

F 809A - Instrumentação para ensino

Relatório Final

Multiplexagem por divisão de comprimento de onda

Apresentação de pesquisa e projeto realizados

Professora Orientadora

LUCILA HELENA DELIESPOSTE CESCATO

cescato@ifl.unicamp.br

Aluno

WILLIAM DE OLIVEIRA MOREIRA - RA 992579

wom@gm.x.li

Campinas, 20 de outubro de 2002

Universidade Estadual de Campinas (SP) - UNICAMP
Instituto de Física “Gleb Wataghin” - IFGW

1 Telecomunicações : Desafios e a demanda do mercado

É fácil perceber o crescimento do tráfego de informações, especialmente a Internet, responsável por um aumento de 300% ao ano. Claro que outras mídias de transporte de dados não poderiam ser esquecidas, como o tráfego de canal de voz, telefones e faxes, com crescimento médio de 13% ao ano [1, 5]. Isto posto, fica evidente que as atuais formas de tecnologia da transmissão de dados devem, pelo menos em tese, acompanhar o crescimento da demanda do mercado, justamente para evitar quedas em sistemas, má prestação de serviços, perda de dados, congestionamento em linhas de transmissão e muito mais.

Compreendendo os desafios das indústrias de telecomunicações, é possível entender a importância da tecnologia DWDM¹ e o sistema de redes ópticas. Embora a utilização de fibras ópticas nas redes de telecomunicações represente atualmente um instrumento indispensável em transmissão de dados, devido sua grande velocidade e capacidade de transmissão, ainda sim, a tecnologia empregada inicialmente não poderia suprir a necessidade do mercado consumidor com a atual taxa de crescimento.

Não restavam muitas opções para as prestadoras de serviços, além da instalação de mais cabos de fibras ópticas, porém, isto não representa uma saída economicamente viável, pois o custo de instalação de cabos subterrâneos e transoceânicos são muito altos². A tecnologia DWDM vem, portanto, preencher a demanda deste mercado sem a necessidade, pelo menos de imediato, de expandir a quantidade de cabos de fibras ópticas, o que estabelece um grande alívio econômico, já que a tecnologia empregada não sofre alterações em seu princípio básico de funcionamento, utilizando os mesmos componentes eletrônicos, simplesmente dividindo a mesma fibra óptica para transmitir vários canais ao mesmo tempo, ou seja, luz em diferentes comprimentos de onda (λ), cada qual portadora de informações distintas. Observando a Figura 1 temos uma visão qualitativa do que atualmente é feito nas indústrias de telecomunicações com a tecnologia DWDM.

Atualmente há em operação sistemas DWDM trabalhando com 128 e 160 comprimentos de ondas, um indicativo que os limites para esta tecnologia ainda não são conhecidos, há uma previsão de que no futuro sejamos capazes de transportar o equivalente em informações de 90.000 enciclopédias por segundo numa mesma fibra óptica [5].

Como objetivo deste projeto, provaremos que duas fontes de luz com frequências distintas portando cada uma diferentes informações, podem se propagar simultaneamente num mesmo meio ou região do espaço sem que haja interferência (“cross-talking”), é o que justamente possibilita a existência da tecnologia DWDM, caso contrário não poderíamos separar e identificar de sinal modulado ao final do trajeto.

¹Dense Wavelength Division Multiplexing - que em sua tradução significa “Multiplexagem Densa por Divisão de Comprimento de Onda”, sistema empregado para grande quantidade de frequências portadoras num mesmo espaço de propagação, trata-se de uma técnica de transmissão em fibras ópticas

²Em torno de US\$43.600,00 por quilômetro [1]

