

## **TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

# **PROPOSTA DE PRÁTICAS LABORATORIAIS COM OS EQUIPAMENTOS DWDM DO LABORATÓRIO ÓPTICO OPTIX.**

**ISRAEL LARA AMARAL**

**RAPHAEL DOS REIS AUGUSTO**

**Brasília, Fevereiro de 2010**

**UNIVERSIDADE DE BRASILIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**PROPOSTA DE PRÁTICAS LABORATORIAIS  
COM OS EQUIPAMENTOS DWDM DO  
LABORATÓRIO ÓPTICO OPTIX**

**ISRAEL LARA AMARAL**

**RAPHAEL DOS REIS AUGUSTO**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro de Redes de Comunicação.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. William Ferreira Giozza, ENE/UNB (Orientador)

---

Prof. Dr. Ricardo Staciarini Puttini, ENE/UNB (Co-orientador)

---

Prof. Dr. Darli Augusto de Arruda Mello, ENE/UnB (Membro Interno)

### **Dedicatória(s)**

*Dedico este trabalho a toda minha família que me deu apoio durante essa longa jornada.*

*Raphael dos Reis Augusto*

*Dedico este trabalho a meus pais que me apoiaram e me deram suporte pra que eu pudesse chegar até aqui.*

*Israel Lara Amaral*

### **Agradecimentos**

*Agradecemos a todos professores que nos orientaram nesse longo caminho até o tão sonhado diploma e não deixamos de também agradecer todos os amigos que foram fundamentais nessa caminhada.*

*Israel Lara Amaral e Raphael dos Reis Augusto*

---

## RESUMO

Com o atual crescimento da demanda por banda, tecnologias que otimizam o uso dos meios de transmissão são amplamente necessárias. A tecnologia DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexer*) apresenta-se como uma das propostas para otimização e aumento da capacidade nas transmissões em meio ótico. A versatilidade da tecnologia, permite um melhor uso da banda disponível, conseguindo com sua implementação a obtenção de taxas de bits da ordem de Tb/s. Este trabalho tem como foco principal apresentar roteiros de práticas laboratoriais onde as características dos sistemas que utilizam a multiplexação por comprimento de onda sejam identificadas.

---

## ABSTRACT

With the current demand for more width, technologies that optimize the use of transmission media are widely needed. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexer) technology is for optimization and increasing in transmission capacity of optical environment. DWDM implementation, a better use of available bandwidth and transmission rates about Tb /s are permitted. This work is focused in developing some experiments where the characteristics of multiplexing wavelength systems are identified.

## SUMÁRIO

1. OBJETIVO GERAL.....	1
1.1. Objetivos específicos.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
DWDM.....	2
2.1.1. Introdução.....	2
2.1.2. A tecnologia DWDM .....	2
2.1.3. Composição do sistema DWDM .....	5
2.1.4. Multiplexadores/demultiplexadores .....	6
2.1.5. Amplificadores Ópticos.....	9
2.1.6. Visão geral do sistema.....	13
2.1.7. Topologias de Rede .....	14
2.2. Ruído Shot.....	17
2.3. Ruído ASE ( Amplified Spontaneous Emission) .....	17
2.4. O laboratório <i>Hauwei Optix Lab</i> .....	19
2.4.1. Transponders (LDG, LWX) .....	20
2.4.2. Equipamentos de Núcleo DWDM.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.3. Amplificadores .....	30
2.4.4. Módulos de Monitoramento e Controle .....	33
3. METODOLOGIA.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1. Descrevendo o laboratório.....	47
3.2. Topologia ponto a ponto em um sistema DWDM.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.3. Ruídos ASE, Shot e BER .....	48
3.4. Amplificadores <i>Booster</i> , linha e pré e suas respectivas figuras de ruído. ....	48
4. CONCLUSÃO.....	49

5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
----	----------------------------------	----

## ANEXOS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento WDM.....	4
Figura 2 – Funcionamento do Transponder.....	6
Figura 3 – O processo Mux/Demux.....	7
Figura 4 - Demultiplexação com uso do prisma.....	8
Figura 5 – Demultiplexação com grades de difração.....	8
Figura 6 – Optical Add Drop Multiplexer (OADM).....	9
Figura 7- (a) Amplificador de Potência, (b) Amplificador de Linha e (c) Pré-amplificador.....	10
Figura 8 - Amplificador Raman discreto.....	11
Figura 9 - Amplificador EDFA.....	12
Figura 10 - Esquema de funcionamento da figura de ruído.....	12
Figura 11 - Visão geral da tecnologia.....	15
Figura 12 - Topologia ponto a ponto, sem e com OADM respectivamente.....	16
Figura 13 - Topologia em anel.....	16
Figura 14 – Topologia Mista.....	17
Figura 15 - Ruído ASE.....	18
Figura 16 – Transponders e placa de controle.....	21
Figura 17 - Amplificadores e placa de monitoramento do desempenho ótico.....	21
Figura 18 - Equipamentos de Núcleo DWDM.....	22
Figura 19 - Esquemático geral de um transponder.....	22
Figura 20 - Sistema WDM com LWX.....	25
Figura 21 – Sistema WDM com LWFS.....	27
Figura 22 – Sistema WDM com LWC.....	28
Figura 23 - Esquemático interno do TMRS.....	30
Figura 24 - Exemplo de uso do TMRS na rede.....	30
Figura 25 – Sistema WDM com M40 e D40.....	31
Figura 26 – Esquemático geral dos amplificadores.....	31
Figura 27 – Sistema WDM com OAU.....	32
Figura 28 – Sistema WDM com OBU no transmissor.....	32
Figura 29 – Sistema WDM com OPU no receptor.....	34
Figura 30 – Sistema WDM com FIU (exemplo).....	35
Figura 31 – FIU em módulos.....	36

Figura 32 – Descrição em módulos de um SCC.....	37
Figura 33 – Esquemático com SC2.....	37



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Bandas utilizadas na transmissão no meio óptico.....	3
Tabela 2 – Grid ITU de frequências centrais para sistemas WDM.....	3
Tabela 3 – Taxas de transmissão SDH/SONET.....	5
Tabela 4 - Relação dos transponders e interface de entrada .....	23
Tabela 5 – Interfaces gerais dos transponders .....	23
Tabela 6 - Funções LDG.....	23
Tabela 7 - Especificações do módulo do lado cliente.....	24
Tabela 8 – Especificações do lado WDM.....	24
Tabela 9 – Funções do LWX.....	25
Tabela 10 - Especificações para o módulo óptico com comprimento de onda fixo do LWX.....	26
Tabela 11 – Especificações para o módulo óptico com comprimento de onda variável do LWX.....	26
Tabela 12 - Funções do LWFS.....	27
Tabela 13 – Parâmetros LWFS.....	28
Tabela 14 - Funções LWC.....	29
Tabela 15 - Especificações LWC.....	29
Tabela 16 - Interfaces gerais dos amplificadores.....	32
Tabela 17 - Especificações OAU.....	33
Tabela 18 - Especificações OBU.....	34
Tabela 19 - Especificações OPU.....	35

## LISTA DE SIGLAS

BER	<i>Bit Error Ratio</i>
CWDM	<i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i>
DWDM	<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>
EDFA	<i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Unit – Telecommunication Standardization Sector</i>
OADM	<i>Optical Add-Drop Multiplexers</i>
OAM	<i>Operation, Administration and Management</i>
OEO	<i>Optic – Electric – Optic</i>
OXC	<i>Optical Cross Connect</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
SOA	<i>Semiconductors Optical Amplifiers</i>
WDM	<i>Wavelength Division Multiplexing</i>
SRS	<i>Stimulated Raman scattering</i>
SBS	<i>Stimulated Brillouin Scattering</i>
GE	<i>Gigabit Ethernet</i>
DCF	<i>Dispersion compensation fiber</i>

# 1. OBJETIVO GERAL

Elaborar práticas de laboratório com os equipamentos da tecnologia DWDM disponíveis no laboratório optix e propor roteiros para uso futuro em uma disciplina com laboratório de comunicações ópticas.

## 1.1. Objetivos específicos

**1.1.1.** Apresentar todos os componentes DWDM disponíveis no laboratório Hauwei Optix Lab.

**1.1.2.** Propor um roteiro de experimento com a finalidade de compreensão da relação entre a potência de lançamento e a taxa de erro de bit na presença de ruídos *shot* e ASE.

**1.1.3.** Propor um roteiro de experimento onde uma topologia ponto a ponto será configurada e o funcionamento dos principais componentes de um sistema DWDM, observado.

**1.1.4.** Propor um roteiro de experimento sobre amplificadores, suas funcionalidades e o comportamento da figura de ruído nas configurações pré, linha e *booster*.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Tecnologia DWDM

#### 2.1.1. Introdução

O uso de fibras óticas para transmissão a longa distância já vem sendo utilizado por anos. Os adventos de novos serviços (Internet banda larga, vídeo *on demand*, *streaming* vídeo, VoIP) tornaram os usuários finais consumidores em potencial de altas taxas de transmissão. A grande questão atualmente é como tornar as atuais infra-estruturas, escaláveis a ponto de suportar o aumento expressivo do consumo de banda. Uma solução viável é o aumento da capacidade das fibras existentes aumentando o número de comprimentos de onda [2] que são utilizados para transmissão. Muitos comprimentos de onda, cada um suportando taxas da ordem de 10Gb/s a 40Gb/s, podem aumentar a capacidade de transmissão do sistema por um fator que é igual ao número de canais ópticos, ou seja, sistemas com 40, 80 ou 120 comprimentos de onda, supondo 10Gb/s a taxa suportada por cada canal, atingiriam taxas teóricas de 400Gb/s, 800Gb/s e 1,2Tb/s, respectivamente [2].

#### 2.1.2. A tecnologia DWDM

*Wavelength division multiplexing (WDM)* é uma tecnologia óptica que concentra vários comprimentos de onda em uma mesma fibra cada um transmitindo uma quantidade de bits, a consequência do uso dessa tecnologia é o fato de agora a taxa de transmissão suportada pelo link ser a soma das taxas suportadas por cada comprimento de onda (Figura 1). A União internacional de Telecomunicações (ITU), definiu frequências específicas para a multiplexação por divisão de comprimento de onda na recomendação ITU-T G.694.1 (*Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid*) [3]. Nesse documento recomendou 81 canais ópticos (comprimentos de onda) na Banda C (vide Tabela 1), iniciando em 1.528,77 nm e terminando em 1.560,61 nm. A organização dos canais segue a seguinte lógica: partindo da 1ª frequência, 196,1 THz (1528,77 nm), decrementando 50GHz (ou incrementando 0,39 nm) obtemos o segundo canal, 196,05 THz (1529,16 nm) e assim se segue até 81 comprimento de onda (tabela 2.2) [1]. Com o advento da

recomendação, a interoperabilidade entre os equipamentos dos mais diversos fabricantes tornou-se viável.

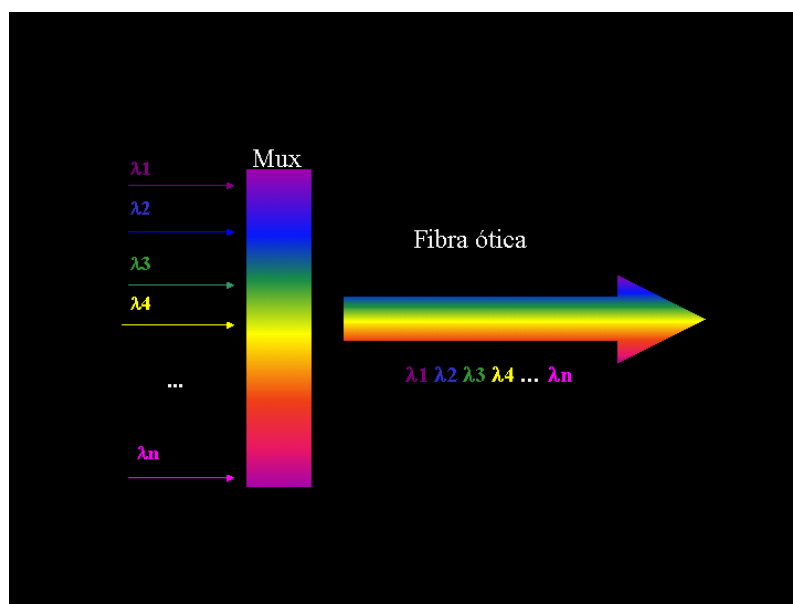


Figura 1 – Esquema de funcionamento WDM.

Tabela 1 – Bandas utilizadas na transmissão no meio óptico. [2]

Banda	Significado	Espectro óptico
O	<i>Original</i>	1260 nm a 1360 nm
S	<i>Short</i>	1360 nm a 1460 nm
E	<i>Extend</i>	1460 nm a 1530 nm
C	<i>Conventional</i>	1530 nm a 1565 nm
L	<i>Long</i>	1565 nm a 1625 nm
U	<i>Ultra Long</i>	1625 nm a 1675 nm

Tabela 2 – Grid ITU de frequências centrais para sistemas WDM. [3]

Frequência (THz)	Comprimento de Onda(nm)	Frequência (THz)	Comprimento de Onda (nm)	Frequência (THz)	Comprimento de Onda (nm)
196,1	1528,77	164,6	1540,56	193,1	1552,52
196,0	1529,55	194,5	1541,35	193,0	1553,33
195,9	1530,33	194,4	1542,14	192,9	1554,13
195,8	1531,12	194,3	1542,94	195,8	1554,94

195,7	1531,9	194,2	1543,73	192,7	1555,75
195,6	1532,68	194,1	1544,53	192,6	1556,56
195,5	1533,47	194,0	1545,32	195,5	1557,36
195,4	1534,25	193,9	1546,12	192,4	1558,17
195,3	1535,04	193,8	1546,92	192,3	1558,98
195,2	1535,82	193,7	1547,72	192,2	1559,79
195,1	1536,61	193,6	1548,51	192,1	1560,61
195,0	1537,40	193,5	1549,32	192,0	1561,42
194,9	1538,19	192,4	1550,12	191,9	1562,23
194,8	1538,98	193,3	1550,92	191,8	1563,05
194,7	1539,77	193,2	1551,72	191,7	1563,86

*Dense* WDM (DWDM) é a tecnologia WDM com um número grande de portadoras ópticas ( $\lambda$ ). Sistemas WDM que apresentam uma baixa densidade de comprimentos de onda recebem o nome de *Coarse* WDM (CWDM). A recomendação da ITU-T, define que sistemas que utilizam espaçamento, entre portadoras, iguais ou inferiores a 100 GHz já são considerados DWDM. [3]

O DWDM utiliza a grande quantidade banda disponível no meio óptico (fibra) para transmitir e multiplexar vários comprimentos de onda por uma fibra e posteriormente demultiplexar para o usuário final. O tipo de tráfego que pode ser transportado é bem variado, por exemplo, um canal pode estar transportando um sinal SONET/SDH (*synchronous optical network/synchronous digital hierarchy*), em outro canal um sinal ATM (*asynchronous transfer mode*) pode estar sendo transmitido, e ainda, no mesmo sistema, tráfegos TDM (*time division multiplexing*), como voz e vídeo, podem ser enviados em outro comprimento de onda. O WDM permite a transmissão de dados a diferentes taxas de bits. Com a tecnologia WDM, taxas relativas a sistemas SONET, OC-3, OC-12, OC-48 e até OC-192 (Tabela 3) ou quaisquer outras, podem ser definidas pelo usuário cliente para trafegar em cada comprimento de onda do sistema. A título de exemplificação, um sistema comercial com 80 canais tem espaçamento de 50GHz e pode transmitir, em uma fibra apenas, 80 sinais cliente OC-192 (10Gb/s) totalizando uma taxa total de 800Gb/s. [1]

**Tabela 3 – Taxas de transmissão SDH/SONET. [2]**

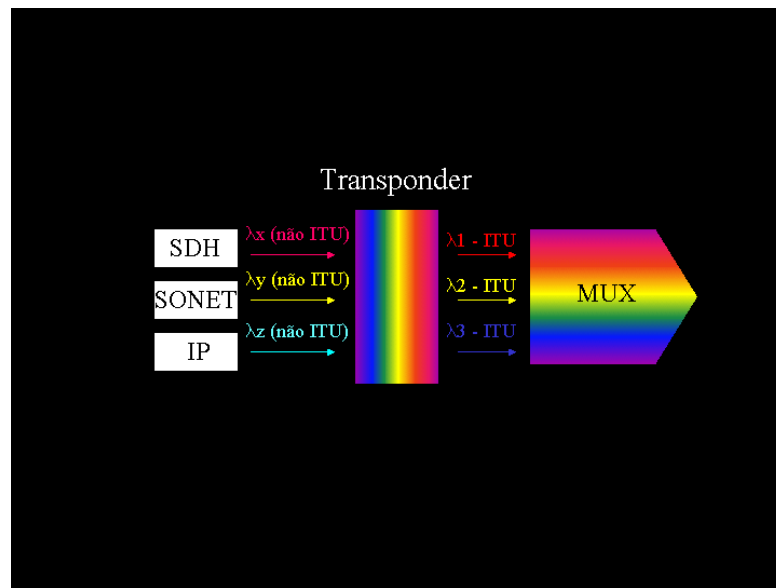
Sinal SONET	Sinal SDH	Sinal Óptico	Taxa de bits (Mb/s)
STS-1	-	OC-1	51,84
STS-3	STM-1	OC-3	155,52
STS-12	STM-4	OC-12	622,08
STS-48	STM-16	OC-48	2488,32
STS-192	STM-64	OC-192	9953,28
STS-768	STM-256	OC-768	39.814,32

### 2.1.3. Composição do sistema DWDM

A arquitetura do sistema DWDM é bastante flexível e pode ser adequada às diversas necessidades das variadas topologias de redes existentes, os componentes essenciais para implementação de qualquer sistema DWDM, são: Os *transponders*, os multiplexadores/demultiplexadores e os amplificadores ópticos.

