de fibra e frequência



→ Efeitos não lineares

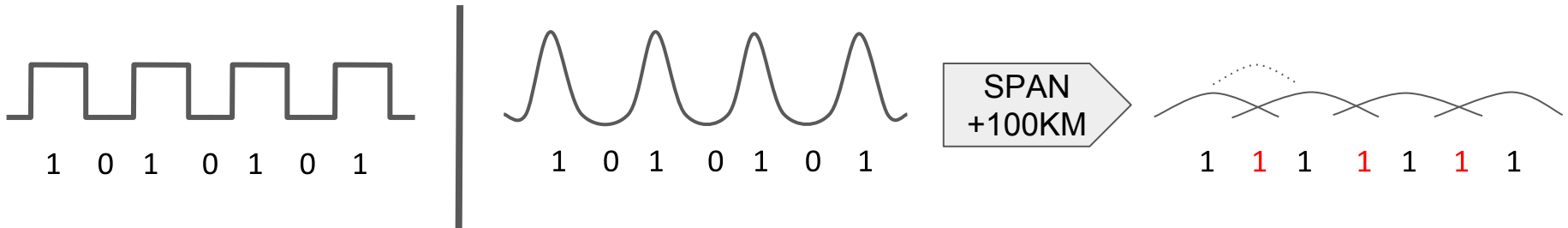
→ Dispersão Cromática

- Módulo que compensa dispersão possui uma fibra de vários km capaz de corrigir o pulso
- Desvantagem de causar atenuações que precisam ser consideradas no orçamento de potência



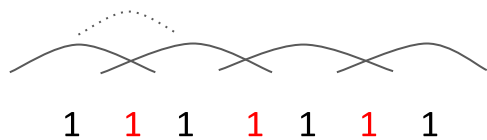
→ Efeitos não lineares

→ Sensibilidade à dispersão (10G)

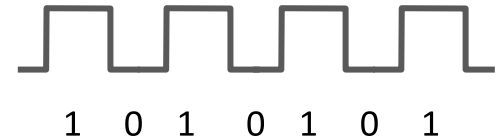
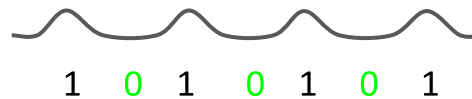


→ Efeitos não lineares

→ Sensibilidade à dispersão (10G)



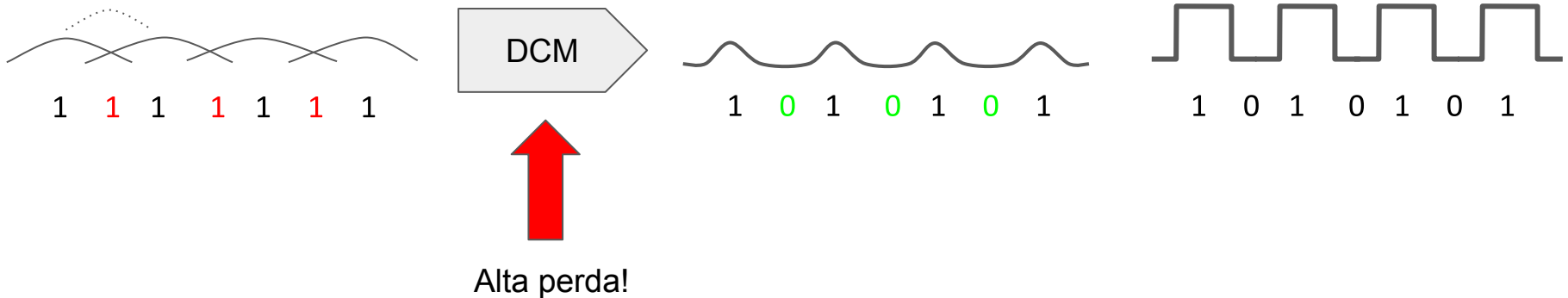
DCM



→ Efeitos não lineares

→ Sensibilidade à dispersão (10G)

DCM - Dispersion compensation module



→ Efeitos não lineares



→ PMD



→ Efeitos não lineares

→ PMD

- Variação no diâmetro do núcleo
- Má instalação da fibra
- Falhas fabricação

→ Espalhamento do pulso

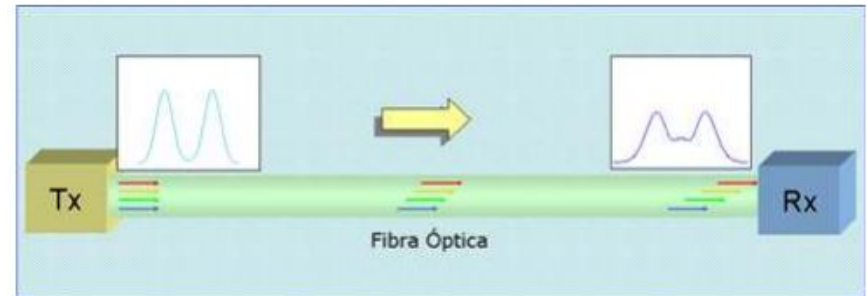


→ Efeitos não lineares

→ PMD

- Variação no diâmetro do núcleo
- Má instalação da fibra
- Falhas fabricação

→ Espalhamento do pulso



→ Efeitos não lineares

→ Canais de 100G

- Detecção coerente
- Local oscillator Laser (LO) do lado receptor

→ Efeitos não lineares

→ Canais de 100G

- Detecção coerente
- Local oscillator Laser (LO) do lado receptor
- Alta tolerância à dispersão cromática
- Dispensa necessidade de DCM

Types	Direct	EA	M-Z	Coherent
Max. dispersion tolerance (ps/nm)	1200-4000	7200-12800	>12800	40000
Cost	moderate	expensive	Very expensive	Very expensive
Wavelength stability	good	better	best	best

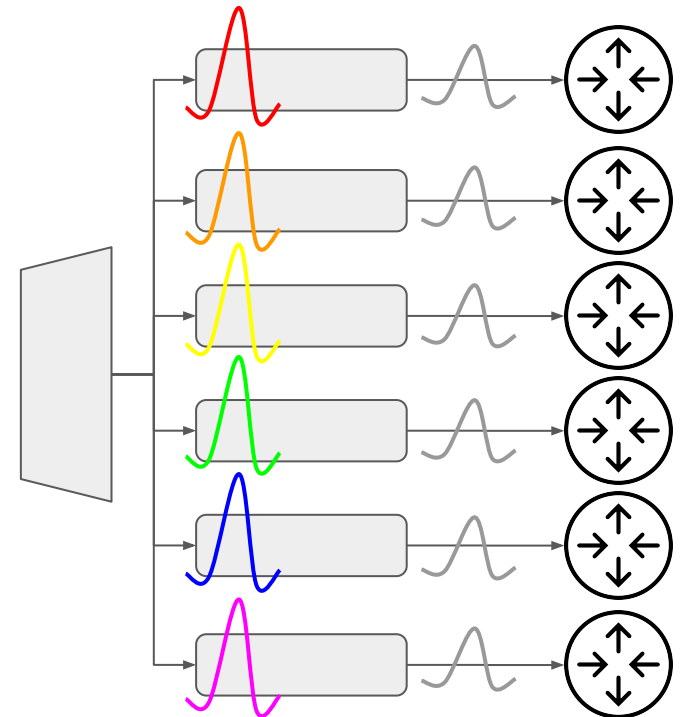
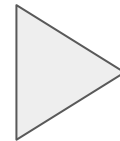
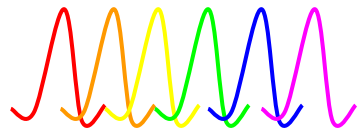


Optical Transport Network

→ Projetos de longa distância

→ OTN - Optical Transport Network

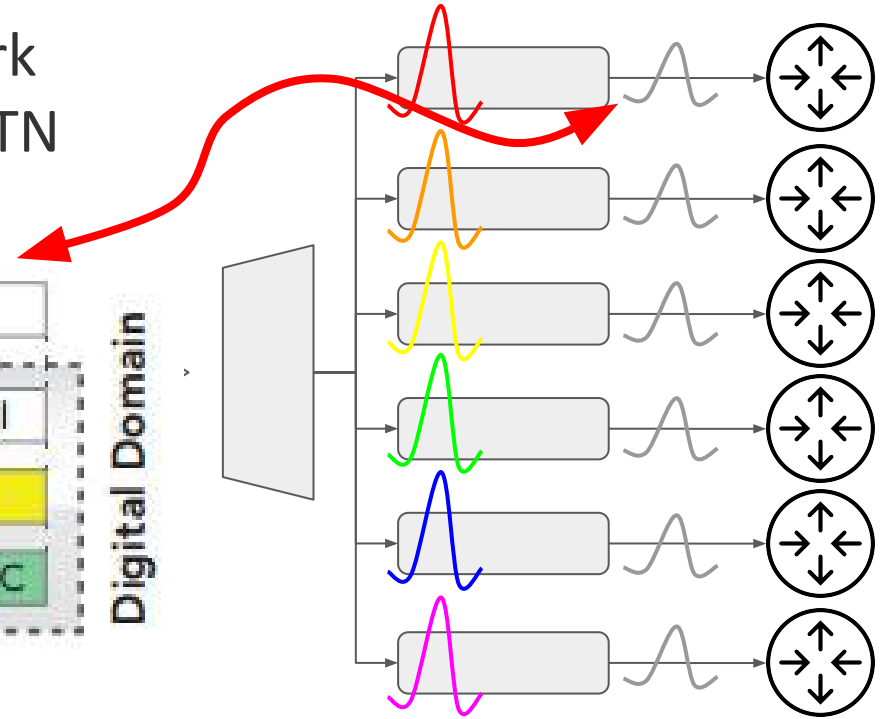
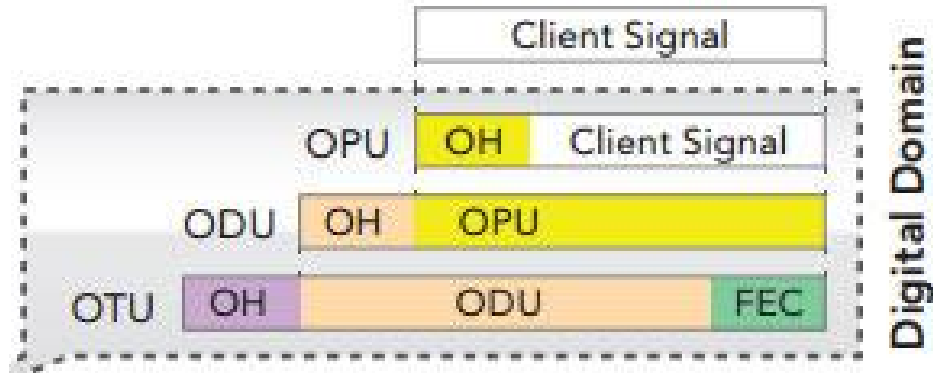
- Sinal cliente - Quadro OTN
- Uso de transponders



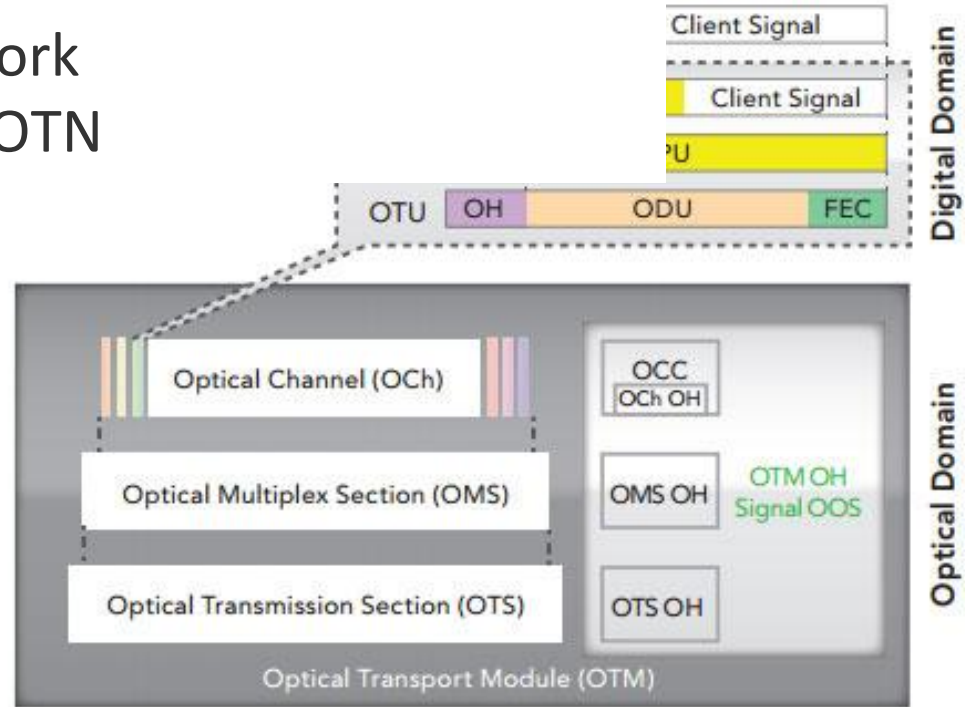
→ Projetos de longa distância

→ OTN - Optical Transport Network

- Sinal cliente - Quadro OTN
- Uso de transponders



- OTN - Optical Transport Network
- Sinal cliente - Quadro OTN
 - Uso de transponders



→ Projetos de longa distância

→ Quantidade máxima de canais

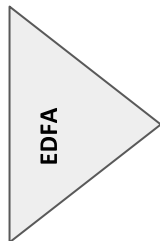
- Limitações por largura de canal (Ghz)
- Limitações por capacidade de amplificadores

→ Projetos de longa distância



→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por capacidade de amplificadores



Amplificador

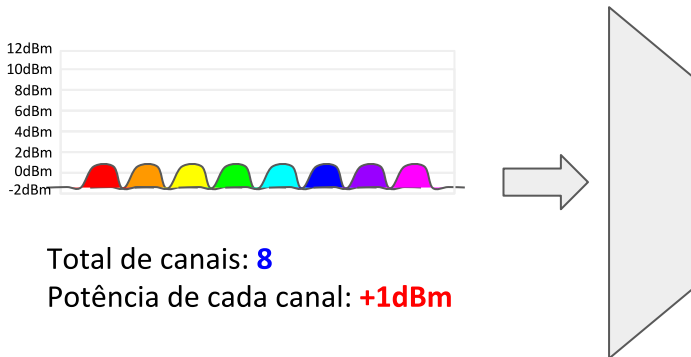
Ganho: **16 dB**

Potência máxima de saída: **20 dBm**

→ Projetos de longa distância

→ Quantidade máxima de canais

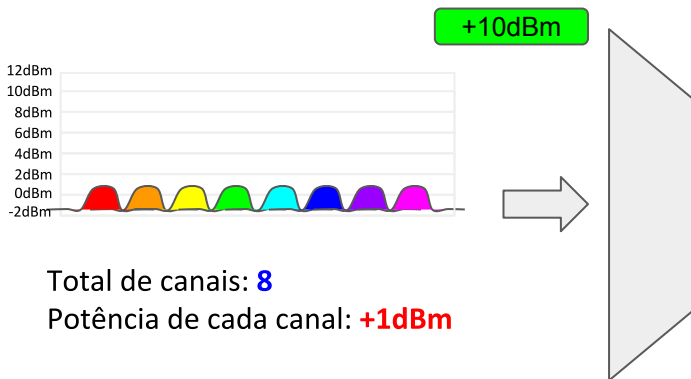
- Limitações por capacidade de amplificadores



→ Projetos de longa distância

→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por capacidade de amplificadores



Total de canais: **8**

Potência de cada canal: **+1dBm**

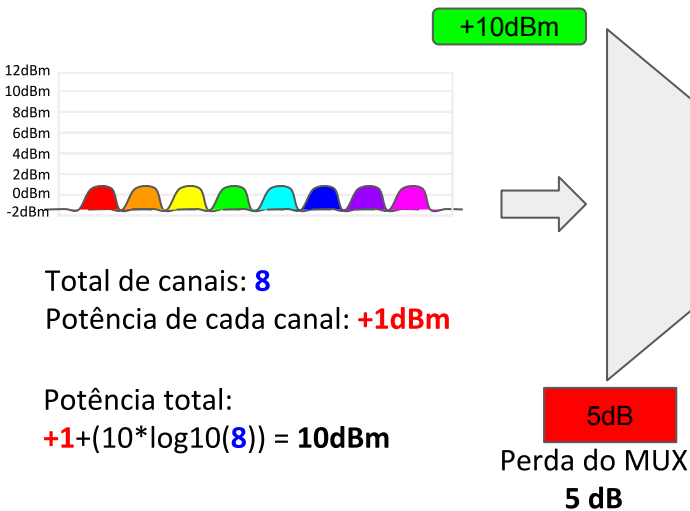
Potência total:

$$+1 + (10 * \log_{10}(8)) = 10\text{dBm}$$

→ Projetos de longa distância

→ Quantidade máxima de canais

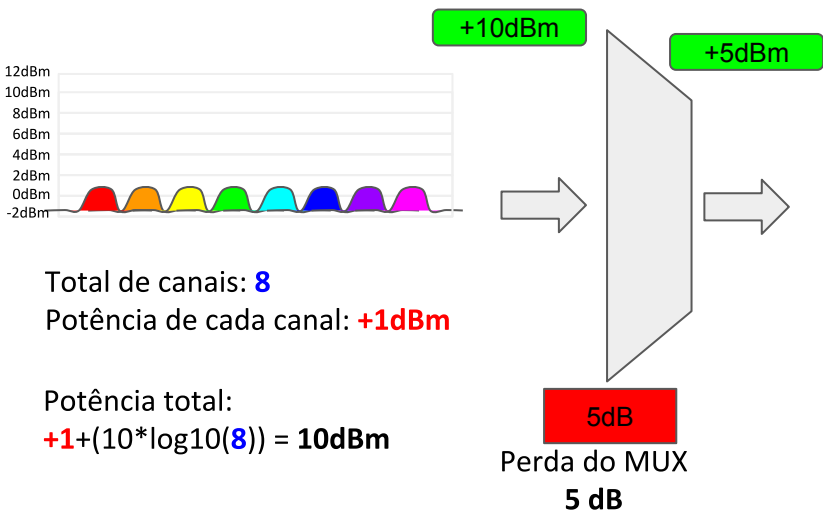
- Limitações por capacidade de amplificadores



→ Projetos de longa distância

→ Quantidade máxima de canais

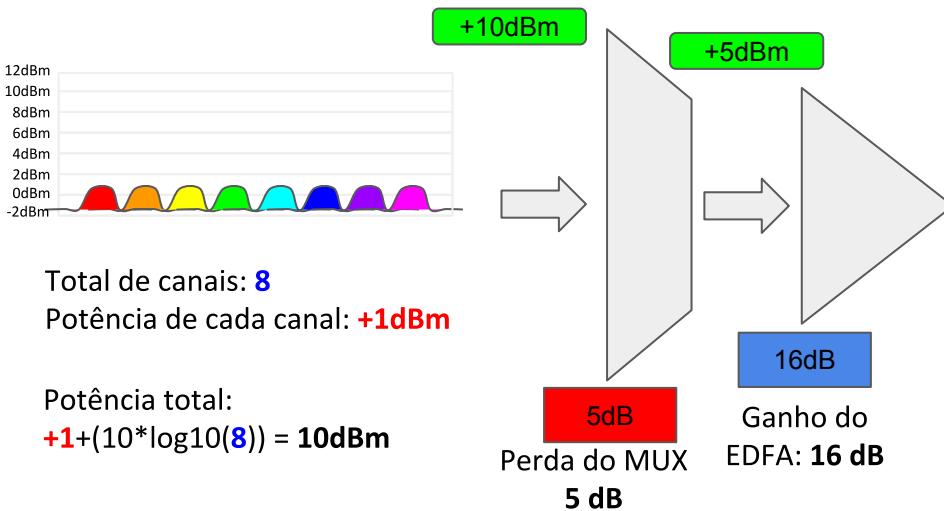
- Limitações por capacidade de amplificadores



