Instituto de Física
UFRJ

Projeto de Instrumentação de Final de Curso

Curiosidades das Fibras ópticas no Cotidiano.

Aluno: Luiz Cezar Nacif Junior
Orientadores:
- Marcos Binderly Gaspar
- Lígia de Farias Moreira

Abril 2005

I. F. U. F. R. J.
BIBLIOTECA
REGISTR. | DATA.
04/2005

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu muita força para continuar o curso de Física, quando surgiam dificuldades aparentemente insolúveis e logo após agradeço do fundo do meu coração à minha maravilhosa família que sempre me apoiou nos períodos mais complicados da minha vida, me cercando de amor e carinho. Um muito obrigado à minha mãe, Ingrid Salgado Nacif, a meu pai, Luiz Cezar Nacif e à minha irmã, Karinne Salgado Nacif.

Agradeço aos meus avós maternos, Corina e João Batista e avós paternos, Emma e Chaquib e os amigos Flávio Cardoso, Carlos Maia, Édson Alan, Fabiano e a todos os amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão do meu curso de Física.

Agradeço especialmente aos meus orientadores Marcos Binderly Gaspar e Lígia de Farias Moreira que sempre acreditaram na minha capacidade, sempre me motivando e me ajudando para a conclusão do presente trabalho.

Agradeço aos professores do curso de Física: Francisco Cordeiro, Vitorvani Soares, André Penna, Wilma Machado, Erich Meyer, cujos ensinamentos foram o pilar da minha formação, além de revelarem o verdadeiro e grandioso sentido da alegria e da satisfação no aprendizado da Física.

Agradeço ao professor Arthur Chaves, coordenador da Licenciatura, pela paciência e dedicação aos alunos.

E finalmente agradeço à Universidade Federal do Rio de Janeiro pela minha excelente formação acadêmica, ao COAA e a DAE pela infra-estrutura oferecida a mim para a conclusão do curso.

RESUMO

Este trabalho tem como proposta uma maneira alternativa de apresentação dos conceitos sobre o tema reflexão interna total (Óptica), mostrando como este é aplicado no nosso cotidiano através das fibras ópticas. A monografia destina-se aos alunos do Ensino Médio, aos do curso de Licenciatura em Física e também para professores de Física do Ensino Médio. O trabalho baseia-se nas recomendações dos PCN.

O conteúdo do trabalho conta algumas curiosidades das fibras ópticas e o conceito teórico físico da mesma sob a forma de uma atividade curricular complementar. Fizemos, inicialmente uma breve apresentação da história da óptica ligada aos conceitos de reflexão, seguida dos aspectos gerais, complementando com alguns experimentos simples, encerrando com as aplicações atuais das fibras ópticas.

SUMÁRIO

1 Introdução ---------- 1

2 Método do Desenvolvimento do Trabalho---------- 3

3 Atividade curricular complementar – aspectos gerais---------- 4

3.1 Introdução ---------- 4

3.2 As Fibras Ópticas---------- 5

3.3 Mão de Obra ---------- 10

3.4 Mercado Brasileiro ----------11

3.5 Regulamentação----------11

3.6 Rápido como a luz, não é necessário tantas vezes se o assunto é contínuo------11

3.7 Cabos Submarinos----------14

4 Fundamentos Teóricos----------15

4.1 Breve Histórico das Comunicações Ópticas ----------15

4.2 Teoria----------18

5 Tecnologia das Fibras Ópticas----------27

5.1 Tipos de Fibras ópticas----------27

6 Experimentos----------37

6.1 Experiência 1 – Condutores de luz----------37

6.2 Experiência 2 – Propagação da Luz----------37

6.3 Experiência 3 Construindo uma Fibra óptica----------38

7 Aplicações----------39

7.1 Vantagens do Uso das Fibras Ópticas ---------- 39

7.2 Uso de Fibras ópticas na Medicina----------42

7.3 Fibras ópticas na Instrumentação----------43

7.4 Uso de Fibras Ópticas nas Telecomunicações----------45

7.5 Termômetro à Fibra Óptica para uso em ambientes com microondas----------47

7.6 As Pinças ópticas----------47

7.7 Aplicações Militares----------48

7.8 O Chip do Futuro----------48

7.9 Os cubos ameaçam os discos----------50
7.10 Holografia----------50
8 Conclusão ---------- 55
9 Referências Bibliográficas ---------- 57

1. INTRODUÇÃO

As aplicações da óptica cercam o cotidiano do nosso tempo. Desde os simples espelhos planos que usamos para refletir nossa imagem aos pentearmos nossos cabelos, aos telescópios ultramodernos usados para observar o espaço.

O ensino da Física, na escola média, deve contribuir para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação.

O conhecimento da Física "em si mesmo" não basta como objetivo, mas deve ser entendido sobretudo como um meio, um instrumento para a compreensão do mundo, podendo ser prático, mas permitindo ultrapassar o interesse imediato.

Aprender a maneira de lidar com o mundo envolve competências e habilidades específicas relacionadas à compreensão e investigação em Física.

Uma parte significativa dessa forma de proceder traduz-se em habilidades relacionadas à investigação. Como ponto de partida, trata-se de identificar questões e problemas a serem resolvidos, estimular a observação, classificação e organização dos fatos e fenômenos à nossa volta, segundo os aspectos físicos e funcionais relevantes. Isso inclui, por exemplo, identificar diferentes imagens ópticas, desde de fotografias a imagens de vídeos.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN,2003), recomendam:

> *[...] As modalidades exclusivamente pré-universitárias e exclusivamente profissionalizantes no Ensino Médio precisam ser superadas, de forma a garantir a pretendida universalidade desse nível de ensino, que igualmente complete quem encerre no Ensino Médio sua formação escolar e quem se dirige a outras etapas de escolarização. Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e*

> *tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais.*
>
> *[...] Trata-se, isso sim, de prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada, o que inclui uma compreensão mínima das técnicas e dos princípios científicos em que se baseiam.*

O presente trabalho tem como finalidade montar uma atividade curricular complementar, na forma de palestra interativa, para alunos e professores, mostrando as aplicações das fibras ópticas em suas diferentes áreas de atuação tais como: telecomunicações, medicina, computadores e outros. Introduzir, também os fundamentos teóricos ligados diretamente a esse avanço tecnológico. Apresentaremos, no decorrer da atividade algumas experiências ligadas a esse fenômeno. Encerraremos com a apresentação das aplicações modernas da fibra óptica em diversos setores da vida.