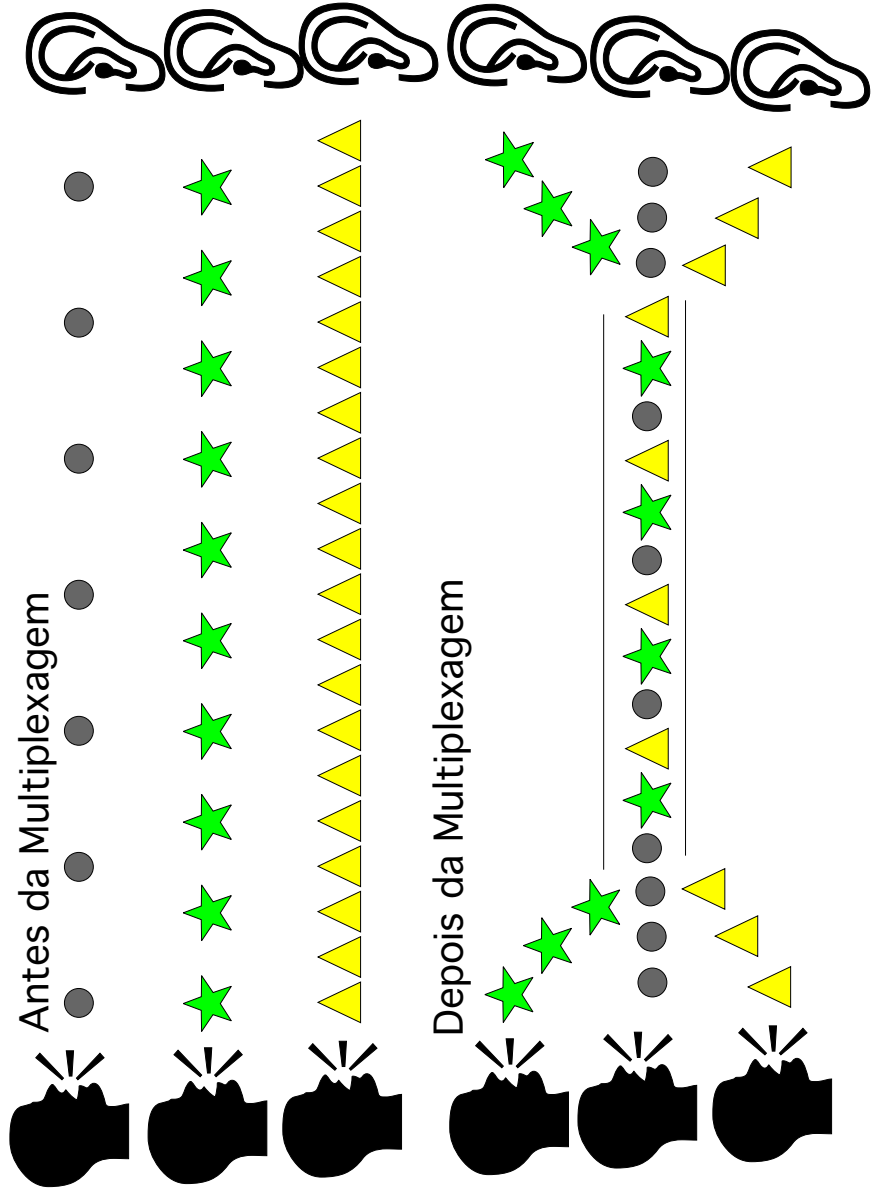


Figura 1: As redes de telecomunicações anteriores a Multiplexagem operavam com uma conexão física para cada transmissão de dados, com a utilização da Multiplexagem, apenas uma mesma conexão (fibra óptica) é utilizada simultaneamente para diversas transmissões de dados

2 Descrição

Diante dos desafios já apresentados pelas indústrias de telecomunicações é simples compreender do sucesso e da larga utilização dos sistemas DWDM; cabe neste momento entender como se dá a transmissão de dados por luz. O princípio fundamental do processo é muito simples: gerado um sinal elétrico, utilizamos o mesmo conectado a uma fonte de luz que por sua vez irá modular intensidade luminosa da fonte, nesta primeira fase gera-se um sinal luminoso portando a informação do sinal elétrico. Claro que há a necessidade de decodificar o sinal luminoso novamente em sinal elétrico e recuperamos a informação original, para isto utiliza-se um circuito que varia a tensão elétrica com a intensidade da luz incidente nele, a este circuito daremos o nome de circuito demodulador.

Quando a amplitude do sinal gerador é muito pequena, utiliza-se um circuito amplificador, que em seguida modula o sinal sobre a fonte de luz, na Figura 2 temos um circuito de modulação óptica de sinais de áudio, apresentada na Matéria de F 809 em 2000 pelo aluno Evandro José Barbosa orientado pelo professor Leandro Tesler. Em simplificação a este circuito, podemos conectar o sinal de áudio diretamente ao laser, como pode ser visto na Figura 3, e este será o sistema escolhido neste projeto.