→ Projetos de longa distância

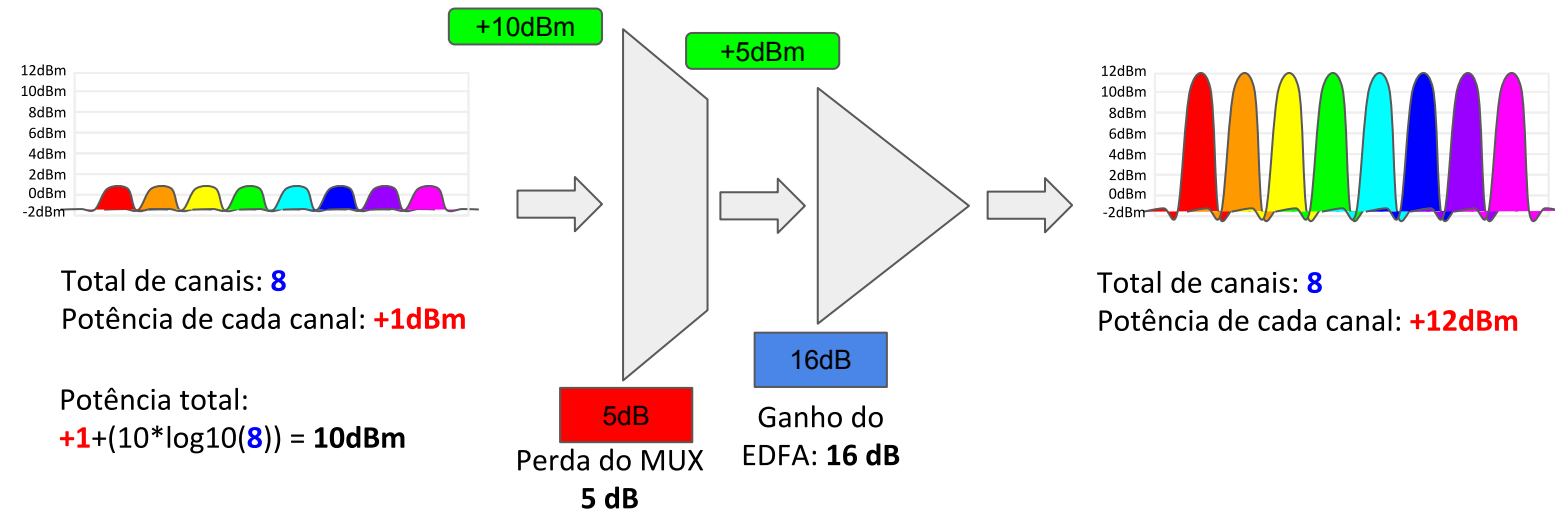
→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por capacidade de amplificadores



→ Quantidade máxima de canais

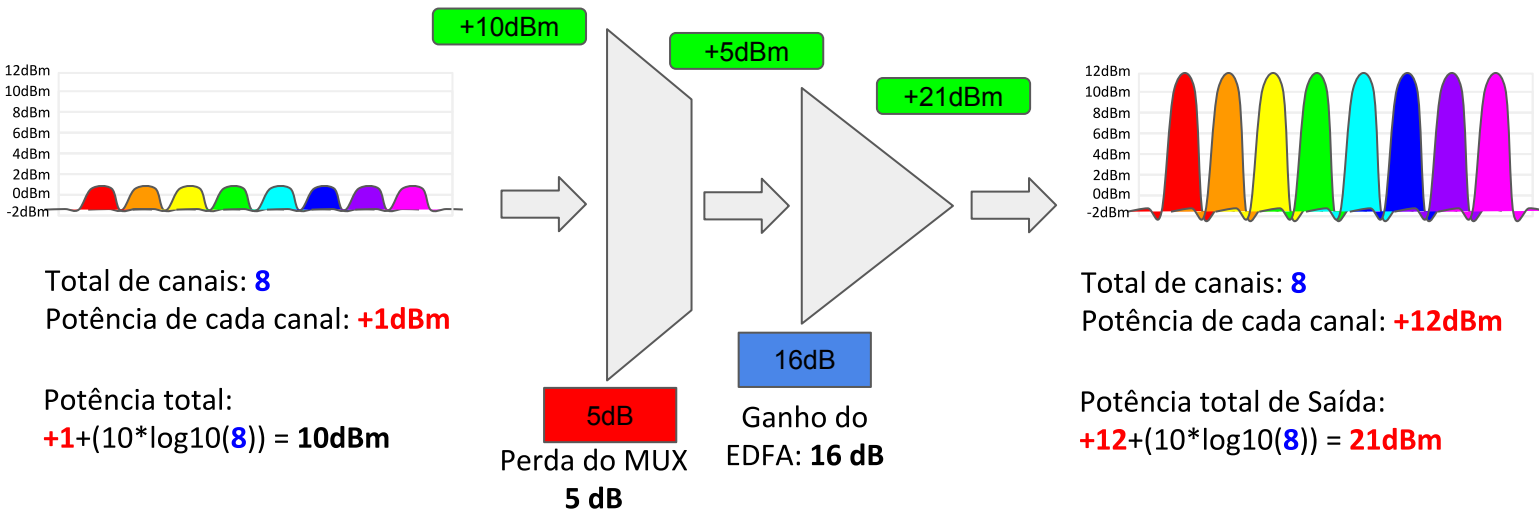
- Limitações por capacidade de amplificadores



→ Projetos de longa distância

→ Quantidade máxima de canais

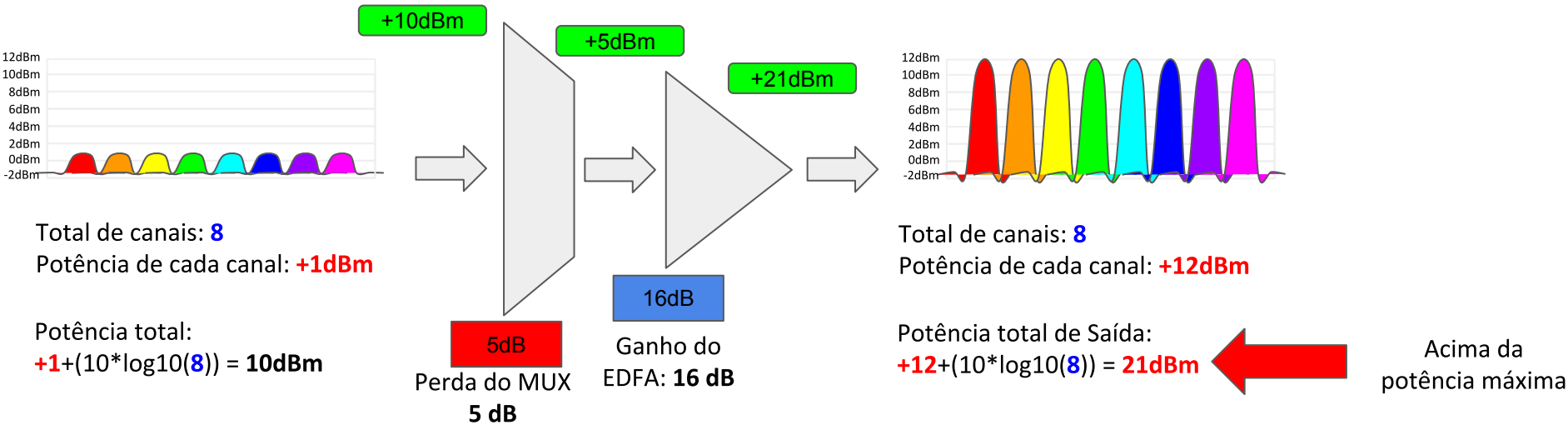
- Limitações por capacidade de amplificadores



→ Projetos de longa distância

→ Quantidade máxima de canais

- Limitações por capacidade de amplificadores



→ Projetos de longa distância

→ Troca de amplificador

→

→ Projetos de longa distância

- Troca de amplificador
- Redução de ganho no amplificador
-

→ Projetos de longa distância

- Troca de amplificador
- Redução de ganho no amplificador
- Ajustes de pré-ênfase



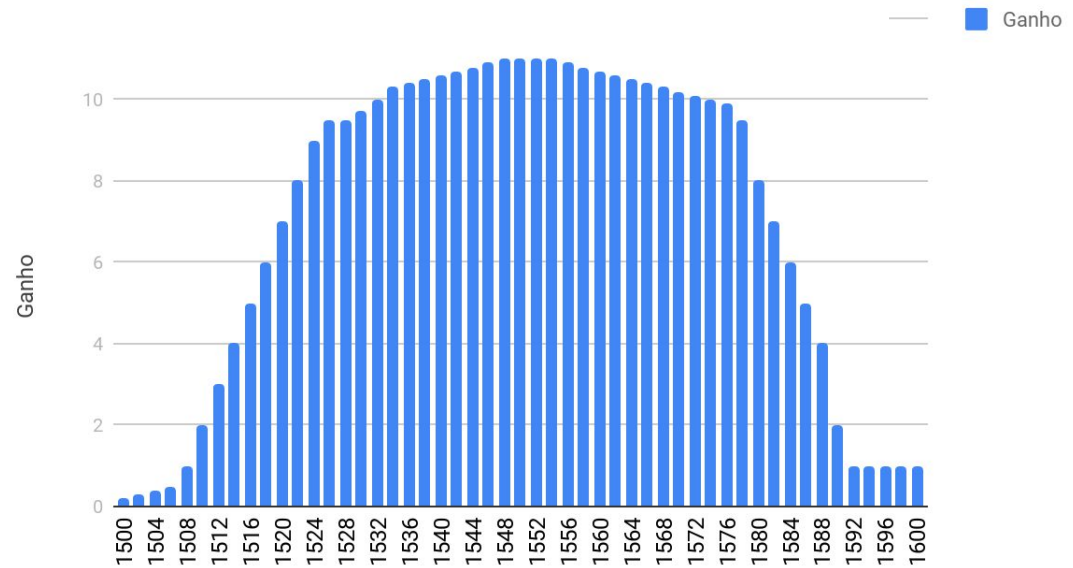
→ Projetos de longa distância

→ Redução de ganho no amplificador

→ Projetos de longa distância

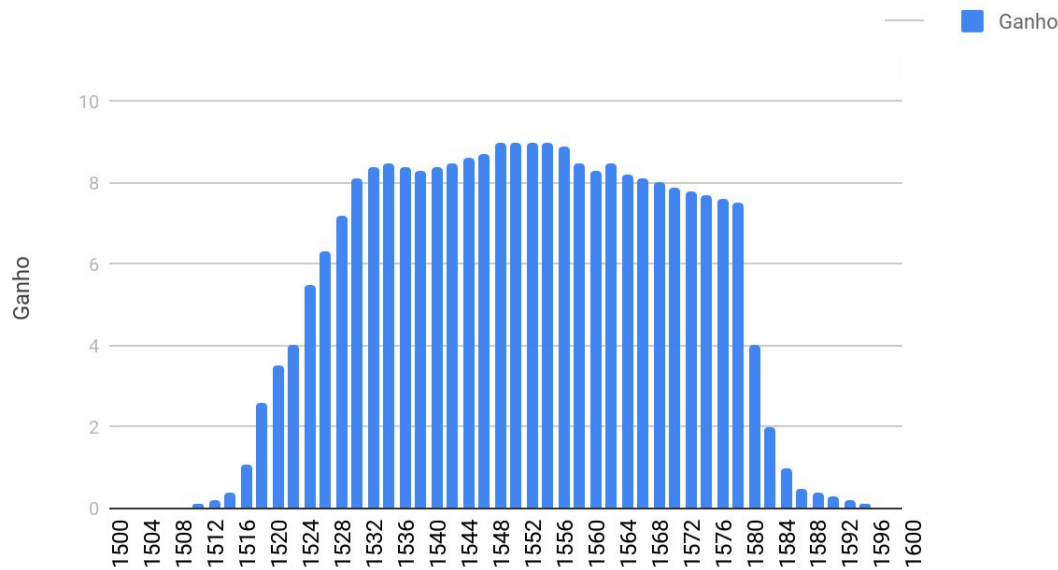
→ Redução de ganho no amplificador

- Ajuste em 11dB



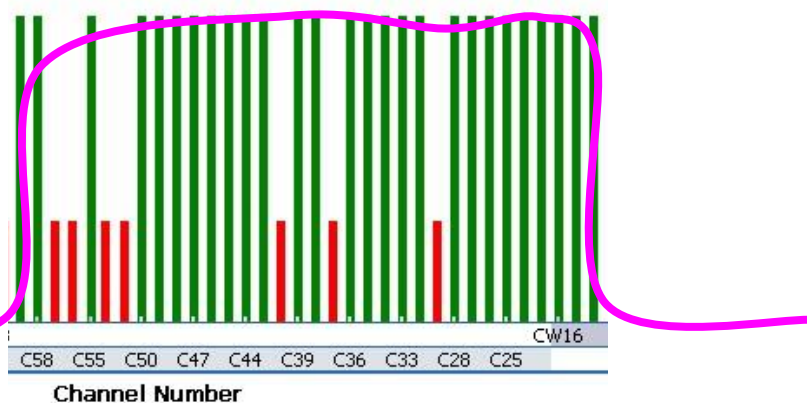
→ Redução de ganho no amplificador

- Ajuste em 9dB



→ Projetos de longa distância

→ Redução de ganho no amplificador

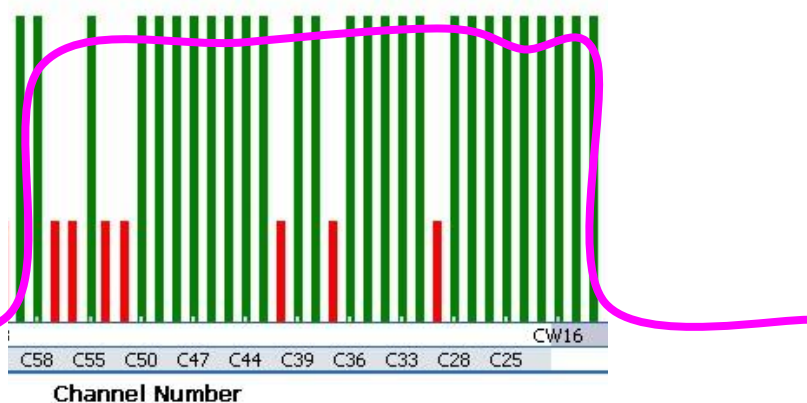


Reduzir potência
dos amplificadores
altera a curva de
ganho



→ Projetos de longa distância

→ Redução de ganho no amplificador



Reduzir potência
dos amplificadores
altera a curva de
ganho





→ Projetos de longa distância

→ Ajustes de pré-ênfase

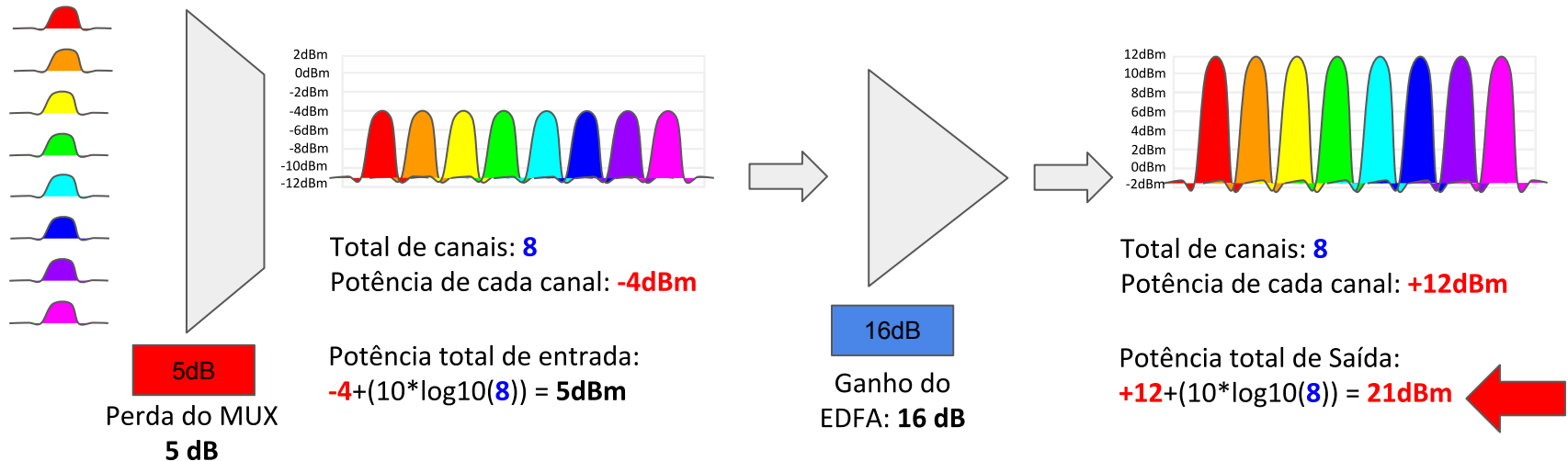


→ Projetos de longa distância

→ Ajustes de pré-ênfase

→ Projetos de longa distância

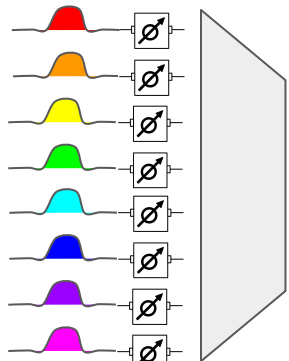
→ Ajustes de pré-ênfase



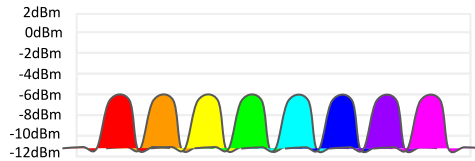
→ Projetos de longa distância

→ Ajustes de pré-ênfase

Atenuadores: 2 dB

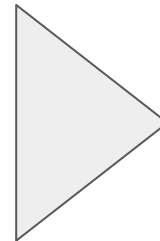


5dB
Perda do MUX
5 dB

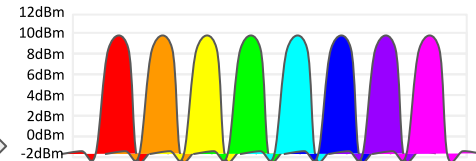


Total de canais: **8**
Potência de cada canal: **-6dBm**

Potência total de entrada:
-6+(10*log10(8)) = 3dBm

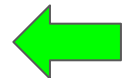


16dB
Ganho do
EDFA: **16 dB**



Total de canais: **8**
Potência de cada canal: **+10dBm**

Potência total de Saída:
+10+(10*log10(8)) = 19dBm





→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



→ Exemplos didáticos
→

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



- Exemplos didáticos
- Desconsideração de relação sinal ruído
-

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



- Exemplos didáticos
- Desconsideração de relação sinal ruído
- Curva 100% linear no EDFA
-

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



- Exemplos didáticos
- Desconsideração de relação sinal ruído
- Curva 100% linear no EDFA
- Comportamento simétrico dos canais
-