2. MÉTODO DO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O método aplicado ao presente trabalho, propõe para nosso público, motivações através de experimentos e curiosidades técnicas sobre fibras ópticas, além de ressaltar a importância de apresentar a Física como parte do nosso cotidiano e de nossas vidas e não apenas como uma matéria obrigatória do Ensino Médio.

A ordem da apresentação dos tópicos é a seguinte: sucinto histórico da descoberta e evolução da fibra óptica; onde esta é utilizada; a teoria física das fibras ópticas e finalizando a atividade falamos dos tipos diferentes de fibras ópticas e as vantagens dessa tecnologia de ponta. A parte histórica deve ser "leve", apresentada com humor, para prender a atenção dos alunos.

A palestra deverá ser dada por turma para melhor aproveitamento. Ao iniciar a atividade será avisado que os alunos poderão questionar o professor sobre curiosidades relacionadas ao assunto, despertando, desta forma interativa, o maior interesse e atenção da platéia.

As experiências serão feitas ao decorrer da apresentação, embora, neste trabalho tenhamos colocado-as em um capítulo separado. A atividade terá duração de mais ou menos em duas hora. Utilizaremos, de preferência uma sala de aula com retroprojetor ou data show.

O trabalho foi apresentado na Escola Estadual Senador Teotônio Vilela para as turmas do Ensino Médio.

.

3. ATIVIDADE CURRICULAR COMPLEMENTAR ASPECTOS GERAIS

3.1 Introdução

Sobreviver. Este é o principal objetivo de todo o ser vivo. Para sobreviver o homem foi pouco a pouco adaptando a natureza às suas necessidades, transformando-a. Em pé, com as duas "patas" dianteiras livres para pegar tudo que o cercava, o homem começou a inventar utensílios para facilitar a sua vida. Desse modo, por exemplo, veio o fogo e a roda. Seguindo essa idéia, o homem, de acordo com as suas necessidades, começou a utilizar-se de sinais luminosos para transmitir informações através do fogo. Era o início da óptica e da comunicação à distância.

Com o passar do tempo, o constante desenvolvimento, crescimento e a evolução do homem exigiu que novos métodos para a comunicação fossem abordados, pois o método que eles utilizavam era insuficiente para abranger toda a população. Era necessário surgir um novo método que levasse a informação para todas as pessoas ao mesmo tempo. Foi pensando assim que o homem descobriu o telefone (1876), a televisão (1936), o computador (1943), o satélite (1962) e outros. [Setti, 1997]

O crescente avanço da tecnologia fez com que as várias ciências existentes se desenvolvessem e com isso, surgiu o LASER. E foi através dele que o homem encontrou, em termos, o mais novo e melhor meio de comunicação, cujo aperfeiçoamento se deu com a descoberta da fibra óptica. Não foi só no meio da telecomunicação que o laser revolucionou, mas também em diversas outras áreas ligadas a esta. O laser também ajudou e vem ajudando em nossa segurança e um exemplo disso foi o surgimento dos hologramas que será utilizado em embalagens de remédios a fim de proteger a população contra a falsificação.[www.policom.com.br, 2004]

Várias outras novas tecnologias no campo da computação estão ocorrendo graças ao laser, como é o caso do chip óptico, que vem possibilitando a realização de cálculos extraordinariamente rápidos. Podemos citar ainda, o caso dos cubos plásticos, o qual vem

sendo desenvolvido e que num futuro não muito distante substituirão os discos atuais, e as pinças ópticas, que serão utilizadas em micro-sistemas e até na realização de exames laboratoriais mais eficazes.

Para que se possa entender melhor essa explosão tecnológica que o mundo vem sofrendo, vamos retratar nesse trabalho as tecnologias atuais que vêm sendo desenvolvidas e, conseqüentemente, as suas aplicações ópticas encontradas em diversas indústrias. Enfim, comentar algumas das mais recentes pesquisas nessa área. Isso é importante, pois estamos vivendo numa época de globalização, onde a idéia de "aldeia global" que é explorada pelas corporações transnacionais faz com que a rápida evolução e popularização das tecnologias da informação (computadores, telefones e televisão) agilizem o comércio e as transações financeiras entre os países. Com a invenção dos cabos de fibra óptica, isso ocorre, pois as informações viajam muito mais rápidas que antes, o que fez com que o número de usuários da Internet, rede mundial de computadores, aumentasse significativamente e as informações chegassem aos mais diversos pontos do mundo.

Assim, nessa época de globalização, de realidade virtual, de interatividade, a Engenharia Óptica está crescendo aceleradamente. Ela é indispensável, pois através de princípios científicos da óptica, ela é responsável pela aplicação prática desses conhecimentos, tanto na construção como na aplicação de instrumentos, sistemas e componentes ópticos.

A Engenharia Óptica pode ser dividida em diversas especialidades, que são geralmente complementares, pois, para construir um sistema óptico se faz uso de cada uma delas em maior ou menor medidas. Portanto, devido a seu vasto conteúdo, descreveremos apenas algumas áreas em que ela é utilizada. [www.policom.br]

3.2 As Fibras Ópticas

Antes de começarmos a falar sobre as fibras ópticas, é necessário dizer que seu desenvolvimento foi devido ao aparecimento do LASER. O "raio mortal" dos filmes de ficção científica foi criado em 1960 por Theodore H. Maiman (Civita, 1996), embora fosse idealizado por Albert Einstein em 1917. Essa luz diferencia-se de uma luz comum, pois não

se dispersa, permanecendo concentrada e apresentando um alto potencial. Sendo assim, ela pode ser utilizada em várias áreas.

Não podemos esquecer que a maioria de nós simplesmente aprende a conviver com os materiais existentes, sem questioná-los. Ao contrário disso, os pesquisadores agem de outra maneira. Eles trabalham como se fossem alquimistas modernos, questionando-se por que os materiais se comportam dessa ou daquela maneira, e quando surgem às respostas, eles criam substâncias que reagem de maneira inédita. Essas substâncias avançadas dão origem a uma gama de novas tecnologias que vão desde aviões mais seguros e velozes a válvulas para o coração que podem prolongar a vida das pessoas por várias décadas.

