



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA – CEEI
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA – UAEE
LABORATÓRIO DE COMUNICAÇÕES - LABCOM

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO
DOS AMPLIFICADORES A FIBRA DOPADA COM ÉRBITO
(EDFA)

Orientador: **José Ewerton Pombo de Farias, DSc.**

(ewerton@dee.ufcg.edu.br)

Aluno: **Eduardo Cavalcanti Magalhães**

(ecmagalhaes@gmail.com)

CAMPINA GRANDE – PB

2009

**Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica**

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO
DOS AMPLIFICADORES A FIBRA DOPADA COM ÉRBIO
(EDFA)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Orientador:

José Ewerton Pombo de Farias, DSc.

Aluno:

Eduardo Cavalcanti Magalhães



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Dedico a Deus, e as pessoas mais importantes na minha vida: meus pais Marcos e Verônica Magalhães, meus irmãos Marcos Filho e Manuela e minha namorada Roberta Cirne, que tanto os amo, pelo apoio, compreensão, carinho, incentivo, estímulo e amor dispensados em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por ter me concedido a benção da existência e ter guiado minha caminhada até esta vitória;

Aos meus pais, Marcos e Verônica. Pelo exemplo de vida, caráter e dedicação inestimáveis para minha formação pessoal;

Aos meus irmãos Marcos Filho e Manuela, pelo carinho, amizade e motivação que sempre me proporcionaram;

A Roberta Cirne, pelo amor, companheirismo e pelo apoio que me foi proporcionado ao longo do curso;

Ao Professor José Ewerton, pela disponibilidade em me orientar em diversos trabalhos e pela atenção prestada sempre que precisei;

A todos que fazem o DEE, professores e funcionários;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esta conquista, a minha sincera e eterna gratidão.

Sumário

1. Introdução.....	7
2. Configuração Básica	9
3. Princípios da Amplificação Óptica	10
4. Características Fundamentais do EDFA.....	12
4.1 Ganho do EDFA.....	12
4.2 Potência de Saída	14
4.3 Figura de Ruído	14
5. Principais Topologias e Aplicações dos EDFAs	15
5.1 Topologias	15
5.2 Aplicações.....	17
6. Ferramenta de Simulação	19
7. Simulações.....	21
7.1 Amplificador de Potência	21
7.2 Amplificador de Linha	22
7.3 Pré-Amplificador	24
8. Conclusão	25
9. Referências Bibliográficas.....	26

Lista das Figuras

1. Configuração básica de um EDFA.....	9
2. Diagrama esquemático dos níveis de energia para a fibra dopada com érbio com os comprimentos de onda de absorção (980 nm e 1480 nm) e emissão (1525nm e 1565 nm) [2].....	10
3. Curva do ganho x potência do sinal de entrada.....	13
4. Curva ganho em função do comprimento de onda.....	13
5. Curva do ganho em função da potência de saída.....	14
6. Curva da Figura de Ruído em função da potência.....	15
7. EDFA com bombeio co-propagante.....	16
8. EDFA com bombeio contra-propagante.....	16
9. EDFA com bombeio contra-propagante.....	17
10. Enlace que utiliza amplificador de potência.....	18
11. Exemplo de um enlace mostrando o posicionamento do amplificador de linha.....	18
12. Exemplo de um enlace mostrando o posicionamento do pré-amplificador.....	19
13. Interface Gráfica do Optisystem 7.0.....	20
14. Biblioteca de componentes do Optisystem.....	21
15. Configuração simulada de um Amplificador de potência que utiliza bombeio bidirecional.....	22
16. Amplificador de linha que utiliza bombeio contra-propagante... 	23
17. Amplificador de linha que utiliza bombeio co-propagante.....	23
18. Pré-amplificador que utiliza bombeio co-propagante.....	25

1. Introdução

Nos atuais sistemas de comunicação é muito comum encontrarmos em sua topologia a fibra óptica. Isto se deve ao fato de que as fibras oferecem diversas vantagens ao sistema, tais como: baixa perda, baixa distorção, imunidade eletromagnética, segurança dentre outras. Contudo, apenas após o surgimento dos amplificadores ópticos que utilizam a fibra dopada com elementos terras-raras, foi possível aumentar a capacidade de transmissão dos sistemas comercialmente.

No início, os sistemas de transmissão de longa distância utilizavam repetidores, os quais após algumas centenas de quilômetros recuperavam a forma e amplitude do sinal. O funcionamento destes repetidores consiste em converter o sinal do domínio óptico para o elétrico e, após, fazer o processo de demodulação, amplificação, resincronismo e ele era modulado novamente e retransmitido. A complexidade e o custo dos circuitos optoeletrônicos foram um dos fatores que contribuíram para inviabilizar o uso dos repetidores. Isto aliado a melhorias no processo de fabricação das fibras fez com que os repetidores tornassem descartáveis.

A invenção do amplificador a fibra dopada com érbio no final dos anos 80 foi um dos maiores avanços da história dos sistemas de comunicações. Com a baixa dispersão, da fibra todo processamento realizado anteriormente pelos repetidores se resumiria à amplificação do sinal, que pode ser realizado agora todo no domínio óptico. Além disto, os amplificadores a fibra dopada com érbio (*EDFA - Erbium Doped Fibre Amplifier*) possuem a capacidade de amplificar simultaneamente vários canais modulados com uma mínima interferência entre eles.

O EDFA é constituído pelos seguintes elementos: trecho de fibra dopada com érbio (Er^{3+}), acoplador WDM, laser de bombeio e os isoladores. Para que ocorra o processo de amplificação óptica o laser de bombeio (opera na faixa de absorção de energia dos íons de érbio de 980nm e 1480nm) excita os íons de érbio, os quais absorvem a energia liberada pelos fótons do bombeio, fazendo com que haja a "inversão de população" (o que garante o processo de amplificação), ou seja, passam de um nível de energia fundamental para um nível mais excitado. No entanto como a tendência do sistema é voltar ao estado inicial, os portadores tendem a perder esta energia, e voltam ao nível fundamental. Este decaimento faz com que seja liberado outro fóton, dito coerente, com as mesmas características do fóton incidente. Com esse processo ocorrendo seguidas

vezes no caso de um sinal ser acoplado à entrada do amplificador, este poderia estimular a emissão de fótons coerentes (mesmo comprimento de onda, fase, direção e polarização) ao longo da fibra dopada, produzindo-se a amplificação óptica desejada.