→ Projetos de longa distância

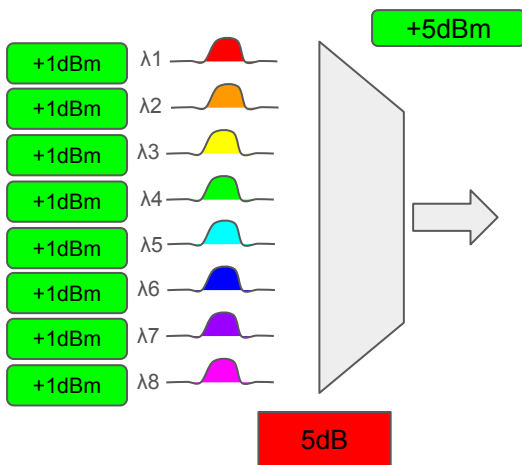
→ Atenuação e distâncias



- Exemplos didáticos
- Desconsideração de relação sinal ruído
- Curva 100% linear no EDFA
- Comportamento simétrico dos canais
- Transponders TX +1 dBm e sensibilidade -24dBm

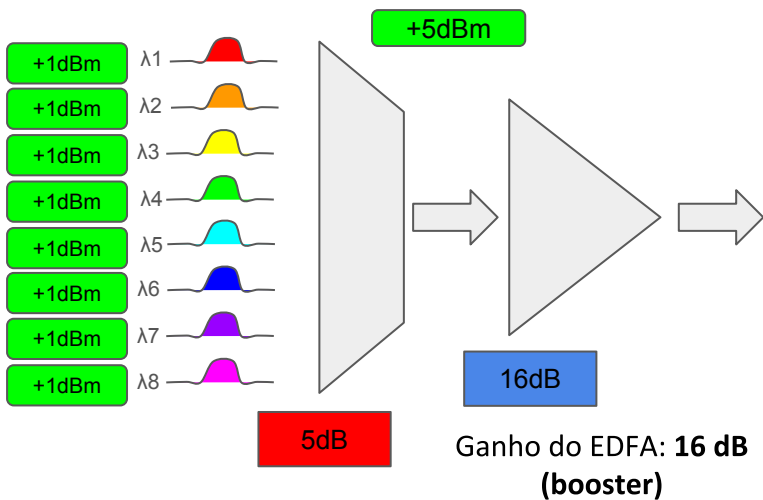
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



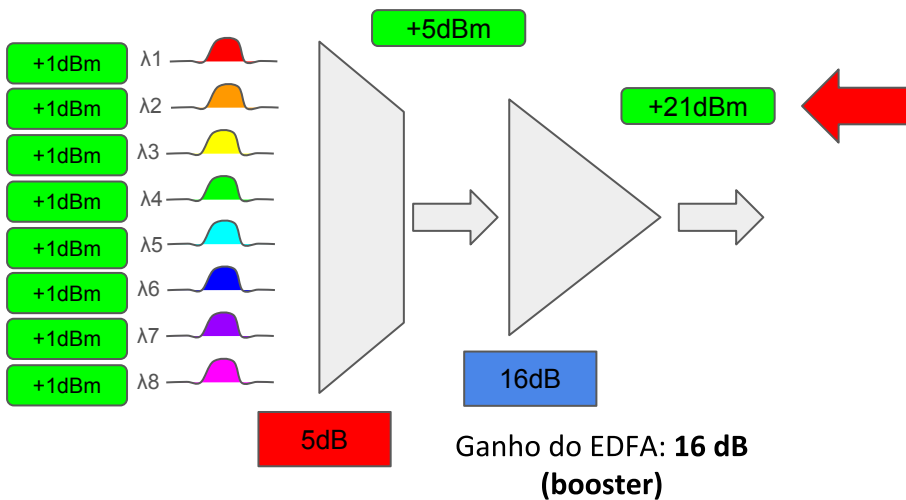
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias

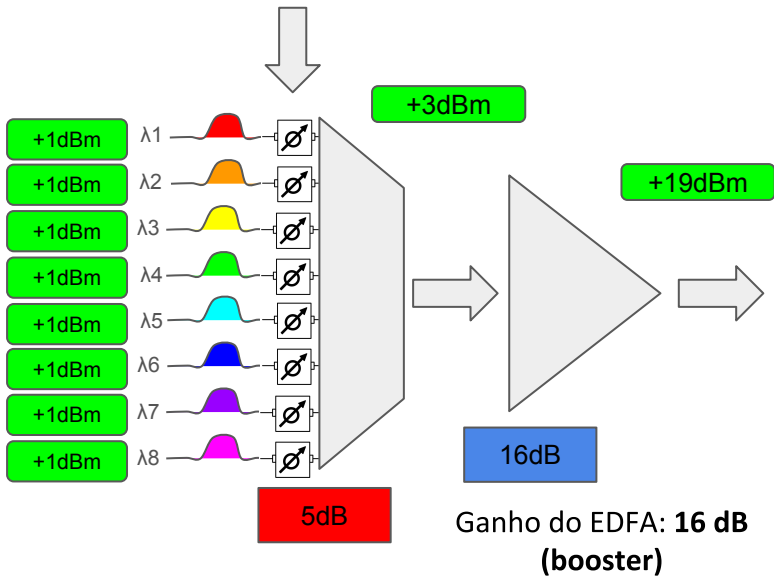


→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias

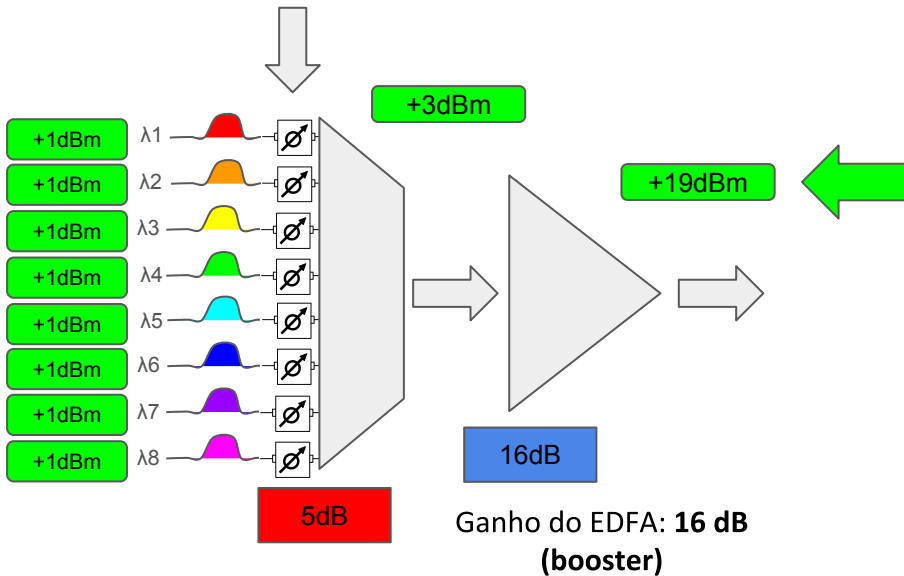


→ Atenuação e distâncias



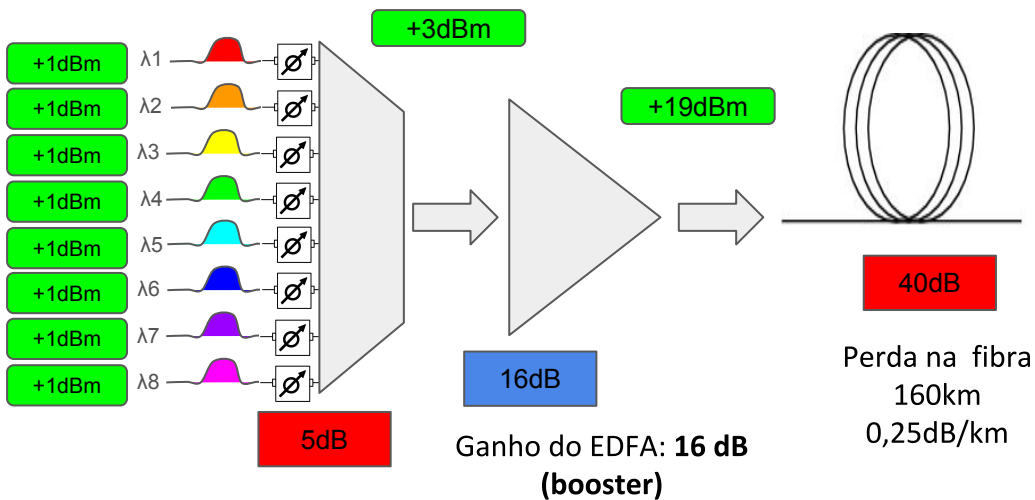
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



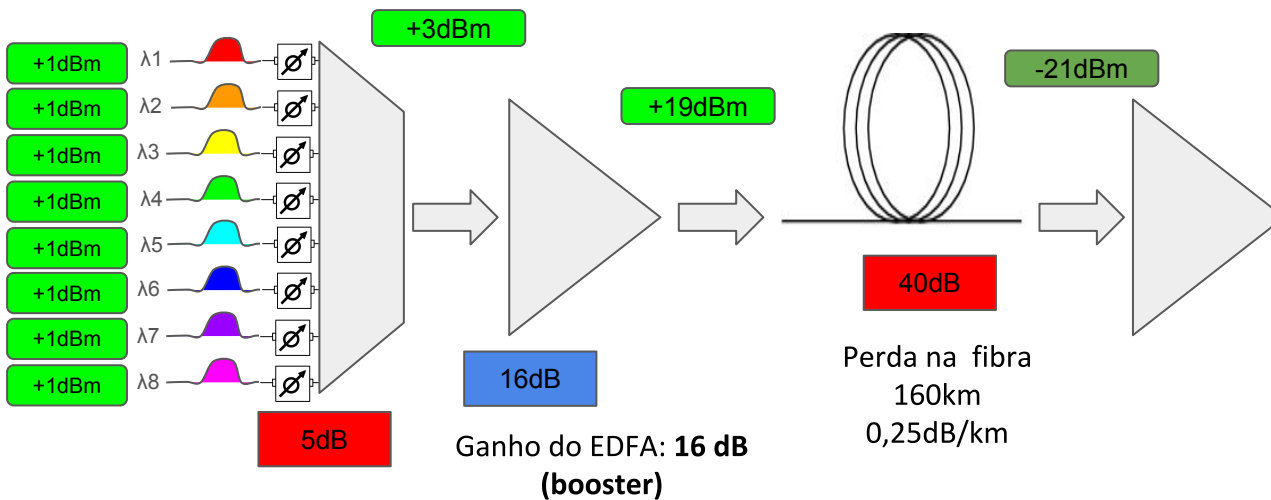
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



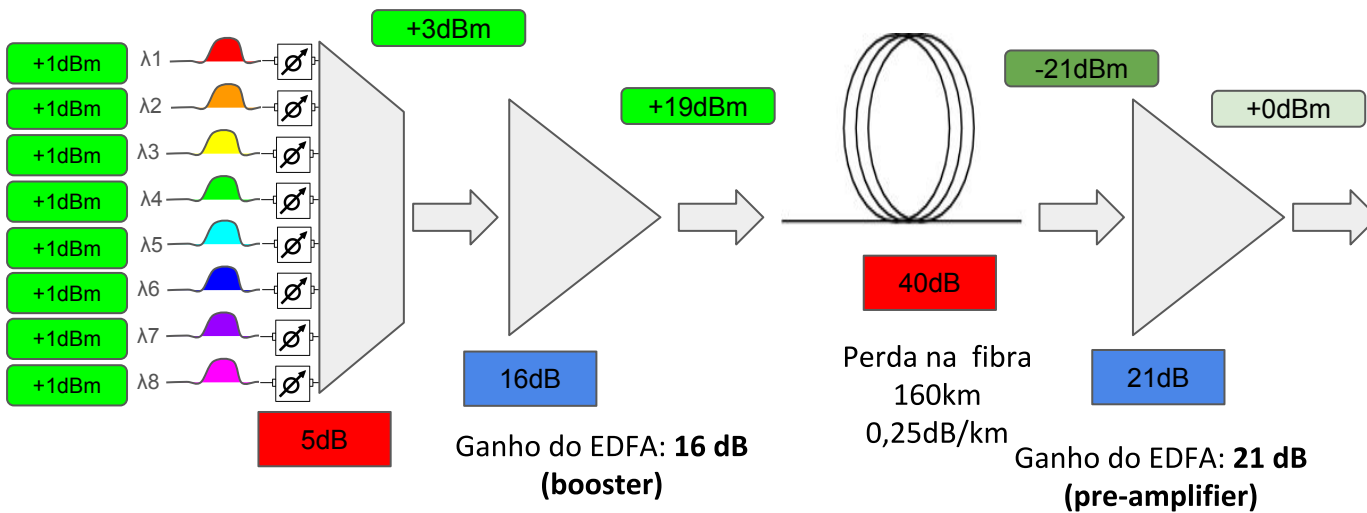
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



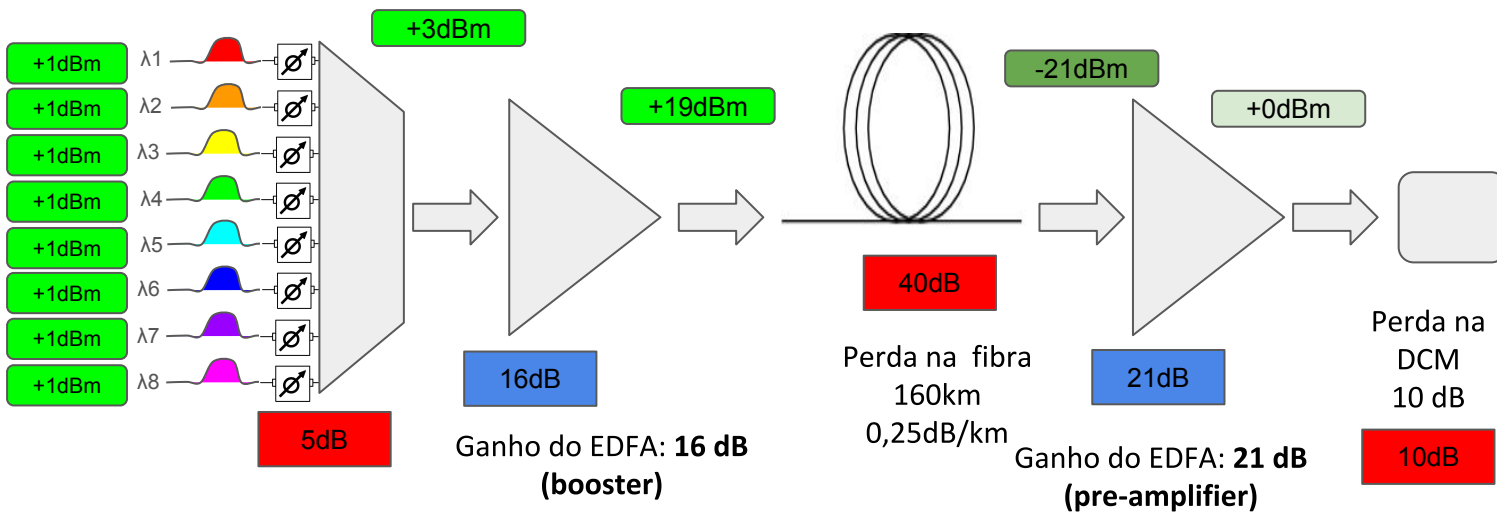
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



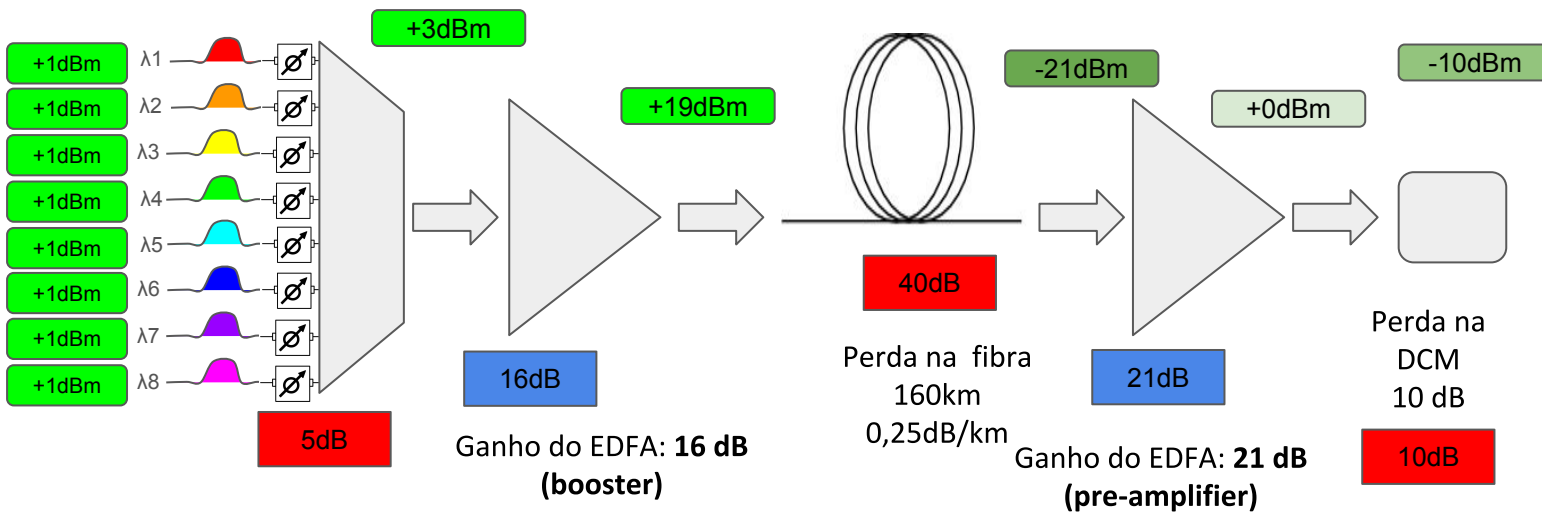
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



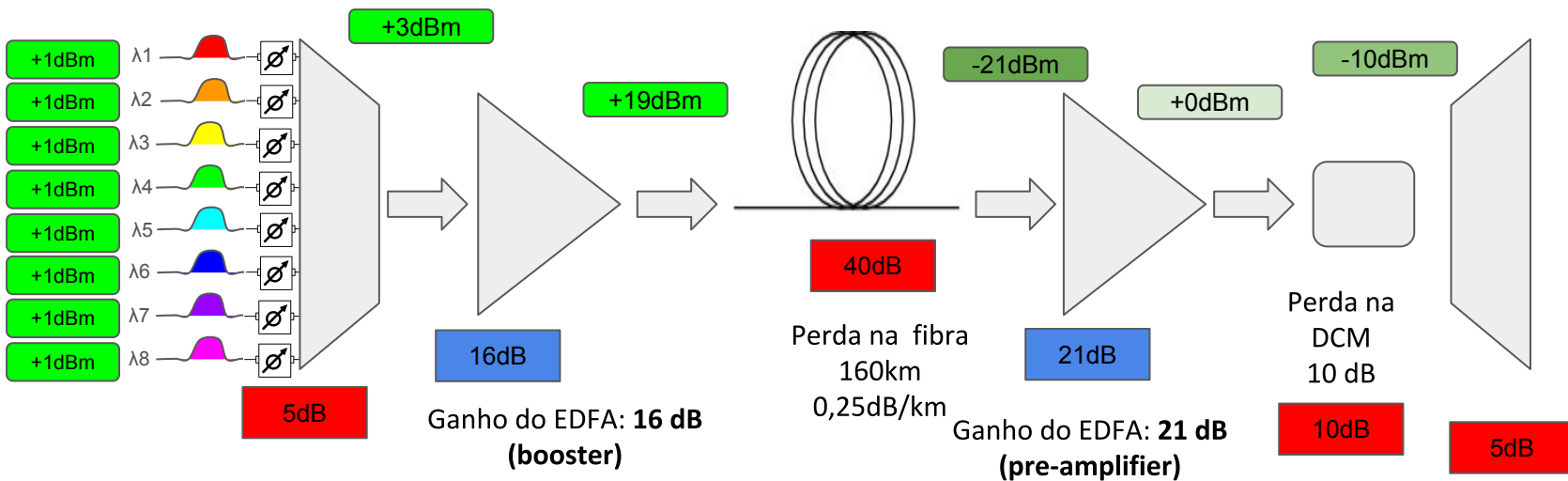
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