#### 2.1.3.1 *Transponders*

Os sistemas DWDM, suportam as mais diversas tecnologias de transmissão em sua entrada. O responsável por essa tarefa é o *transponder*. O *Transponder* adapta a taxa arbitrária do sinal óptico do equipamento cliente (SDH/SONET, ATM, IP) e mapeia seu comprimento de onda ao canal DWDM escolhido, compatível com o plano de frequências padronizado pelas normas ITU-T, uniformizando a intensidade e comprimentos de onda dos sinais ópticos recebidos e, impondo o espaçamento adequado (Figura 2). Além disso, os *transponders* podem: inserir *overheads* com intuito de gerenciar a rede, adicionar FEC (*forward error correction*), principalmente em sinais com taxas iguais ou superiores à 10Gb/s que necessitam de uma BER (*Bit Error Rate*) elevada. O processo todo de ajuste é feito, na maioria dos casos, através de uma conversão óptico-elétrica-óptica, onde, no meio elétrico, as alterações/inserções citadas acima são feitas e, posteriormente, o sinal volta para o meio ótico para ser levado até o multiplexador.



**Figura 2 – Funcionamento do *Transponder*.**

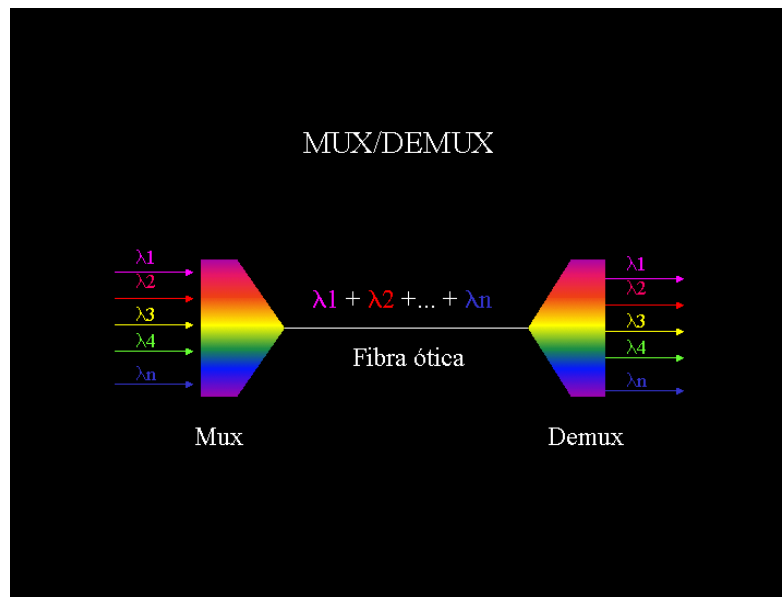
#### **2.1.4. Multiplexadores/demultiplexadores**

O processo DWDM é efetivamente feito pelos multiplexadores e demultiplexadores. Um multiplexador/demultiplexador óptico pode ser construído como uma associação de filtros ópticos ou como um dispositivo isolado. O objetivo é concentrar/extrair os sinais ópticos inseridos inicialmente de forma satisfatória.

##### **2.1.4.1 Multiplexadores**

Os multiplexadores (Fig.3) atuam, basicamente, concentrando os diversos comprimentos de onda em um único link de fibra. A difração é o princípio físico que norteia os principais dispositivos com essa função, como exemplos desses, temos os prismas e as grades de difração (*diffraction gratings*). A descrição do funcionamento desses dispositivos será feita posteriormente no tópico demultiplexadores.



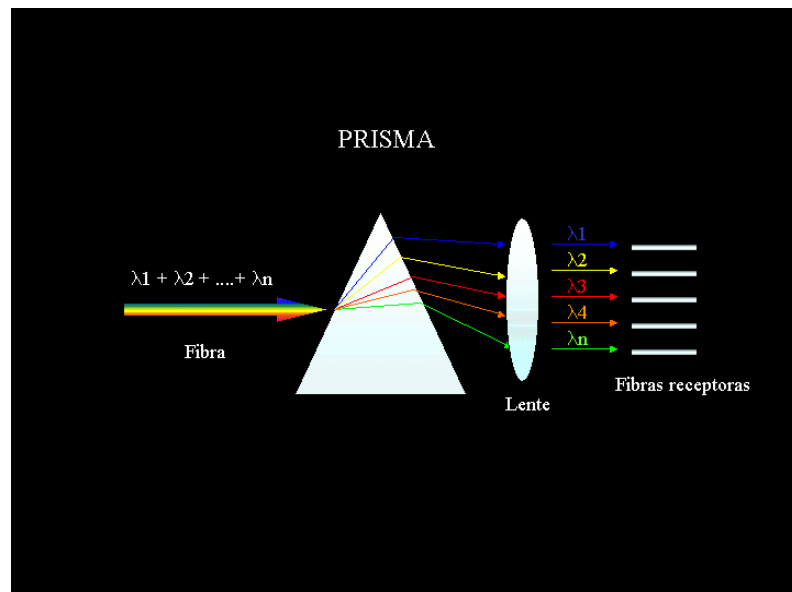


**Figura 3 – O processo Mux/Demux.**

#### **2.1.4.2 Demultiplexadores**

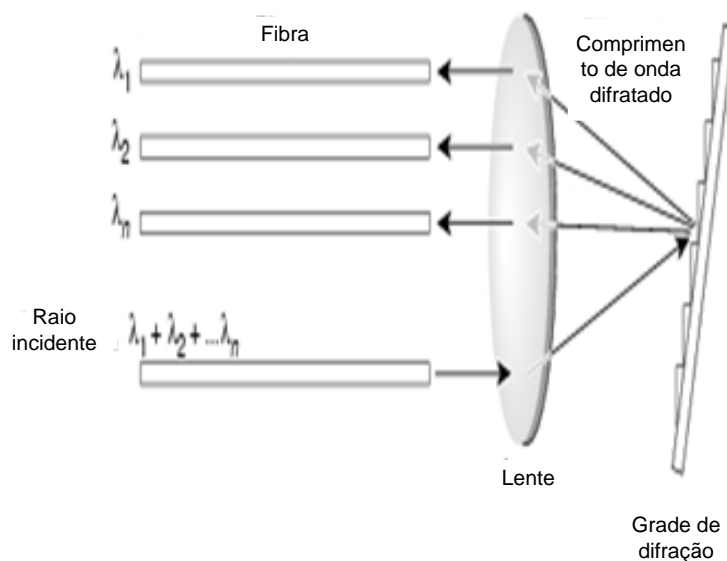
O principal papel desempenhado pelos demultiplexadores (Fig. 3) é receber o sinal óptico de uma fibra onde está contido um feixe de luz constituído por vários comprimentos de onda e separar esses diversos sinais na suas respectivas frequências. A complementaridade com o processo de multiplexação é de fácil percepção (concentração/separação de comprimentos de onda) e como resultado disso os dispositivos utilizados como demultiplexadores podem atuar no sistema DWDM também como multiplexadores.

O mais simples e conhecido dispositivo demultiplexador óptico é o prisma (Fig. 4). Com a chegada de um feixe policromático em uma das faces do prisma cada componente ( $\lambda$ ) é refratado, e na face escolhida como saída, os sinais saem separados um do outro por uma pequena defasagem espacial. Atuando em conjunto para viabilizar o processo de demultiplexação são inseridas lentes que focalizam os diferentes comprimentos de onda oriundos do prisma em pontos onde as fibras receptoras se encontram.



**Figura 4 - Demultiplexação com uso do prisma.**

A outra técnica de demultiplexação tem base nos princípios de difração e de interferência óptica (Fig. 5). Ao incidir numa grade de difração, cada comprimento de onda que compõe o feixe de luz policromático é difratado em diferentes ângulos e, assim, para pontos diferentes no espaço. Para focalizar estes feixes dentro de uma fibra, podem-se usar lentes (processo semelhante ao do prisma).



**Figura 5 – Demultiplexação com grades de difração. [1]**

### 2.1.4.3 OADM (*Optical add-drop multiplexers*)

A principal função de um multiplexador é concentrar dois ou mais comprimentos de onda em uma mesma fibra. A Figura 3 mostra uma arquitetura onde MUX/DEMUX estão ligados diretamente por um enlace de fibra e todos os comprimentos de onda são inseridos no MUX e retirados no DEMUX. Na prática, por diversas vezes é necessário retirar/inserir determinados comprimentos de onda no sistema DWDM, dando origem aos OADM's (Fig. 6). Os OADM's (*Optical add-drop multiplexers*) retiram de maneira seletiva um  $\lambda$ , dentre vários contidos na fibra, que pode ser utilizado diretamente por algum nó da rede ou ainda retornar ao fluxo principal após a inserção de dados.

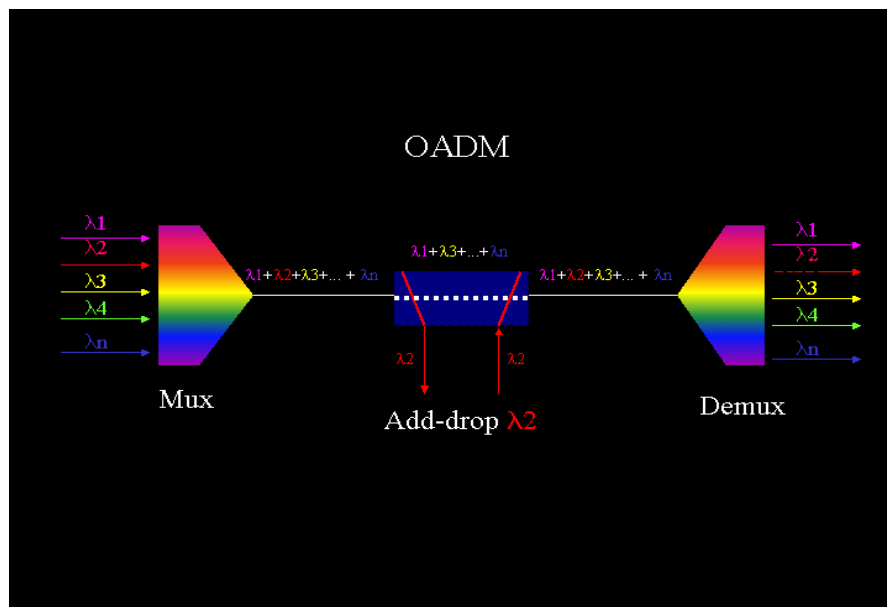
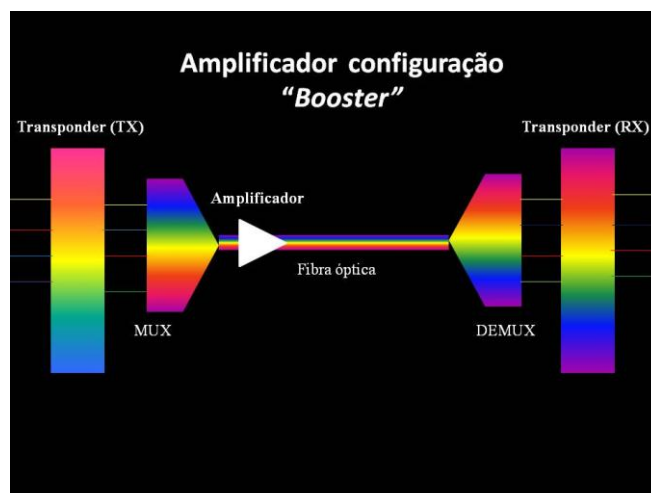


Figura 6 – *Optical Add Drop Multiplexer (OADM)*

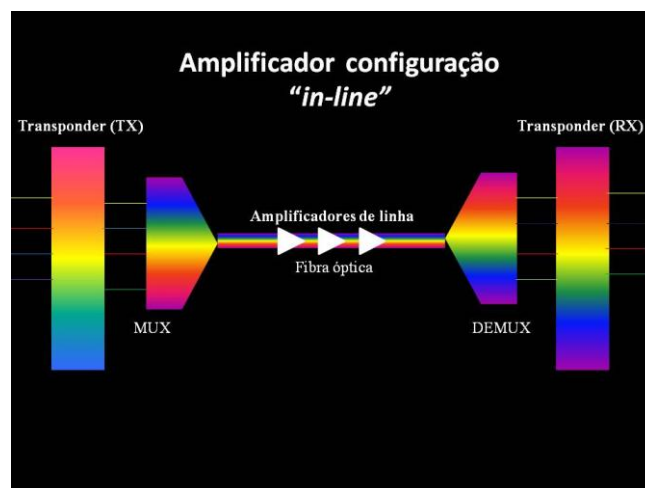
### 2.1.5. Amplificadores Ópticos

Devido à atenuação, há limites de distância no qual segmentos de fibra podem propagar um sinal com integridade. Amplificadores ópticos possibilitam a amplificação de forma transparente, independentemente do tipo de modulação ou protocolo utilizado. Esse dispositivo promove a amplificação de todos os comprimentos de onda sem a necessidade da conversão óptica – elétrica – óptica, o que reduz a probabilidade de erro e permite o alcance de maiores distâncias entre a fonte e o destino, viabilizando a construção de sistemas WDM. A amplificação óptica não é dependente da velocidade ou do formato do código de transmissão. Seu desempenho é medido através dos parâmetros ganho, linearidade, nível de ruído e potência de saída.