Neste trabalho de conclusão de curso, vamos analisar as diversas características de desempenho dos amplificadores a fibra dopada com érbio, tais como: ganho, figura de ruído, largura de banda, ASE, suas aplicações, dentre outros parâmetros. A plataforma OptiSystem 7.0 será utilizada para a simulação dos amplificadores. Na seção 2 é apresentada uma breve descrição da configuração básica do dispositivo. Nas seções 3 e 4 são descritos os princípios da amplificação óptica nos EDFAs e suas principais características respectivamente. Na seção 5 apresenta-se as principais topologias e aplicações dos EDFAs. Na seção 6 é apresentada a ferramenta computacional utilizada e por fim na seção 7 mostram-se as simulações com os respectivos resultados.

2. Configuração Básica

Os principais elementos que constituem um amplificador a fibra dopada com érbio (EDFA) são:

- Fonte de bombeio;
- Trecho de fibra dopada com érbio;
- Acoplador WDM;
- Isoladores;

como pode ser visto na figura 1. Entretanto, a configuração do amplificador, o comprimento da fibra entre outros parâmetros dependem do tipo de aplicação do mesmo.

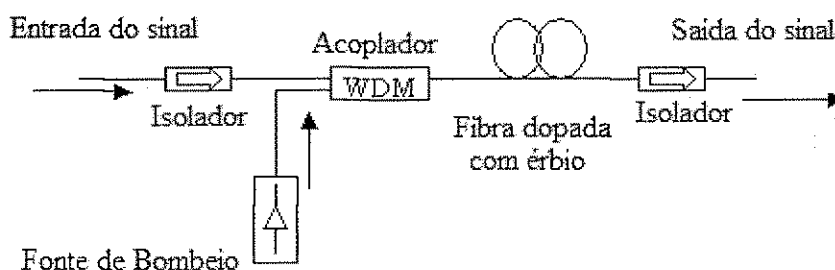


Figura 1: Configuração Básica de um EDFA.

A fibra dopada com érbio é o meio físico onde ocorre o processo de amplificação do sinal. É liberada energia na forma de luz, na região em torno de 1550 nm que coincide com a janela de comunicação onde a fibra apresenta as menores perdas. Para ocorrer o processo de amplificação é necessário que os íons de érbio dopados na fibra sejam excitados através da absorção de energia de uma fonte externa. A fonte externa utilizada é chamada de "Fonte de bombeio", constituída de lasers semicondutores que fornecem a energia sob a forma de luz na faixa de espectro de absorção do érbio. Os comprimentos de onda utilizados são 980 nm e 1480 nm. O ganho proporcionado pelo amplificador depende das características da fibra que está sendo utilizada. Fatores como a abertura numérica, o índice de refração, concentração de érbio, entre outros, determinam o perfil do ganho do amplificador [1].

Os isoladores são dispositivos que apresentam baixa perda no sentido de propagação do sinal e altas perdas no sentido contrário a propagação, ou seja, permitem a passagem do sinal em apenas um sentido. É utilizado no EDFA para evitar as reflexões dos conectores de entrada e saída do amplificador. Desta forma evitando a instabilidade do ganho e conseqüentemente proporcionando baixos valores de figura de ruído. O acoplador WDM, ou acoplador multiplexador de comprimento de onda, é utilizado para acoplar o sinal que se deseja amplificar e o bombeio simultaneamente na fibra dopada [1].

3. Princípios da amplificação óptica

A amplificação óptica é realizada sem que seja necessária a conversão da portadora óptica em sinal elétrico. Isto é possível devido ao fato de determinados elementos químicos (terra-rara) serem ópticamente ativos e também à capacidade de serem inseridos (dopados) na composição física da fibra óptica. Um exemplo é o átomo de érbio que sob a influência de fótons de luz, sofre transições entre seus auto estados de energia, e emite luz.

Todo este processo de amplificação pode ser explicado de maneira simplificada utilizando o modelo do diagrama de níveis de energia como visto na figura 2.

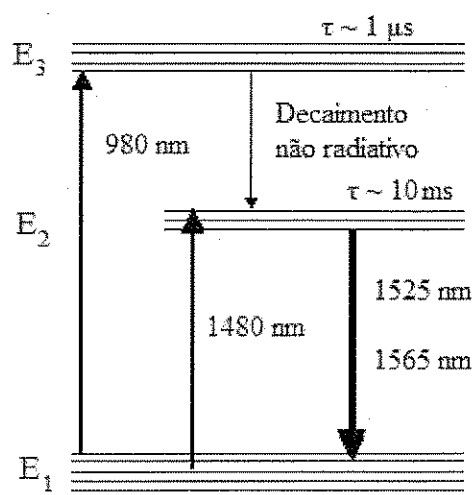


Figura 2: Diagrama esquemático dos níveis de energia para a fibra dopada com érbio com os comprimentos de onda de absorção (980 nm e 1480 nm) e emissão (1525nm e 1565 nm) [2].

Este diagrama esquemático apresenta as transições eletrônicas que ocorrem no processo de amplificação, para os comprimentos de onda de bombeio em 980 nm e 1480 nm. Ao utilizarmos o bombeio em 980 nm, temos um sistema de três níveis de energia, E_1 , E_2 e E_3 denominados de nível fundamental, metaestável e de bombeio, respectivamente. Na falta de um bombeio ou de sinal (ou seja, no equilíbrio), podemos definir as populações de átomos em cada nível de energia como N_1 , N_2 e N_3 , onde $N_1 > N_2$ e $N_1 > N_3$. Contudo, ao utilizarmos um bombeio, a situação de equilíbrio pode ser alterada devido à população de íons do nível E_1 poder absorver os fótons de luz do bombeio, passando assim para níveis mais altos de energia.

Utilizando o bombeio no comprimento de onda de 980 nm, a absorção de fótons pelos portadores provoca transições do tipo E_1 para E_3 . Entretanto, como a tendência do sistema é de retornar ao estado inicial de equilíbrio, os portadores excitados para o nível E_3 tendem a perder energia e retornar, indireta ou diretamente, ao nível fundamental E_1 . Embora ocorram os decaimentos diretos, a maior parte dos portadores excitados do nível E_1 para E_3 decaem espontaneamente para o nível metaestável E_2 , tendo energia liberada na forma de emissões espontâneas não-radiativas (fônons) [2]. Como as transições de E_3 para E_2 são mais rápidas que as transições do nível E_2 para E_1 , ao utilizarmos potências de bombeio suficientemente altas, a população de portadores do estado fundamental (N_1) pode ser reduzida, ocorrendo uma tendência dos portadores se acumularem no nível metaestável E_2 . Portanto para garantir a amplificação óptica é necessário que ocorra o processo denominado inversão de população, caracterizado quando a densidade de portadores no nível metaestável (N_2) supera a densidade de portadores no nível fundamental (N_1).