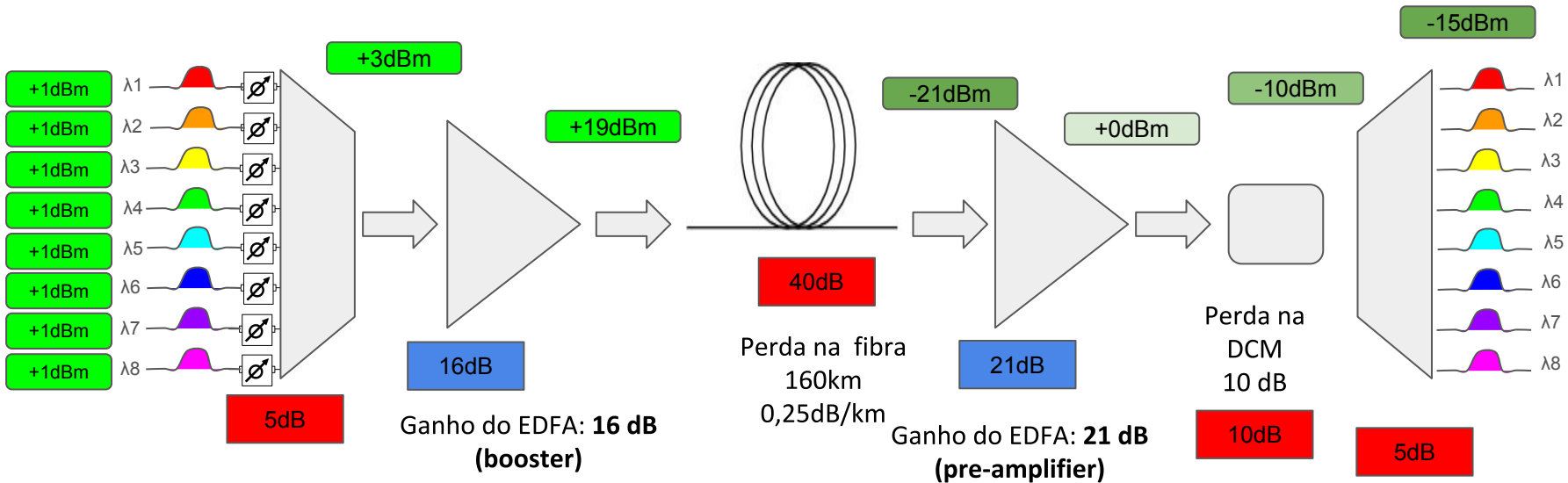
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



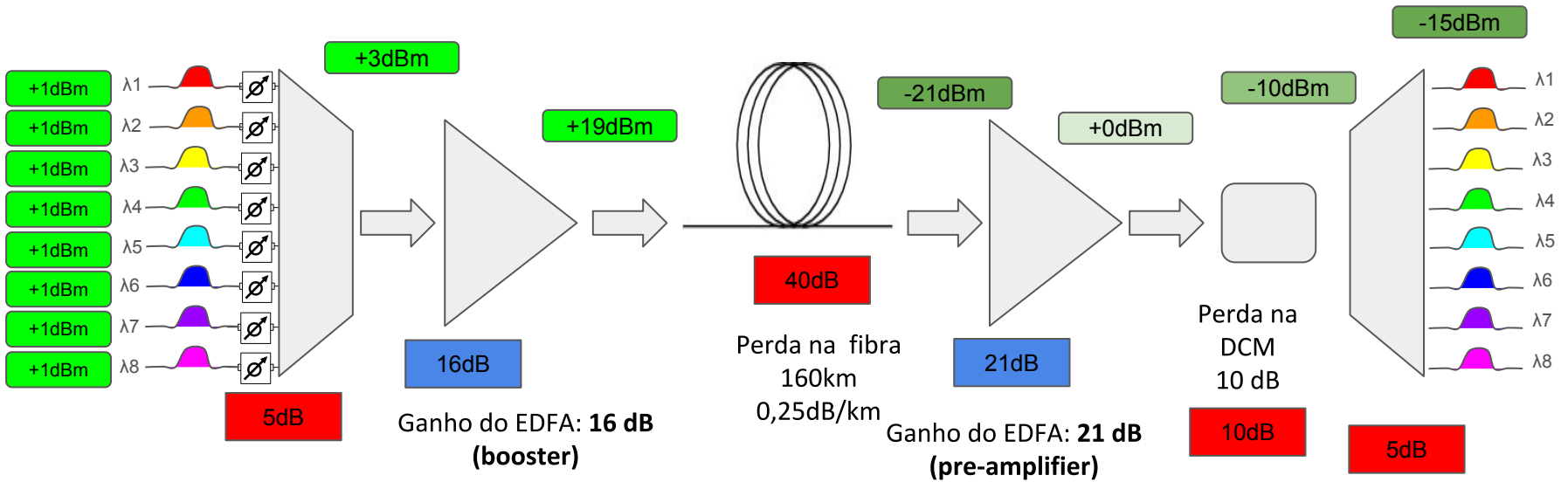
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



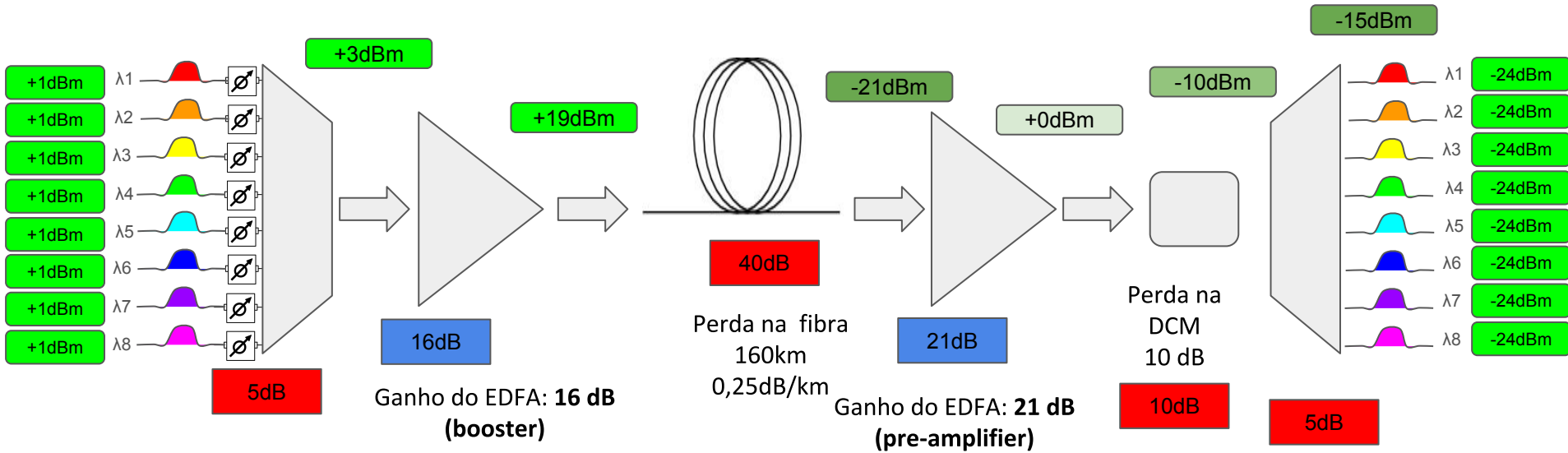
→ Atenuação e distâncias

Potência total de Saída:
 $-15 - (10 * \log_{10}(8)) = -24 \text{dBm}$



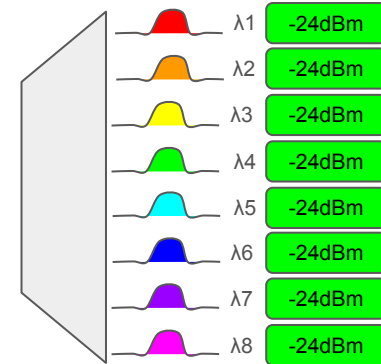
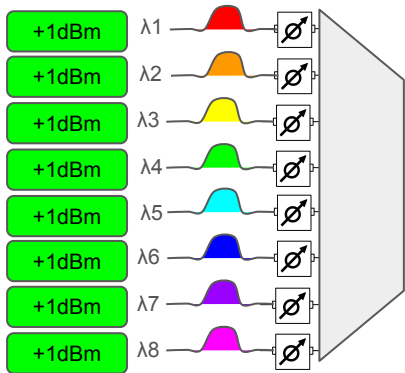
→ Atenuação e distâncias

Potência total de Saída:
 $-15 - (10 * \log_{10}(8)) = -24 \text{ dBm}$



→ Projetos de longa distância

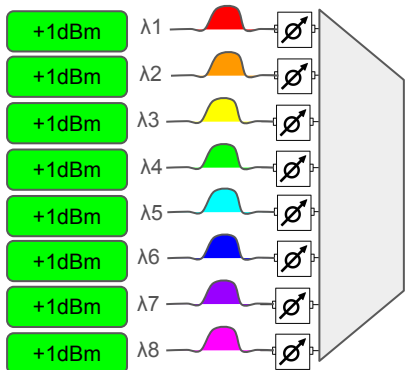
→ Atenuação e distâncias



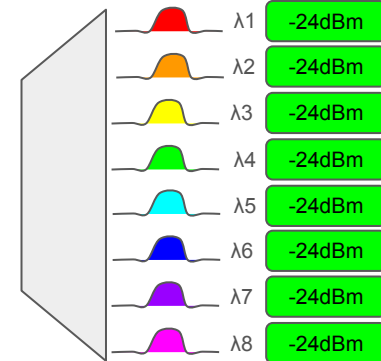
STATUS ATUAL DO SISTEMA:

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias

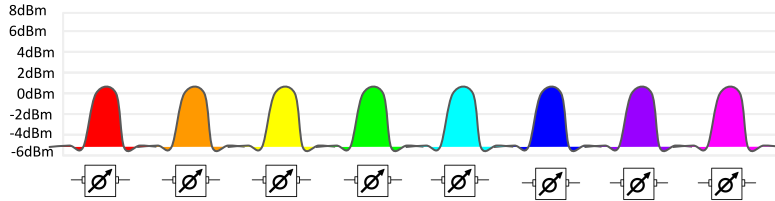


Inserindo novos canais



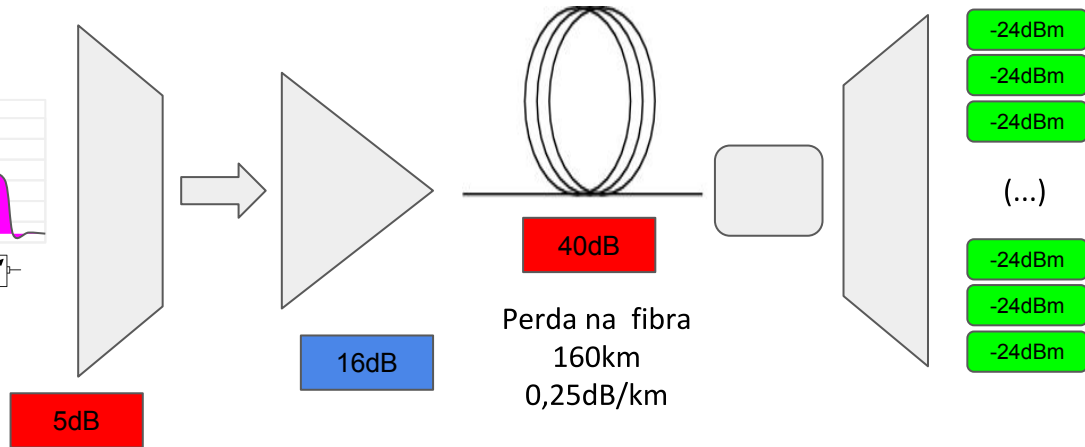
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **8**

Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**

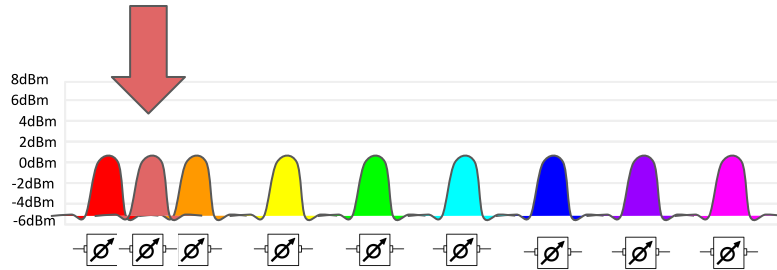


Potência total de Saída:

$$+10 + (10 * \log_{10}(8)) = 19\text{dBm}$$

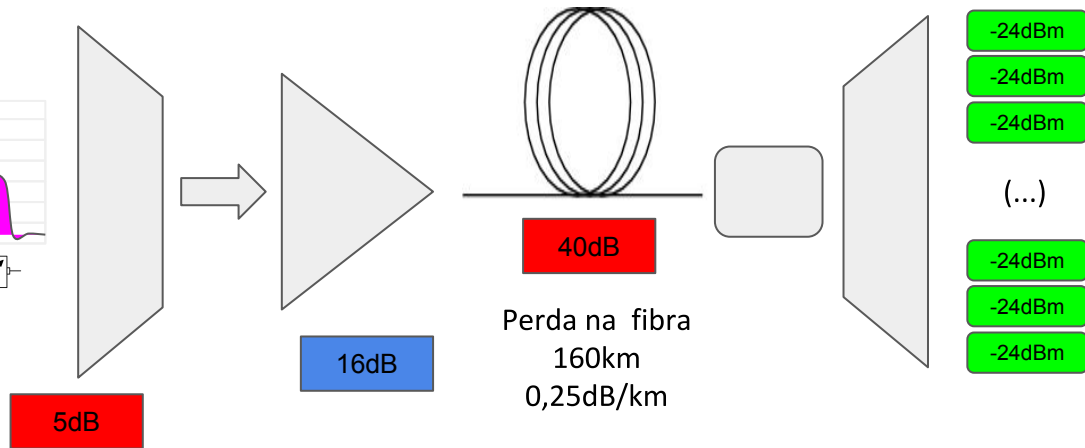
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **9**

Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**

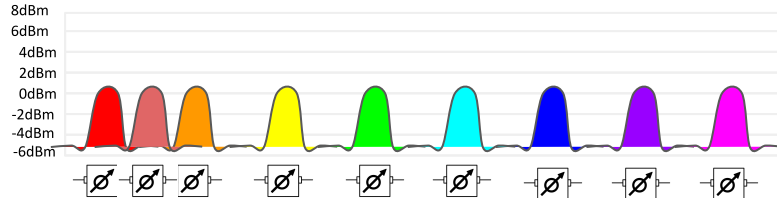


Potência total de Saída:

$$+10 + (10 * \log_{10}(9)) = 19,5\text{dBm}$$

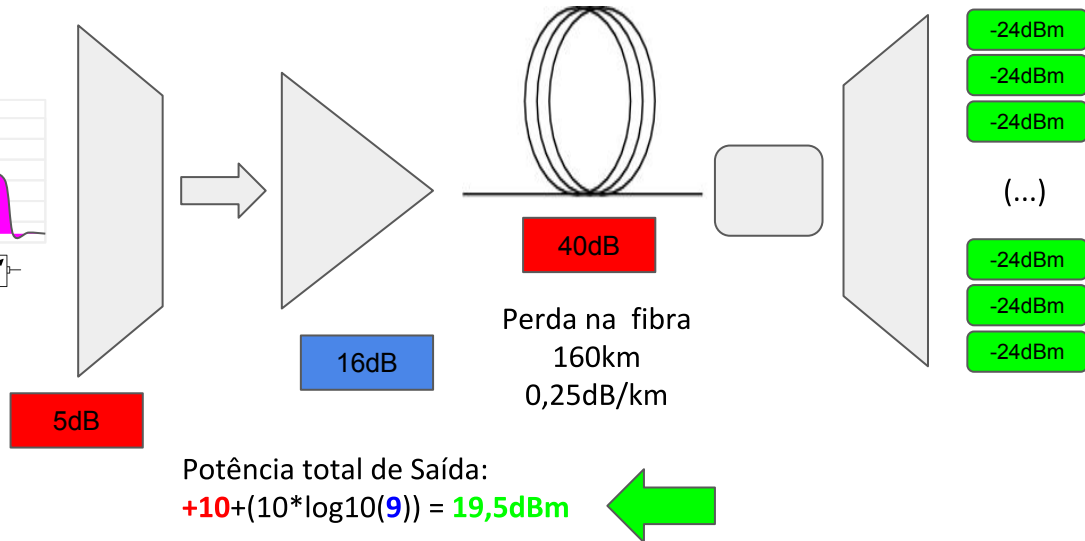
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



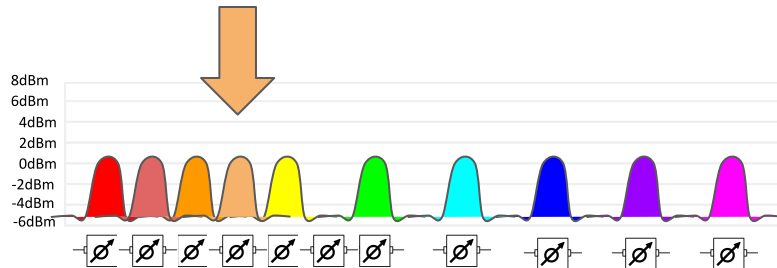
Total de canais: **9**

Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**



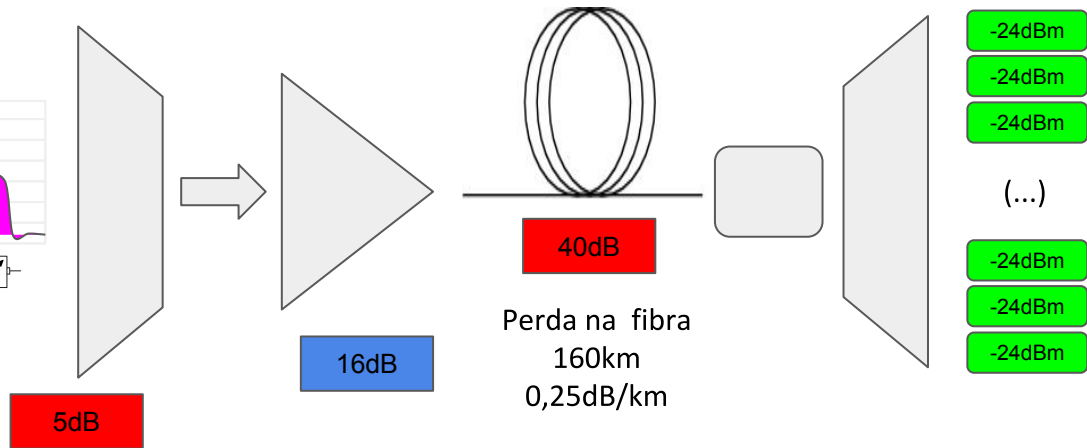
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **10**