Um vez definido o circuito modulador, resta montar o circuito demodulador, a recepção do sinal luminoso ocorrerá por um componente eletrônico chamado LDR³, que varia linearmente sua resistência de acordo a intensidade da luz. Assim, a transmissão dos dados ocorre sem problemas, pois se o LDR estiver conectado a uma fonte de tensão, quando houver incidência luminosa, em sua saída será observada uma modulação igual ao da intensidade da luz incidente, que por sua vez é a mesma do sinal gerador no circuito modulador.

Serão utilizadas duas fontes distintas de luz, moduladas para transmissão de sinais de áudio. Está previsto a utilização de um LED, e um Laser. Utilizando uma fibra óptica, dois feixes de luz percorrem juntos o mesmo trajeto, e ao final dele, com auxílio de uma rede de difração ou um prisma, os feixes serão separados e jogados num circuito demodulador, capaz de reproduzir o som em pequenas caixas acústicas, de acordo com a fonte luminosa a escolha.

A intensidade luminosa não será muito grande no circuito demodulador, devido a utilização da fibra óptica o espalhamento da luz ocorrerá numa pequena área, logo necessariamente é importante amplificar o sinal gerado pelo LDR. Utiliza-se como amplificador o circuito integrado LM386, a montagem é a sugerida pelo fabricante (UTC - Unisonic Technologies), e pode ser observada na Figura 3, este mesmo circuito também poderia ser montado de forma análoga ao circuito da Figura 2 para amplificar o sinal, porém a escolha do circuito integrado LM386 simplifica a montagem, temos um ganho de amplificação maior (até 200) e efetua um ajuste de melhor qualidade do sinal para as caixas acústicas, por tratar-se de um circuito integrado de áudio.

³Light Dependent Resistor (também poderia ser utilizado um fototransistor)

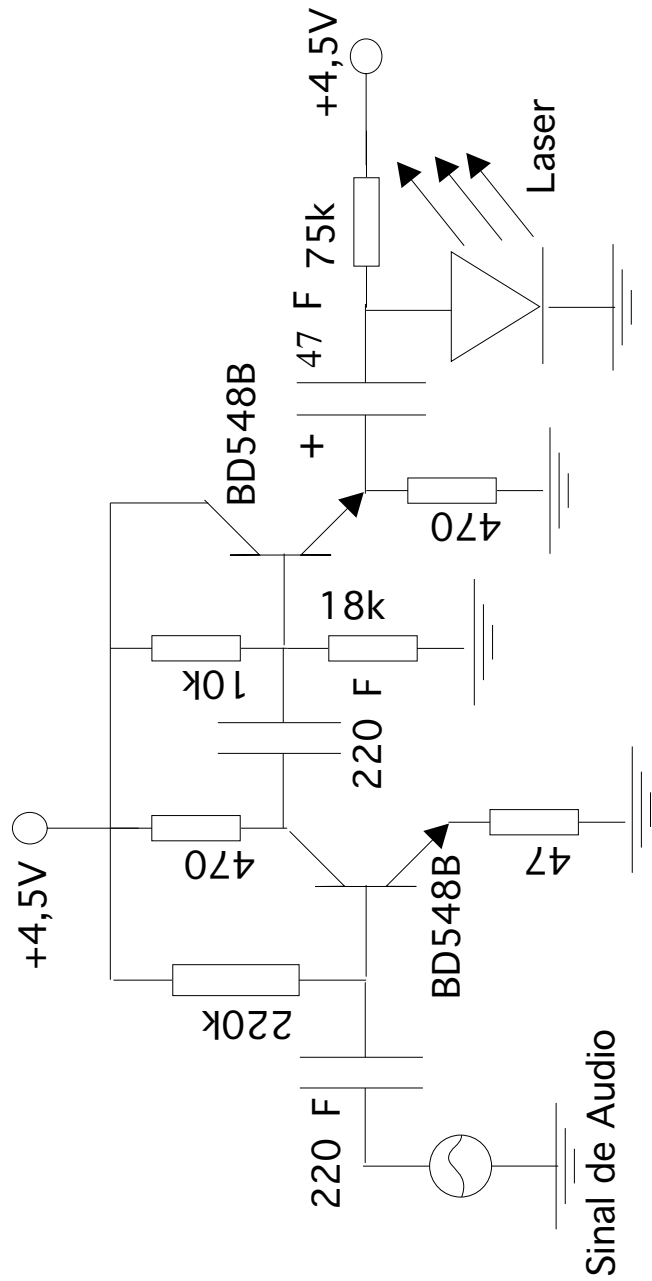


Figura 2: Circuito modulador óptico para sinais de audio proposto na Matéria de F 809 pelo aluno Evandro José Barbosa.