A transição dominante do nível E_2 para E_1 é radiativa, ou seja, a energia é liberada na forma de fótons estimulados ou espontâneos, em torno de 1550 nm. Caso um sinal seja acoplado à entrada do amplificador, este poderia estimular numa reação em cadeia a emissão de fótons coerentes (com mesmo comprimento de onda, fase, direção e polarização) ao longo da fibra dopada com érbio, produzindo assim a amplificação óptica. Contudo, fótons também podem ser emitidos através de decaimentos espontâneos do nível E_2 para E_1 com fase, direção, comprimentos de onda e polarização aleatórios. Estes fótons espontâneos são considerados “ruídos” indesejados no processo de amplificação óptica, pois podem estimular o aparecimento de outros fótons de forma que a amplificação não se restringe apenas ao sinal de entrada, mas também ao ruído. O

processo de amplificação do ruído em um EDFA é denominado emissão espontânea amplificada (*amplified spontaneous emission - ASE*) [3].

Outra opção é a utilização do bombeio no comprimento de onda de 1480 nm. Neste comprimento de onda de bombeio, podemos representar o processo de amplificação por um sistema de dois níveis de energia. Podemos verificar que para uma determinada potência de bombeio capaz de garantir o processo de inversão de população (ou seja, $N_2 > N_1$), os portadores do nível fundamental são diretamente excitados para o nível metaestável. Estas transições ocorrem para os portadores dos sub-níveis de menor energia do nível E_1 , que, ao absorverem os fótons de bombeio, são excitados para os sub-níveis de maior energia do nível E_2 . Estes portadores excitados tendem a perder energia de forma não-radiativa no interior do próprio nível E_2 , resultando em uma população excitada final que permite transições no comprimento de onda do sinal [4].

4. Características fundamentais do EDFA

O ganho, a potência de saída e a figura de ruído são três parâmetros básicos para caracterização dos EDFAs. Estes parâmetros são determinantes para definirmos a localização dos EDFAs ao longo dos enlaces de fibra óptica.

4.1. Ganho do EDFA

O ganho é uma das principais características de um amplificador e pode ser definido como a razão entre a potência do sinal de saída e a potência do sinal de entrada, geralmente expressa em dB.

$$G(dB) = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \right) \quad (1)$$

No EDFA vários fatores podem influenciar o valor final do ganho, dentre eles temos: o comprimento da fibra dopada com érbio, a potência do sinal de bombeio, a potência do sinal óptico a ser amplificado, a concentração de íons presente na fibra dopada, entre outros [4]. A figura 3 mostra a curva do ganho em função do nível da potência do sinal de entrada. É visto que para baixos valores de potência o ganho do

EDFA é constante, entretanto a partir de um ponto o ganho começa a diminuir devido ao efeito de saturação.

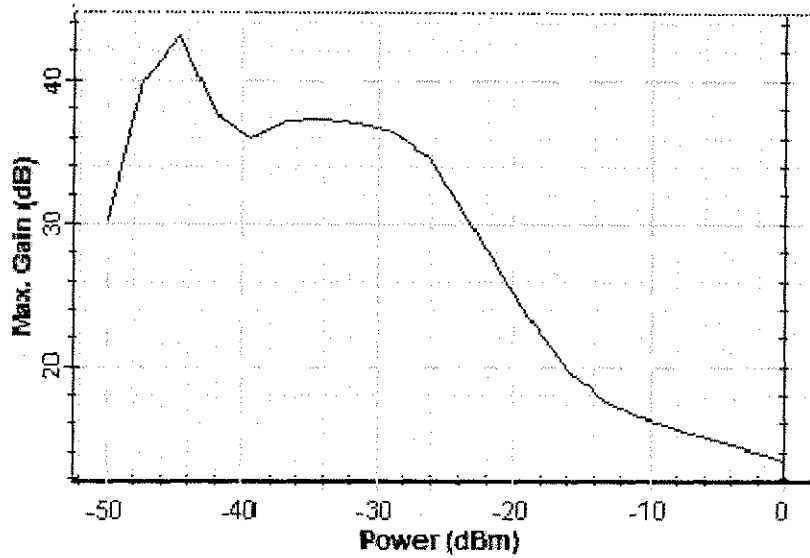


Figura 3: Curva do ganho x potência do sinal de entrada.

A figura 4 apresenta a curva de ganho em função do comprimento de onda. Podemos observar que para cada valor específico de comprimento de onda iremos ter um valor de ganho.

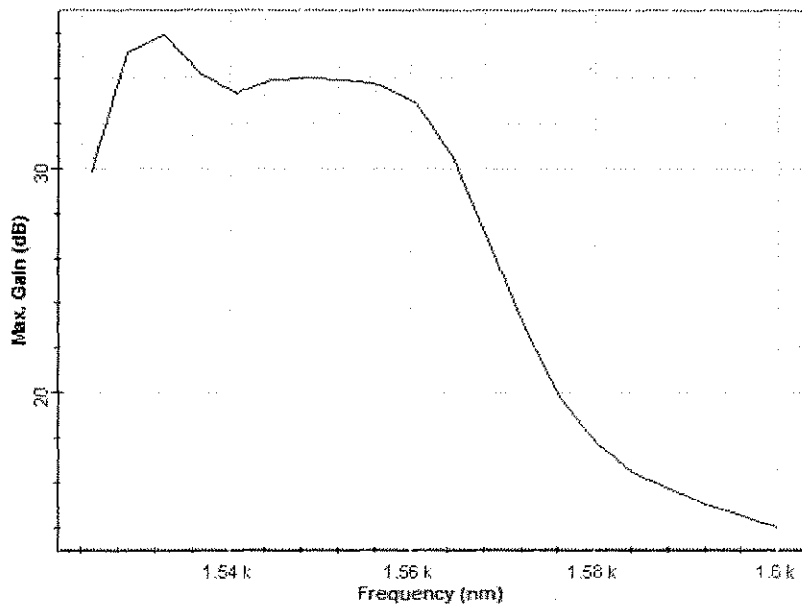


Figura 4: Curva ganho em função do comprimento de onda.