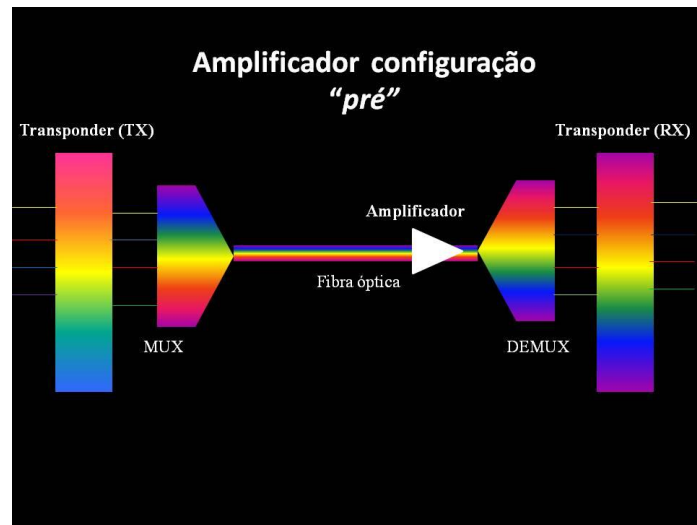
O Amplificador Óptico pode exercer a função de Amplificador de Potência (conhecido como booster e usado logo após o Multiplexador), Amplificador de Linha (colocado no meio de um enlace) e também como Pré-Amplificador (colocado logo antes do Demultiplexador), conforme ilustrado na figura 7.



(a)



(b)



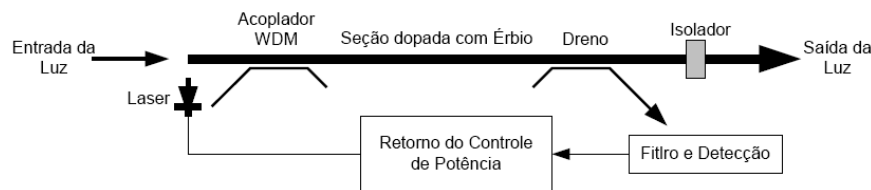
(c)

**Figura 7 - (a) Amplificador “Booster”, (b) Amplificador de Linha e (c) Pré-amplificador.**

Os amplificadores podem ser construídos com tecnologia semicondutora, com tecnologia de guias de onda planares e com fibras. Os tipos mais utilizados são os amplificadores Raman e os amplificadores de fibras dopadas com érbio (EDFA).

### **2.1.5.1 EDFA**

Os EDFAs são os amplificadores mais importantes (Fig. 8). Um sinal fraco entra na fibra dopada com érbio, onde feixes de luz em 980 nm ou 1480 nm são injetados usando um laser de bombeio. Esta fonte estimula os átomos de érbio a liberarem sua energia em forma de luz a 1550 nm. Como este processo é contínuo na fibra, o sinal torna-se forte. A emissão espontânea em um EDFA também introduz ruído ao sinal; isto determina a figura de ruído de um EDFA. Esses dispositivos possuem ganho de 30 dB ou mais, com potência de saída de +17dB. Além disso, apresentam alta eficiência na transferência de potência do amplificador para o sinal, amplificação direta e simultânea de uma grande região de comprimentos de onda, saturação de saída maior que 1 mW, longo tempo de ganho constante, larga faixa dinâmica, baixa figura de ruído, independência de polarização e baixo custo. Por outro lado, esses dispositivos são relativamente grandes e apresentam cross-talk e saturação de ganho. [2]



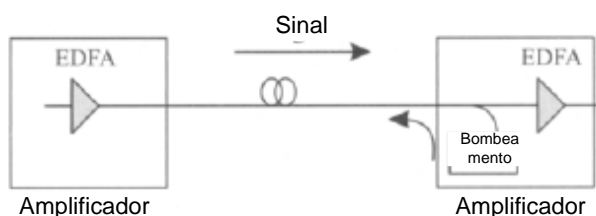
**Figura 8 - Amplificador EDFA.**

### 2.1.5.2 Amplificadores Raman

Os amplificadores Raman utilizam o efeito não linear SRS (*Stimulated Raman scattering*) para prover a amplificação dos sinais. Se dois ou mais sinais de diferentes comprimentos de onda são injetados em uma fibra, o SRS gera potência para ser transferida do canal de menor comprimento de onda para o canal de maior comprimento de onda.[2]

Os amplificadores Raman se distinguem por algumas características dos amplificadores EDFAs. Diferente do EDFA, podemos usar o efeito Raman para prover ganho em qualquer comprimento de onda. Um EDFA provê ganho nas bandas C e L (1528 – 1605nm), enquanto o Raman pode amplificar outras bandas para WDM, como uma janela de 1310 nm, e até mesmo a banda S (abaixo de 1528 nm). Neste amplificador, também podemos usar múltiplos bombeamentos em diferentes comprimentos de onda e diferentes valores de potência simultaneamente para ajustar o ganho à forma do ganho Raman.[2]

Outro fator importante é que a amplificação Raman depende apenas do bombeamento da mesma fibra de sílica utilizada para transmitir sinais. Isso pode ser usado para produzir amplificadores “aglomerados” (*lumped*) ou discretos. Na figura 9 temos um exemplo do caso da amplificação discreta:



**Figura 9 - Amplificador Raman discreto.[2]**

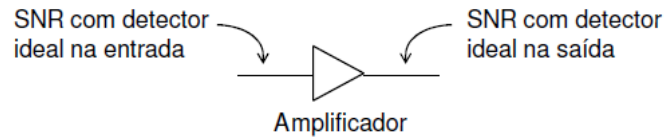
As fontes de ruído nos amplificadores Raman são diferentes dos ruídos no EDFA. O ganho Raman responde instantaneamente ao bombeamento de energia. Assim, flutuações

na potência de bombeamento farão com que o ganho varie criando um *crosstalk* no sinal desejado. Isso não acontece em EDFAs. Portanto, para amplificadores Raman, é importante manter o bombeamento em uma potência constante.[2]

### 2.1.5.3 Figura de ruído

Para quantificar a degradação que o sinal sofre devido aos ruídos, é comum definir uma medida de qualidade do sinal quanto ao ruído chamada Figura de ruído (NF, noise figure). A figura de ruído quantifica a relação entre a relação sinal ruído (OSNR, optical signal to noise ratio) na entrada e na saída. [2]

Sendo assim, a figura de ruído pode ser definida por:



**Figura 10 – Esquema de funcionamento da figura de ruído.**

$$NF = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \quad (Eq. 1)$$

Onde  $SNR_{in}$  e  $SNR_{out}$  são as relações sinais-ruído da entrada e saída respectivamente. Em dB podemos escrever:

$$NF = 10 \log \left( \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \right) = SNR_{in,dB} - SNR_{out,dB} \quad (Eq. 2)$$

A figura de ruído de um equipamento pode depender também da sua temperatura. Dispositivos sem ganho possuem a figura de ruído de acordo com sua atenuação (valor absoluto) quando a sua temperatura física é  $T_o$ .

### 2.1.6. Visão geral de um sistema DWDM

A figura 11 mostra uma visão geral de sistemas DWDM: Os diversos sinais provenientes de clientes das mais variadas tecnologias são inseridas no *transponder* que por sua vez os coloca devidamente espaçados e nas faixas de frequência recomendadas pela norma G.694.1. Os sinais são inseridos no multiplexador que os concentra e os transmite por um único enlace de fibra que é ligado na entrada do demultiplexador (vale lembrar que entre estes equipamentos pode haver um OADM que opere com comprimento de onda específico contido na fibra). Na saída do DEMUX os sinais, já separados, entram em outra placa *transponder* para que esta manipule os sinais e permita que cada receptor receba o sinal na forma a qual a sua respectiva tecnologia suporta.

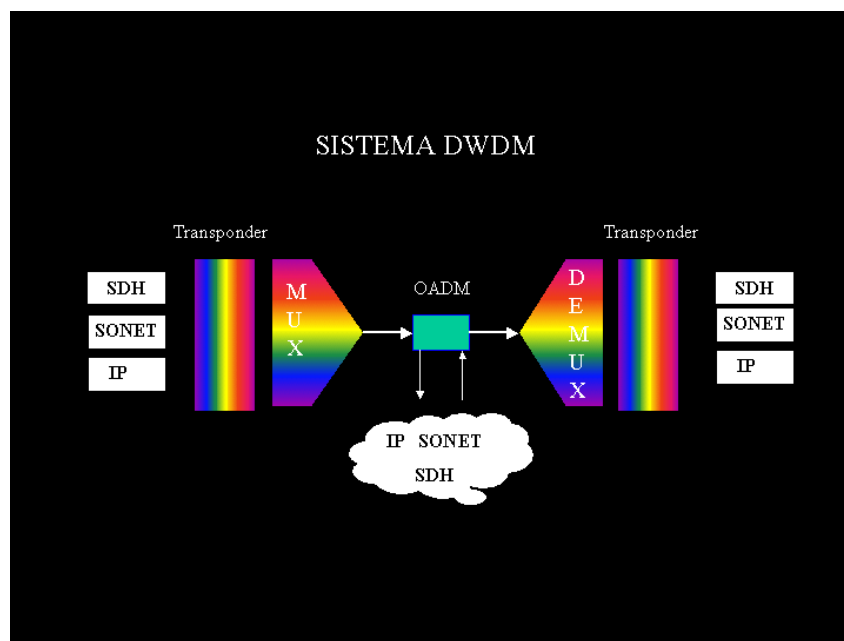


Figura 11 – Visão geral da tecnologia.

### 2.1.7. Topologias de Rede

As redes baseadas na tecnologia DWDM podem ter suas topologias com as seguintes configurações: ponto a ponto com ou sem OADM, anel e mista.

- **Ponto a ponto**

Topologias ponto-a-ponto (Fig. 12) podem ser implementadas com ou sem *OADM's*. Esta topologia se caracteriza por permitir altas taxas de bit com alta integridade



do sinal. A distância entre transmissores e receptores pode ser de centenas de quilômetros, e o número de amplificadores entre os extremos da rede costuma ser menor que 10 (número determinado pelas características da fibra e os tipos de distorções, as quais ela submete o sinal transmitido). Com a inserção dos OADM, redes com essa topologia passam a possuir a capacidade de retirar e inserir comprimentos de onda através do enlace ótico, proporcionando uma versatilidade muito grande ao sistema. A principal aplicação dessa topologia é para redes que necessitam transportar grande quantidade de bits de forma agregada (da ordem de Tb/s) por longas distâncias.

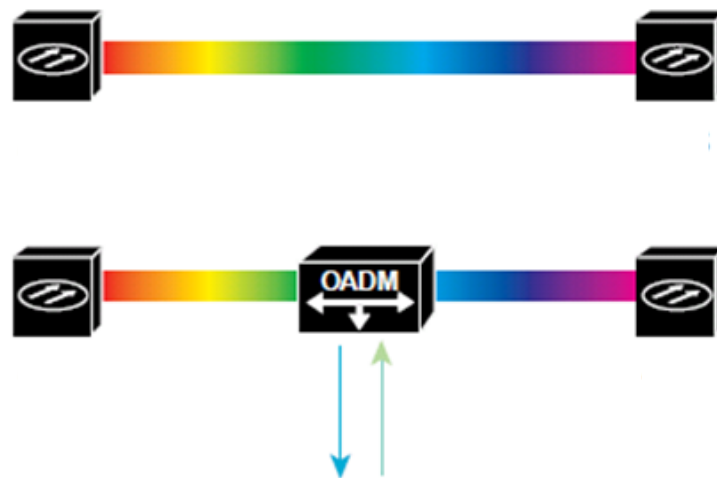


Figura 12 - Topologia ponto a ponto, sem e com OADM respectivamente.

- **Anel**

Uma rede DWDM com topologia em anel (Fig.13) consiste basicamente em uma fibra em anel que interconecta todos os nós pertencentes ao sistema; alguns sistemas apresentam dois anéis para efeito de proteção. A taxa de transmissão típica está entre 622 Mbps e 10 Gbps por canal. Nessa configuração há a necessidade da presença de uma estação *hub* onde todos os  $\lambda$ 's são iniciados, terminados e gerenciados. Os *hubs* possuem *optical add-drop multiplexers* que funcionam como portas de entrada e saída dos mais variados tráfegos suportados (STM-N, IP, vídeo etc.). Essas estações gerenciam todos os canais óticos atribuídos à transmissão entre os nós da rede e o tipo de tráfego transmitido.

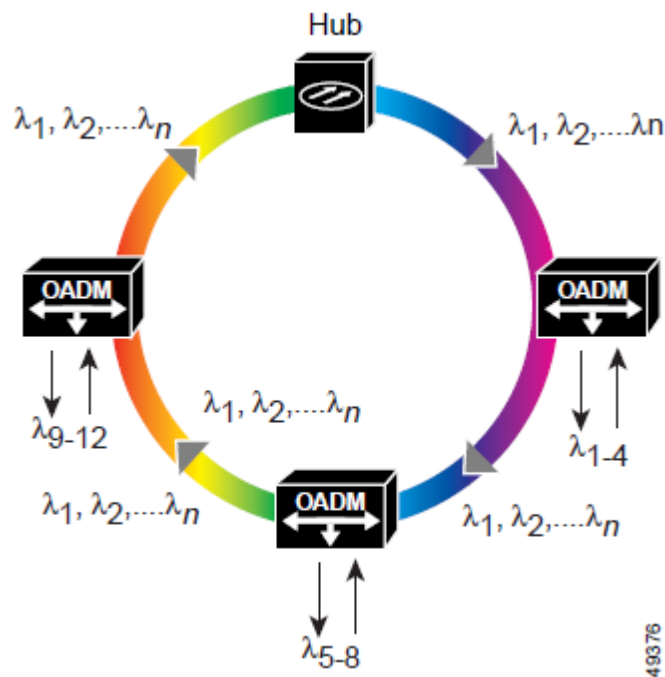
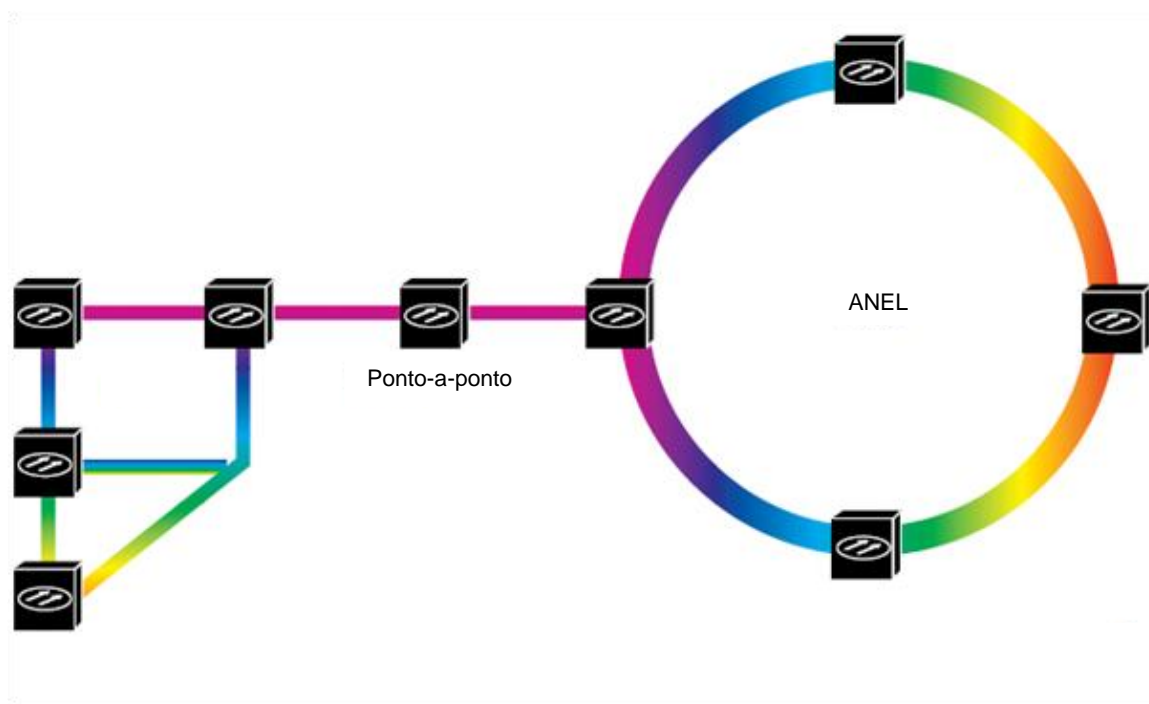


Figura 13 – Topologia em anel. [1]

- **Mista**

Com o desenvolvimento das redes ópticas surgem as topologias mistas (ponto a ponto + anel) (Fig. 14). A maior complexidade, no entanto exige um alto grau de inteligência da rede no que se diz respeito ao gerenciamento e aproveitamento da banda disponível.