Às vezes, os resultados são tão surpreendentes que espantam a todos. Por exemplo, às ligas metálicas tão maleáveis que podem ser transformadas em bolhas; um componente de cerâmica usado em um carro, que não derrete e nem racha; tecidos que resistem a balas, ou, ainda, um tipo de vidro tão puro e transparente que é possível olhar através de um pedaço de 160 quilômetros de espessura sem perceber que ele está lá. São inúmeras as inovações. Algumas podem ser menos surpreendentes, mas são igualmente importantes para a economia, o conforto, o equilíbrio ecológico e a saúde do planeta.[National Geographic Society, 1995]

Outro exemplo disso, é a super rodovia da informação, ou infovia, que revolucionou as telecomunicações. Isso ocorreu graças às fibras ópticas que são tão finas que podem passar pelo buraco de uma agulha (Figura 1).

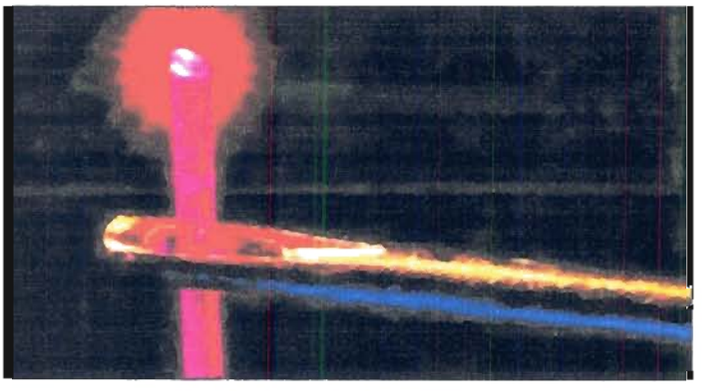


Figura 1 - Fibra optica passando pelo buraco de uma agulha (National Geographic Society, 1995)

Em um único segundo, é possível transmitir as palavras de 200 livros por um desses fios de fibra óptica. Dois deles são capazes de processar simultaneamente dez mil chamadas telefônicas.

É por meio da fibra óptica que um computador caseiro, ligado a telefone via modem, pode nos levar a circular pela Internet, tal fato nos proporciona a possibilidade de conversar com pessoas do mundo inteiro, fazendo ou respondendo perguntas e de termos acesso ao conhecimento arquivado nas grandes bibliotecas e universidades do mundo.

Portanto, sabendo do potencial da fibra óptica, vamos relatar como ela é obtida e onde ela é aplicada.Uma fibra óptica é composta basicamente de material dielétrico, ou seja, isolante (em geral, sílica ou plástico), segundo uma longa estrutura cilíndrica, opticamente transparente e flexível, de dimensões microscópicas comparáveis às de um fio de cabelo. Ela é usada para transmitir a luz e para que este processo ocorra este fio é constituído de núcleo e casca e cada um destes elementos possui índices de refração diferentes (para que a luz se propague através do fenômeno da reflexão interna total, é necessário que o índice de refração do núcleo seja maior que o da casca). Isto faz com que a luz percorra o núcleo refletindo na fronteira com a casca, percorrendo todo o trajeto da fibra, sendo esta sinuosa ou não (Figura 2).

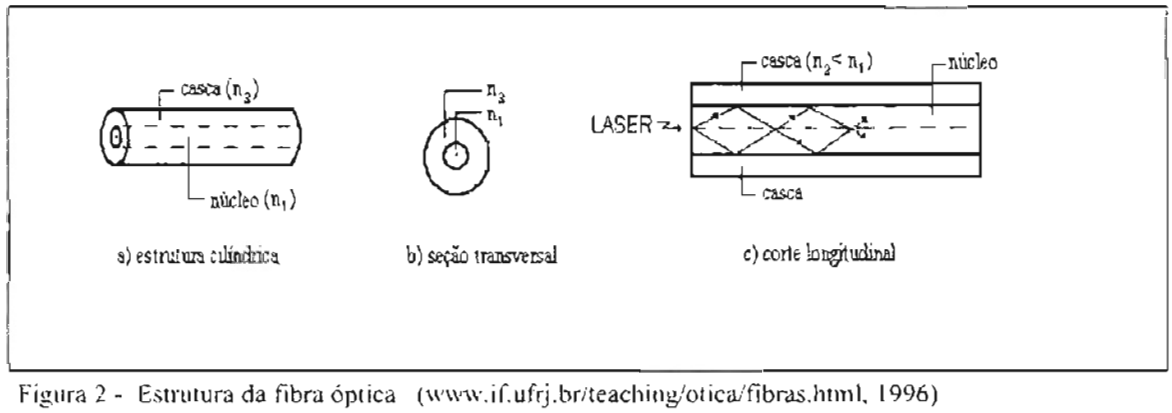


Figura 2 - Estrutura da fibra óptica (www.if.ufrj.br/teaching/otica/fibras.html, 1996)

Para um melhor funcionamento, a luz usada é algum tipo de laser, devido a suas propriedades. Essa luz pode conter informações digitais (vídeo, áudio, informação em forma de texto, informação na linguagem do computador, etc.). Assim, a fibra óptica é

usada para carregar sinais digitais na forma de pulsos de luz modulados, que podem ser rapidamente transmitidos a centenas de quilômetros. Ela funciona de modo análogo a um fio de cobre que transmite impulsos telefônicos, mas com algumas grandes diferenças: o cabo de fibra óptica pode mandar informações muito mais rápidas do que os fios de cobre existentes, além disso, é menor e mais leve, imune a interferências eletromagnéticas, possui uma qualidade de transmissão muito melhor e mais segura e é mais fácil de se instalar necessitando de menos manutenção.

A matéria-prima utilizada na fabricação das fibras é a sílica natural (SiO2), abundantemente encontrada na areia, o que consiste numa outra grande vantagem da fibra em relação aos cabos de pares metálicos, cuja matéria-prima é o Cobre, pois as reservas naturais estão se esgotando pelo intenso uso.