4.2. Potência de saída

Podemos definir a potência de saída de um amplificador como sendo a potência amplificada para determinada potência de entrada do amplificador. A potência de saída saturada também é outra definição importante, que corresponde à potência de saída do amplificador após um queda de 3 dB. Normalmente, a saturação ocorre quando a potência óptica de entrada do amplificador se situa em torno de algumas centenas de miliwatts. Entretanto, o valor exato para a potência de saturação depende das características de operação do EDFA. A figura 5 ilustra um exemplo de curva de ganho em função da potência de saída.

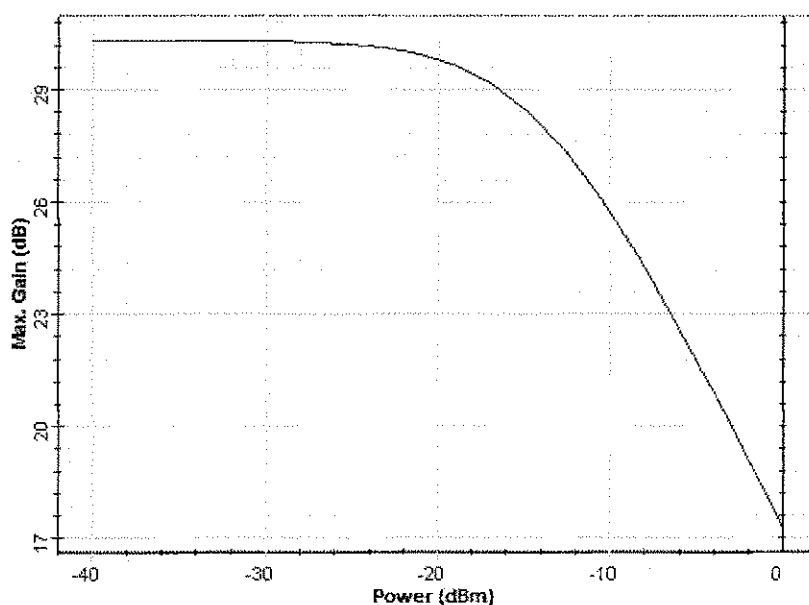


Figura 5: Curva do ganho em função da potência de saída.

4.3. Figura de Ruído

Um parâmetro usual para a quantificação do ruído de um amplificador óptico é a figura de ruído, NF (*Noise Figure*). No caso do EDFA, a NF leva em consideração a principal fonte de ruído introduzida pelo amplificador, que é a ASE emitida pela fibra dopada com érbio. É definida como a razão entre a relação sinal ruído na entrada e a relação sinal ruído na saída, isto é:

$$NF = 10 \cdot \log \left(\frac{(S/N)_e}{(S/N)_s} \right) \quad (2)$$

O ruído ASE gerado em um EDFA pode ser o fator limitante do desempenho em um enlace de comunicações ópticas. Na prática, a NF dos EDFAs fica em torno de 4 a 8 dB [5], sendo que o valor ideal é de 3 dB [6]. A figura 6 ilustra uma curva da figura de ruído.

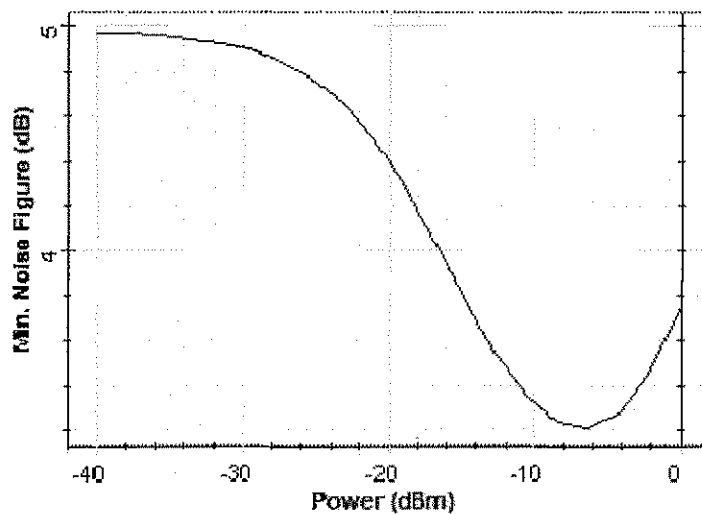


Figura 6: Curva da Figura de Ruído em função da potência.

5. Principais Topologias e Aplicações dos EDFAs

5.1. Topologias

Buscando melhorar o desempenho dos amplificadores a fibra dopada com érbio, algumas mudanças e adaptações têm sido feitas em sua topologia, que vão desde mudanças nas características de dopagem até alterações nos circuitos ópticos dos amplificadores [1,7]. Podemos classificar as configurações básicas de EDFA em relação ao posicionamento do laser de bombeio e o sinal a ser amplificado. Dentre elas podemos destacar as que utilizam:

- Bombeio no sentido co-propagante;
- Bombeio contra-propagante;
- Bombeio bidirecional;

A figura 7 ilustra a topologia que utiliza o bombeio co-propagante, ou seja, o sinal e o bombeio se propagam no mesmo sentido. Este tipo de configuração é indicado o uso em sistemas ópticos que requerem amplificadores de baixo ruído, o caso de pré-amplificadores [1].

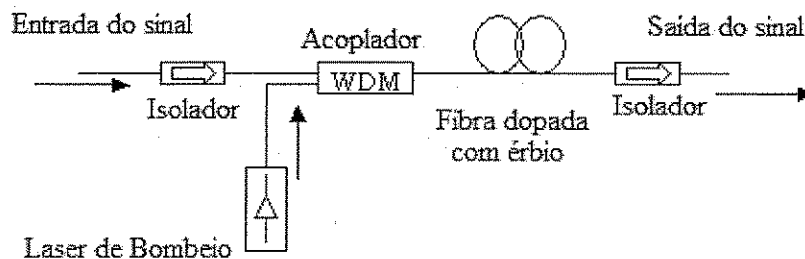


Figura 7: EDFA com bombeio co-propagante.

A topologia com bombeio contra-propagante é mostrada na figura 8. Nesta configuração o acoplador WDM está localizado na saída da fibra dopada com érbio, e o bombeio se propaga no sentido contrário ao do sinal de entrada. Esta configuração será indicada quando for necessário o uso de amplificadores com alta potência de saída, ou seja, como amplificador de potência [1].