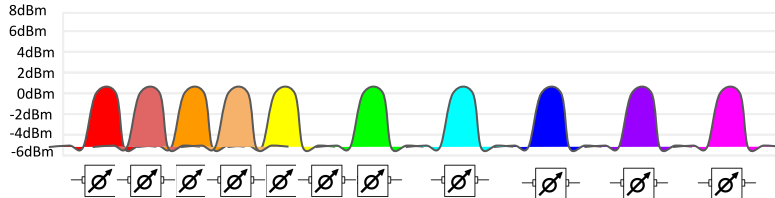
Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**



Potência total de Saída:

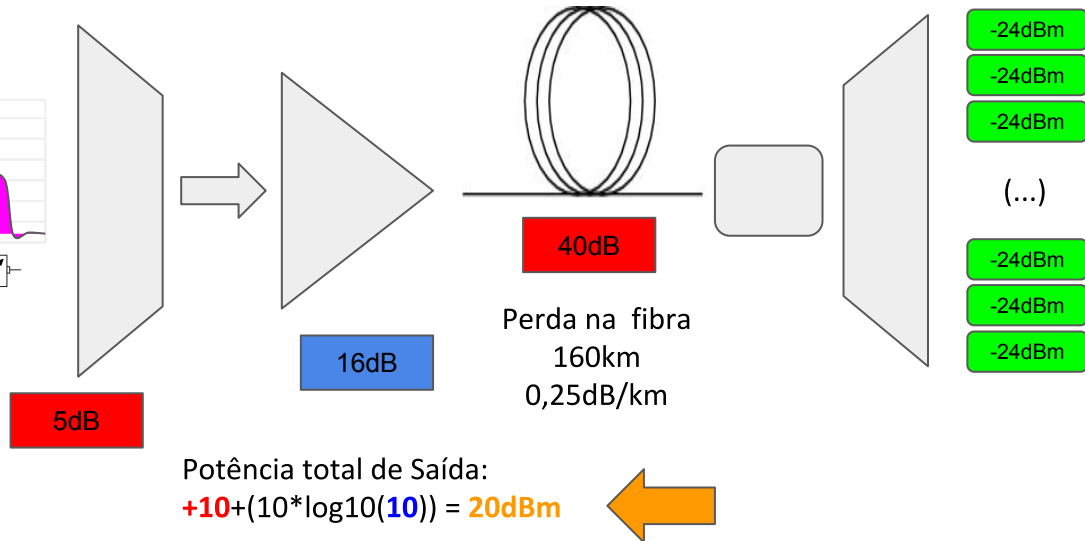
$$+10 + (10 * \log_{10}(10)) = 20\text{dBm}$$

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **10**

Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**

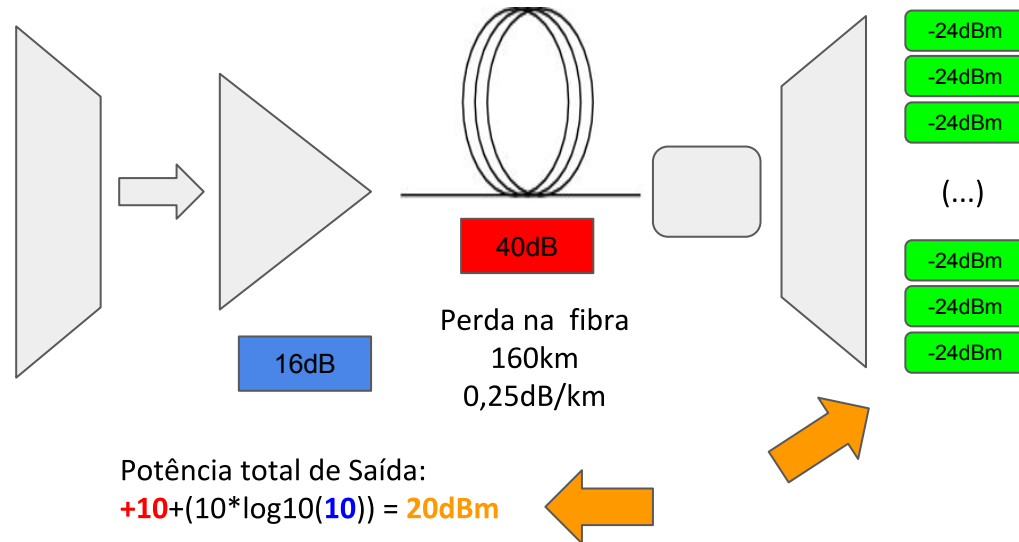


→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias

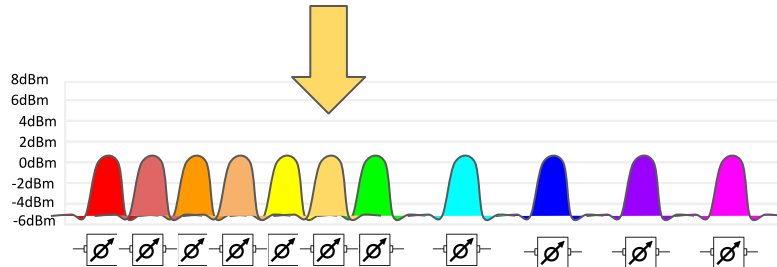


STATUS ATUAL DO SISTEMA:



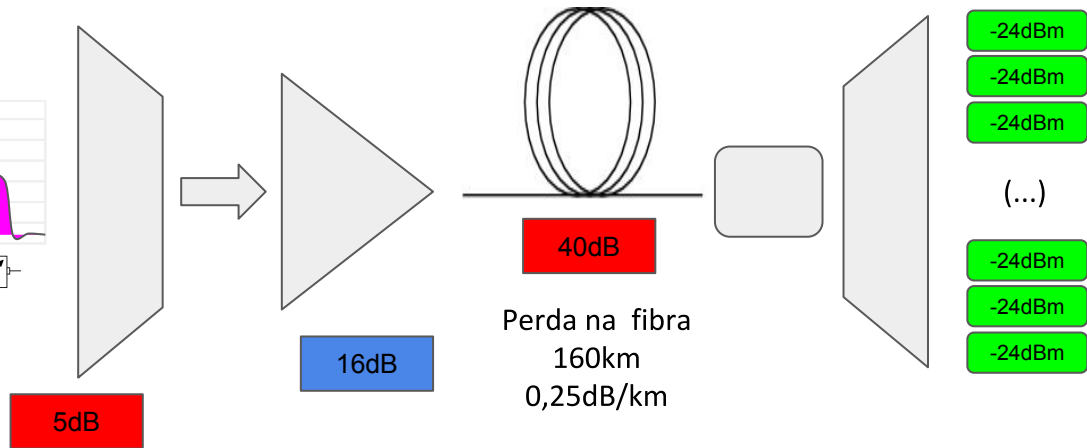
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **11**

Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**

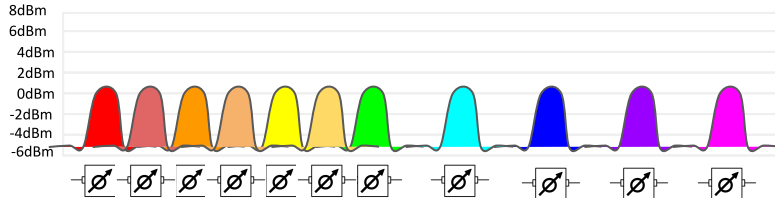


Potência total de Saída:

$$+10 + (10 * \log_{10}(11)) = 20,4 \text{ dBm}$$

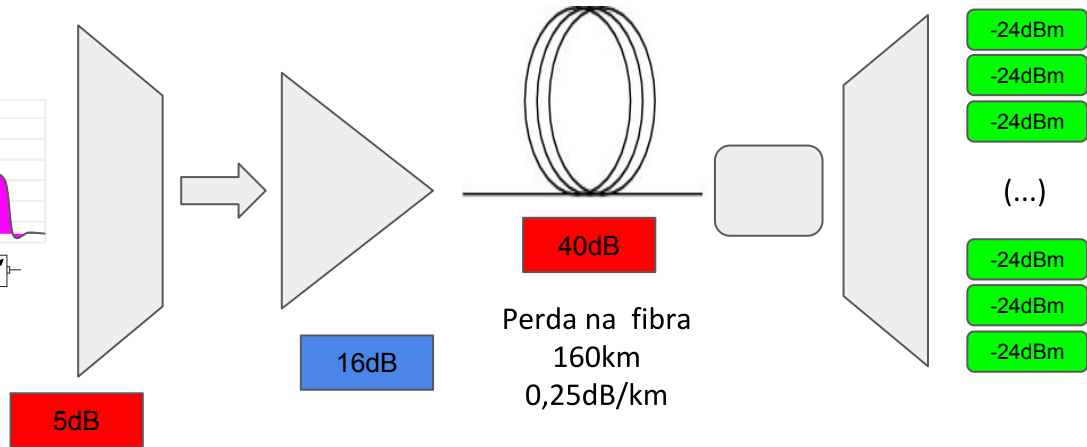
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **11**

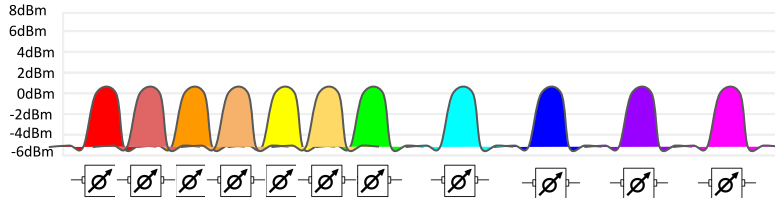
Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**



Potência total de Saída:

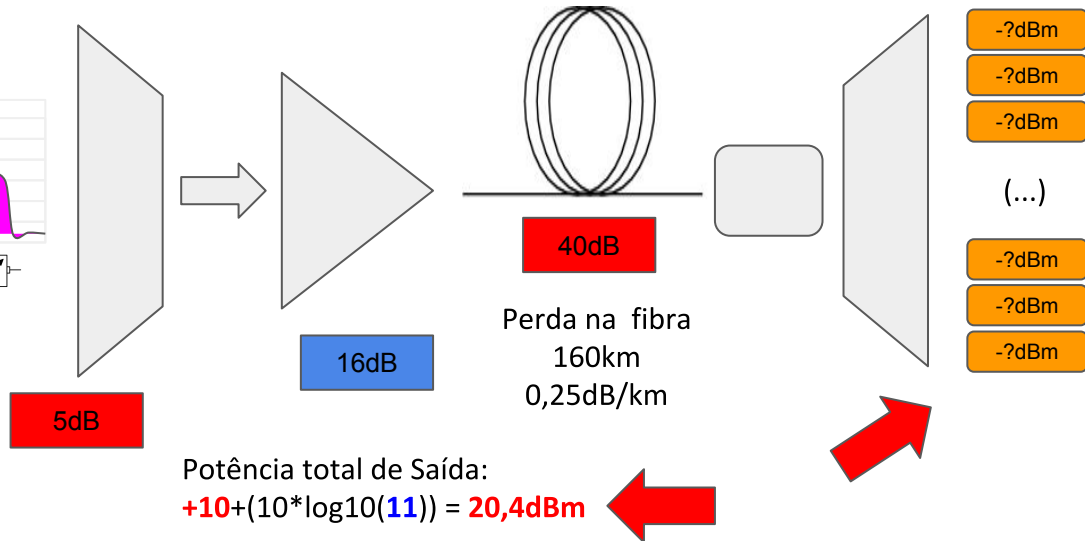
+10+(10*log10(11)) = 20,4dBm ←

→ Atenuação e distâncias



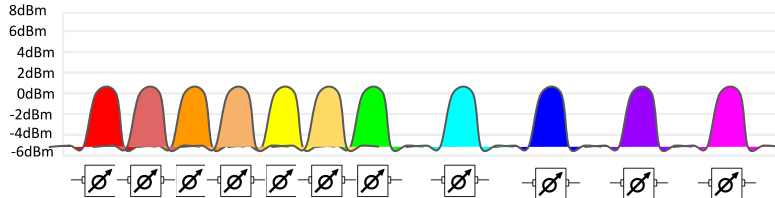
Total de canais: **11**

Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**



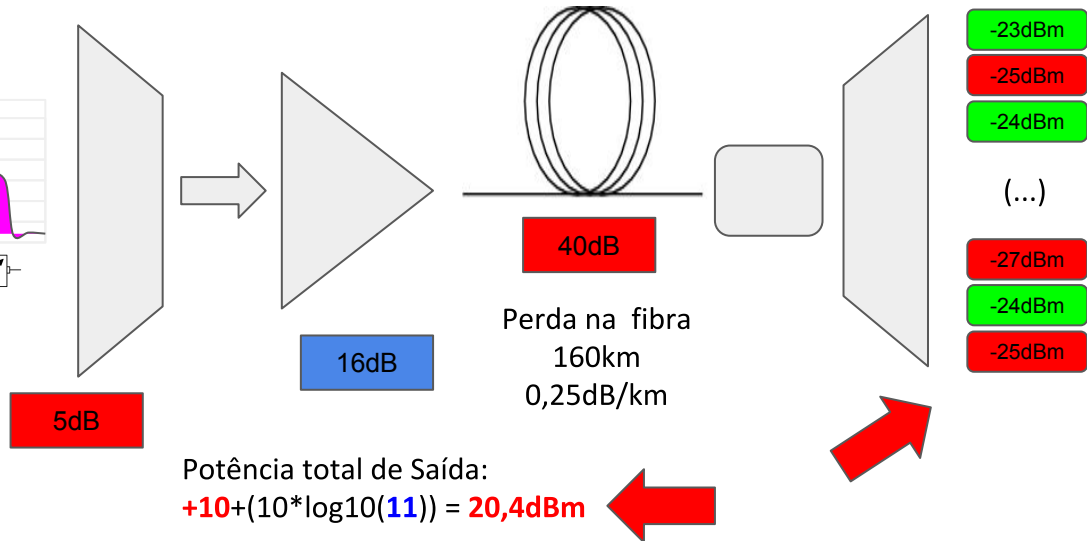
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **11**

Potência de cada canal: **+1dBm - 2dB**

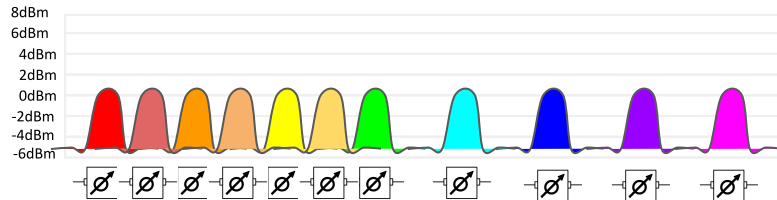


Potência total de Saída:

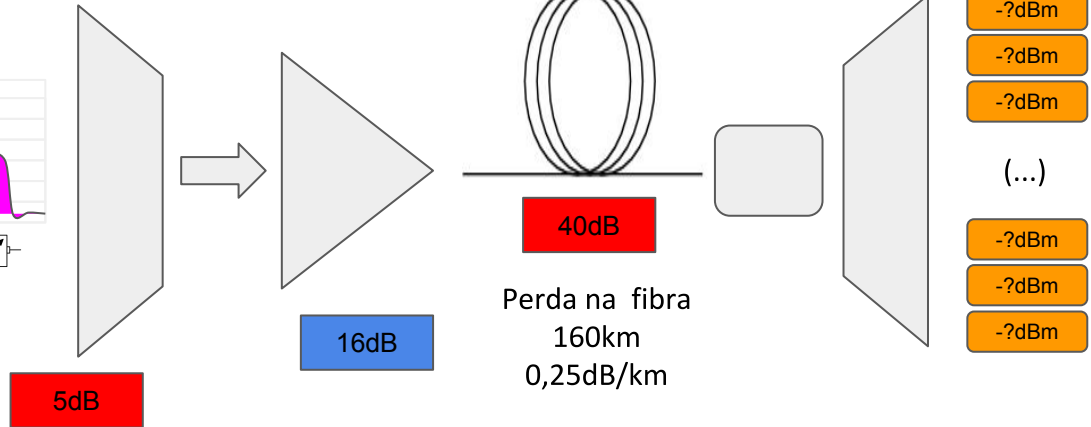
+10+(10*log10(11)) = 20,4dBm

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **11**
 Potência de cada canal: **+1dBm - 3dB**



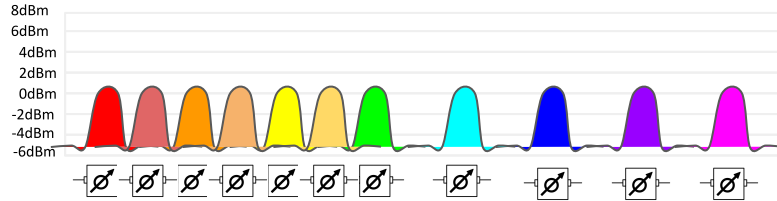
Potência total de Saída:
 $+9 + (10 * \log_{10}(11)) = 19,4\text{dBm}$

→ Realinhamento

- de 2 para 3 dB por canal

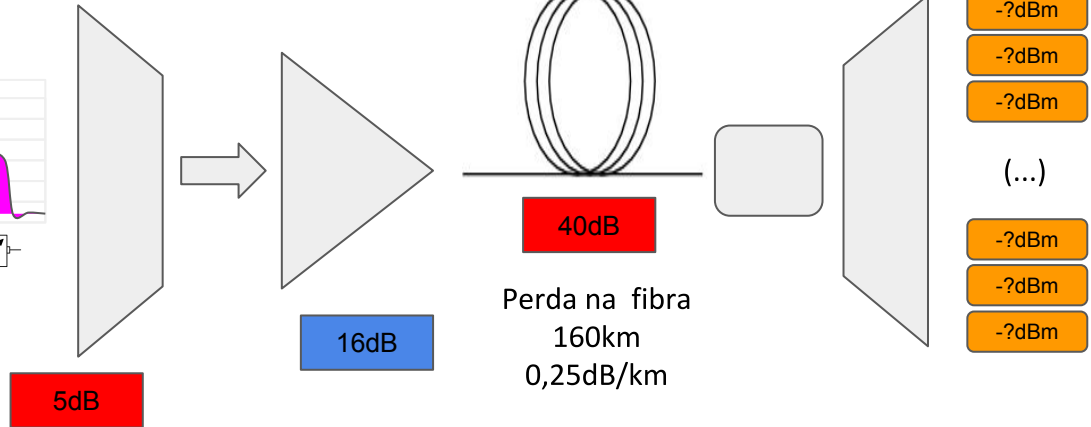
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



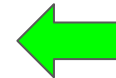
Total de canais: **11**

Potência de cada canal: **+1dBm - 3dB**



Potência total de Saída:

+9+(10*log10(11)) = 19,4dBm

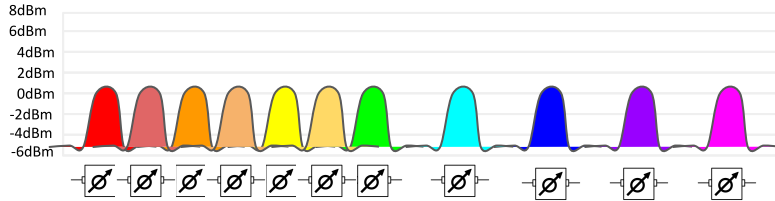


→ Realinhamento

- de 2 para 3 dB por canal

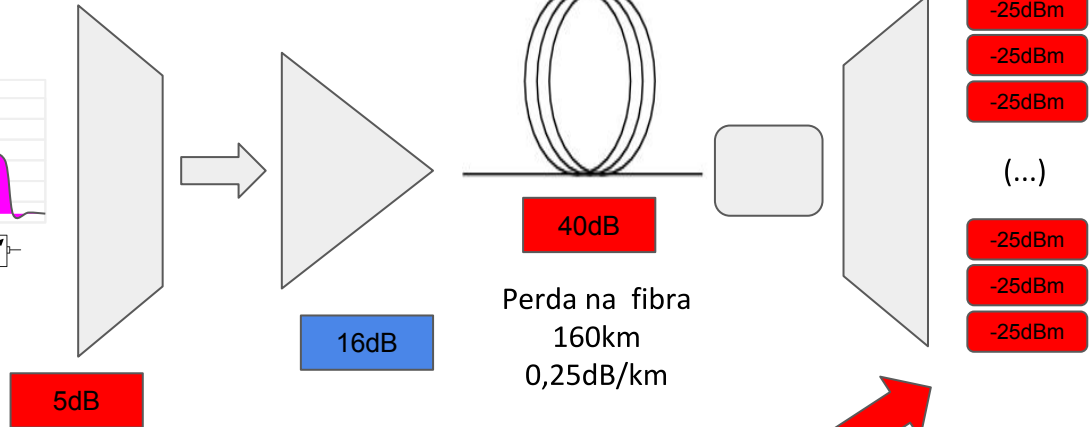
→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