Os cabos de fibra óptica não conduzem raios ultravioletas (UV) e nem raios infravermelho. Isso significa que ela não conduz calor. [Civita, 1996]. As fibras ópticas são finos fios feitos de sílica, silicone, vidro, nylon ou plástico, que são materiais dielétricos (isolantes elétricos) e transparentes para a faixa do espectro da luz visível e infravermelho próximo.

Como resultado dessas vantagens, os cabos de fibra óptica vêm sendo instalados em todo o mundo num esforço para melhorar o modo de trocarmos informações. São guias de onda, e podem ser informalmente entendidas como "encanamentos de luz": a luz aplicada a uma das extremidades percorre a fibra até sair pela outra extremidade, podendo este percurso atingir centenas de quilômetros sem a necessidade de que o sinal seja regenerado.

Os dados percorrem o centro de cada fio de fibra de vidro, denominado núcleo. A luz de um diodo ou laser entra no núcleo através de uma das extremidades do cabo e é absorvida por suas parede (um fenômeno denominado reflexão interna total).

As fibras ópticas são atualmente as maiores responsáveis pelas revoluções ocorridas nas telecomunicações. Elas têm tomados os lugares dos cabos metálicos na transmissão de

dados e têm capacidade de transmitir uma quantidade enorme de informações com confiabilidade e velocidade incríveis.

Figura 3 - Efeito de varias Fibras ópticas. (Grassi, 2001).

As fibras ópticas podem ser consideradas basicamente como guias de luz. luz a qual transmite a informação no sistema binário, ou seja, pulso de luz ou não. Para entendermos como funciona o sistema digital de comunicação, vamos entender inicialmente a diferença entre ele e o sistema analógico: Um toca-disco funciona através do método de transmissão de sinal analógico, pois há uma agulha que é colocada sobre os sulcos do disco e transmite ao amplificador as vibrações que nela estão gravadas. Se você quiser experimentar, pode colocar nos sulcos de um disco, bem velho de preferência, uma agulha na ponta de um cone de papelão e perceberemos que a música do disco começará a ser reproduzida num volume bem reduzido através das vibrações da agulha. Se analisarmos agora um toca-CD, veremos que a informação dele é digital, ou seja, é dada apenas pela informação 0 ou 1 do código binário, e portanto tem de ser traduzida antes de ser amplificada. Nas fibras ópticas ocorre o mesmo, pois transformamos sinais contínuos, como, por exemplo, nossa voz, que varre freqüências desde poucos Hz até um máximo de 4000 Hz, em sinais discretos na forma binária. Temos, então que cada "0" corresponde a uma ausência de pulso luminoso e o "1" corresponde a um pulso luminoso, pulso luminoso o qual pode ser devido a um laser ou a um diodo emissor de luz (LED).

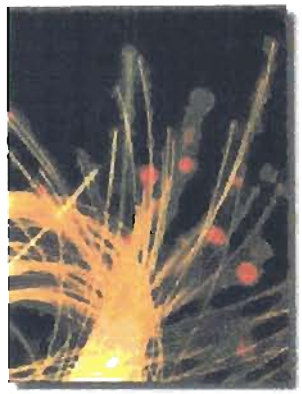


Figura 4 - Representação de fibras ópticas (Grassi, 2001).

Cada metade do cabo de fibra óptica é composta de camadas de material. Na parte externa, uma cobertura plástica deve obedecer às normas de construção no prédio e aos códigos de proteção contra incêndio para que o cabo inteiro fique protegido. Sob a cobertura, uma camada de fibras Kevlar (também usada em coletes à prova de bala) amortece impactos e proporciona maior robustez. Sob as fibras de Kevlar, outra camada de plástico, denominada capa, dá proteção e amortece impacto. Alguns cabos de fibra óptica projetada para entrarem em contato com o solo devem conter fios de aço inoxidável ou de outro material que proporcionam maior robustez. Todos esses materiais protegem o fio de vidro, que é tão fino quanto um fio de cabelo.

As fibras ópticas têm sido uma alternativa melhor em relação aos satélites em sistemas de transmissão a longa distância, caracterizados por um grande tráfego ponto-a-ponto. Por outro lado, em aplicação multiponto, como aplicações de difusão de TV, os satélites ainda são a melhor alternativa. [www.policom.com.br, 2004]

3.3 Mão-de-obra

As principais Universidades do País com centros de pesquisa na área vêm contribuindo para a formação de profissionais especializados. Além disso, com a reestruturação do Sistema Telebrás - STB, grande contingente de profissionais especializados entrará no mercado, possibilitando, assim, um incremento substancial na oferta de mão-de-obra. [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

3.4 Mercado Brasileiro

O Brasil é um dos principais consumidores de banda larga da América Latina e, no futuro, será responsável por metade da demanda no continente.

O país produz mais de 1 milhão de quilômetros de fibra óptica por ano, o que atende 50% das necessidades de consumo do país. A demanda é completada com importações dos Estados Unidos e Japão. Este cenário, no entanto, vai passar por algumas transformações. Foi investido, segundo a Yankee Group, em 2001 e 2002, cerca de US$ 3 bilhões na expansão das redes de comunicação brasileira. [www.policom.br, 2004]

3.5 Regulamentação

Já está concluído o regulamento conjunto das três agências reguladoras (Anatel, Aneel e ANP) normalizando o uso compartilhado dos meios (telecomunicações, energia elétrica e petróleo) pelas empresas que atuam nos três setores. Entre outros, o objetivo é resolver com urgência pendências técnicas nos casos de usos dos cabos de fibra óptica das instalações de um setor pelo outro, bem como evitar discriminação quanto ao aproveitamento de redes ou dutos, podendo refletir em redução de tarifas. [www.policom.br, 2004]

3.6 Rápido como a luz, não é necessário subdividir tantas vezes se o assunto é contínuo.

A Fibra óptica encurta distâncias e revoluciona telecomunicações. Alta velocidade. Esse é o nome do jogo na emergente e multibilionária indústria de transmissão de voz, imagens e, principalmente, dados pela rede mundial de computadores. A cada dia passa a ser menos importante ficar apenas conectado à Internet. Usuários, empresas e domicílios exigem cada vez mais das companhias prestadoras de serviços na web: o acesso instantâneo às informações, envio de arquivos e capacidade de transmitir e captar voz e imagens por meio dos terminais de microcomputadores. Nesta segunda fase da revolução que a Internet e outras redes, como a Intranet, estão trazendo para o mundo, assuntos que vão da educação, cultura e negócios à própria informática. O tráfego na supervia da informação pode executar diariamente milhões de operações simultâneas passando a ser o divisor de

águas no supercompetitivo mundo virtual. Expressões como "a jato", "fast" e "speedy" invadiram o dia-a-dia das casas e corporações, na disputa pelas opções de acesso veloz.