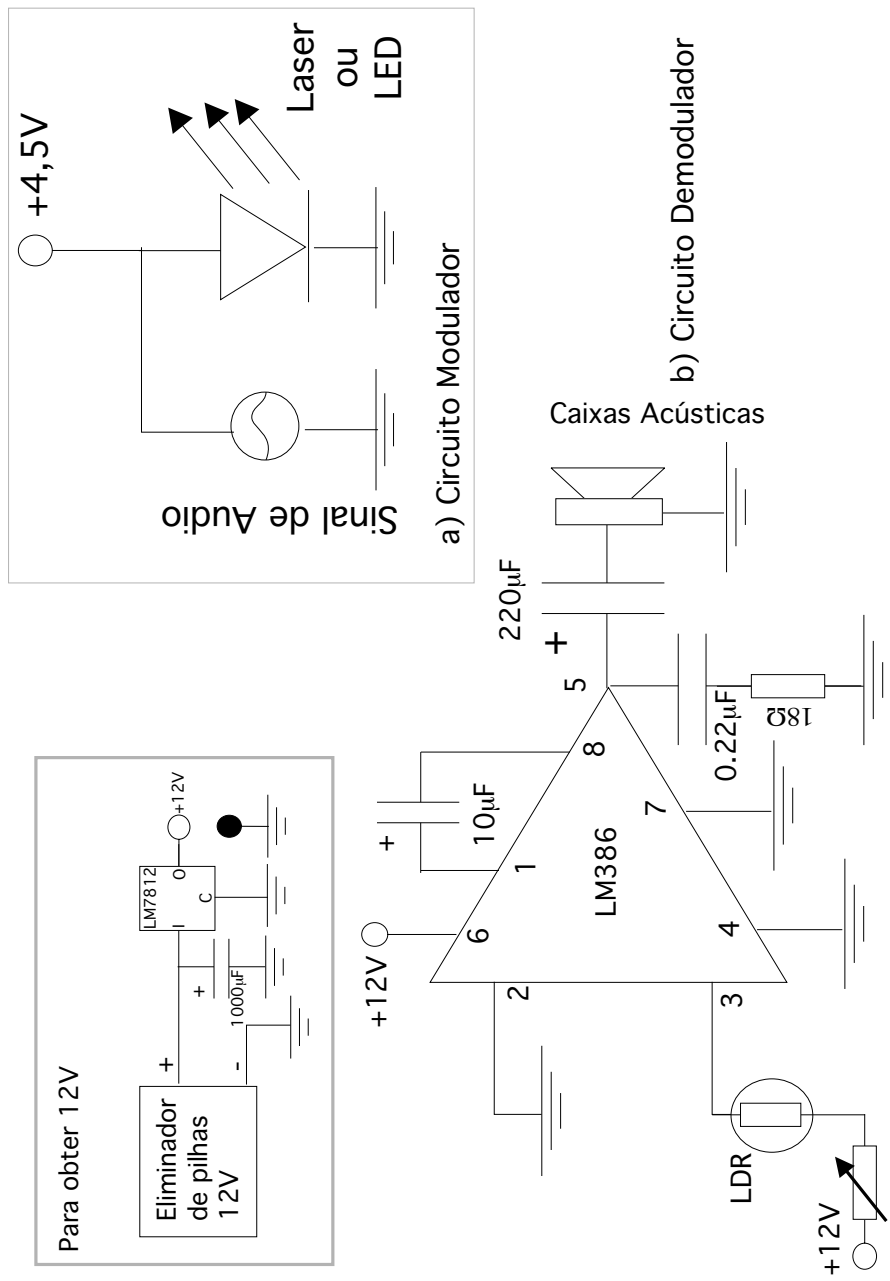


Figura 3: a) Simplificação do circuito modulador óptico para sinais de áudio com amplitude maior que 0.3V, no caso da utilização de laser temos uma tensão de 4,5V e com LED aconselha-se uma tensão de 2,5V ~ 4,5V. Conselha-se um capacitor entre a fonte do sinal e o LED. b) Circuito demodulador. Observe que no canto superior esquerdo há outro circuito para obtermos uma tensão de 12V, pois de forma geral, os eliminadores de pilhas a venda no mercado não mantêm o sinal constante, e isto foi verificado ocorrendo variação 13V a 20V, seguindo a montagem sugerida teremos 12V com uma variação de ±5 mV