## 2.2. Ruído *Shot*

Em um sistema de transmissão óptica existem limites físicos os quais devem ser considerados e controlados para um bom funcionamento do sistema. Um sistema WDM sofre a influência de vários fatores que atenuam o sinal dentre eles os ruídos shot e ASE (*Amplified Spontaneous Emission*).

O ruído shot ocorre, nos sistemas ópticos, quando o número de fótons de um sistema é pequeno o suficiente para dar origem a flutuações estatísticas detectáveis em uma medição. A magnitude desse ruído cresce com a magnitude média da intensidade da luz. Esse ruído possui distribuição de Poisson. [2]

Em um sistema óptico onde existe uma potência  $P$  que incide sobre o ruído *shot* pode ser pensado como sendo um ruído branco com uma densidade espectral plana. Assim, a foto corrente pode ser escrita por:  $I = \bar{I} + i_s$  onde  $i_s$  é a corrente gerada pelo ruído shot com média zero. [2]

## 2.3. Ruído ASE (*Amplified Spontaneous Emission*)

O ruído ASE é gerado por uma luz que, produzida por emissão espontânea, foi amplificada opticamente por um processo de emissão estimulada em um meio com ganho. Assim, processos de emissão espontânea que servem para aumentar o alcance dos enlaces quando são amplificadas podem atuar como ruído para o sinal que está sendo amplificado.

Como este ruído está relacionado com o processo de amplificação presente nos EDFA's, enlaces de longa distância com vários *spans* ópticos tendem a ter esse ruído como predominante.

## 2.4. BER (Bit error rate)

BER é a medida de qualidade fundamental de um enlace digital de telecomunicações e pode ser expressa como a relação entre o número de bits recebidos com erro e o número total de bits transmitidos. É utilizada para medir erros na transmissão de dados que

ocorrem por diversas razões como: indução eletromagnética, falhas de sincronização entre o transmissor e o receptor, defeitos de componentes, ruído etc. [2]

A equação padrão para a medição da BER é:

$$BER = (\text{número de bits errados})/(\text{número de bits transmitidos})$$

Assim se o meio entre um transmissor e o receptor é bom e a razão sinal ruído é alta, então a BER será bem pequena, possivelmente insignificante e não afetará sistema. Porém se detectado ruído no sistema, a BER deverá ser considerada.

Para sistemas ópticos, os erros de bit resultam normalmente de imperfeições nos componentes usados para fazer o enlace. Esses estão incluídos receptores, conectores e a fibra em si. No receptor óptico, devido aos fotodiodos e a possíveis amplificadores, o nível de ruído introduzido pode ser bem alto, tornando assim a BER um fator considerável. O equipamento utilizado para testar e medir a BER de um determinado sistema é denominado BERT.

Outro modo de medir a taxa de erro de bits em sistema de comunicação é usando o diagrama de olho. O diagrama de olho é chamado assim devido a sua forma, resulta da superposição de todas as formas possíveis do sinal na recepção, para o período de um símbolo. É uma técnica experimental qualitativa, de fácil implementação, que permite avaliar os efeitos da interferência intersimbólica e do ruído podendo ser relacionada com a taxa de erros de bits.

### 3. O laboratório Huawei Optix Lab

O laboratório é composto por dois nós DWDM e cada um desses possui os seguintes equipamentos: *transponders*, dispositivos de núcleo DWDM (Multiplexadores e Demultiplexadores) e os amplificadores. As figuras 16, 17 e 18 mostram como estão dispostos os equipamentos no laboratório.



Figura 16 – Transponders e placa de controle.



Figura 17 – Amplificadores e placa de monitoramento do desempenho ótico.

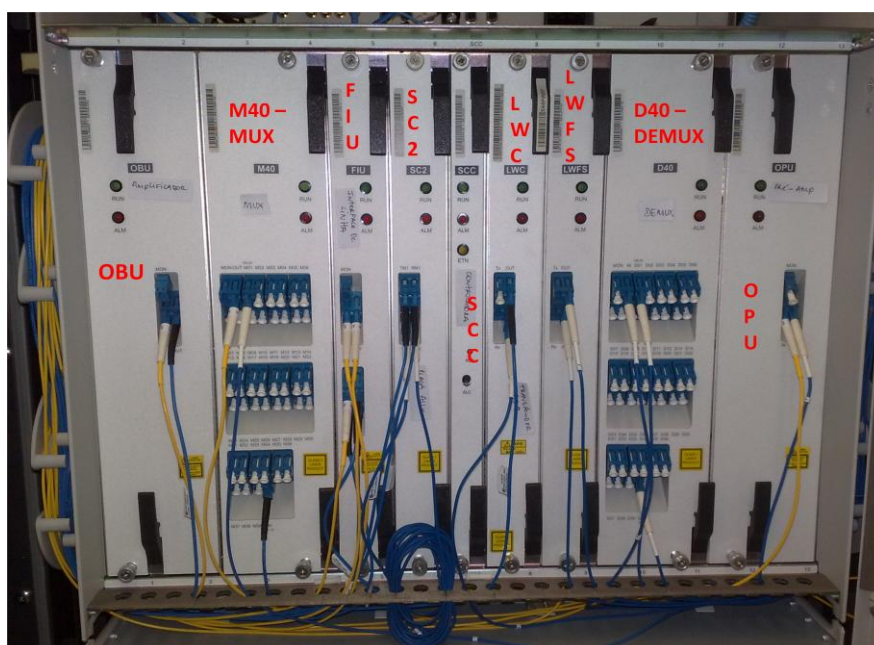


Figura 18 - Equipamentos de Núcleo DWDM.

## 3.1. Descrição das placas

### 3.1.1. *Transponders*

Os *transponders* têm papel crucial em qualquer sistema DWDM. No laboratório estão disponíveis: LDG, LWX, LWFS, LWC e TMRS, cada uma com suas funções específicas e respectivas tecnologias suportadas conforme mostrado na tabela 4. A Figura

19 mostra um esquemático geral dos transponders que se diferenciam apenas pelas interfaces de entrada.

Tabela 4 - Relação dos transponders e interface de entrada.

Transponder	Interface de entrada
LDG	Duas entradas Gibabit ethernet
LWX	34 Mbit/s a 2,7 Gbit/s
LWFS	STM 64/OC192
LWC	STM 64/OC-48/OTU1
TRMS	G 694.1

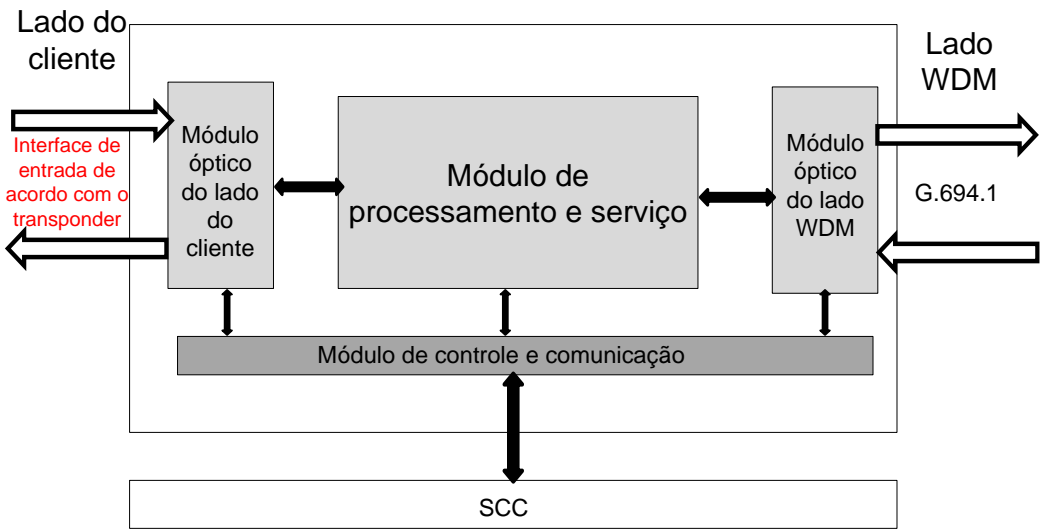


Figura 19 - Esquemático geral de um transponder.

Cada transponder possui: uma interface de entrada, que recebe o sinal do demultiplexador, e uma interface de saída que transmite o sinal para o multiplexador e também interfaces que transmitem e recebem sinais de serviços do cliente. Conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Interfaces gerais dos transponders

Interface	Tipo	Função
IN	C	Recebe o sinal de um demultiplexador óptico.
OUT	C	Transmite o sinal até um multiplexador óptico.
TX	C	Transmite o sinal de serviço até o equipamento do “cliente”.
RX	C	Recebe o sinal de serviço do equipamento do “cliente”.

### 3.1.1.1 O transponder LDG

O LDG é um tipo de *transponder* óptico, onde é realizada a conversão entre dois sinais GE (*Gigabit Ethernet*) para sinais WDM recomendados pela ITU-T. Essa placa realiza a conversão do comprimento de onda e o “*cross-connection*” na camada elétrica. [5]

A tabela 6 resume as funções específicas do LDG.

**Tabela 6 - Funções LDG.[5]**

Funções	Descrição
Função Básica	Multiplexa dois canais de sinais GE em um canal de sinais STM-16/OC-48. Converte os sinais em um sinal WDM ITU-T G.694.1.
Tipo de banda	- Comprimento de onda fixo: 48 canais em banda C. - Comprimento de onda variável: 80 canais em banda C
Espaçamento dos canais	- Comprimento de onda fixo: 100 GHz, - Comprimento de onda variável: 50 GHz.

Na transmissão, o módulo de entrada do LDG recebe dois canais de sinais GE conforme IEEE 802.3z. Depois converte os sinais ópticos em sinais elétricos e envia para o módulo de processamento. O módulo de processamento monitora o desempenho dos serviços do lado cliente e então multiplexa os dois sinais em um canal de sinais STM-16/OC-48 e envia para o módulo WDM. O módulo WDM converte o sinal em um sinal WDM ITU-T G.694.1 e envia para o lado WDM do sistema. [5]

Considerando a recepção, o lado WDM do LDG recebe um canal de sinais STM - 16/OC-48 e os converte em sinais elétricos. O módulo de processamento de serviços demultiplexa os sinais em dois canais de sinais, extrai e processa os bytes de overhead. Então os dois canais de sinais são enviados para o módulo de saída. Este módulo converte os canais de sinais elétricos em sinais ópticos e os envia para o equipamento do cliente. [5]

As Tabelas 7 e 8 apresentam as especificações técnicas do transponder LDG.

**Tabela 7 - Especificações do módulo do lado cliente.[5]**

Parâmetros	Unidade	Especificações			
		1000 BASE-SX	1000 BASE- LX-10 km	1000 BASE- LX-40 km	1000 BASE- ZX-80 km
Distância suportada	Km	0,5 km	10 km	40 km	80 km



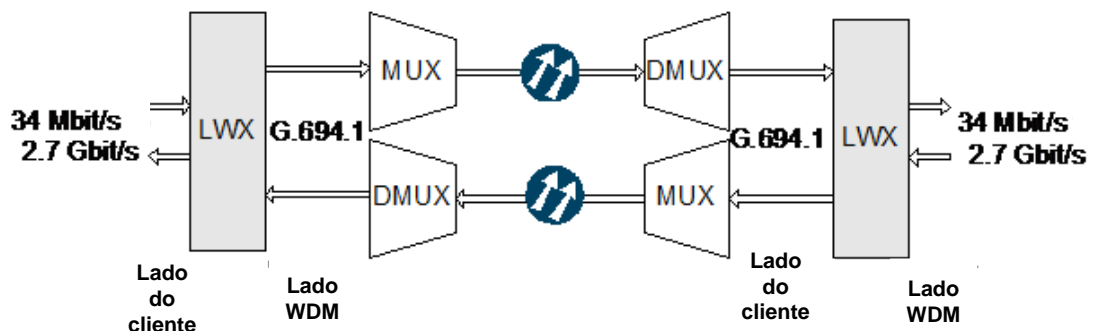
Especificações do transmissor					
Faixa de operação do comprimento de onda	Nm	770 – 860	1270 – 1355	1270 – 1355	1500 – 1580
Potência máxima lançada	dBm	-2.5	-3	3	5
Potência mínima lançada	dBm	-9.5	-11.5	-4.5	-2
Especificações do receptor					
Faixa de operação do comprimento de onda	Nm	770 – 860	1270 – 1355	1270 – 1355	1500 – 1580
Sensibilidade do receptor	dBm	-17	-19	-21	-21

Tabela 8 – Especificações do lado WDM.[5]

Item	Unidade	Valor				
Especificações do transmissor						
Máxima potência lançada	dBm	−4	−4	0	0	0
Mínima potência lançada	dBm	−8	−8	−5	−5	−4
Especificações do receptor						
Faixa de operação do comprimento de onda	Nm	1200 a 1650				
Sensibilidade do receptor	dBm	- 18	- 25	- 18	- 25	−30

### 3.1.1.2 O transponder LWX

O LWX é principalmente usado para acessar a taxa arbitrária de sinais ópticos (34 Mbit/s a 2,7 Gbit/s) de 770 nm a 1565 nm e converter esses sinais em sinais WDM ITU-T G.649.1 (Fig.20). Essa placa também realiza a conversão do comprimento de onda. Acessa serviços não comuns, como PDH (34Mbit/s, 45 Mbit/s, 140 MBit/s interface óptica), ESCON (enterprise system connection) (200 Mbit/s), FC (fiber Channel) ( 1,06 Gbit/s, 2,12 Gbit/s). [5]



**Figura 20 - Sistema WDM com LWX.[5]**

As funções básicas do LWX são descritas na Tabela 9.

**Tabela 9 – Funções do LWX.[5]**

<b>Funções</b>	<b>Descrição</b>
Espaçamento dos canais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NRZ, comprimento de onda fixo: 100 GHz,</li> <li>• NRZ, comprimento de onda variável: 50 GHz.</li> </ul>
Tipo de banda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprimento de onda fixo: 48 canais em banda C.</li> <li>• Comprimento de onda variável: 80 canais em banda C</li> </ul>
Função de comprimento de onda variável	Suporta o módulo de comprimento de onda variável. O comprimento de onda de saída do módulo é variável entre 192,1 THz e 196,05 THz totalizando 80 comprimentos de onda em um intervalo de 50 GHz.

Na direção da transmissão, o módulo de entrada do LWX recebe o canal de sinais de taxa entre 34Mbit/s e 2,7 Gbit/s e converte em um canal de sinais elétricos antes de mandar para o módulo de processamento de serviço. O módulo de processamento transmite o sinal transparentemente e monitora a desempenho do módulo de entrada, então o sinal é enviado para o módulo WDM que converte o sinal elétrico em um sinal WDM ITU-T G.694.1. [5]

Na direção da recepção do LWX, o módulo WDM recebe o canal de sinais ópticos de taxa entre 34Mbit/s e 2,7 Gbit/s e converte em um canal de sinais elétricos e envia para o módulo de processamento de serviços que envia os sinais transparentemente para o módulo do lado do cliente que converte os sinais elétricos em sinais ópticos. [5]

As Tabelas 10 e 11 apresentam as especificações do LWX para comprimento de onda fixo e variável.