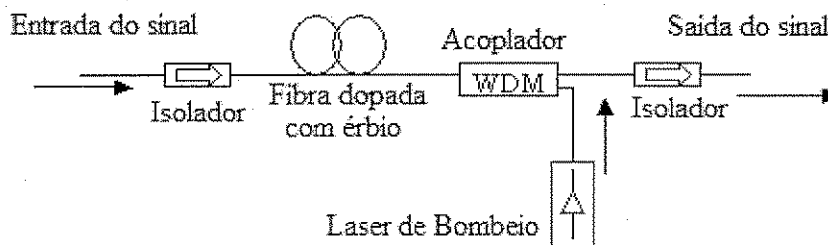


Figura 8: EDFA com bombeio contra-propagante.

Para a topologia de EDFA que utiliza bombeio bidirecional, são necessárias duas fontes de bombeio, sendo uma acoplada à entrada da fibra e outra acoplada à saída.

Destá forma a luz emitida pelas fontes de bombeio se propaga em ambos os sentidos co-propagante e contra-propagante. Com isso, a quantidade de íons presentes no nível metaestável será maior do que as configurações anteriores. Portanto, o ganho óptico dessa configuração deverá ser maior, pois a fibra dopada com érbio permanece com uma eficiente inversão de população em praticamente toda sua extensão. Este tipo de topologia apresenta alto ganho e alta potência de saída, podendo ser utilizada como amplificador de potência ou amplificador de linha [1]. A configuração de EDFA com bombeio bidirecional é ilustrada na figura 9. Diversas simulações utilizando o software Mathematica 4.0 foram analisadas por [3,8].

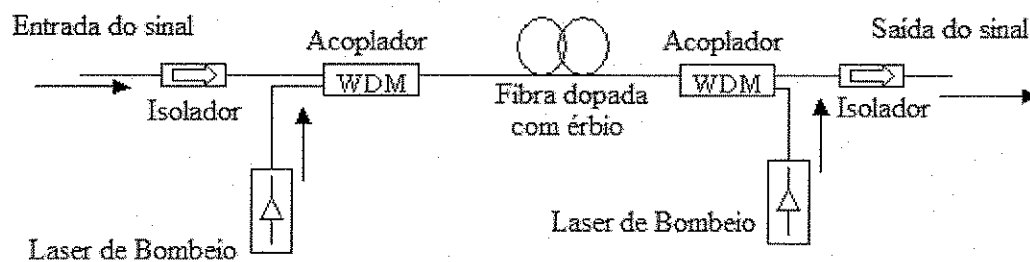


Figura 9: EDFA com bombeio contra-propagante.

5.2. Aplicações

Basicamente existem três formas de aplicação dos amplificadores ópticos. Estas se diferenciam através da posição dos amplificadores em relação à linha de transmissão e pelas suas funções no sistema de comunicação ópticas [1]. Temos as seguintes formas:

- Amplificador de potência (*booster*);
- Amplificador de linha;
- Pré-amplificador;

Os amplificadores de potência ou *booster* têm a função de aumentar a potência do sinal antes de ser transmitido (localizados na saída dos transmissores) ao longo do enlace. Possuem como principal parâmetro a potência de saída, pois estes devem ser operados na condição de saturação de ganho. Temos que, quanto maior for a potência de saída do amplificador maior a distância de transmissão, entretanto a partir de certo limite de potência alguns efeitos não-lineares degradam o sinal [2,9]. Existem

atualmente amplificadores de potência com potência de saída em torno de 17 dBm. A figura 10 ilustra o exemplo de um enlace que utiliza o amplificador descrito anteriormente.

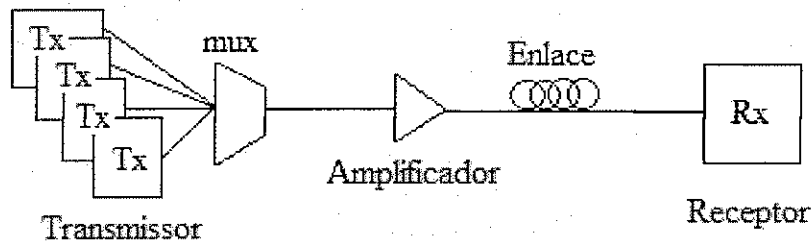


Figura 10: Enlace que utiliza amplificador de potência.

Os amplificadores de linha são posicionados ao longo do enlace para compensar a atenuação devido à propagação do sinal através da fibra óptica como pode ser observado na figura 11 [6,9]. Sua principal característica é uma baixa figura de ruído tendo em vista evitar o acúmulo da ASE ao longo da linha de transmissão. São projetados para apresentar alto ganho visando aumentar a distância entre o próximo receptor ou amplificador.

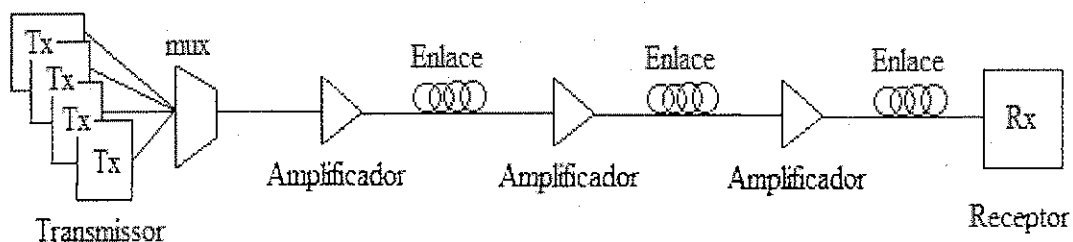


Figura 11: Exemplo de um enlace mostrando o posicionamento do amplificador de linha.

Os pré-amplificadores são posicionados antes dos receptores de forma a aumentar a sensibilidade do receptor, graças a sua principal característica, a baixa inserção de ruído. Apresentam alto ganho e baixa potência de saída, entretanto possuem maior nível de ASE quando comparados aos amplificadores de potência. Ao utilizarmos EDFAs como pré-amplificadores pode se aumentar a distância de enlaces ponto a ponto [6,9]. A figura 12 mostra o exemplo mostrando o posicionamento de um pré-amplificador.

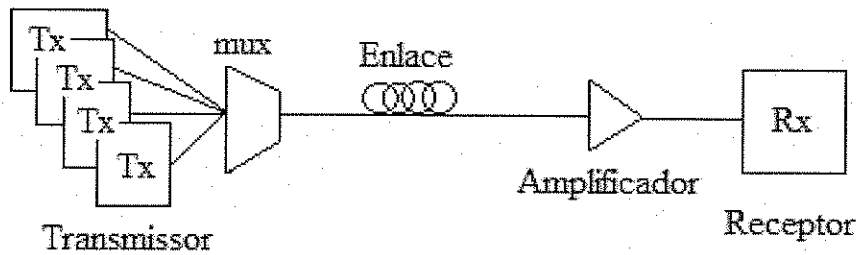


Figura 12: Exemplo de um enlace mostrando o posicionamento do pré-amplificador.