3 Os avanços na tecnologia DWDM

3.1 Fibras Ópticas

Os cabos de cobre foram os meios utilizados em larga escala no processo de transmissão de dados, e por estes cabos, sinais elétricos eram emitidos sem o benefício da multiplexagem de informações e por consequência suscetível a interferências eletromagnéticas. Com a exploração tecnológica dos meios de comunicação pela luz, a partir 1966, os cabos anteriormente utilizados cediam lugar para as fibras ópticas. E logo percebeu-se as vantagens desta substituição: baixo custo, alta capacidade de tráfego de informações para longas distâncias e imunidade eletromagnética.

Atualmente a fibra óptica tem sua construção em sílica, bastante flexível, com um canal ao longo da fibra por onde a luz incidente ao orifício de entrada se propaga, pelo *princípio da reflexão total da luz*, há uma visão qualitativa na Figura 4. Com o desenvolvimento das pesquisas sobre fibra óptica, em especial a de sílica, percebeu-se que em algumas regiões do espectro da luz a sua atenuação ao longo da fibra é muito baixa, a estas regiões chamamos de *janela*, a primeira janela opera em torno da faixa de espectro para 850 nm, a segunda em 1310 nm também chamada de Banda “S”, a terceira (Banda “C”) em 1550 nm, quarta (Banda “L”) em torno de 1550 nm e a sexta janela em torno de 1600 nm. Na Figura 5 temos um gráfico de atenuação de um fibra de sílica ao longo de acordo com o comprimento de onda.

Fica evidente que na tecnologia DWDM os comprimentos de onda utilizados são na faixa entre 1300 nm e 1550 nm, em geral devido a melhor funcionamento da fibra óptica, porém isto não resolve o problema, pois em grandes distancias por menor que seja a atenuação isto não a impede. Fez-se então necessária a presença de estações de amplificadores ópticos para os sinais enviados após longas distancias. Pelo efeito cumulativo da atenuação, na prática isto representava uma viagem do sinal de aproximadamente 120 km entre as estações de amplificação.

Um importante avanço surgiu entre os anos 70 e 80, com a introdução do Érbio na construção da fibras ópticas, o Érbio é um elemento raro, que quando excitado emite luz com comprimento de onda por volta de 1540 nm, na prática a dopagem da fibra com Érbio permite que um sinal injetado na fibra no comprimento de onda a 980 nm ou 1480 nm, e os átomos de Érbio excitados transferem esta energia adicional ao sinal injetado, o processo continua ao longo de toda fibra, mas não isenta a atenuação, porém a diminuem bastante, as perdas que antes ocorriam da ordem de 20 dB/km passaram a 0.2 dB/km, e por consequência as estações amplificadoras se distanciam de 600 km até 1000 km em alguns sistemas de DWDM [1, 4].