**Tabela 10 - Especificações para o módulo óptico com comprimento de onda fixo do LWX.[5]**

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Especificação</b>
Espaçamento do canal	GHz	100
<b>Especificação do transmissor</b>		
Máxima potência média lançada	dBm	0
Mínima potência média lançada	dBm	-10
<b>Especificações do receptor</b>		



Tipo de banda	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprimento de onda fixo: 80 canais em banda C;</li> <li>Comprimento de onda variável: 192 canais em banda C.</li> </ul>
Espaçamento dos canais	<ul style="list-style-type: none"> <li>25 GHz a 100 GHz</li> </ul>
Função do sistema com comprimento de onda variável	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suporta o módulo óptico de comprimento de onda variável. <ul style="list-style-type: none"> <li>25 GHz : O comprimento de onda WDM na saída do módulo é variável entre 191,300 THz e 196,075 THz, totalizando 192 comprimentos de onda.</li> <li>50 GHz : O comprimento de onda WDM na saída do módulo é variável entre 192,10 THz e 196,05 THz, totalizando 80 comprimentos de onda.</li> </ul> </li> </ul>

Na direção da transmissão do LWFS, o módulo de entrada recebe um canal de sinais STM-64/OC-192 e converte para um canal de sinais elétricos e este sinal é enviado para o módulo de processamento. O módulo de processamento monitora o desempenho do módulo de entrada e envia os sinais para o módulo WDM. O módulo WDM então irá converter o sinal elétrico em um sinal WDM ITU-T G.694.1.

Na direção de recepção do LWFS, o módulo WDM recebe os sinais ópticos OTU2, converte em sinais elétricos e os envia para o módulo de processamento. O módulo de processamento extrai e processa os bytes de overhead, monitora o módulo WDM e envia para o módulo de saída do sistema. Os sinais elétricos então são convertidos em sinais ópticos e enviados para o equipamento do cliente. [5]

A Tabela 13 apresenta as especificações do LWFS.

**Tabela- 13 – Parâmetros LWFS.[5]**

Parâmetros	Unidade	Especificações		
Distancia suportada	–	2 km	25 km	40 km
<b>Especificações do transmissor</b>				
Faixa de operação do comprimento de onda	nm	1290–1330	1530–1565	1530–1565
Máxima potência média lançada	dBm	–1	–1	+2
Mínima potência média lançada	dBm	–6	–5	–1
<b>Especificações do receptor</b>				
Faixa de operação do comprimento de onda	nm	1200 –	1200 –	1200

		1650	1650	– 1650
Sensibilidade do receptor	dBm	–11	–14	–14

### 3.1.1.4 O transponder LWC

O LWC é um *transponder* óptico que acessa um sinal STM64/OC-48/OTU1 conforme com ITU-T G.957 no lado do cliente e converte em sinais OTU1 com saída WDM de comprimento de onda padrão com ITU-T G.694.1 (Fig.22). [5]

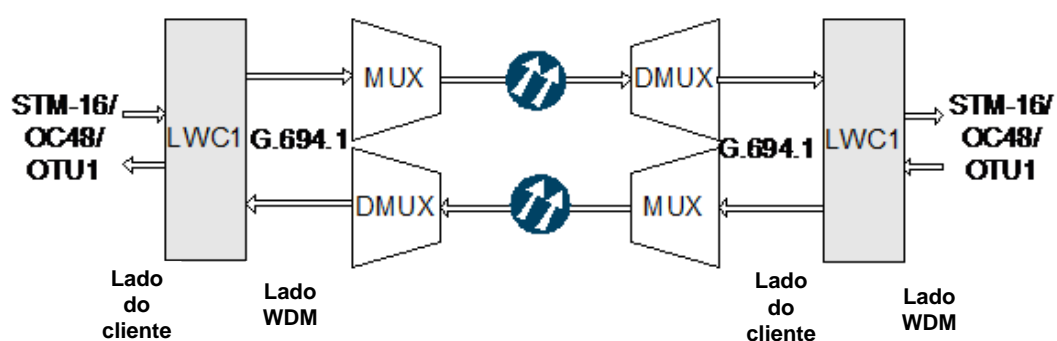


Figura 22 – Sistema WDM com LWC.[5]

A Tabela 14 resume as funções básicas do LWC bem como algumas características.

Tabela 14 - Funções LWC.[5]

Funções	Descrição
Tipo da banda	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprimento de onda fixo: 48 canais em banda C;</li> <li>Comprimento de onda variável: 80 canais em banda C.</li> </ul>
Espaçamento dos canais	<ul style="list-style-type: none"> <li>NRZ, comprimento de onda fixo: 100 GHz</li> <li>NRZ, comprimento de onda variável: 50 GHz</li> </ul>

O módulo do lado do cliente do LWC recebe o canal de sinais STM-16/OC-48/OTU1 e converte para um canal de sinais elétricos e envia para o módulo de processamento. O módulo de processamento monitora o desempenho do serviço do lado do cliente e então envia o sinal para o módulo WDM. O lado WDM converte os sinais

elétricos em sinais ópticos ITU-T 694.1. O procedimento reverso é feito para a recepção. [5]

A Tabela 15 resume as especificações do *transponder* LWC.

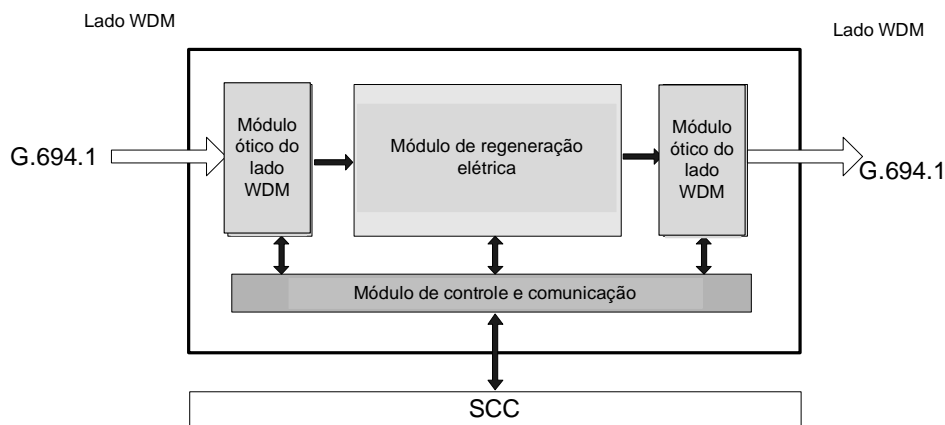
**Tabela 15 - Especificações LWC.[5]**

Parâmetros	Unidade	Especificações			
Distância suportada	–	2 km	15 km	40 km	80 km
<b>Especificações do transmissor</b>					
Faixa de operação do comprimento de onda	Nm	1266 – 1360	1260–1360	1280–1335	1500 – 1580
Máxima potência média lançada	dBm	–3	0	+3	+3
Mínima potência média lançada	dBm	–10	–5	–2	–2
<b>Especificações do receptor</b>					
Faixa de operação do comprimento de onda	Nm	1200–1650	1200–1650	1200–1650	1200 – 1650
Sensibilidade do receptor	dBm	–18	–18	–27	–28

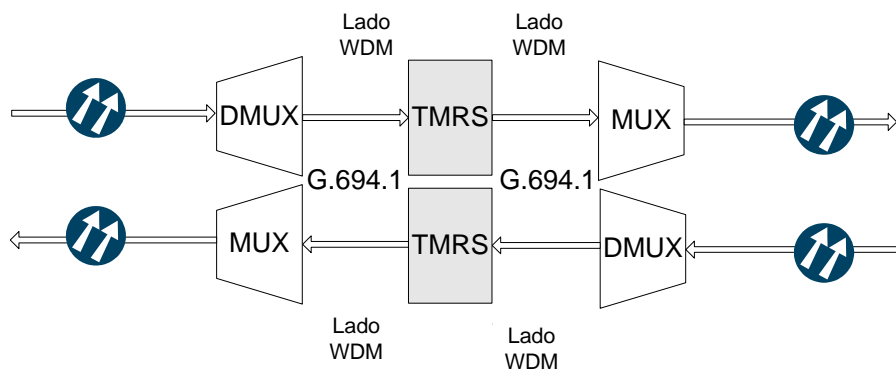
### 3.1.1.5 O *transponder* TMRS

É também um *transponder* óptico que é utilizado principalmente para realizar a regeneração de sinais ópticos unidirecionais, sendo utilizado em uma estação REG para regenerar os sinais correspondentes. Possui também a função de comprimento de onda variável.[5]

As figuras 23 e 24 mostram o esquemático interno de TMRS e um exemplo de seu uso no sistema.



**Figura 23 - Esquemático interno do TMRS.**



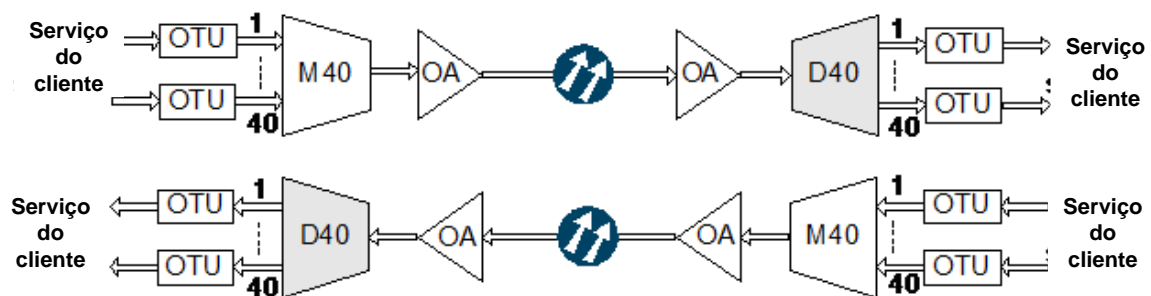
**Figura 24 - Exemplo de uso do TMRS na rede.**

Como a placa possui a capacidade de regeneração unidirecional, o TMRS processa apenas um canal. O módulo óptico WDM recebe um canal de sinais WDM padrão (ITU-T G.694.1) e converte em um canal de sinais elétricos. Em seguida, os sinais elétricos são reformulados, regenerados e sincronizados pelo módulo de regeneração elétrica. Depois os sinais é enviado para o módulo óptico WDM e então é convertido em um canal de sinais ópticos e enviado para o lado WDM.

### 3.1.2. Multiplexadores e Demultiplexadores.

O laboratório têm como dispositivos de multiplexação e demultiplexação as placas M40 e D40, respectivamente.

A placa M40 (Fig.25) nada mais é do que um multiplexador de onde um sinal óptico poderá multiplexar no máximo 40 sinais WDM. E a placa D40 (Fig.25) é um demultiplexador que irá demultiplexar um sinal óptico até no máximo 40 sinais WDM recomendados pela ITU-T. [5]

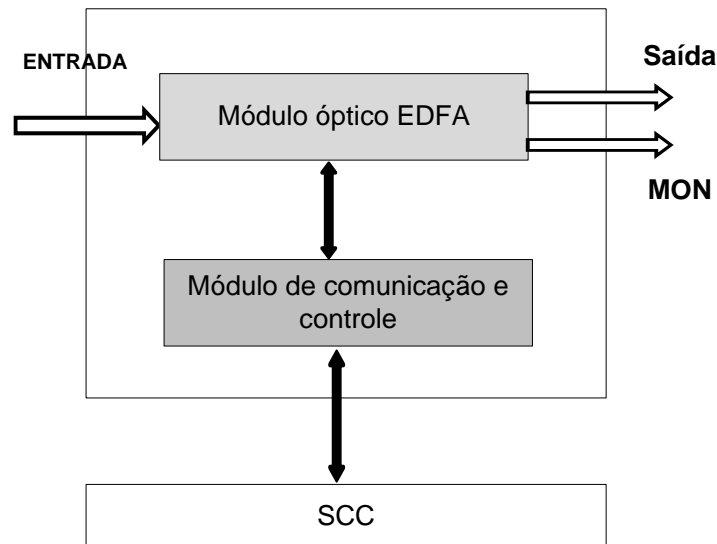


**Figura 25 – Sistema WDM com M40 e D40.[5]**

### 3.1.3. Amplificadores

Os amplificadores presentes no laboratório são: OAU, OBU e OPU. Cada um tem seu uso específico de acordo com as configurações *in line*, *Booster* e *pré*. [5]

Cada amplificador é formado por um módulo óptico EDFA e um módulo de controle e comunicação, (Fig. 26).



**Figura 26 – Esquemático geral dos amplificadores**

Tanto os amplificadores OAU e OBU como o OPU possuem as mesmas entradas e saídas e também possuem uma saída de monitoramento, como mostrado na Tabela 16.

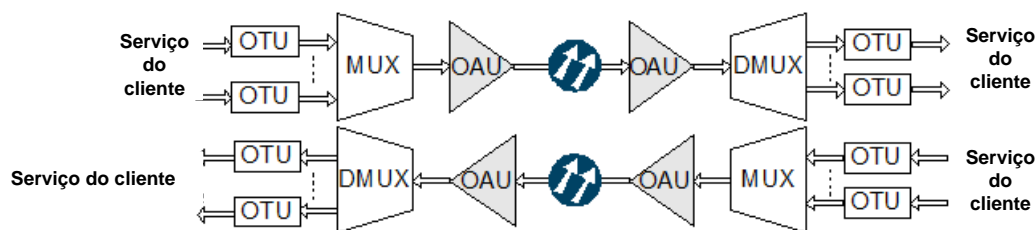
**Tabela 16 - Interfaces gerais dos amplificadores.**

Interface	Descrição
IN	Conecta-se ao módulo desejado do sistema para receber os sinais que serão amplificados..
OUT	Conectado a FIU ou ao lado da linha para transmitir sinais amplificados.
MON	Conectado diretamente a gerência ou a um analisador de espectro.

#### 3.1.3.1 OAU – *Optical Amplifier Unit*

O OAU é usado para amplificar sinais. Pode ser usado tanto na transmissão, quanto na recepção. A Figura 27 mostra a aplicação do OAU em um sistema WDM.





**Figura 27 – Sistema WDM com OAU.[5]**

A função básica do OAU é amplificar os sinais ópticos em banda C e estender a banda ao mesmo tempo. A faixa total de comprimentos de onda vai de 1528,96 nm a 1567,13 nm. A distância de transmissão pode ir de 80 km a 120 km sem regeneração.

O OAU recebe os sinais multiplexados e o módulo óptico EDFA amplifica os sinais. O sinal sai pela interface OUT e a interface MON é responsável por supervisionar o sinal na saída.

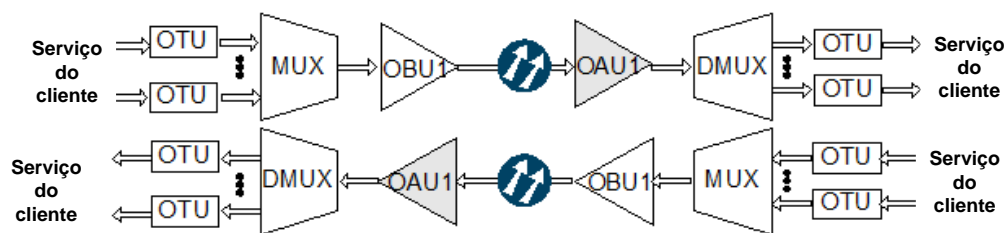
A Tabela 17 apresenta as especificações do OAU que serão de grande importância na realização dos experimentos.

**Tabela 17 - Especificações OAU.[5]**

Item	Unidade	Parâmetros		
Ganho nominal	-	23 dB	28 dB	33 dB
Faixa do comprimento de onda	nm	1570.42 a 1603.57	1570.42 a 1603.57	1570.42 a 1603.57
Faixa da potência de entrada total	dBm	-32 a -3	-32 a -8	-32 a -13
Figura de ruído (NF)	dB	< 5.5	< 5.5	< 5.5
Potência máxima de saída	dBm	20	20	20
Ganho do canal	dB	21 a 26	26 a 31	31 a 36

### 3.1.3.2 OBU – *Optical booster unit*

O OBU é também usado para amplificar sinais, porém este é usado usualmente na transmissão do sinal (Fig. 28). O OBU possui, além da função de amplificar sinais, a função de monitoramento da performance óptica online, função de ganho fixo e alarmes e monitoramento de eventos. [5]



**Figura 28 – Sistema WDM com OBU no transmissor.[5]**

As funções básicas do amplificador *booster* estão descritas por: pode amplificar os sinais ópticos em banda C e estender a banda ao mesmo tempo. A faixa total de comprimentos de onda vai de 1528,96 nm a 1567,13 nm, a distância de transmissão pode ir de 80 km a 120 km sem regeneração, provê uma interface para monitoramento online. Uma pequena quantia do sinal pode sair para um analisador de espectro.