A explosão do volume de informações em trânsito neste início de século atingiu tal dimensão que os participantes do mercado, quer como clientes, quer como fornecedores de acesso à rede, perceberam que só trafegando à estonteante velocidade da luz seria possivel dar vazão à magnitude da demanda global por serviços interativos. Nesse cenário que faz lembrar histórias de ficção científica, a fibra óptica, uma tecnologia relativamente recente que já estava sendo implantada para dar maior capacidade às empresas de telecomunicações, antes mesmo do advento da Internet como fenômeno de massa, acabou surgindo como o instrumento à mão mais eficaz para conduzir essa torrente de informações e oportunidades de negócios no mundo cibernético.

Composta basicamente de material plástico, vidro ou sílica e moldada em longas estruturas cilíndricas, transparentes e flexíveis, com diâmetro de dimensões microscópicas, comparável ao de um fio de cabelo, a fibra óptica - a ferramenta que vem revolucionando as comunicações mundiais – também está criando uma das indústrias mais prósperas no Brasil. Em torno desse mercado, vários setores movimentam-se freneticamente, e cálculos da empresa de consultoria multinacional Yankee Group estimam que o segmento absorverá a astronômica cifra de US$ 6 bilhões até 2005, apenas na execução de obras de infra-estrutura de cabeamento metropolitano, nacional e internacional, para as conexões da chamada banda larga, ou seja, faixas de transmissão com maior capacidade de absorção da massa de informações que operam à velocidade mínima de 16 quilobytes por segundo.

Desde que a web impôs-se como instrumento de trabalho e fonte de negócios para todo o setor corporativo, dos bancos às lojas de varejo, a procura dos usuários por redes de acesso seguro e rápido, à supervia da informação, vem experimentando uma expansão sem paralelo na economia brasileira, mesmo com a retração provocada pela crise no abastecimento de energia. "Estamos acompa-nhando uma revolução na forma de fazer negócios", diz Adriana Menezes, consultora do Yankee Group para a América Latina. "Muitas pessoas poderão trabalhar longe dos centros urbanos, e as videoconferências, que

unem vários interlocutores em diversas partes do mundo com imagem e som online, estão se tornando eventos cotidianos", acrescenta a especialista.[www.policom.com.br, 2004]

O Yankee Group, em seu último relatório, "A Second Wave: The Brazilian Internet User Forecast" (Uma Segunda Onda: Previsão sobre o Usuário de Internet Brasileiro), estima que o Brasil terá 42 milhões de usuários de Internet até 2006, quase o triplo das previsões iniciais. O acesso à rede de usuários domésticos terá uma média de crescimento anual de 20,8% até 2006, enquanto os usuários corporativos aumentarão ao ritmo de 22,8% nesse período. O Yankee Group adverte, no entanto, que os novos internautas serão cada vez mais exigentes. As empresas mais beneficiadas pela segunda onda tecnológica serão exatamente as que estiverem mais aptas para atender a demanda pelo acesso em alta velocidade. Dados do Yankee mostraram que até 2003 o Brasil já obteve 2 milhões de usuários residenciais com acesso a serviços de banda larga, uma taxa de crescimento espantosa, de 122% ao ano.

Em dois anos de expansão acelerada, a rede brasileira de fibras ópticas já beirava os 100 mil quilômetros de extensão em território nacional, e o setor, cuja ampliação superou os 70% em 2000, fechou 2001 com um ritmo de crescimento de 40%. Segundo dados da KMI Corporation, uma das maiores empresas em pesquisa nessa área, a produção brasileira de fibras deverá saltar para 9,5 milhões de quilômetros em 2005 e colocará o Brasil na posição de líder isolado na América Latina (a soma da produção de todos os demais países, incluindo México e Argentina, não alcança a brasileira). Além disso, a malha nacional de fibras ópticas, em mais quatro anos, deverá dar ao Brasil o estimulante salto do oitavo para o quarto lugar no ranking mundial dos mercados de telecomunicações, atrás apenas de Estados Unidos, Japão e Alemanha. [www.policom.com.br]

"Um fenômeno interessante que deverá ocorrer no Brasil, a exemplo do que já acontece nos Estados Unidos, é o barateamento do acesso à tecnologia da fibra óptica, resultado do processo de massificação da oferta para atender à crescente demanda", revela Rocha, da Deloitte Consulting. Citando sempre como paradigma o mercado norte-americano, o especialista afirma que os custos de operação, instalação e fabricação de redes de fibras ópticas já caíram pela metade no último ano. "Uma tendência que também deverá

se repetir aqui no Brasil." De acordo com o Yankee Group, os preços de interconexão praticados hoje no país são até 60 vezes superiores aos dos Estados Unidos. Dados do Yankee mostram que uma ligação física por fibras ópticas entre São Paulo e Rio de Janeiro sai hoje por US$ 4 mil. Nos EUA, para cobertura de distância equivalente, o custo cai para US$ 600. "Essa é uma das maiores derrapadas que o Brasil está dando ao trafegar na supervia da informação, porque as empresas aqui instaladas perdem competitividade e são forçadas a gastar um volume muito grande de capital para atingir metas consideradas modestas", diz Adriana Menezes, consultora do Yankee Group para a América Latina.[www.policom.com.br, 2004]

3.7 Cabos Submarinos

A previsão do Yankee Group foi que, até o início de 2002, as novas redes de fibras ópticas intercontinentais triplicaram a capacidade do Brasil de se comunicar em alta velocidade com o resto do mundo. Somadas, as quatro principais redes que chegam à América do Sul, por meio de cabos submarinos – a Emergia, operada pela Telefônica; a SAC e PAC, da Global Crossing; a Atlântica 1, da 360 Networks, e a Arcos-1, da New World Networks, empresa controlada pela canadense Global Light – estão consumindo recursos da ordem de US$ 4 bilhões e deitando no fundo do mar o equivalente a 210 mil quilômetros de cabos de fibras ópticas, dos quais cerca de 88 mil em torno do litoral latino-americano.