6. Ferramenta de simulação

A ferramenta computacional utilizada neste trabalho é o software Optisystem 7.0™ da empresa Optiwave System Inc. É uma ferramenta de software bastante avançada que permite projetar, analisar e otimizar de forma virtual qualquer tipo de enlace de fibra óptica no nível de camada física. Possui uma interface gráfica com o usuário (*Graphical User Interface – GUI*) amigável e de fácil compreensão que controla o layout, componentes ópticos, modelos de componentes e apresentação de gráficos [10]. A figura 13 apresenta a GUI do Optisystem.

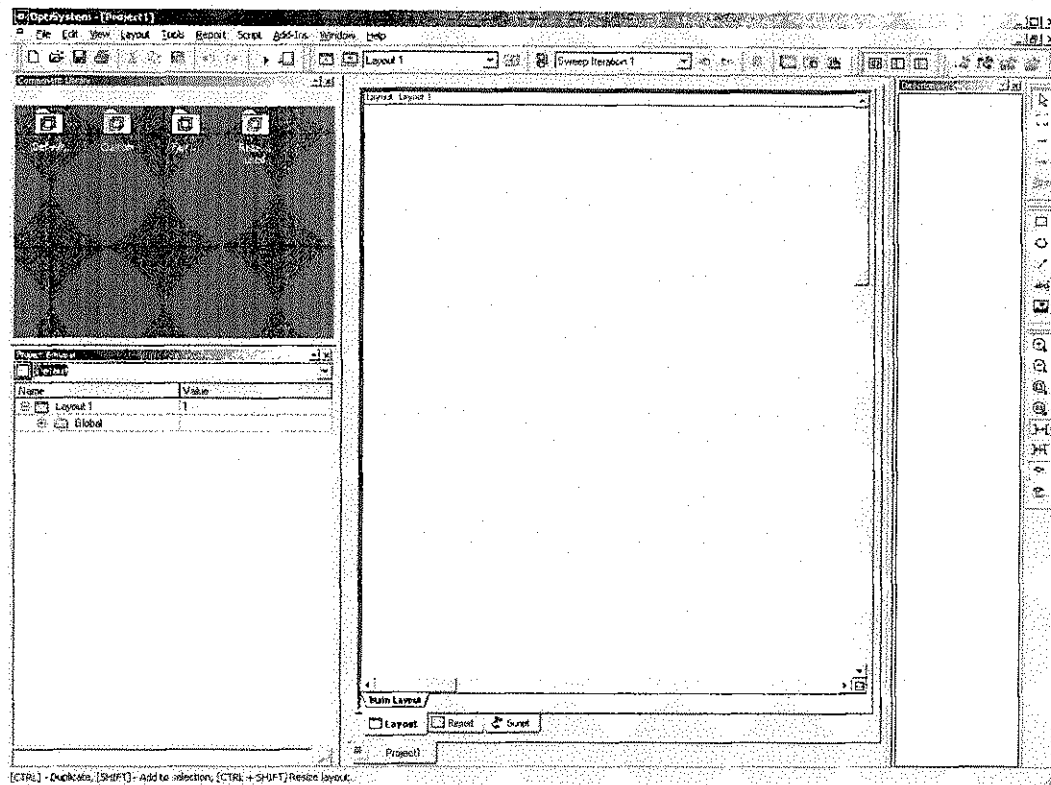


Figura 13: Interface Gráfica do Optisystem 7.0 [10].

O software contém uma extensa biblioteca de componentes ativos e passivos, do domínio óptico e elétrico, que reproduzem fielmente o comportamento real, de dispositivos reais. 400 componentes estão dispostos para o uso tais como: lasers, moduladores, multiplexadores/demultiplexadores, fibras ópticas, acopladores, amplificadores, filtros etc. A figura 14 mostra a biblioteca de componentes do Optisystem [10].

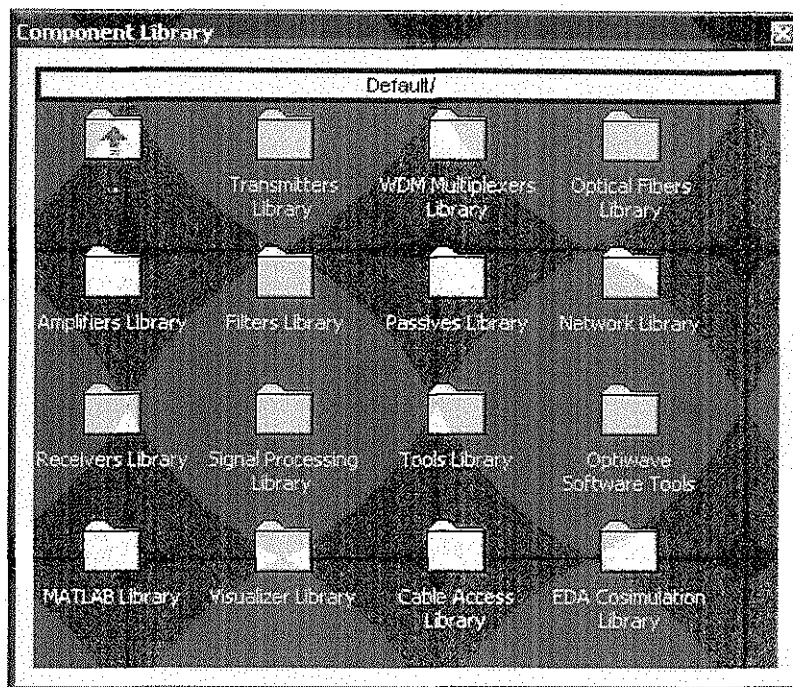


Figura 14: Biblioteca de componentes do Optisystem [10].

Importantes ferramentas de visualização de gráficos que permitem analisar o desempenho do sistema no domínio óptico e elétrico, tais como osciloscópio, analisadores de espectro, analisadores de BER e diagrama de olho estão disponíveis na biblioteca de componentes.

7. Simulações

As simulações realizadas utilizaram como referência os modelos apresentados em [9]. Primeiramente apresenta-se a simulação de um amplificador de potência. Em seguida as simulações do amplificador de linha e de um pré-amplificador e suas respectivas características de desempenho são mostradas.