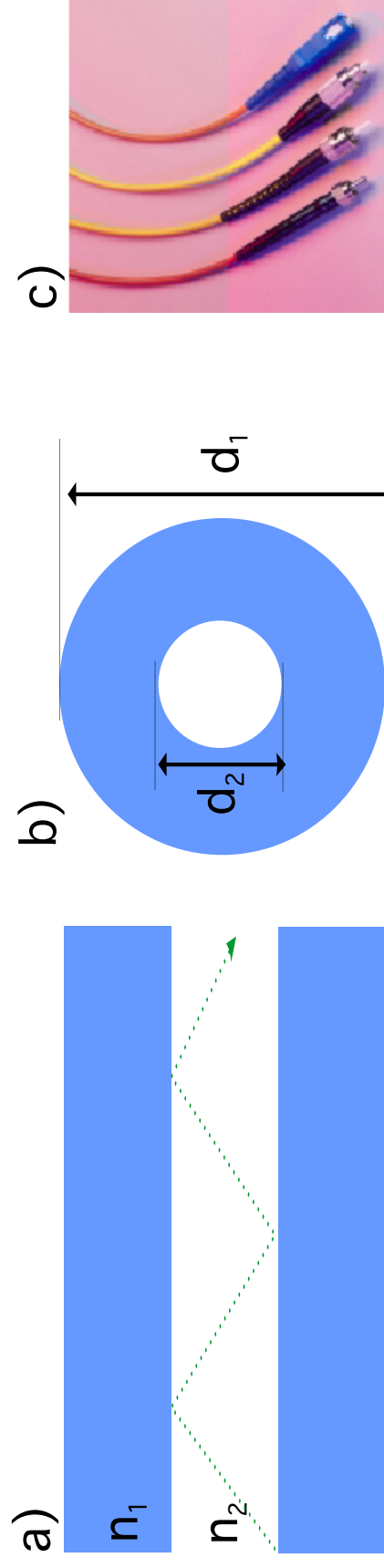


Figura 4: a) Fibra óptica, visão lateral. n_1 e n_2 são índices de refração, a linha pontilhada representa a reflexão total de um feixe de luz. b) Representação de um corte transversal de fibra óptica, em geral temos diâmetro $d_1 = 125\mu\text{m}$ e $d_2 = (63 \sim 50)\mu\text{m}$ [6]. c) Imagem fotográfica de diversos modelos de fibras ópticas, note que existe um suporte de encaixe próprio na extremidade da fibra.

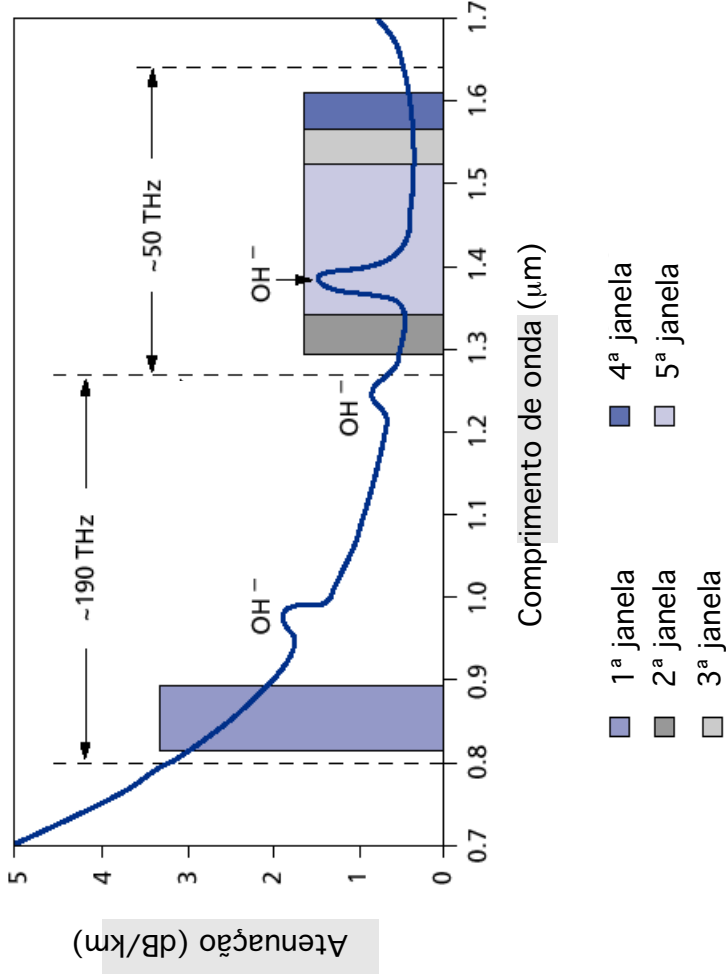


Figura 5: Disposto no gráfico a atenuação do feixe de luz em função com comprimento de onda, observa-se a queda na atenuação dentro das janelas, porém num exame mais detalhado temos que em algumas regiões das janelas, temos um aumento na atenuação, isto deve a presença do íon hidroxila (OH^-), sua presença é residual, tratando-se de uma impureza no processo de fabricação da fibra óptica. [6]

3.2 Redes de Difração

As redes de difração assumem um papel muito importante, supondo que um feixe de luz policromático passe por uma rede de difração, ocorre a separação do feixe em diversos outros, em tese, monocromáticos. As redes de difração funcionam como um prisma. Num sistema de DWDM o processo é muito parecido para a separação dos feixes ao final da fibra óptica. No entanto a larga utilização das redes de difração ocorre na confecção dos feixes lasers, quanto mais monocromático for o feixe menos interferência e maior será a quantidade de feixes injetados na fibra.