De todos os projetos, o mais ambicioso é o da Global Crossing, que pretende instalar ao redor do planeta um anel de 160 mil quilômetros. Em maio de 2002, o trecho latino-americano ficou pronto. [www.policom.com.br, 2004]

4 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1 Breve Histórico das Comunicações Ópticas

Há 5 milhões de anos homens primitivos iniciaram as comunicações ópticas com sinais e gestos visuais:

- Século VI a.C.: Esquilos informou a Argos da queda de Tróia por meio de uma cadeia de sinais de fogo;

- Século II a.C.: Polibio propôs um sistema de transmissão do alfabeto grego por meio de sinais de fogo (dois dígitos e cinco níveis (52=25 códigos);

- 100 a.C.: Vidros de qualidade óptica somente apareceram após o surgimento dos famosos cristais venezianos, na Renascença. Os princípios da fibra óptica são conhecidos desde a Antigüidade e foram utilizados em prismas e fontes iluminadas.

- 200 d.C.: Heron da Alexandria estudou a reflexão;

- 1621: Willebrod Snell descobriu que quando a luz atravessa dois meios, sua direção mudava (refração);

- 1678: Christian Huygens modelou a luz como onda;

- 1792: Claude Chappe inventou um sistema de transmissão mecânica para longas distâncias B<1 bps);

- 1800: Sr. William Herchel descobriu a parte infravermelha do espectro;

- 1801: Ritter observa a parte ultravioleta do espectro;

- 1830: Telégrafo com código Morse (digital) com repetidores chegava a 1000 km (B=10 bps);

- 1866: Primeira transmissão transatlântica de telégrafo;

- 1870: John Tyndal mostrou a Royal Society que a luz se curva para acompanhar um esguicho d'água;

- 1876: Invenção do telefone analógico por Graham Bell que existe até hoje;

- 1880: Graham Bell inventou o photophone transmitindo sinais e voz através da modulação da luz do sol;

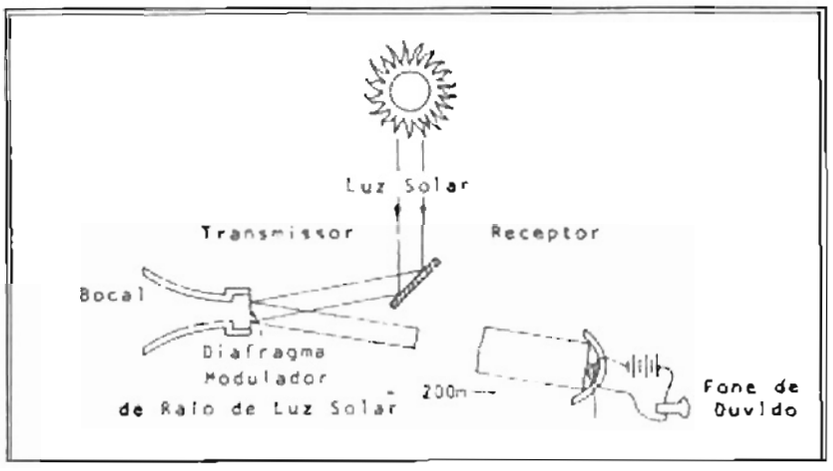


Figura 5 - Photofone (Conhecer. 1996)

-Século XX: O mundo se enreda em redes telefônicas analógicas;

- 1926: John Logie Baird patenteia uma TV a cores primitivas que utilizava bastões de vidro para transportar luz;

- 1930-40: Alguns guias de luz foram desenvolvidos pela Perplex para iluminar cirurgias;

- 1940: 1º cabo coaxial transporta até 300 ligações telefônicas ou um canal de TV com uma portadora de 3 MHz;

- 1948: Os cabos coaxiais apresentam perdas grandes para f>10 MHz. Assim surgiu a 1ª transmissão por microonda com portadora de 4 GHz;

- 1950: Pesquisadores começam a sugerir o uso de uma casca em volta da fibra para guiar a luz. Os primeiros "fibrescopes" foram desenvolvidos, mas o custo ainda era proibitivo;

- 1952: O físico indiano Narinder Singh Kanpany inventou a fibra óptica;

-1964: Kao especulou que se a perda da fibra fosse somente 20 dB/km, seria possivel, pelo menos teoricamente, transmitir sinais a longa distância com repetidores a cada 20 dB/km: sobraria apenas 1% da luz após 1 km de viagem. Objetivos: diminuir custo e melhorar o transporte da luz;

- 1968: As fibras da época tinham uma perda de 1000 dB/km. The Post Office patrocina projetos para obter vidros de menor perda;

- 1970: Corning Glass produziu alguns metros de fibra óptica com perdas de 20 db/km;

- 1973: Um link telefônico de fibras ópticas foi instalado no EEUU;

- 1976: Bell Laboratories instalou um link telefônico em Atlanta de 1 km e provou ser

praticamente possível o uso da fibra óptica em telefonia, misturando com técnicas convencionais de transmissão. O primeiro link de TV a cabo com fibras ópticas foi instalado em Hastings (UK). Rank Optics em Leeds (UK) fabricou fibras de 110 mm para iluminação e decoração;

- 1978: Começou em vários pontos do mundo a fabricação de fibras ópticas com perdas menores do que 1,5 dB/km, para as mais diversas aplicações;
- 1988: Primeiro cabo submarino de fibras ópticas mergulhou no oceano e deu início à superestrada de informação;
- 2001: A fibra óptica movimenta cerca de 30 bilhões de dólares anuais.