Total de canais: **11**

Potência de cada canal: **+1dBm - 3dB**



Potência total de Saída:
 $+9 + (10 * \log_{10}(11)) = 19,4\text{dBm}$

→ Realinhamento

- de 2 para 3 dB por canal

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



- Dimensionamento dos amplificadores deve considerar todos os 40 canais
-

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



- Dimensionamento dos amplificadores deve considerar todos os 40 canais
- Para 40 canais nesse cenário a potência máxima na entrada do booster seria +4dBm
-

→ Projetos de longa distância

→ Atenuação e distâncias



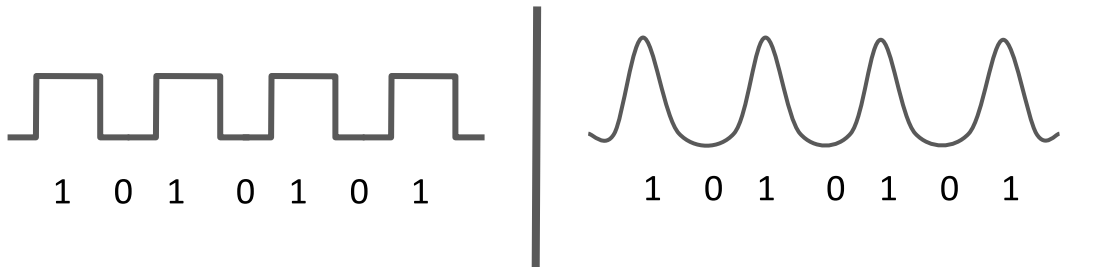
- Dimensionamento dos amplificadores deve considerar todos os 40 canais
- Para 40 canais nesse cenário a potência máxima na entrada do booster seria +4dBm
- Necessário uso de RAMAN

Sistemas mistos (10G e 100G)

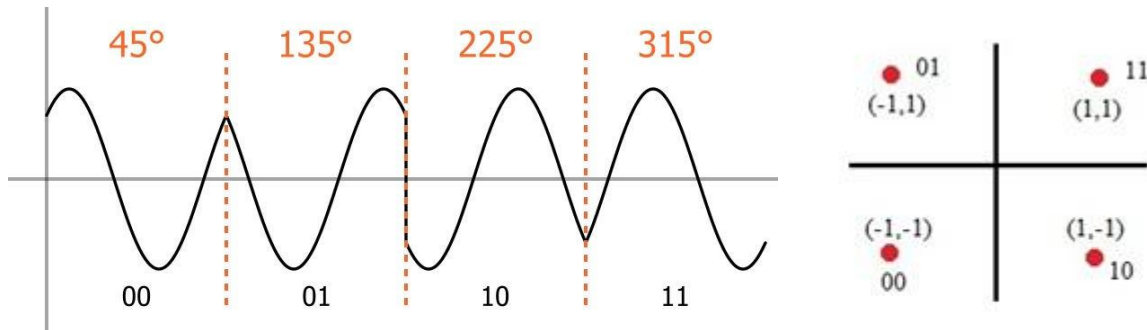
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

- Modulação on/off x modulação QPSK
- Sensibilidade à dispersão
- Cross Fase Modulation - XPM
- Alinhamento automático de canais

→ Modulação on/off x modulação QPSK



ON/OFF



QPSK

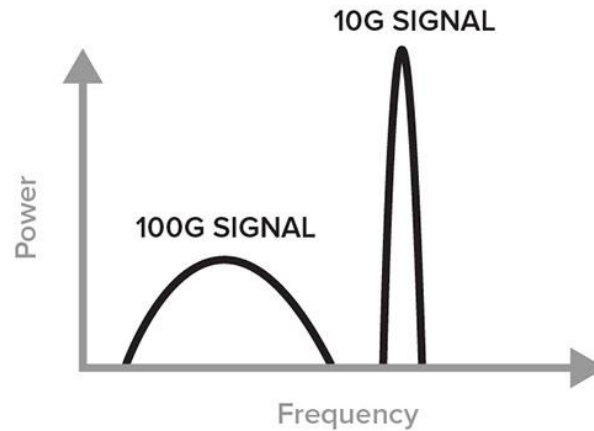
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Cross Fase Modulation - XPM

- Não prejudica canais 10G
- Afeta a fase em canais 100G
- Canais de 10G geram XPM em canais 100G
- DCM prejudica canais 100G

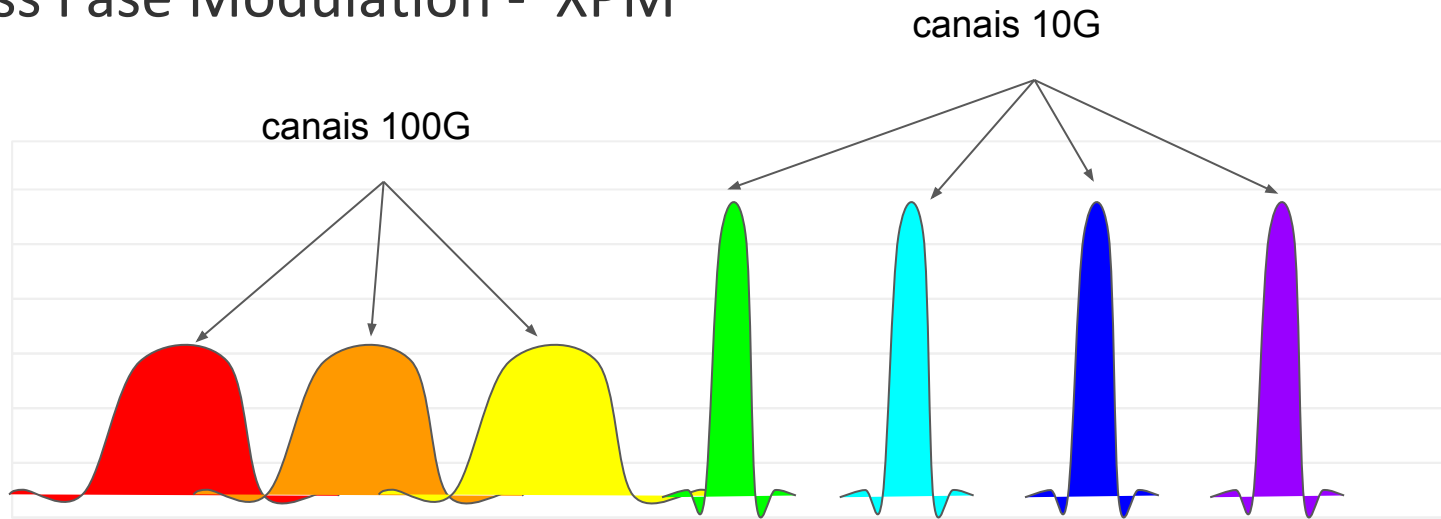
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Cross Fase Modulation - XPM



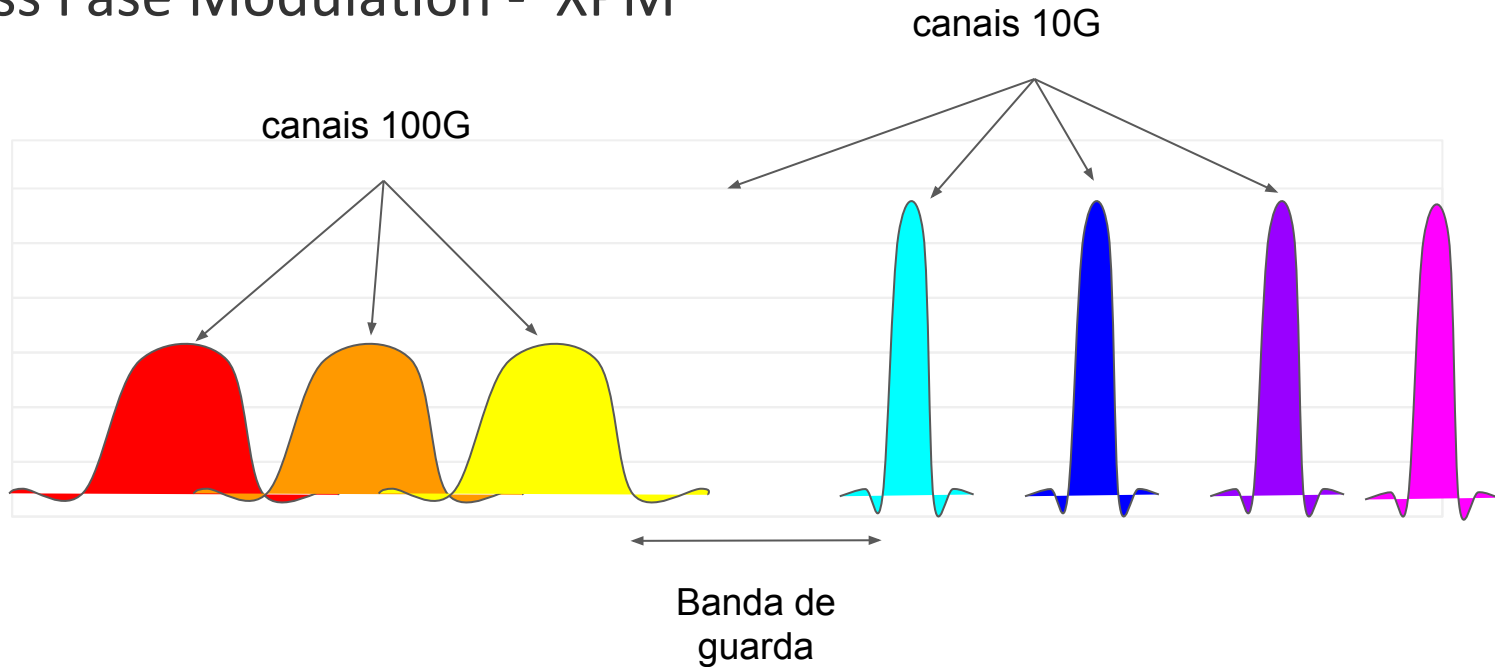
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Cross Fase Modulation - XPM



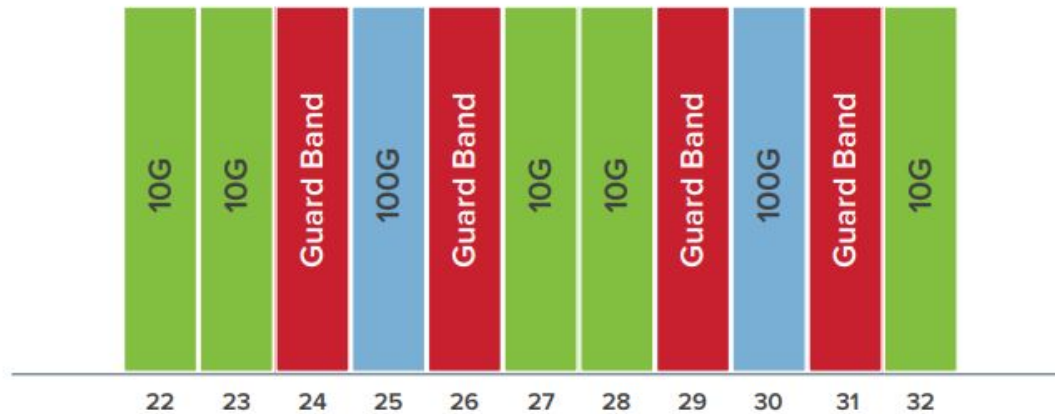
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Cross Fase Modulation - XPM



→ Sistemas mistos (10G e 100G)

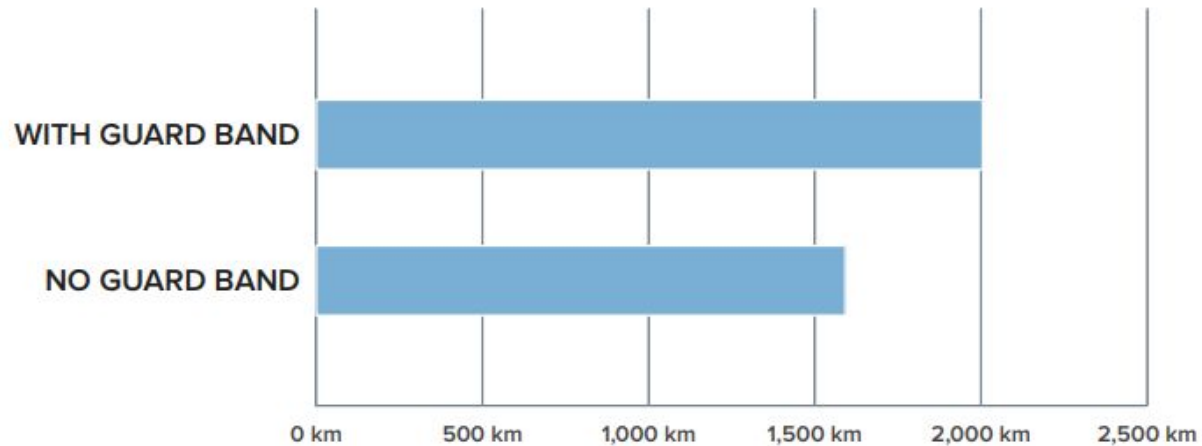
→ Cross Fase Modulation - XPM



http://www.coriant.com/misc/downloads/Coriant_WP_Optimizing_Performance_of_Coherent_100G_in_10G_Networks.pdf

→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Cross Fase Modulation - XPM



http://www.coriant.com/misc/downloads/Coriant_WP_Optimizing_Performance_of_Coherent_100G_in_10G_Networks.pdf

→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Cross Fase Modulation - XPM



→ Menor aproveitamento do espectro



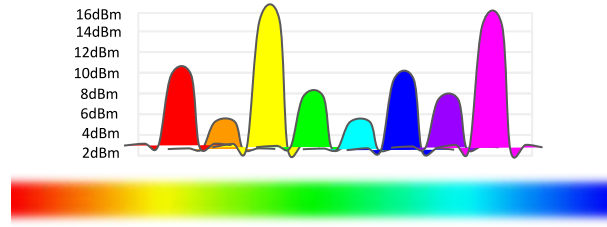
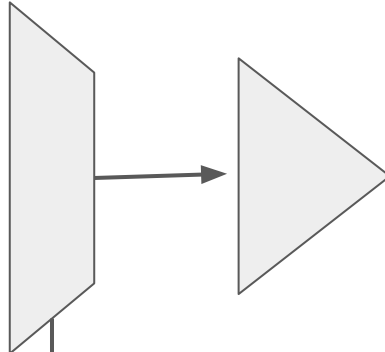
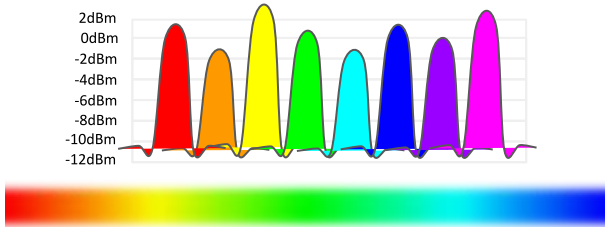
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Alinhamento automático de canais

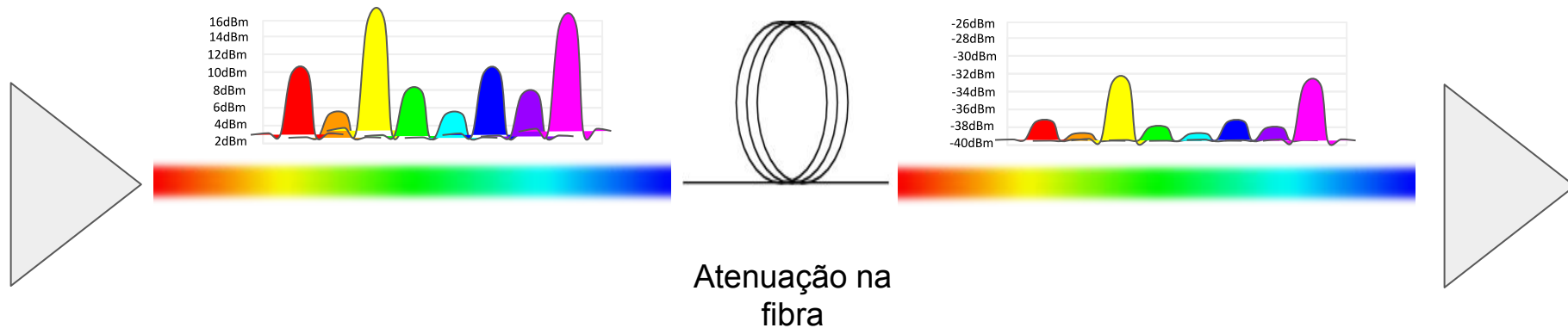
→ Sistemas mistos (10G e 100G)