A interferência ocorre quando dois feixes de comprimentos de onda distintos possuem larguras espectrais de tal forma que ocorra intersecção destas larguras, isto significa dizer que as suas fontes, portanto informações diferentes, possuem um comprimento de onda em comum, possibilitando a separação da informação sem perda, isto pode ser visto na Figura 6.a. Nos sistemas de telecomunicações, as larguras espectrais possuem dimensões da ordem de nanômetros. Nos lasers de transmissão de dados, há a presença de uma rede de difração na saída da fonte, para que o feixe se torne o mais monocromático possível. No princípio da tecnologia de DWDM as redes de difração também se responsabilizavam pela multiplexagem, no entanto não se mostrava eficiente, hoje, utilizam-se outro modelos baseados em cristais com índices de refração e dimensões diferentes, específicos para cada comprimento de onda, deslocando os feixes a ângulo desejado e ocorrendo a multiplexagem.

Na Figura 6.c temos um exemplo de uma fenda numa rede de difração de largura d , considerando dois feixes de comprimento de onda λ de encontro com um ponto “P”, a diferença de caminho óptico entre os feixes é facilmente obtido : $d \times \sin \theta$, desejando que haja uma interferência construtiva, logo esta diferença deve ser igual a um número inteiro n de comprimento de onda. Portanto, para esta rede de difração temos a seguinte condição [3, pág. 115] :

$$d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

Da equação 1 temos que para cada comprimento de onda λ teremos o feixe de luz difratado deslocado num ângulo θ , de acordo com a dimensão da fenda. Como exemplo didático, neste projeto será utilizado uma rede de difração para separar os comprimentos de onda, observe que na Figura 6.b as larguras espectrais escolhidas não sofrem interferência (“cross-talking”) e seus respectivos comprimentos de onda são razoavelmente bem definidos possibilitando sua separação.