7.1. Amplificador de potência

O projeto do amplificador de potência nos mostra a caracterização de um *booster*, cuja fibra é fortemente dopada com érbio e bombeada bidirecionalmente por dois lasers

de bombeio em 980 nm. Nesta simulação será utilizado um sinal de alta potência, pois o mesmo irá garantir alta potência de saída necessária para os amplificadores de potência. A figura 15 mostra a configuração simulada.

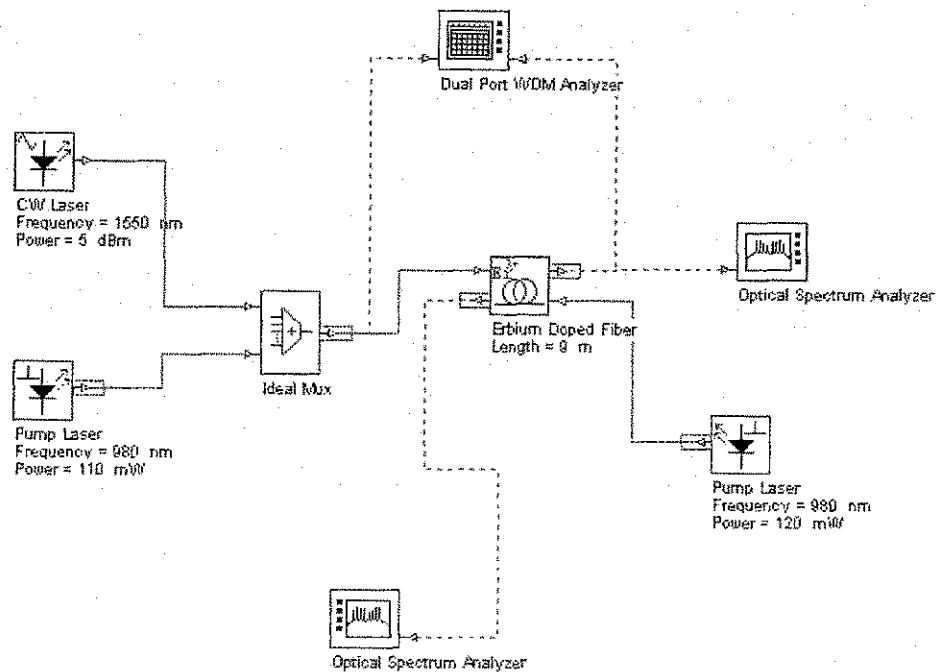


Figura 15: Configuração simulada de um Amplificador de potência que utiliza bombeio bidirecional.

Um laser com comprimento de onda em 1550 nm foi utilizado como sinal de entrada. Os resultados foram observados através de um analisador WDM e mostrados na tabela 1.

Comprimento de onda (nm)	Ganho (dB)	Figura de ruído (dB)	Potência de saída (dBm)
1550	16.437809	4.62354	21.4341

Tabela 1: Ganho, figura de ruído e potência de saída do amplificador de potência simulado.

7.2. Amplificador de linha

Em seguida foram feitas duas simulações de amplificador de linha. Na primeira utiliza se um laser de bombeio no sentido contrário de propagação do sinal no comprimento de onda de 980 nm. Em seguida um laser de bombeio no sentido de propagação. Os amplificadores simulados são mostrados nas figuras 16 e 17. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 2 e 3.

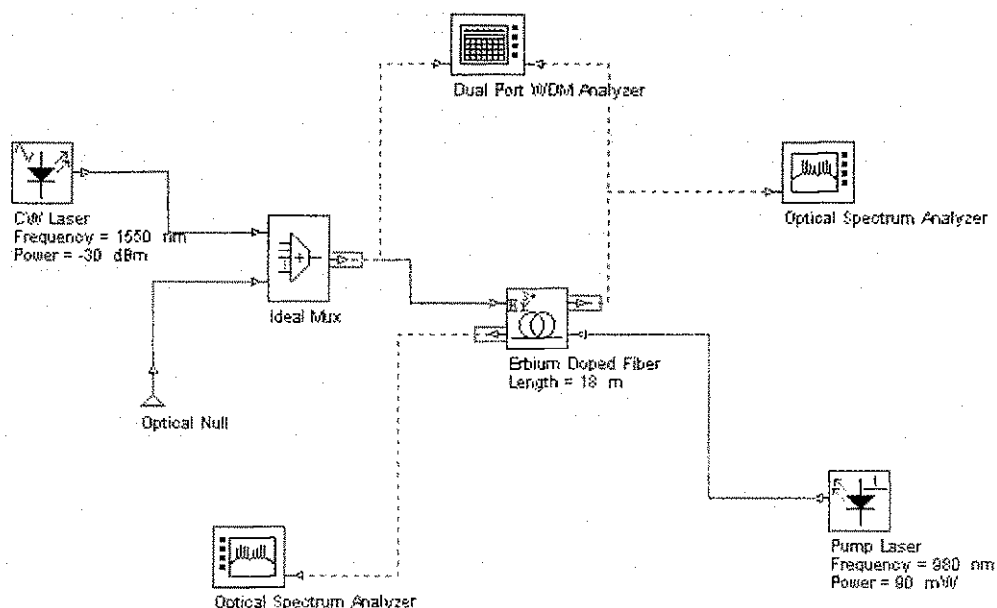


Figura 16: Amplificador de linha que utiliza bombeio contra-propagante.

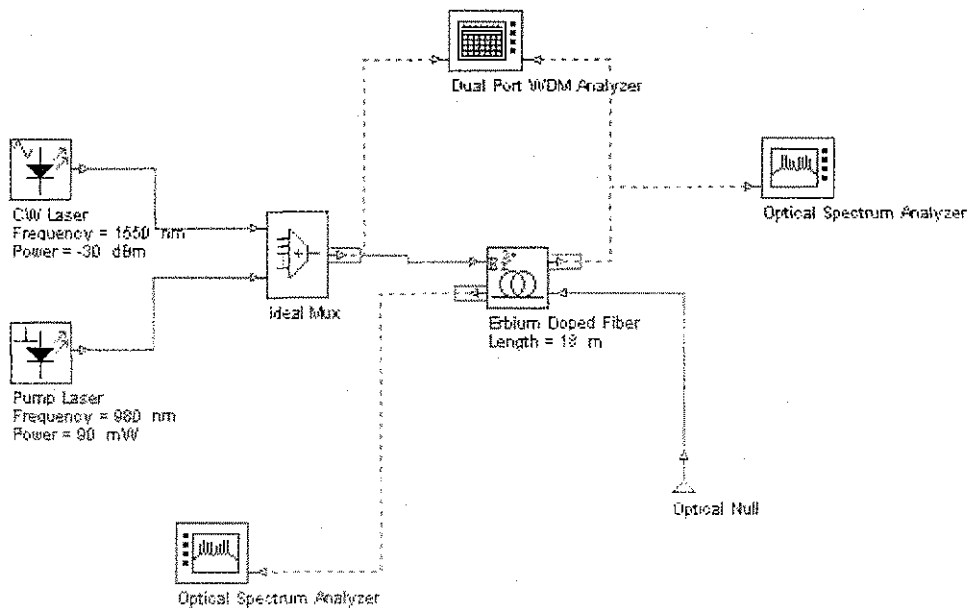


Figura 17: Amplificador de linha que utiliza bombeio co-propagante.