→ Alinhamento automático de canais

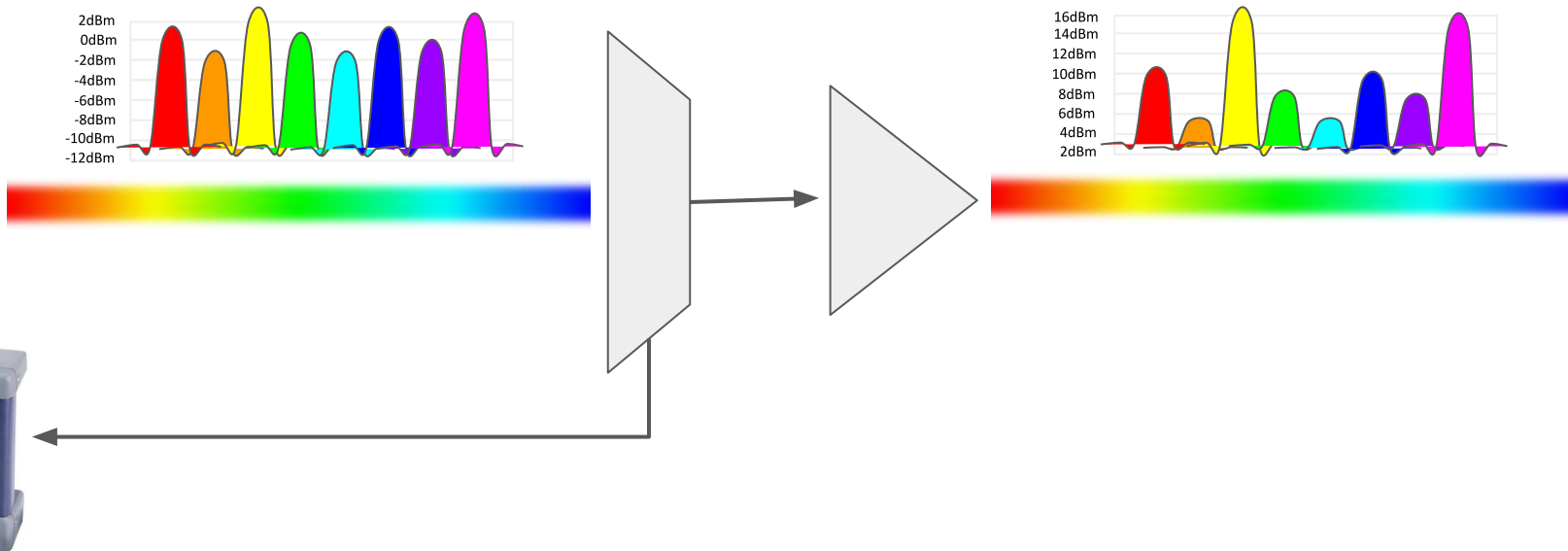


→ Alinhamento automático de canais



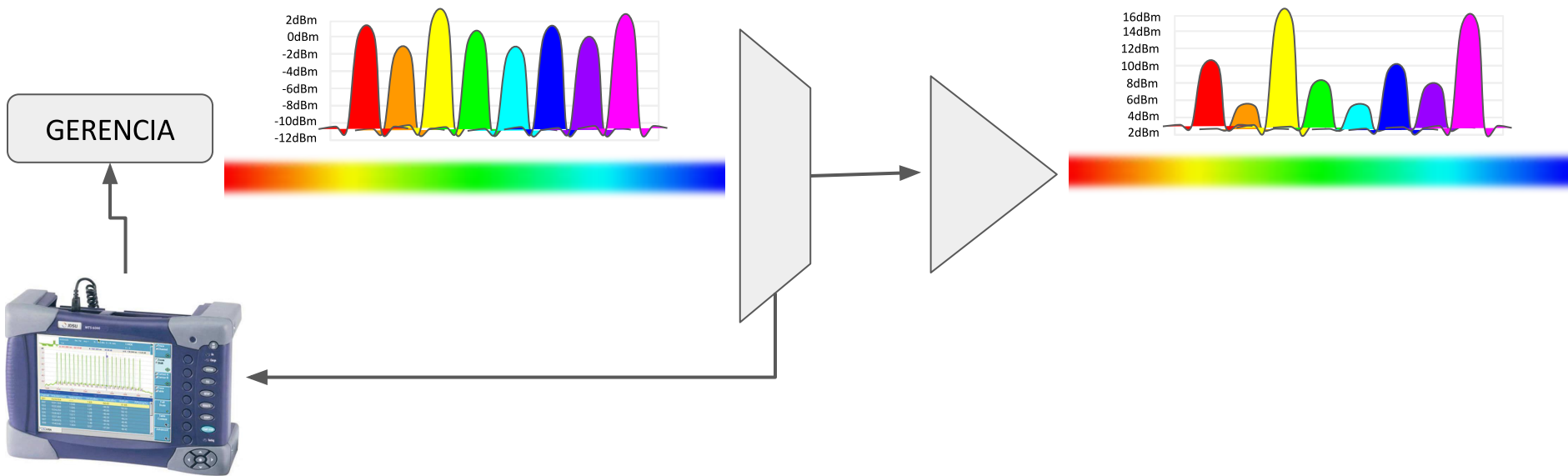
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Alinhamento automático de canais



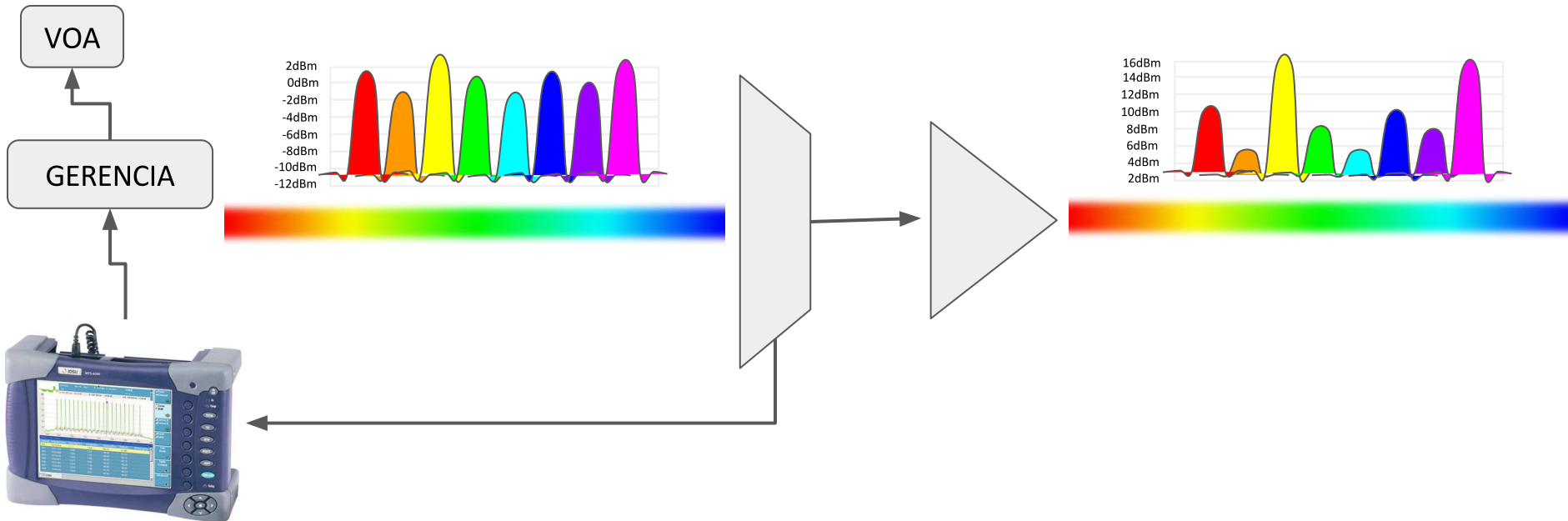
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Alinhamento automático de canais



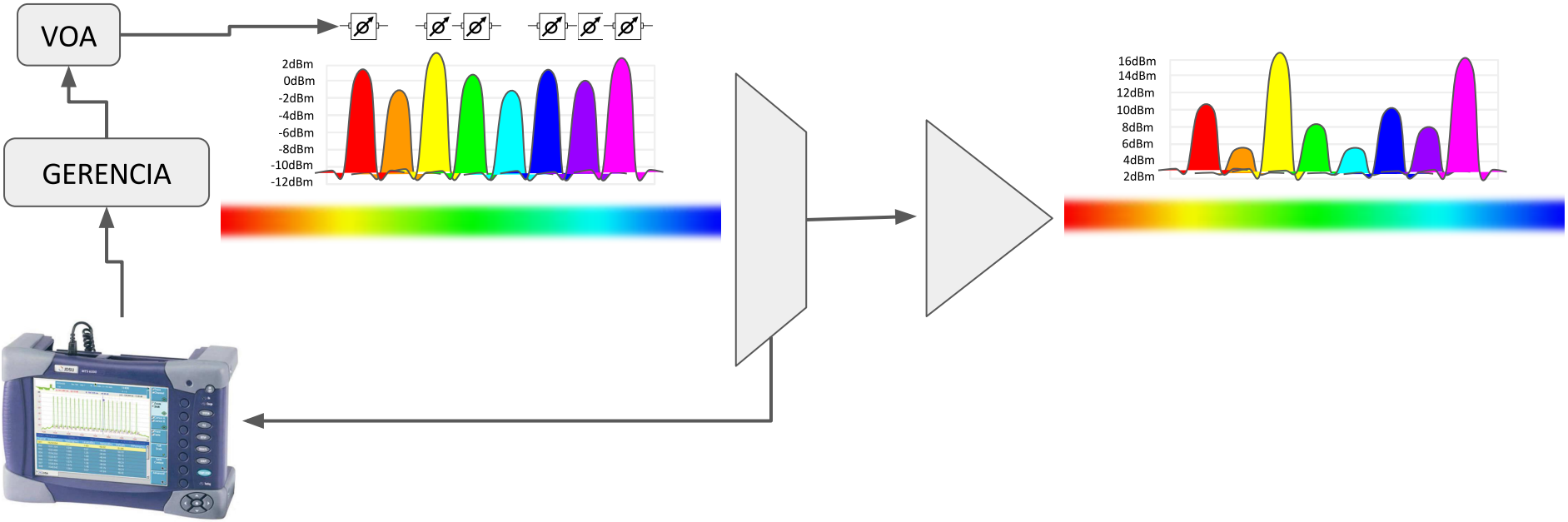
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Alinhamento automático de canais



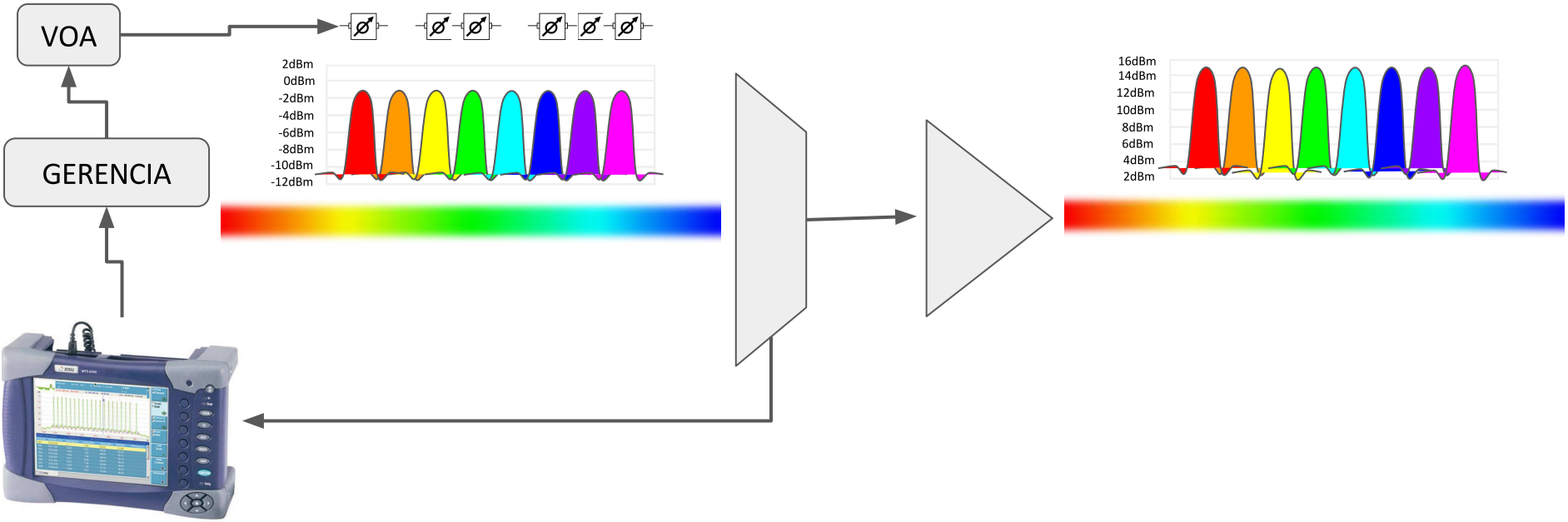
→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Alinhamento automático de canais



→ Sistemas mistos (10G e 100G)

→ Alinhamento automático de canais



Proteção em camada fotônica

→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal

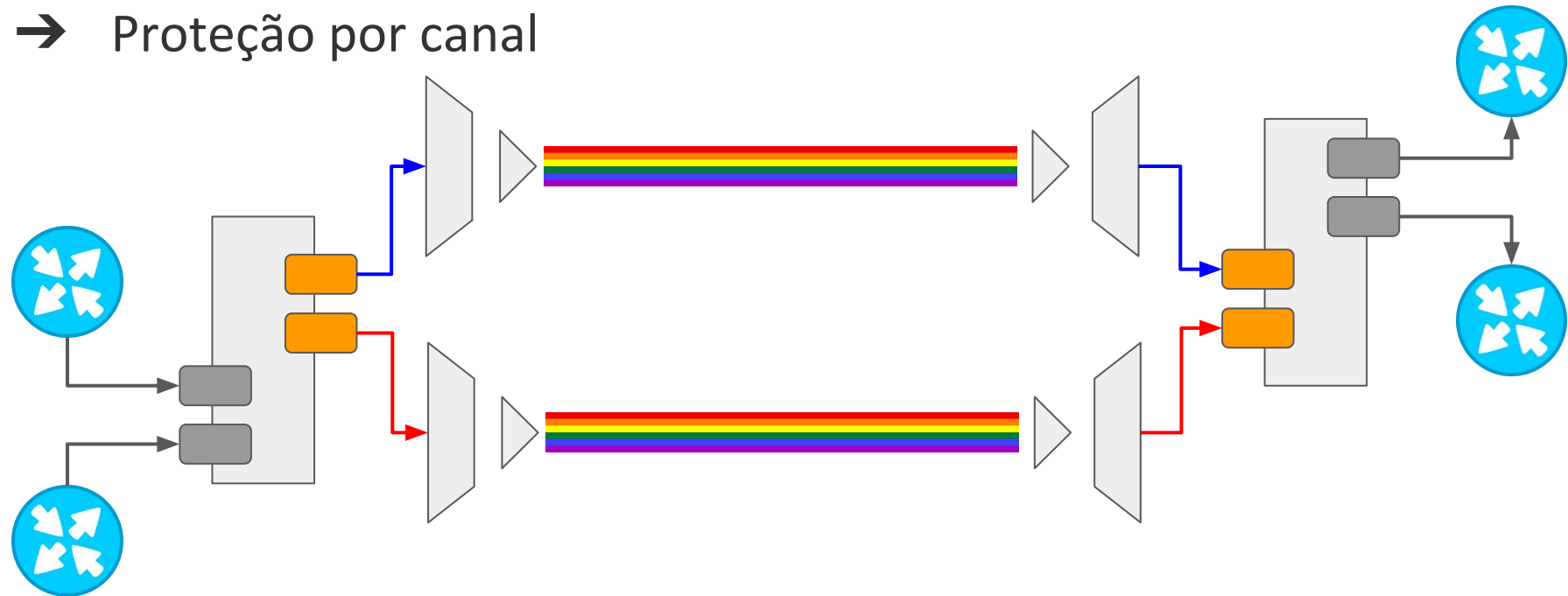
- Prós
- contras

→ Proteção em chave óptica

- Prós
- Contras

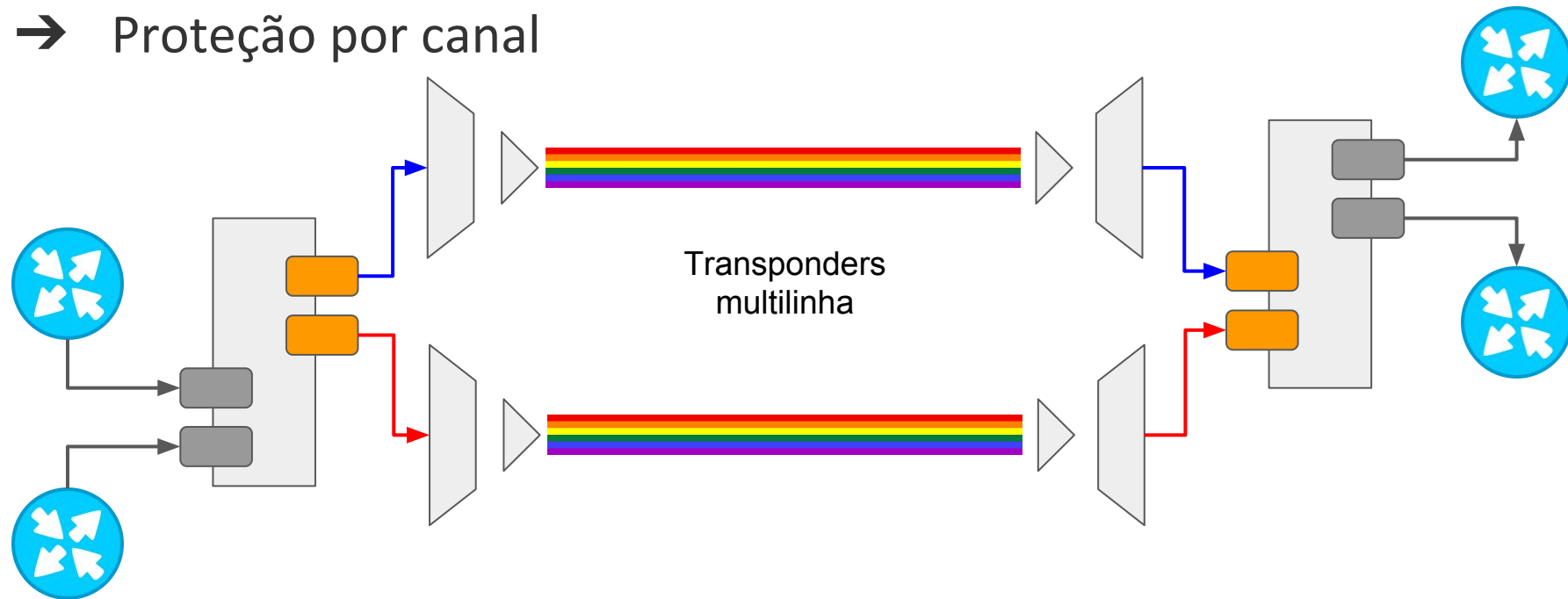
→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal



Perda de uma
porta cliente

→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal



Alto custo



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal



→ Proteção em camada fotônica

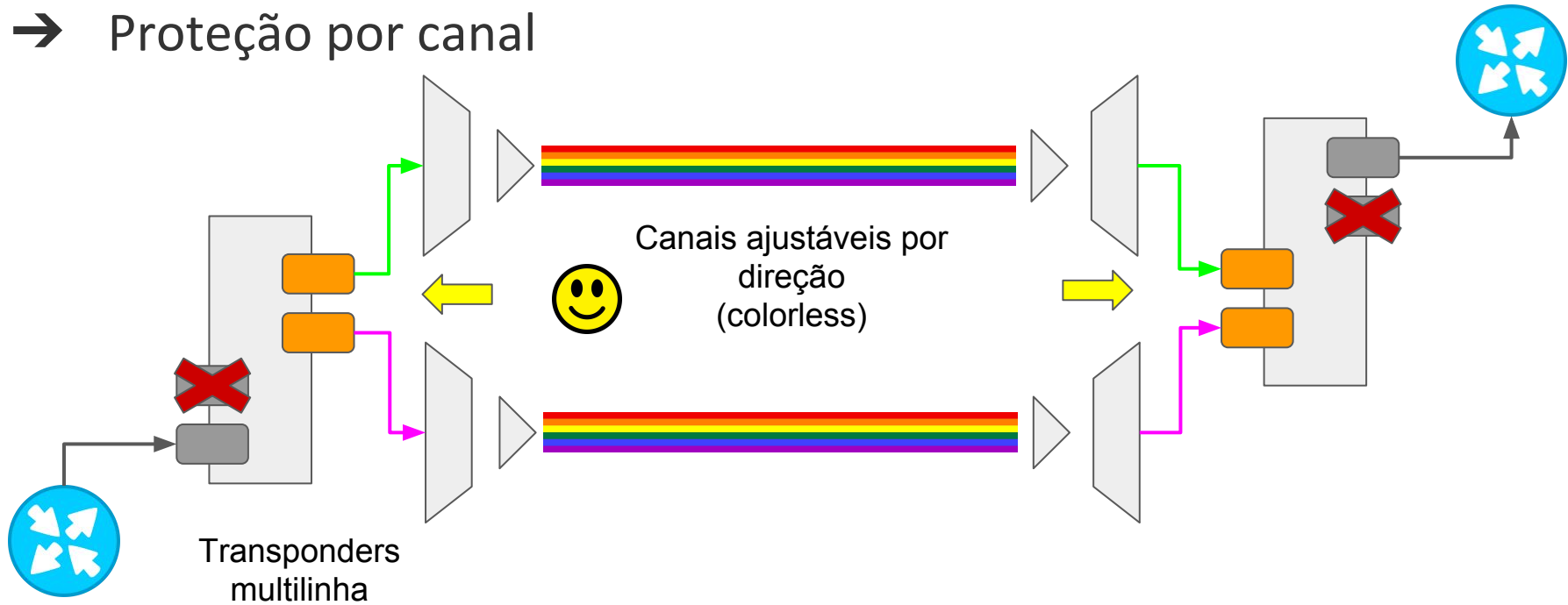
→ Proteção por canal



Canais ajustáveis por
direção
(colorless)