O OBU recebe o sinal multiplexado e o módulo óptico EDFA amplifica o sinal. Os sinais amplificados são enviados para interface OUT. A interface MON é usada para monitoramento online do sinal. [5]

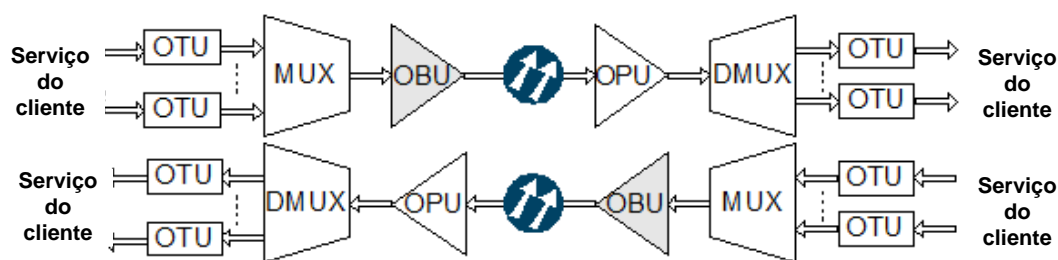
A Tabela 18 resume algumas especificações do OBU que serão de grande utilidade nos experimentos.

**Tabela 18 - Especificações OBU.[5]**

Item		Unidade	Parâmetros
Faixa do comprimento de onda		Nm	157,42 a 1603,57
Faixa de potência de entrada	40 canais	dBm	-22 a -19
	80 canais	dBm	-22
Figura de ruído (NF)		dB	< 6
Potência máxima de saída		dBm	20
Ganho do canal		dB	23

### 3.1.3.3 OPU – *Optical preamplifier unit*

O OPU é principalmente usado para amplificar sinais banda C. É usualmente usado na recepção do sinal (Fig 29). Possui também alarmes e monitoramento do desempenho do sistema.



**Figura 29 – Sistema WDM com OPU no receptor.[5]**

As funções básicas do pré-amplificador são: pode amplificar os sinais ópticos em banda C e estender a banda ao mesmo tempo. A faixa total de comprimentos de onda vai de 1528,96 nm a 1567,13 nm, provê uma interface para monitoramento online. Uma pequena quantia do sinal pode sair para um analisador de espectro.

O OPU recebe o sinal multiplexado e o módulo óptico EDFA amplifica o sinal os sinais amplificados são enviados para interface OUT. A interface MON é usada para monitoramento online do sinal. [5]

A Tabela 19 resume as especificações para o OPU.

**Tabela 19 - Especificações OPU.[5]**

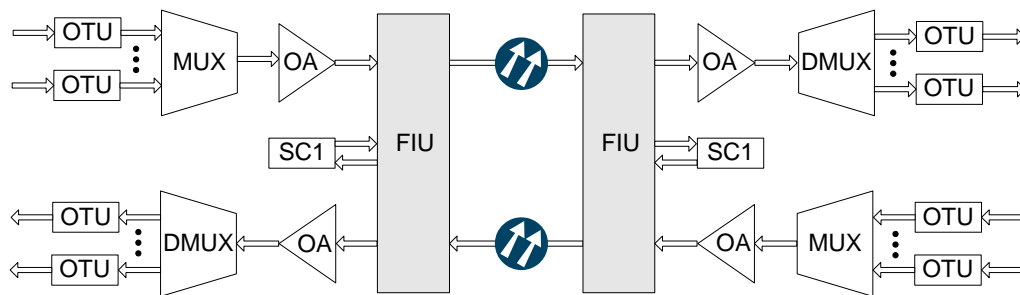
Item		Unidade	Parâmetro
Faixa do comprimento de onda		nm	1529.16 a 1560.61
Faixa da potência de entrada de um canal	40 canais	dBm	-32 a -24
	80 canais	dBm	-32 a -27
	160 canais	dBm	-32 a -30
Figura de ruído (NF)		dB	<5.5
Potência máxima de saída		dBm	15
Ganho do canal		dB	23

### 3.1.4. Módulos de Monitoramento e Controle

Estes componentes estão presentes em todos os três módulos dos nós DWDM e desempenham o papel de supervisão e interface com o software de gerência. São eles: FIU, SCC e SC2. [5]

### 3.1.4.1 FIU – *Fiber interface unit*:

A FIU é um tipo de multiplexador e demultiplexador óptico (Fig.30). Essa placa realiza a multiplexação e demultiplexação dos sinais transmitidos por um caminho óptico principal e por um canal óptico que tem como função a supervisão do sistema. A FIU também possui uma função de monitoramento do desempenho óptico. [5]



**Figura 30 – Sistema WDM com FIU (exemplo).[5]**

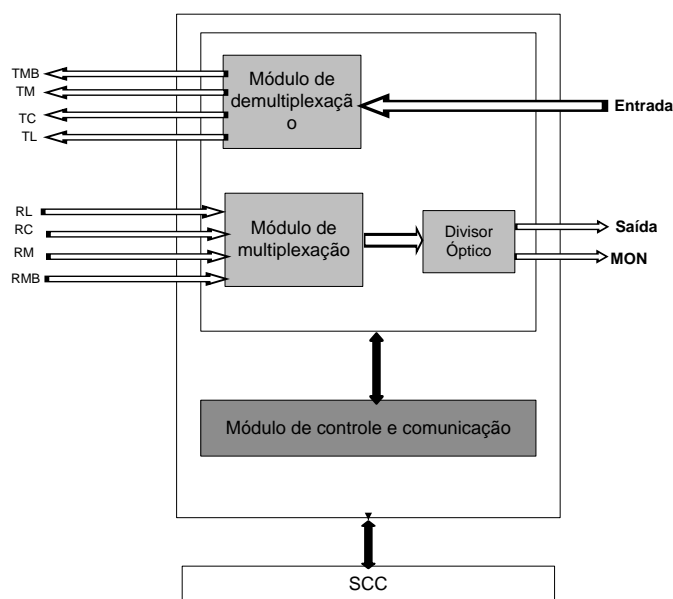
A placa de linha FIU tem como função básica a multiplexação ou demultiplexação do canal em banda C e supervisionar o canal. Possui também a função de detectar potência óptica de entrada.

A FIU consiste em um módulo de demultiplexação, módulo de multiplexação, um divisor óptico (*optical splitter*) e um módulo de comunicação, conforme a Figura 31.

**A) Módulo de demultiplexação:** O sinal óptico da linha é demultiplexado e um caminho principal e um canal de supervisão, então a saída é através da interface TC e TM respectivamente.

**B) Módulo de multiplexação:** O sinal principal da interface RC e o sinal de supervisão da interface RM são multiplexados e então enviados ao módulo de splitter óptico.

**C) Módulo de divisão óptico:** Este módulo recebe o sinal do módulo de multiplexação e divide-o em dois sinais de potências diferentes. O sinal principal sai pela interface OUT e é transmitido pela linha e o outro sinal sai pela interface MON para detecção e monitoramento do espectro óptico. [5]

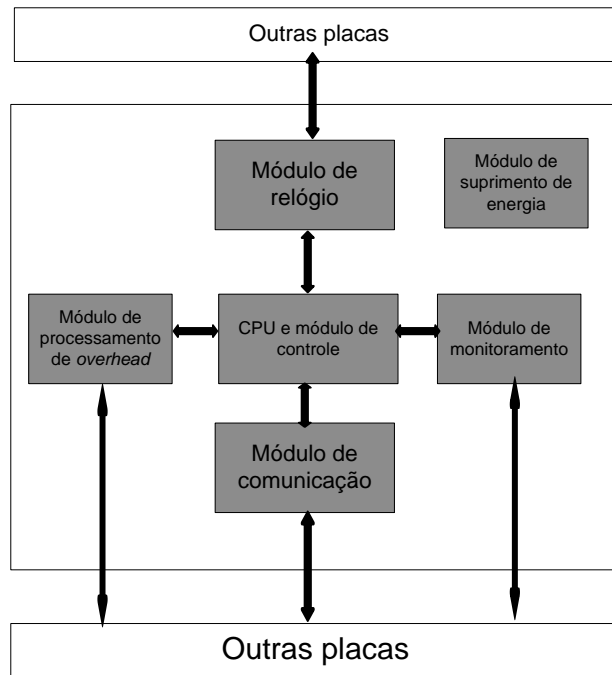


**Figura 31 – FIU em módulos.[5]**

#### **3.1.4.2 SCC – *System control and communication unit***

O SCC trabalha com a rede de sistema de gerenciamento para gerenciar cada placa. O SCC realiza a comunicação entre os equipamentos.

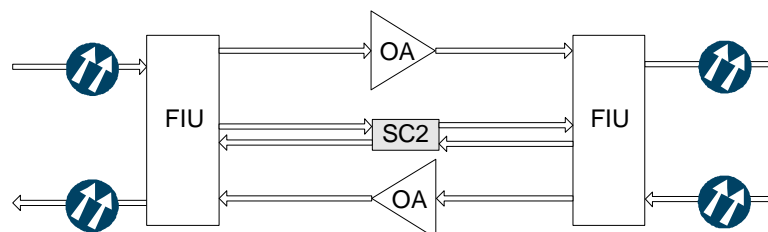
O SCC possui diversas funções básicas como (Fig.32) : Comunica com as placas do elemento de rede (NE), e executa as configurações da placa e coleta os dados de desempenho de alarme das placas; comunicam-se com as placas do elemento de rede (NE), e executa as configurações da placa e coleta os dados de desempenho de alarme das placa e por último recebe sinais de relógio mandados e confere sincronismo.



**Figura 32 – Descrição em módulos de um SCC.[5]**

### 3.1.4.3 SC2

A placa SC2 processa dois canais de supervisão (Fig.33) . O SC2 transmite e extrai as informações de overhead do sistema processa a informação e manda para o SCC. [5]



**Figura 33 – Esquemático com SC2.[5]**

AS funções básicas do SC2 são: recebe, processa e transmite dois sinais ópticos de supervisão.

O módulo de recebimento óptico do SC2 recebe o sinal de supervisão que vem da FIU. E faz a conversão O/E e envia o sinal convertido para o módulo de processamento de overhead e relógio. O módulo óptico de recebimento recebe o sinal elétrico tratado do módulo de processamento de overhead e relógio faz a conversão E/O e envia o sinal convertido para a FIU. [5]

## 3.2. Sistema de Gerência iManager T2000

O sistema de gerência é uma ferramenta responsável por monitorar e gerenciar os equipamentos da rede garantindo seu funcionamento normal. Através da ferramenta, é possível visualizar a topologia da rede, o aparecimento de alarmes, o estado da rede e configurar remotamente diversas funcionalidades dos equipamentos. O laboratório está equipado com o *software* de gerência iManager T2000 Huawei.

As funcionalidades básicas do sistema iManager T2000 são apresentadas a seguir.

### 3.2.1. Inicialização

O T2000 utiliza uma arquitetura cliente-servidor e um modo multiusuário padrão. A senha de usuário do Windows XP é: 123 + (SHIFT+123) + abc. Para inicializar o programa, primeiramente deve-se iniciar o banco de dados SQL. Clique com o botão direito do mouse no ícone na barra do Windows, localizada no canto inferior direito da área de trabalho, e selecione **Start**. Em seguida, o servidor T2000 deve ser iniciado. Duplo clique no ícone **T2000 Server** localizado na área de trabalho. O nome de usuário padrão é **admin** e a senha padrão é **T2000** (Fig. 34). O campo **Server** deve ser preenchido como **Local**. Aguarde alguns instantes até que os serviços *Ems Server*, *Schedulesrv Server*, *Security Server*, *Syslog Agent*, *Topo Server*, *Database Server Process*, e *Toolkit Server* estejam com o status **Running**.



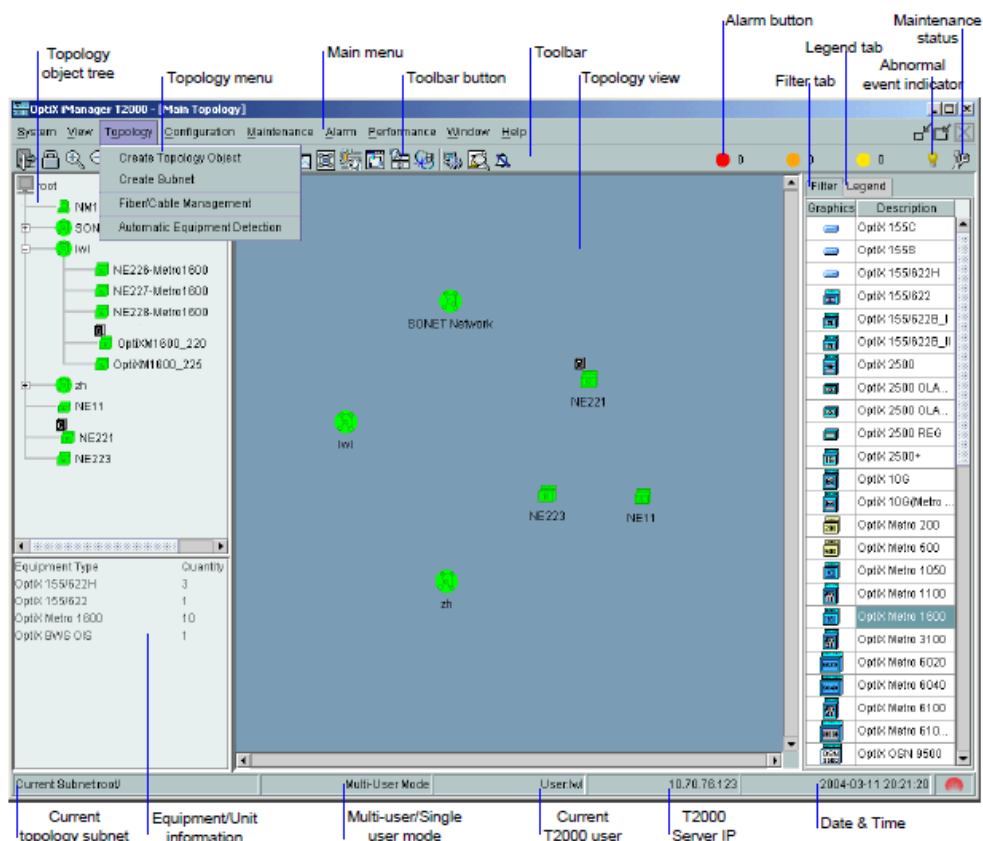
Figura 34 – Login

Uma vez que o servidor estiver completamente operacional, clique no ícone **T2000 Client** na área de trabalho para executar a versão cliente do software. O nome de usuário e a senha são por padrão **admin** e **T2000** respectivamente. Antes de desligar o servidor é necessário sair do cliente. No cliente, clique em **File → Exit** no Menu principal e clique **OK**. No servidor, clique em **System → Shutdown System** para fechar o T2000 Server.