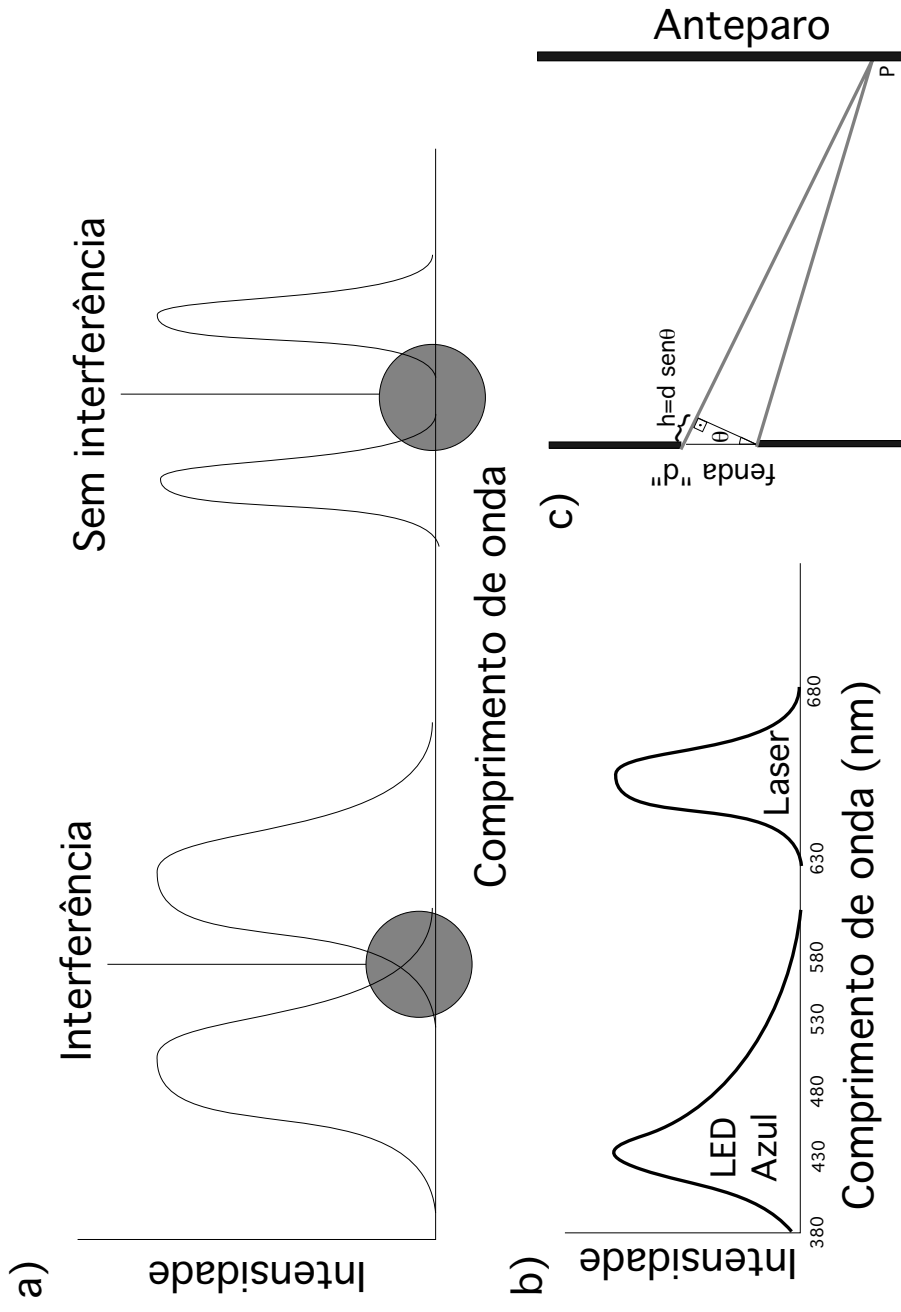


Figura 6: a) A esquerda, dois feixes de comprimento de onda distintos, porém suas larguras espectrais sofrem intersecção gerando interferência no sinal (detalhe), o que não ocorre com o exemplo a direita. b) Neste projeto será utilizado um LED Azul e um Laser, as larguras espectrais foram conseguidas com o fabricante: www.fairchildsemi.com, não ocorre interferência. c) Uma fenda de largura d , supondo que passem dois feixes em direção a um ponto "P".

Considerações finais

Os modelos aqui dispostos possuem intenção meramente didática, que não consistem na simplicidade das informações prestadas, toda tecnologia envolvida, se apoia em conceitos simples e do avanços das pesquisas. A UNICAMP através de seus laboratórios na Faculdade de Engenharia Elétrica e do Instituto de Física “Gleb Wataghin” possuem equipes que trabalham na área de comunicações ópticas. Em específico na atuação do IFGW, o professor Hugo Frangito coordena a montagem de uma rede de fibra óptica que irá otimizar a conexão entre instituições de ensino do Estado de São Paulo [2]. A pesquisa é crescente e o mercado ainda tem muito a explorar toda tecnologia, a demanda do mercado é um termômetro da necessidade de novas pesquisas na área.

Agradecimentos

Ao longo do projeto, diversas pessoas deram importantes colaborações em forma de material bibliográficos, sugestões e críticas, em agradecimentos:

1. Professora Lucila Helena Deliesposte Cescato : co-autora e orientadora do projeto
2. Professor Lunazzi : Orientador da disciplina, opinou e forneceu fibra óptica, feixe laser e alguns equipamentos para amplificação
3. Claudemir Campagnoli, Téc. eletrônico. : auxiliou na montagem do circuito demodulador e na construção de uma fonte de energia que não é suscetível a oscilações da rede elétrica
4. Alcides da Silva, Téc. Lab. Óptica : auxiliou na montagem de plataformas e suporte para os circuitos do projeto
5. Henrique Carvalho - Consultor DWDM : auxiliou com material bibliográfico vasto sobre o assunto e apresentou o laboratório e equipamentos (IFGW:DEQ-201)
6. Evandro José Barbosa : Cedeu o circuito e o modelo para montagem e originalidade do projeto.

Referências

- [1] Inc. Cisco Systems. Introduction to dwdm for metropolitan networks. Word Wide Web, <http://www.cisco.com>, 2000.
- [2] Maria Alice da Cruz. Cardeno:internet. Jornal da Unicamp, 16~22 de setembro de 2002 - Ano XVII Número 190.
- [3] Grant R. Fowles. *Introduction to Modern Optics*. Dove Publications, 17th edition, 1989.
- [4] Armando Nolasco Pinto. *Modernização da Fibra Óptica*. Universidade de Aveiro - Portugal. Capítulo 2.
- [5] Lucent Technologies. Dense wavelength division multiplexing. The International Engineering Consortium, <http://www.iec.org>.
- [6] Lucent Technologies. Optical fibers for optical networking. Bell Labs Thecnical Journal, Jan/Mar 1999.
- [7] Cable U Training. Dense wavelength division multiplexing. Cable University Fiber Tech : Self-Study Program, <http://www.cableu.net/fibrtech/dwdm.htm>, 2000.