→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal



→ Proteção em camada fotônica

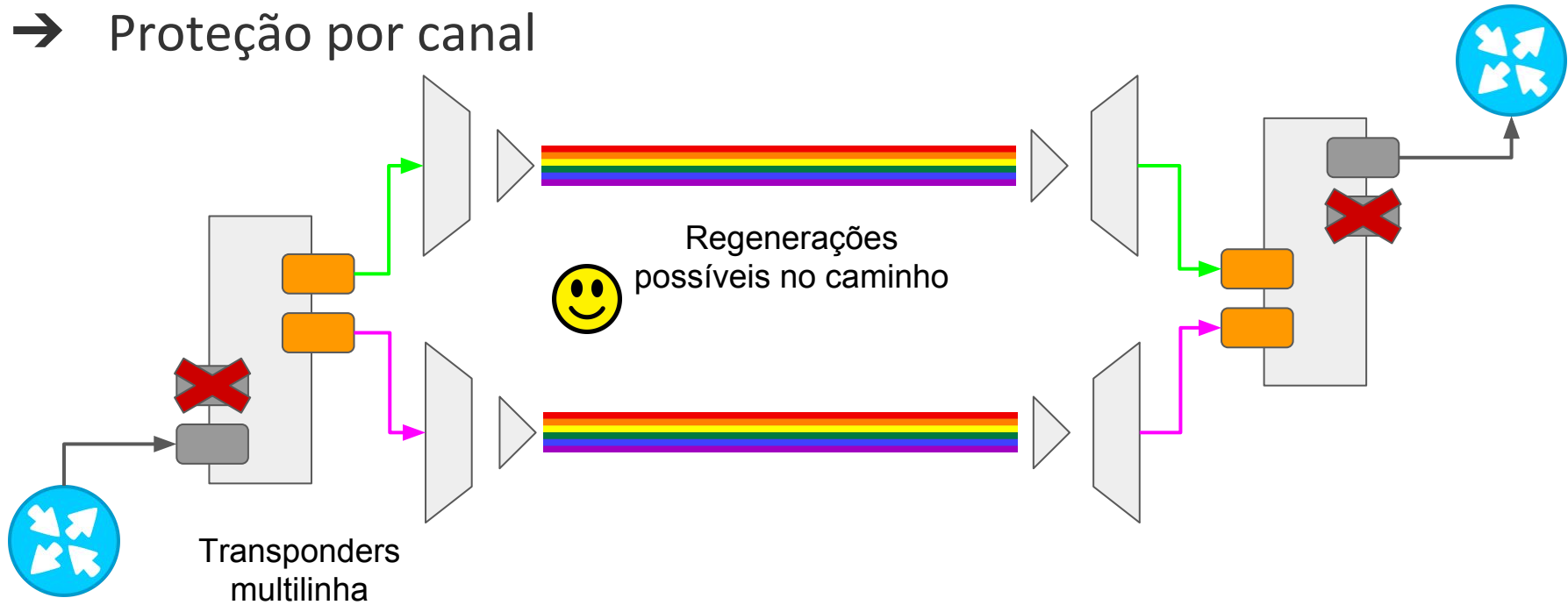
→ Proteção por canal



Regenerações
possíveis no caminho

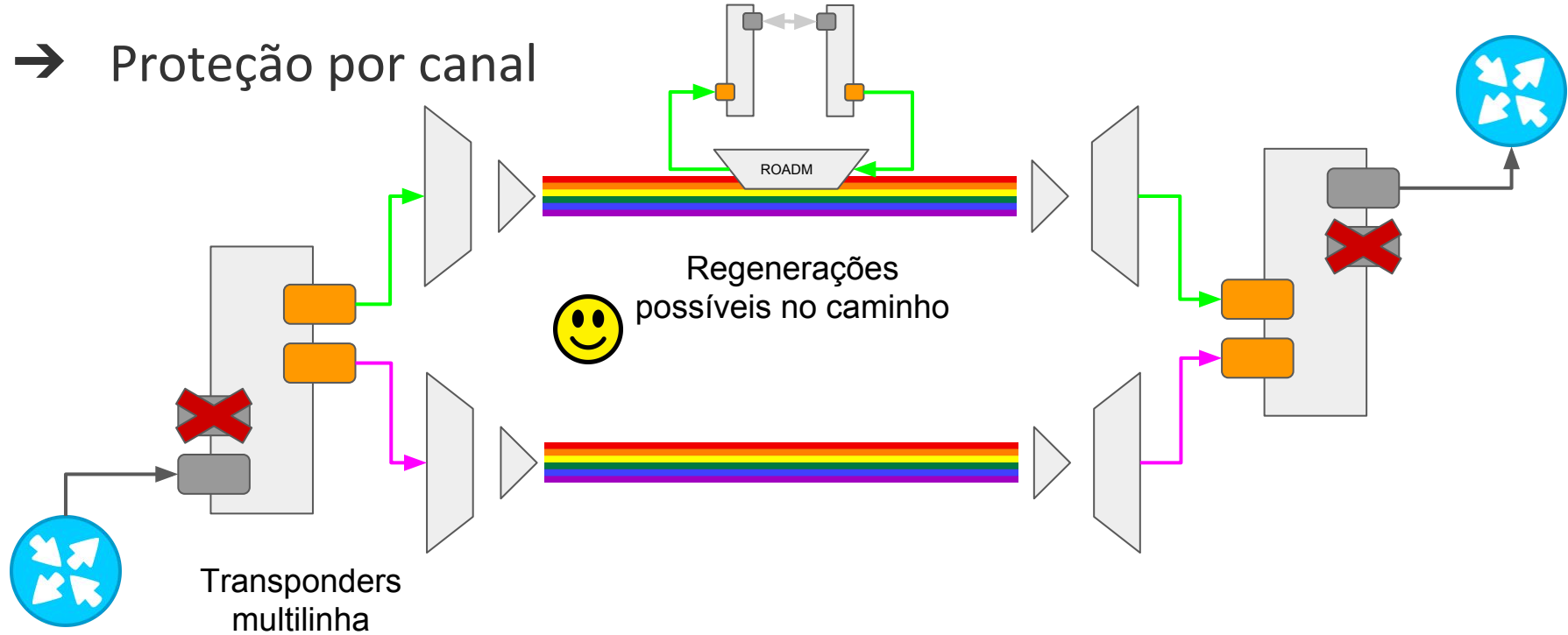
→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção por canal





→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica

→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica

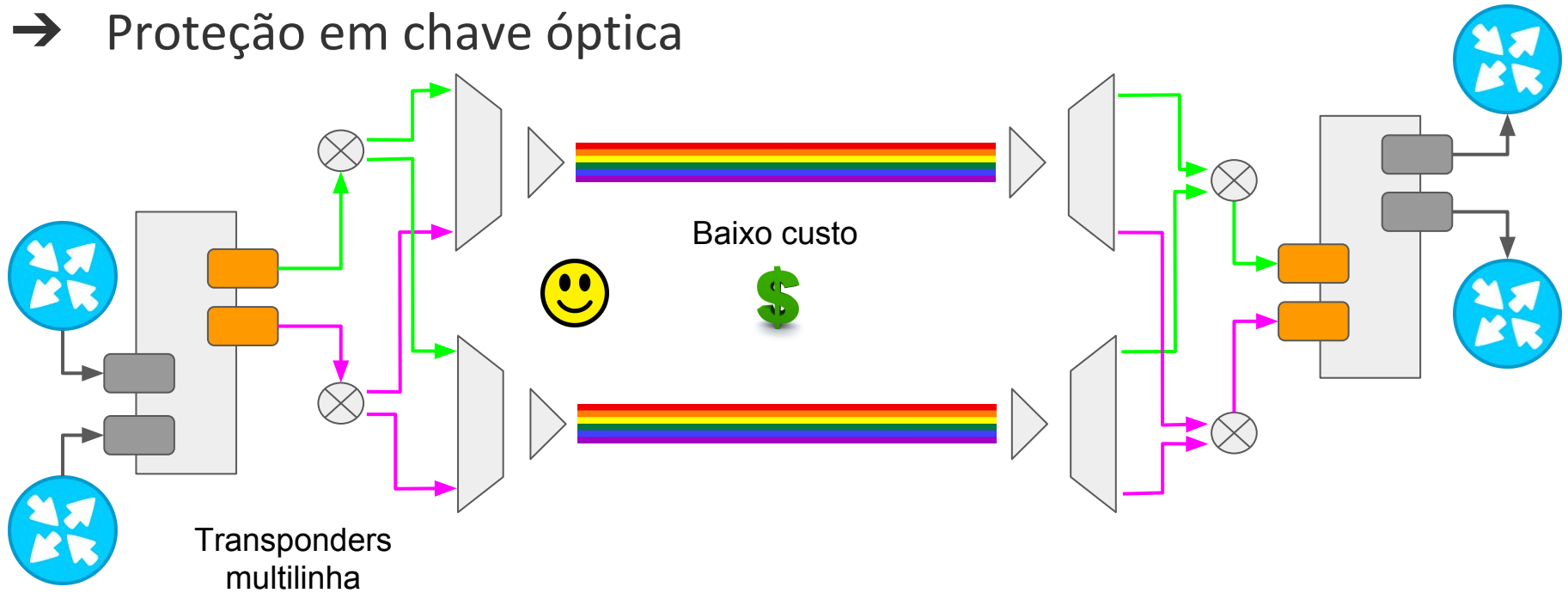


Baixo custo



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica

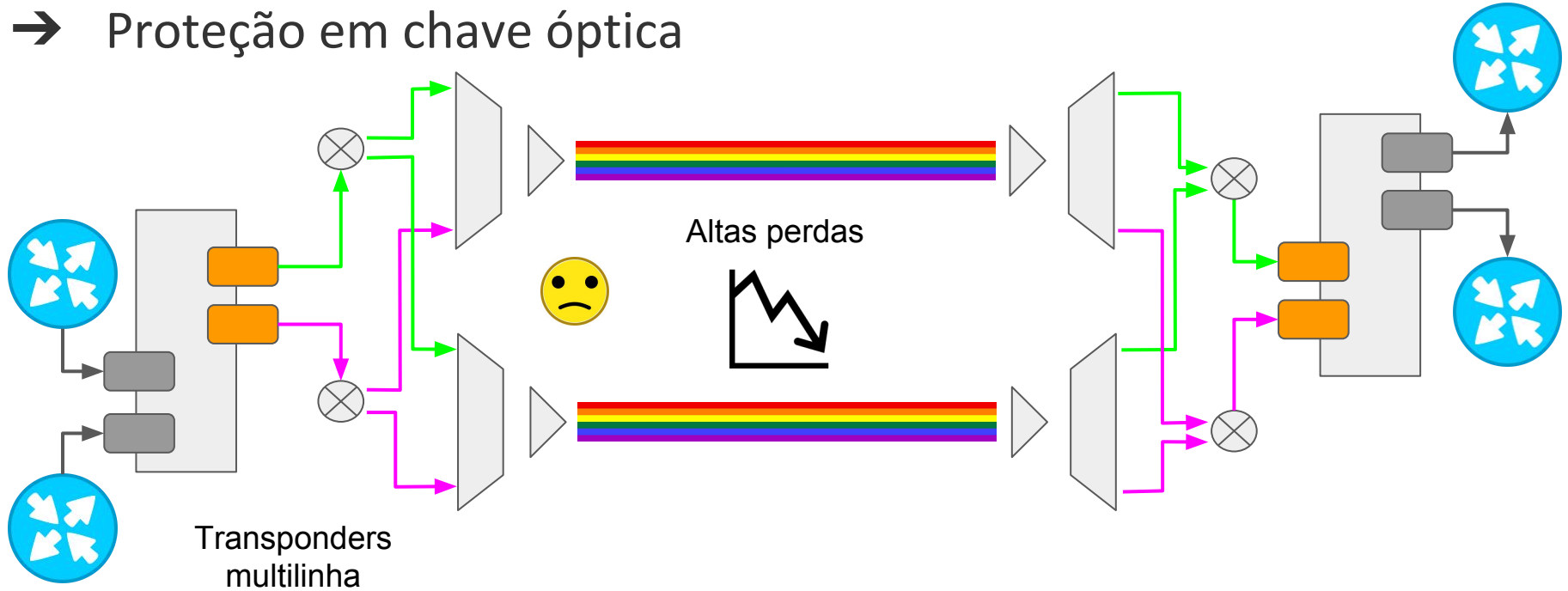


Altas perdas



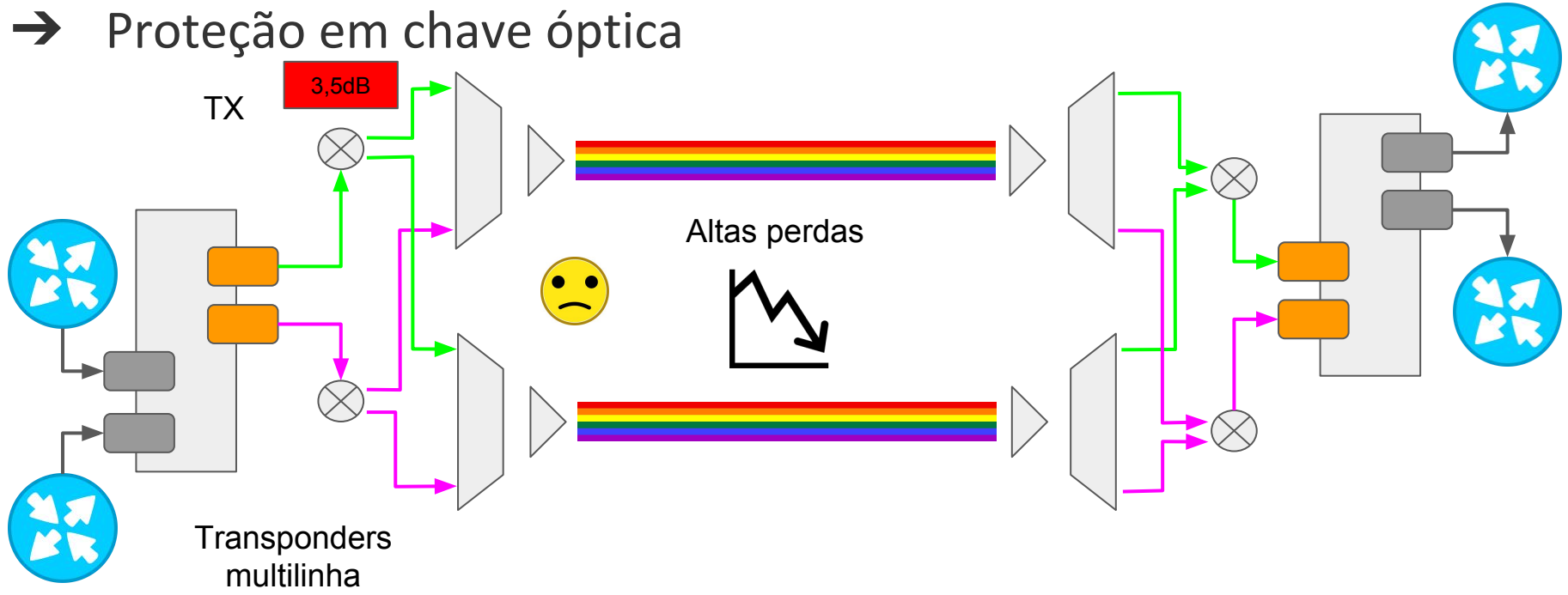
→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica



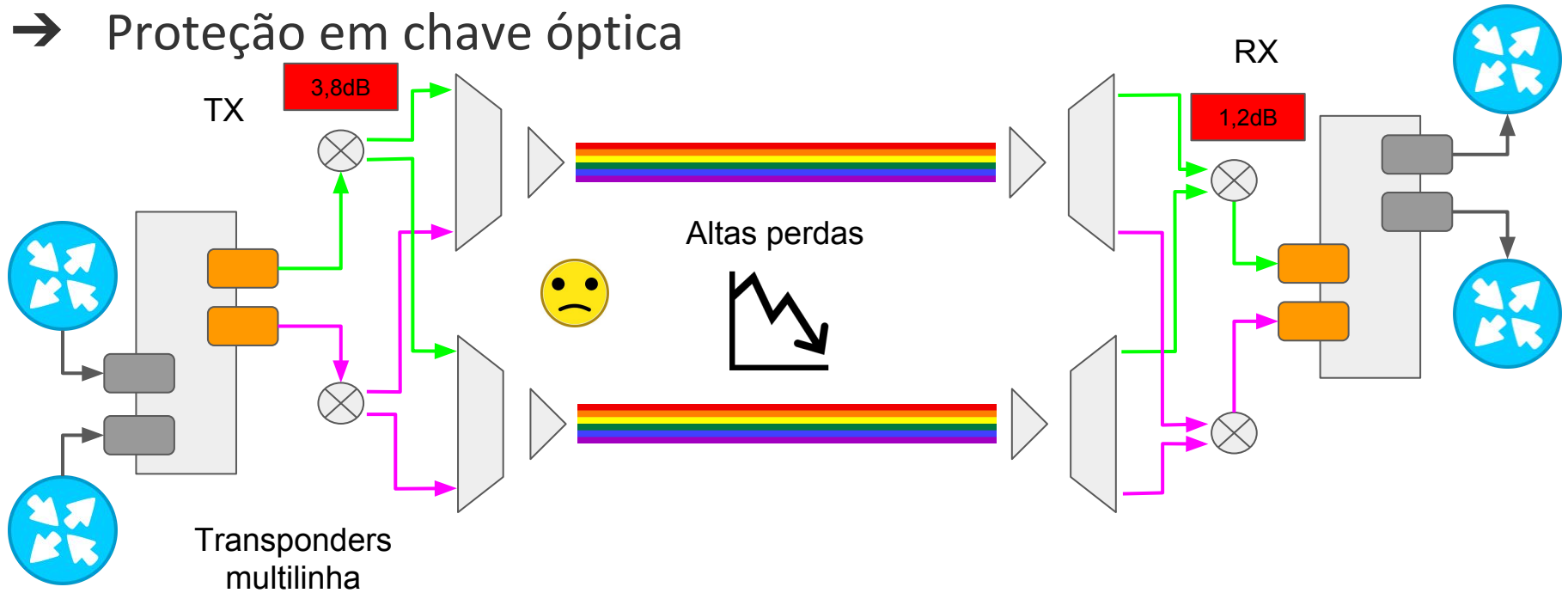
→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica



Disponibilidade do
mesmo canal em toda
a rede OTN

→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica



→ Proteção em camada fotônica

→ Proteção em chave óptica



→ Proteção em camada fotônica


→ Proteção em chave óptica



#DÚVIDAS

 *rinaldo@velootelecom.com.br*

 *rinaldopvaz@gmail.com*

 *<http://br.linkedin.com/pub/rinaldo-vaz/33/762/b4>*

 *[Sistemas DWDM](#)*

OBRIGADO!!