[www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

A evolução das telecomunicações

Um sistema de comunicação transmite informação de um lugar a outro: alguns km ou distâncias transoceânicas. A informação é transportada por uma portadora eletromagnética cuja freqüência vai de alguns MHz até centenas de THz. As comunicações ópticas trabalham em até 100 THz no visível ou infravermelho próximo. Estes sistemas começaram a ser estendido desde 1980 e revolucionaram as telecomunicações iniciando a "Era da Informação". [Civita, 1998]

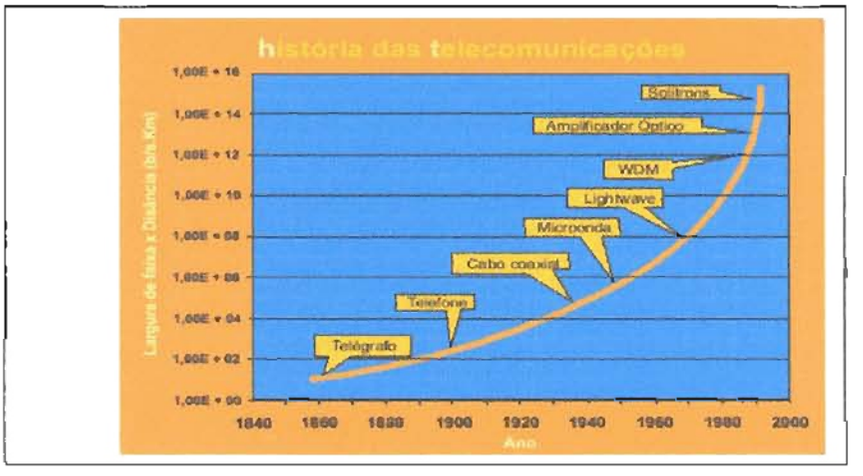


Figura 6 - História das telecomunicações através dos tempos [Civita, 1998]

Como Surgiu o Cabo de Fibra Óptica

A comunicação com fibra óptica tem suas raízes nas invenções do século XIX. Um dispositivo denominado Fotofen convertia sinais de voz em sinais óticos utilizando a luz do sol e lentes montadas em um transdutor que vibrava ao entrar em contato com o som.

A fibra óptica em si foi inventada pelo físico indiano Narinder Singh Kanpany, se tornou mais prática durante os anos 60 com o surgimento das fontes de luz de estado sólido, raio lazer e os LEDs (do inglês light-emitting diodes), e das fibras de vidro de alta qualidade livres de impurezas. As companhias telefônicas foram as primeiras a se beneficiar do uso de técnicas de fibra ótica em conexões de longa distância, em meados da década de 1980, e foram estendidos, nos Estados Unidos e no Japão, milhares de quilômetros de cabos de fibra óptica para estabelecer comunicações telefônicas. [Civita, 1998]

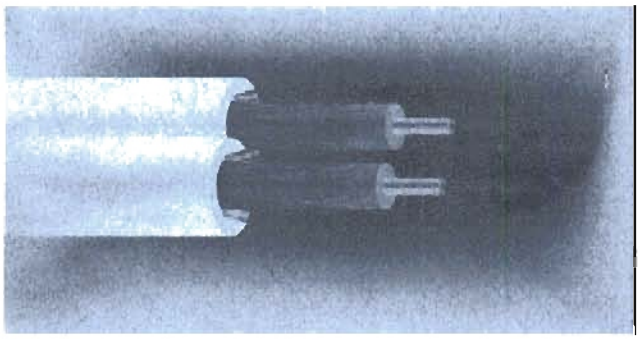


Figura 7 - Fibras ópticas usada nas telecomunicações, (Grassi, 2001).

4.2 Teoria

Reflexão e Refração

No nosso cotidiano observamos, comumente, dois itens importantes da óptica geométrica; reflexão e refração da luz.

Exemplificando o primeiro item, pega-se uma lanterna, uma folha de papel e um espelho para comprovar as leis da reflexão:

• O raio incidente, o raio refletido e a reta perpendicular à superfície, no ponto de incidência, estão contidos no mesmo plano.

• O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

O segundo fenômeno, a refração, ocorre quando a luz passa do ar, **um meio menos refringente**, para água, **mais refringente**. Ou seja, quando a luz se dirige de um meio ambiente onde o índice de refração é menor para outro onde o índice de refração é maior, ocorre assim uma mudança do sentido e velocidade da luz. O raio refratado se aproxima da normal. Neste caso, sempre ocorrerá a refração.

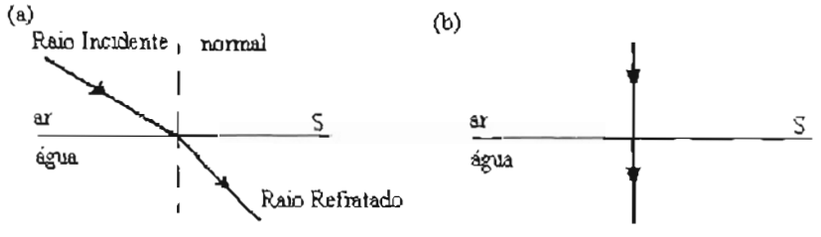


Figura 8 – a- Representação de um raio incidente sofrendo refração; b - Representação de um raio de luz que incide perpendicularmente à superfície de separação de dois meios, onde não há mudança na sua direção de propagação. (Guimarães, 1998.)

Agora, invertendo o processo, a fonte de luz que está na água, meio **mais refringente**, tende a se propagar em direção à separação dos meios se desviando quando sai no ar (meio **menos refringente**). O raio refratado se afasta da normal. . Quando o ângulo do raio refratado for igual a 90^0 , isto é, o raio refratado saindo rasante a superfície temos o limite do fenômeno de refração. A partir daí só teremos reflexão. O ângulo incidente será chamado de ângulo limite. O raio ficará confinado ao meio mais refringente. Para que isso possa acontecer é preciso que duas exigências sejam cumpridas: ***que o sentido da propagação da luz seja do meio mais para o menos refringente e que o ângulo de incidência da luz seja maior que o ângulo limite.***

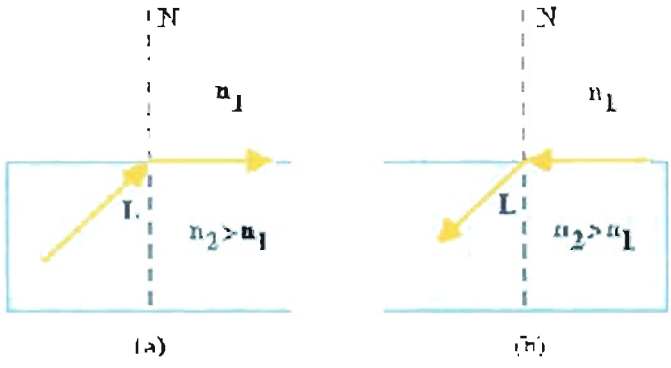


Figura 9 - a) Ângulo limite (L) sendo um ângulo de incidência. b) O ângulo limite (L) sendo um ângulo de refração (http://www.if.ufrgs.br/~murillo/otica/node13.html)