### 3.2.2. Janelas

O sistema de gerência é composto por vários tipos de janelas de visualização que possibilitam monitorar com precisão um atributo desejado. As principais janelas do sistema Manager T2000 são: *Main Topology*, *Equipment Maintenance Console*, *Protection Network View*, *Trail View*, *DCN view*, *custom view*, *NE Panel*, *Browse Alarm and Event* e *Browse Performance*. Elas são apresentadas a seguir:

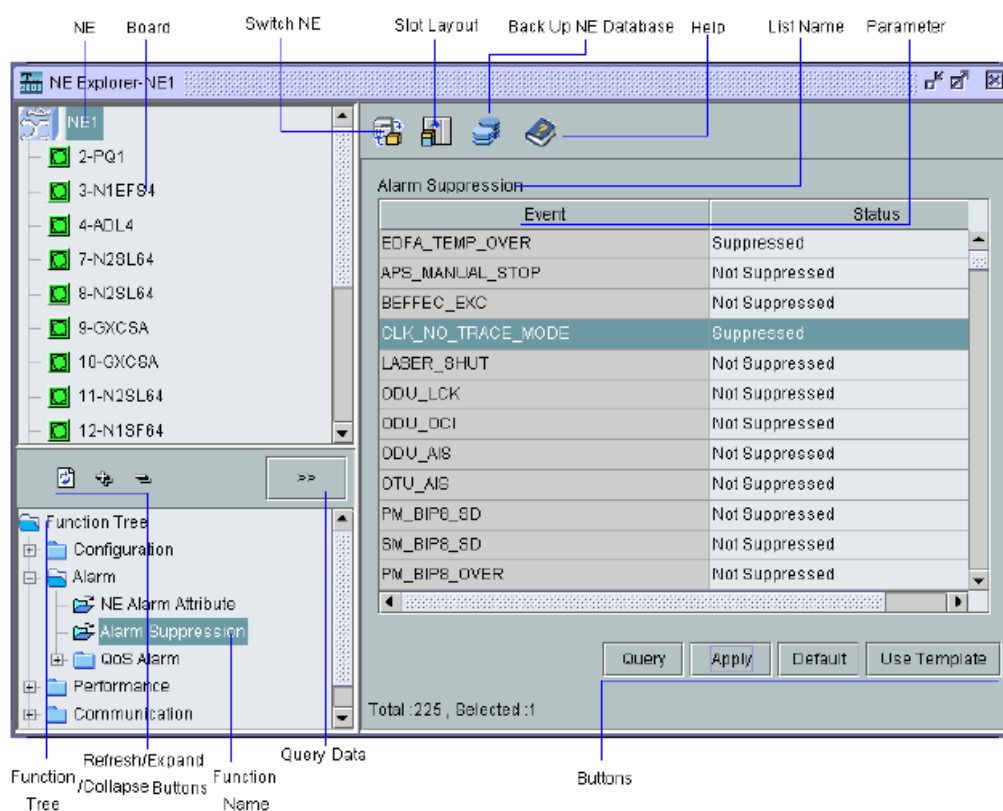
A interface principal e padrão do cliente T2000 é a janela *Main Topology* (Figura 35). Todas as funções de gerenciamento de topologia podem ser acessadas a partir dessa janela. Essas funções incluem a criação de objetos da topologia, subredes, fibras, cabos e a procura de equipamentos existentes na rede. Para ir para a visualização da janela *Main Topology*, selecione **Window → Main Topology** no Menu principal.





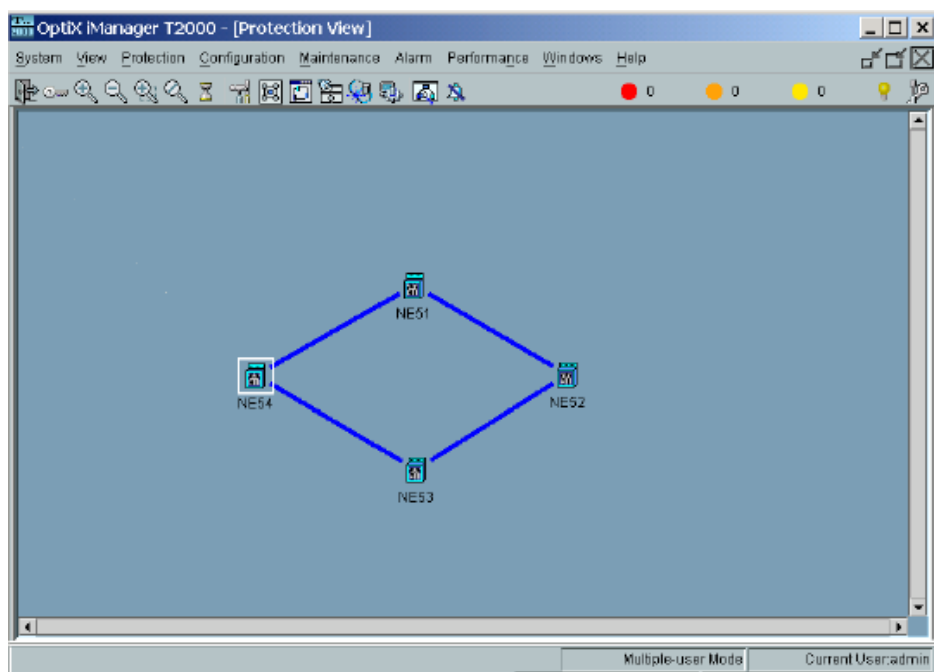
**Figura 35 – Interface gráfica *Main Topology***

A janela **NE Explorer** (Figura 36) é a principal janela utilizada para gerenciar equipamentos OptiX. Nessa janela, o usuário é capaz de configurar, gerenciar e manter individualmente o equipamento de rede. O **NE Explorer** contém uma árvore de funções (*Function Tree*) que facilita bastante as operações. Para visualizar uma janela de configuração de um determinado objeto, o usuário pode selecionar o objeto e selecionar a função desejada na árvore de funções. Para visualizar o **WDM NE Explorer**, clique com o botão direito em um equipamento de rede na *Main Topology* e escolha **NE Explorer** no Menu.



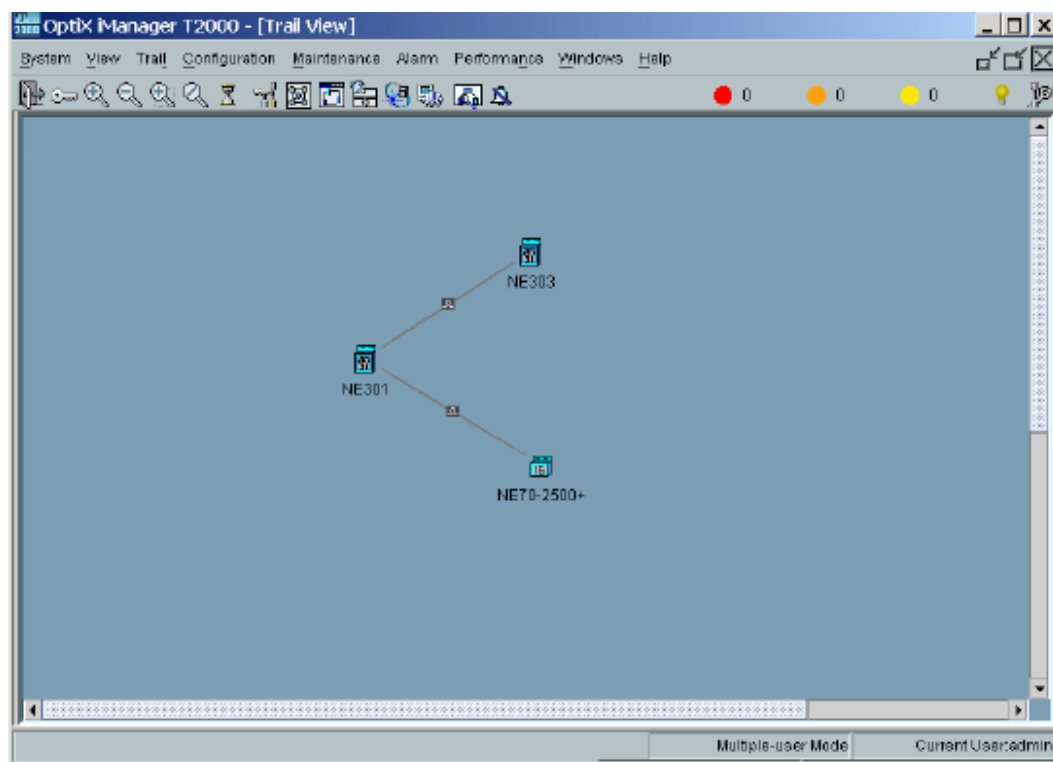
**Figura 36 – Janela *NE Explorer***

A janela **Protection View** (Figura 37) permite a procura, visualização, configuração e o gerenciamento da subrede de proteção assim como o gerenciamento de NNIs dos nós independentes. Para abrir a janela **Protection View** selecione **Configuration** → **Protection View** no Menu principal.



**Figura 37 – Janela *Protection View***

A janela **Trail View** (Fig. 38) possibilita a procura, criação, configuração, e gerenciamento das funções de trilhas (*trails*). Para visualizar a **Trail View** selecione **Trail** → **Trail View** no Menu principal.



**Figura 38 – Janela *Trail View***

A janela **DCN (Data Communication Network) view** (Figura 39) permite implementar a transmissão da informação de gerência, provendo uma troca de informação entre os NN (*Network Management*) e os NEs (*Network Elements*).

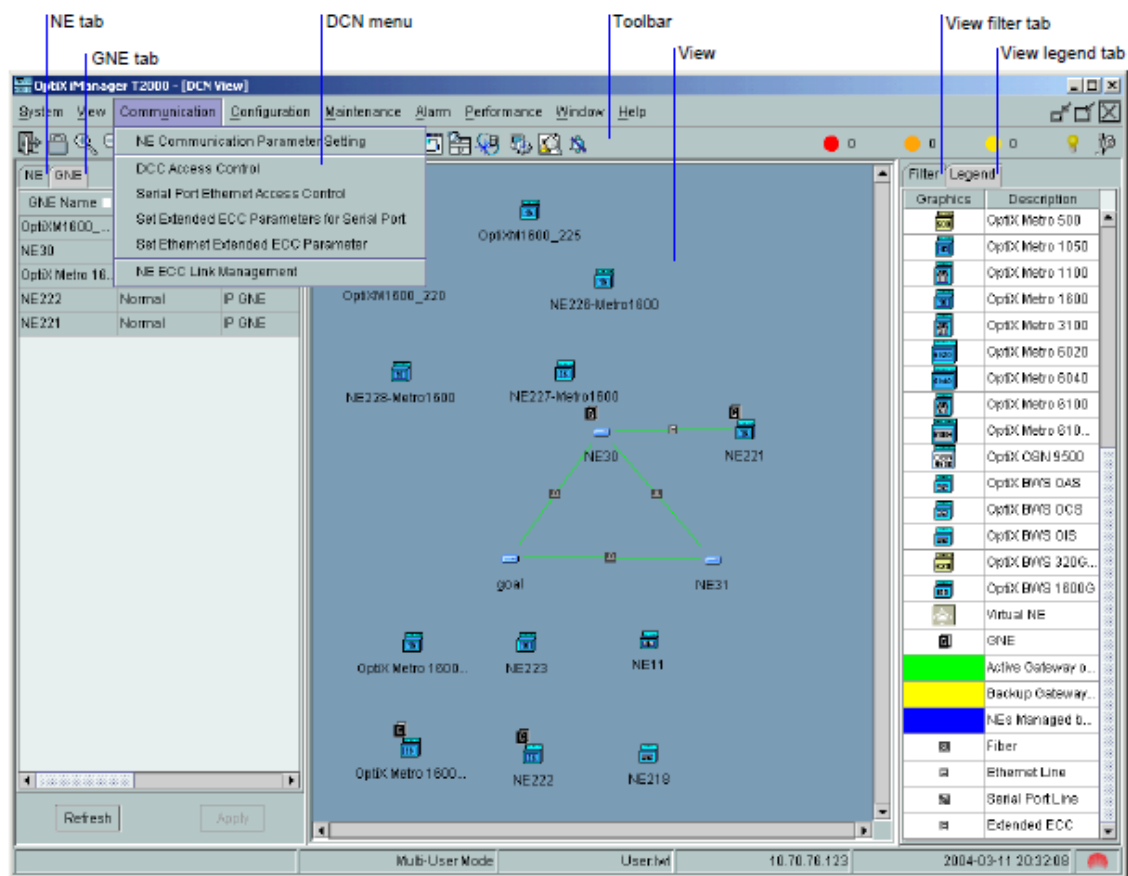
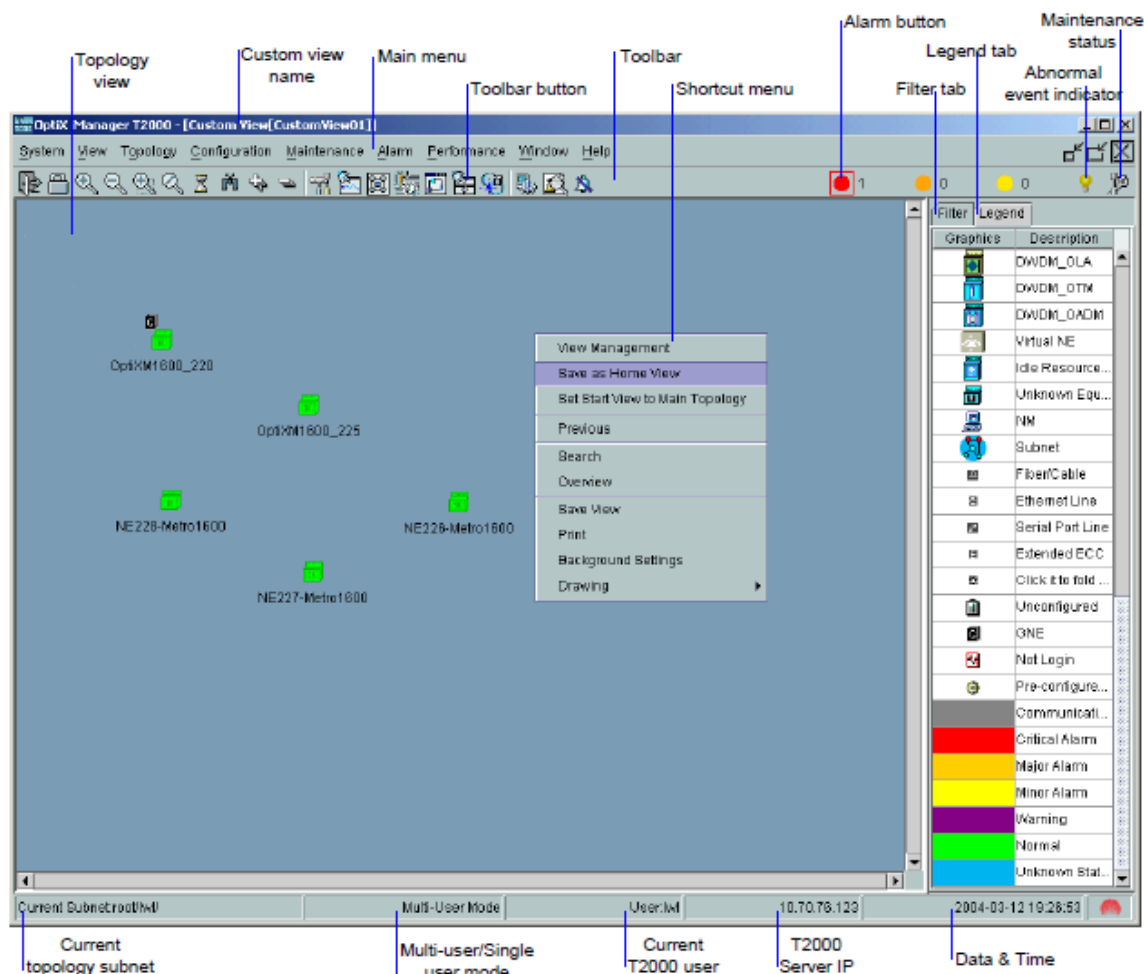


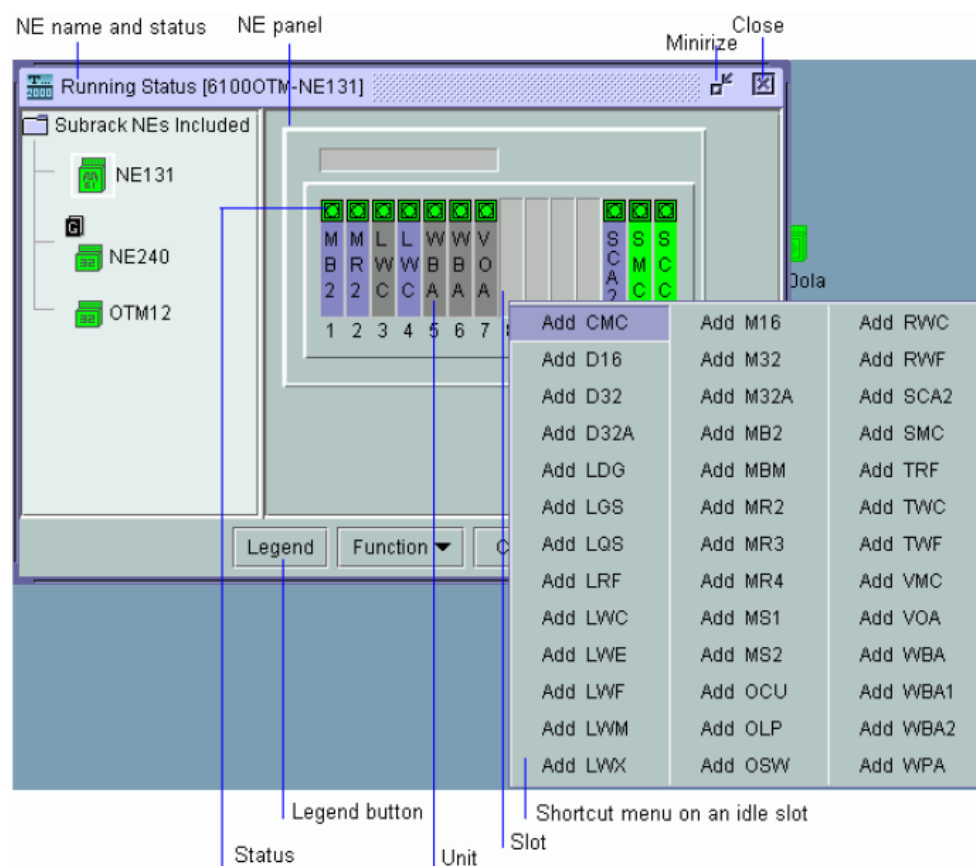
Figura 39 – Janela DCN view.