Comprimento de onda (nm)	Ganho (dB)	Figura de ruído (dB)	Potência de saída (dBm)
1550	36.992726	9.01422	6.98903

Tabela 2: Ganho, figura de ruído e potência de saída do amplificador de linha com bombeio contra-propagante.

Comprimento de onda (nm)	Ganho (dB)	Figura de ruído (dB)	Potência de saída (dBm)
1550	36.4843	4.5588	6.4806

Tabela 3: Ganho, figura de ruído e potência de saída do amplificador de linha com bombeio co-propagante.

Como pode ser observado a configuração que utiliza bombeio co-propagante obteve melhores valores de figura de ruído. Pois em amplificadores de linha é necessário baixa figura de ruído tendo em vista minimizar o acúmulo de ASE ao longo da linha de transmissão.

7.3. Pré-amplificador

Por fim foi simulado um pré-amplificador que utiliza o laser de bombeio em 980 nm no sentido de propagação do sinal. A figura 18 mostra a configuração simulada no Optisystem. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos.

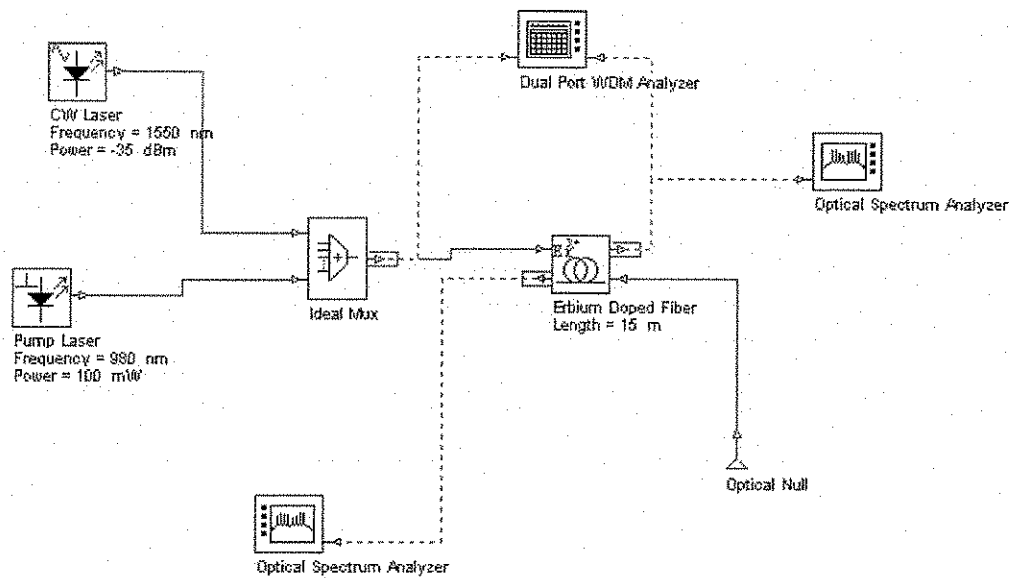


Figura 18: Pré-amplificador que utiliza bombeio co-propagante.

Comprimento de onda (nm)	Ganho (dB)	Figura de ruído (dB)	Potência de saída (dBm)
1550	34.933047	4.51146	-0.0718636

Tabela 4: Ganho, figura de ruído e potência de saída do pré-amplificador com bombeio co-propagante.

Alto ganho e baixíssima potência de saída foram obtidos com esta configuração.

8. Conclusão

Neste trabalho, analisou-se o desempenho através de simulação das principais configurações dos amplificadores a fibra dopada com érbio. Foram mostradas as características e o princípio de amplificação óptica do dispositivo. Em seguida foram vistas as principais topologias e aplicações dos EDFAs. Um breve resumo sobre o software utilizado foi apresentado e por fim as simulações com os respectivos resultados foram mostrados. A partir deste trabalho pode-se ver que os EDFAs são amplificadores robustos que oferecem alto ganho, baixa figura de ruído, ~~menor~~ não-linearidades, entre outras características de acordo com cada aplicação. *MENOR*

9. Referências Bibliográficas

- [1] E. Desurvire, Erbium-Doped Fiber Amplifiers - Principles and Applications, 1st ed., Ed.: John Wiley & Sons, Nova Iorque, EUA, 1994.
- [2] J. C. R. F. de Oliveira. "Projeto de EDFAs com Controle Automático de Ganho Totalmente Óptico para Aplicações em Redes WDM". Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2004.
- [3] S. Milo, "Análise de Desempenho de Topologias de Amplificadores Ópticos a Fibra Dopada com Érbio", dissertação de mestrado, DMO/FEEC/UNICAMP, Campinas, SP, 2003.
- [4] P. C. Becker, N. A. Olsson e J. R. Simpsom, "Erbium-Doped Fiber Amplifiers – Fundamentals and Technology", 1a. ed., Academic Press, EUA, 1999.
- [5] G. P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, 2nd. ed., Academic Press, San Diego, CA, 1995.
- [6] G. P. Agrawal, Fiber-Optic Communication Systems, 1st ed., Ed. New York: J. Wiley & Sons, 1992.
- [7] S. Sudo, "Optical Fiber Amplifiers – Material, Devices, and Applications", 1a ed., Artech House, EUA, 1997.
- [8] T. V. P. Coelho, "Análise Experimental de Topologias de Amplificadores Ópticos a Fibra Dopada com Érbio", dissertação de mestrado, DMO/FEEC/UNICAMP, Campinas, SP, 2007.
- [9] G. Keiser, "Optical Fiber Communications". Terceira Edição. McGrawHill International Editions. 2000.
- [10] Manual do software Optisystem 7.0™. Optiwave Systems Inc.