A janela **Custom view** (figura 40) é bastante similar a janela *main view* porém permite que o usuário veja a estrutura da topologia da rede incluindo o link e as sub-redes.



**Figura 40 – Janela custom View.**

A Janela **NE Panel** (Figura 41) permite a visualização de placas e portas em diferentes cores que dependem do status atual no qual se encontram. No T2000, a maior parte das operações de configuração de equipamento, monitoramento e manutenção são feitas através desta janela. Para abrir a janela NE Panel, dê dois cliques no equipamento de rede desejado. Para adicionar uma placa a um *slot* vazio, basta clicar com o botão direito no *slot* e escolher o tipo de placa.



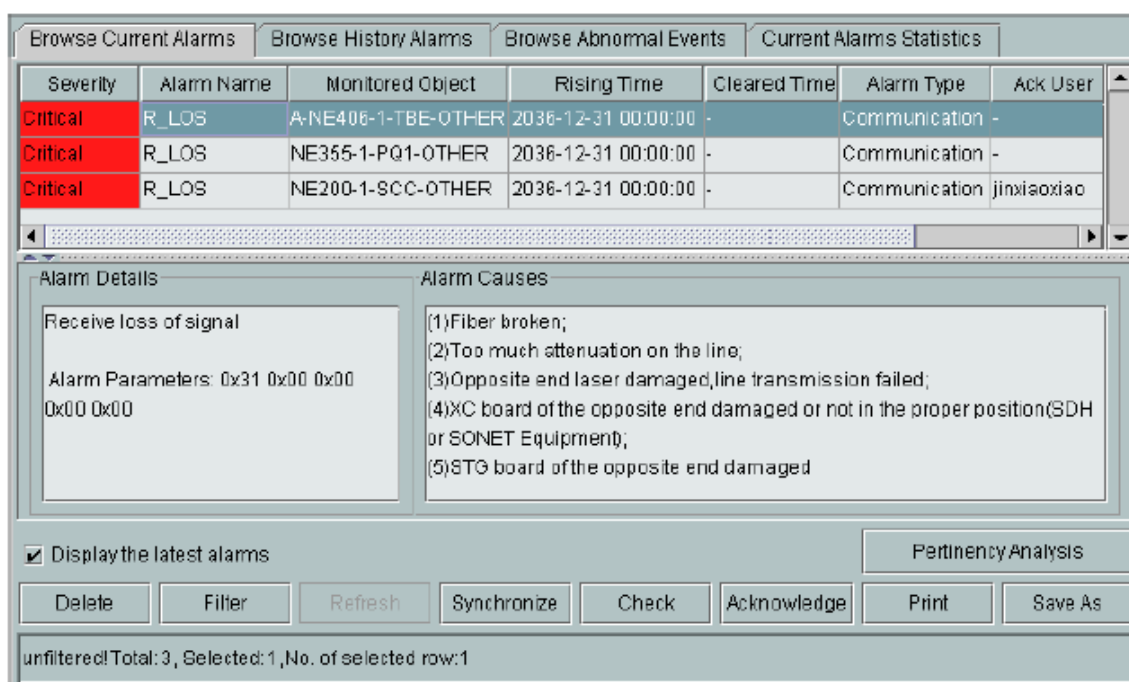
**Figura 41 - Janela NE panel.**

O ultimo ícone a direita na barra de ferramentas permite visualizar a legenda como na Figura 42.

Legend	Description
	Not Installed
	Installation State
	Running&Uninstalled
	Running&Installed
	Fixed State
	Physical Board
	Critical Alarm
	Major Alarm
	Minor Alarm
	Warning Alarm
	Non-Alarmed
	Bidirectional Optical Port
	Ethernet Port
	Unidirectional Optical Port
	Protection Board Status
	Tributary/Line Loopback
	Resource Division

**Figura 42 – Legendas.**

A visualização de alarmes atuais e a visualização do histórico de alarmes são possíveis através da janela **Browse Alarm and Event Window** (Fig. 43). Eventos anormais, assim como estatísticas de alarmes, também podem ser verificados. Essa janela oferece botões como a análise estática de correlação, filtro, atualização e sincronização que permitem localizar rapidamente a causa do alarme. Para a visualização dos alarmes, clique no Menu principal em **Fault → Browse Current Alarms**, **Fault → Browse History Alarms**, **Fault → Browse Abnormal Events** ou em **Fault → Browse Alarms Statistics**. Para verificar automaticamente os últimos alarmes marque a caixa **Auto Refresh**. Selecione o alarme e seus detalhes aparecerão na tela. Para reconhecer o alarme, selecione os alarmes e clique em **Acknowledge**. Para verificar o histórico de alarmes selecione **Fault → Browse History Alarms** e selecione os equipamentos desejados. Em seguida clique no botão com duas setas (vermelho). O histórico de alarmes de todas as severidades será mostrado. Os resultados podem ser filtrados e para visualizar detalhes do alarme clicar em cima do alarme específico.



**Figura 43 – Janela de alarmes e eventos**

### 3.2.3. Criação de topologias

Equipamentos de rede, fibras e cabos só podem ser gerenciados pelo sistema de gerência T2000 após a criação das suas topologias. A topologia se refere a uma operação de objeto correspondente ao equipamento físico. Quando uma topologia é criada, o sistema de gerência configura a comunicação com o equipamento físico da rede. Quando os dados dos equipamentos são descarregados no T2000, a topologia apresenta a mesma informação que o equipamento físico possui. Depois disso, o equipamento e a configuração de placas no T2000 é enviado diretamente aos equipamentos físicos. O software é capaz de gerenciar as seguintes topologias: equipamentos de rede, portas, placas, canais, fibras, subredes, cabos Ethernet, e cabos e portas seriais. Através dessas topologias, o T2000 consegue obter informações ou o estado dos objetos correspondentes na rede física. A subrede, o cabo Ethernet e o cabo serial são conceitos somente lógicos.

Cada equipamento de rede da série OptiX é representado como um equipamento no T2000. Antes de gerenciar o equipamento é necessário criar seu correspondente no sistema de gerência. O equipamento de rede que se comunica diretamente com o sistema de gerência pela rede é chamado de *gateway network equipment* (GNE). Todos os outros equipamentos que precisam se comunicar com o sistema de gerência através do gateway são chamados de *nongateway NE*. O GNE se comunica com o T2000 utilizando um protocolo de comunicação. O GNE é a rota de comunicação indispensável para que o T2000 gerencie a rede. Cada T2000 pode se comunicar com o mínimo de um GNE e um máximo de 100 GNEs. Para criar um equipamento de rede no T2000 clique com o botão direito em um espaço vazio na janela *Main Topology* e selecione **Create → Topology Object**. Uma caixa chamada **Create Topology Object** (Figura 44) irá aparecer. Escolha o tipo de equipamento na árvore de tipos de objeto. Complete a informação de **ID**, **Extended ID**, **Name** e **Remarks**. Para criar um GNE, escolha **Gateway** em **Gateway Type** e escolha o tipo de protocolo como IP. Já para a criação de um *non-gateway NE* é necessário escolher o equipamento *gateway* ao qual este equipamento está afiliado no campo **Affiliated Gateway**.

Attribute	Value
Type	OptiX OSN 3500
ID	355
Extended ID	9
Name	NE355
Remarks	OSN 3500
Gateway Type	Gateway ▼
Protocol	IP ▼
IP Address	129.9.1.99
Port	1400
NE User	root
Password	*****
NE Preconfiguration	<input type="checkbox"/> Yes

Figura 44– Criando um objeto de topologia

### 3.2.4. Configuração

Após a criação de um equipamento, ele ainda não se encontra configurado. Para configurá-lo, faça um clique duplo no equipamento não configurado na janela *Main Topology* e a caixa **NE Configuration Wizard** aparecerá. Escolha a opção **Upload** e clique em **Next**. Uma mensagem informará que o *upload* pode demorar um longo tempo. Clique em OK para iniciar o processo e aguarde o término. Para criar a comunicação de informações entre o T2000 e os equipamentos, assim como a comunicação entre os equipamentos, os cabos de comunicação devem ser criados permitindo o T2000 gerenciar os equipamentos da rede.

Através da ferramenta de busca de fibra, o usuário pode verificar se uma determinada interface óptica está conectada com uma fibra. Dessa forma, o usuário pode criar rapidamente uma fibra para essa interface no T2000. Para uma rede recentemente criada, após a configuração das placas, todas as interfaces ópticas podem ser achadas e as fibras podem ser criadas. O estado das fibras pode ser verificado em tempo real. Selecione, no Menu principal, **File → Search for Fiber/Cable**. No painel esquerdo, selecione as portas de um ou mais equipamentos de rede e clique em **Search** para procurar por fibras ou cabos. Uma barra de progresso informará o status da pesquisa e uma caixa aparecerá indicando o sucesso da operação. Clique **Close** e selecione as fibras da lista **Current fiber link** e clique em **Create Fiber/Cable**.



## 4. METODOLOGIA

Através dos conhecimentos teóricos adquiridos e da descrição dos equipamentos, quatro roteiros de práticas laboratoriais foram propostos:

- Descrevendo o laboratório.
- Configurando uma topologia ponto a ponto em um sistema DWDM.
- Levantando a curva de BER.
- Configurando amplificadores *Booster*, linha e pré e analisando suas respectivas figuras de ruído.

### 4.1. Descrevendo o laboratório.

A proposta deste experimento surgiu da nossa própria necessidade ao entrar pela primeira vez no laboratório e nos deparar com a quantidade de interfaces até então desconhecidas. Para um futuro uso em uma disciplina esse primeiro contato é de suma importância para que os experimentos futuros sejam realizados pelos alunos de forma satisfatória.

### 4.2. Configurando uma topologia ponto a ponto em um sistema DWDM.

O experimento surgiu como idéia para testar a versatilidade dos sistemas DWDM com relação às diversas tecnologias suportadas (SDH/SONET, *Gigabit Ethernet*, OTN).

A organização física do laboratório (2 nós) sugere de forma imediata uma topologia ponto a ponto porém a geração dos diversos padrões fica comprometida visto que seria necessário um equipamento para este fim.

O procedimento para esse roteiro consiste basicamente em fazer a montagem de uma configuração ponto a ponto e com auxílio do gerador de padrões enviar e receber, através dos *transponders* de cada nó DWDM, os diversos quadros de transmissão de dados.

### **4.3. Levantando a curva de BER.**

Este experimento tem como objetivo levantar a curva BER (*Bit error rate*) a partir de um sistema montando com um atenuador variável sendo que será variada a potência e serão medidos os erros para cada valor nominal de potência, considerando e analisando o efeito dos ruídos shot e ASE (*amplified spontaneous emission*) no sistema.

O procedimento para esse roteiro consiste em configurar uma topologia ponto a ponto utilizando um atenuador variável o que será responsável por variar a potência do sinal entre os terminais. Será utilizado o sistema de gerência *online* a partir do software fornecido pela empresa Huawei para coletar os dados que serão utilizados para levantar a curva de BER.

### **4.4. Configurando amplificadores *Booster*, linha e pré e analisando suas respectivas figuras de ruído.**

Com as diferentes configurações de amplificação (*Booster*, amplificação de linha e pré-amplificação) é possível avaliar o desempenho do importante parâmetro, figura de ruído, com a inserção de um elemento com perdas no *Span* óptico. Evento recorrente em todos os sistemas DWDM em uso atualmente.

Um OSA (Analisador de Espectro Ótico) é de extrema necessidade para realização desse experimento já que o cálculo da figura de ruído só pode ser feito com os parâmetros OSNR<sub>in</sub> e OSNR<sub>out</sub> medidos (medição feita pelo OSA).

O procedimento consistirá em novamente configurar uma topologia ponto a ponto e fazer uso das respectivas placas amplificadoras (OBU – *Booster*, OPU – pré-amplificadora e OAU – amplificadora de linha) para propor as diversas formas de amplificação. Em um segundo momento uma fibra de compensação de dispersão (DCF) é inserida antes e depois dos amplificadores e com o analisador de espectro ótico o comportamento da figura de ruído é observado.

## 5. CONCLUSÃO

A tecnologia DWDM é de suma importância para permitir que as infra-estruturas de rede suportem o crescimento da demanda por altas taxas de bits. Na formação acadêmica de um engenheiro de telecomunicações, experiência com equipamentos baseados nessa tecnologia se torna um grande diferencial no mercado de trabalho. O laboratório ótico (*Huawei Optix Lab*) poderá proporcionar para os alunos da universidade esse conhecimento prático.

Neste trabalho encontramos dificuldades na implementação dos experimentos sugeridos, pois a configuração inicial dos equipamentos é extremamente complexa. Dado o exposto, os roteiros dos experimentos propostos e seus respectivos procedimentos ainda não foram testados e tendo sido desenvolvidos com base apenas nos manuais dos equipamentos. O desenvolvimento dos roteiros tornou evidente que dois equipamentos, não presentes no laboratório, são de suma importância para sua realização no futuro: o gerador de padrões e o analisador de espectro ótico.

Concluimos que com a descrição dos equipamentos feita e os experimentos propostos, o passo inicial para tornar viável a utilização do laboratório pelos alunos foi dado e esperamos que como continuidade do trabalho a proposta de uso seja realizada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **KARTALOPOULOS**, Stamations. Introduction to DWDM Technology – Data in Rainbow. IEEE press, 2009.
- [2] **RAMASWAMI**, Rajiv. Optical Networks – A practical perspective. Morgan Kauffman, 2nd Edition, 2002.
- [3] Recomendação ITU-T G.694.1 - Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.
- [4] **HAYKIN**, Simon. Sistemas de Comunicação - Analógicos e Digitais. Bookman, 4ª Edição, 2001.
- [5] Manual *Hauwei Optix lab 1500*.

## ANEXOS