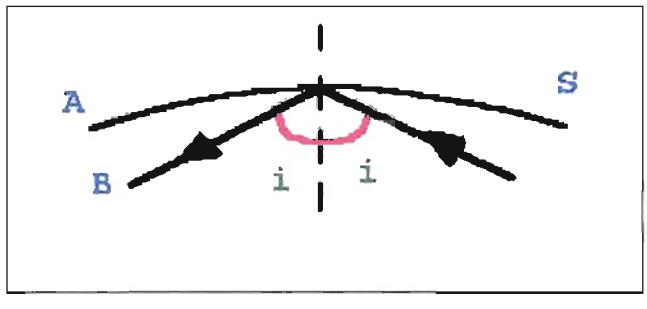


Figura 10 - Raio incidente sofrendo reflexão total, perceba que o ângulo de incidência é igual ao refletido, onde a normal separo os dois. www.fibraoptica.cjb.net, 2004).

No caso de um tubo de vidro, se a luz incidente tiver um ângulo maior que o ângulo limite, ela será refletida até atingir o outro lado do tubo, onde novamente ocorrerá reflexão total. Desta forma a luz vai se propagando no interior do tubo indefinidamente.

A fibra óptica consiste em um núcleo central, cujo índice de refração é maior do que o índice de refração do material que o reveste. Há também uma jaqueta revestindo e protegendo o núcleo contra a abrasão e outros efeitos. Há uma fonte de luz na entrada do núcleo da fibra que emite um cone de luz para dentro dela. A luz é então conduzida se o núcleo satisfaz a condição de reflexão interna total. O feixe de luz que entra na fibra começa a percorrer um caminho de ziguezague entre as paredes do núcleo.

Natureza da Luz

No início do século XX, a teoria ondulatória, incluindo a sua extensão as ondas eletromagnéticas estabelecidas por Maxwell, que seguia os princípios da física clássica, não estabelecia nenhuma relação entre energia e freqüência. De acordo com esta, a energia de uma onda relaciona-se exclusivamente com a sua amplitude. Como os fatos não podiam estar errados, o efeito fotoelétrico ofereceu aos físicos duas alternativas: ou a teoria ondulatória estava errada ou a propagação eletromagnética não era um fenômeno ondulatório. A solução para este impasse surgiu em pouco tempo, proposta por Einstein em 1905, que adotou a segunda alternativa. Embora ainda embrionária, ela era de uma simplicidade surpreendente. De acordo com Einstein, a energia da luz e de qualquer radiação eletromagnética não se distribui uniformemente pelo espaço, como sugere a teoria ondulatória. Ela se concentra em pequenos **quanta** de energia. A energia desses **quanta**, mais tarde foi denominada de fótons.

Para a física atual, não há dúvida que um feixe de luz é um feixe de partículas, de fótons. A dualidade surge em relação ao comportamento coletivo deste feixe, que é ondulatório. Em uma analogia muito simples, pode-se dizer que a luz se comporta como uma torcida organizada: ela se compõe de indivíduos perfeitamente identificados como partículas. Mas, durante o jogo, esses indivíduos se comportam coletivamente de acordo com determinadas regras, seguindo uma espécie de coreografia, como ondas. [Gaspar, 2004]

Considerando a luz como partícula, podemos descrever o que ocorre com a partícula quando ela é transmitida - o efeito fotoelétrico: que descreve que quando a luz atinge a superfície de determinados sólidos causa a emissão de elétrons. Mas não conseguiríamos, apenas com esta teoria, explicar o comportamento da luz durante a emissão e a absorção, nem descrever vários outros fenômenos relacionados à luz. A teoria de ondas eletromagnéticas explica melhor a propagação e a transmissão da luz bem como o por quê dos feixes de luz passarem uns entre os outros sem causar distúrbios entre si. [Guimarães, 1998]

É importante, então, notar que é um erro generalizar a luz como partículas ou como ondas. De acordo com a situação, uma ou outra teoria descreve melhor um determinado fenômeno.

Velocidade da Luz

Em 1675, o astrônomo Roemer, através de suas observações astronômicas sobre o período de revolução de uma das luas de Júpiter, obteve a primeira verdadeira indicação de grandeza para a velocidade da luz. Em 1849, o físico francês Fizeau fez a primeira medição não astronômica da velocidade da luz, depois aperfeiçoada pelo também físico Foucault em 1850 e, entre 1880 e 1930, pelo físico Michelson.

Mas, muito antes destes outros físicos, Galileu fez a primeira tentativa de medir a velocidade de propagação da luz. O experimento foi realizado da seguinte maneira: Galileu e seu assistente foram até o topo de duas colinas, com uma distância de aproximadamente uma milha, cada um munido com uma lanterna e um anteparo para cobri-la. A intenção de Galileu era medir o tempo necessário para a luz percorrer o dobro da distância entre os observadores. Ele então pensou: o observador A descobriria sua lanterna e o observador B, quando visse a luz da lanterna do observador A, descobriria a sua. O tempo inicial de A e sua visão da luz de B seria o tempo necessário para a luz ir e vir entre os dois observadores. Mas Galileu não conseguiu, com isto, obter nenhum valor para a velocidade da luz, porque a velocidade dela é tão grande que o intervalo de tempo para ser medido era muito menor que as flutuações do tempo de resposta dos observadores. [Civita, 1971]

A teoria eletromagnética de Maxwell, em que ele trata a luz como uma onda eletromagnética, não envolve diretamente a luz. Ele descreve que a velocidade de uma onda eletromagnética no vácuo está relacionada a uma constante elétrica, que pode ser determinada por uma medida da capacitância de um capacitor de placas planas e paralelas, e uma constante magnética, que está relacionada com a unidade Si de corrente elétrica.

Precisamente, esta velocidade é de 299 792 500 m/s. Para a maioria das aplicações práticas, esse número é aproximado para 300 000 000 m/s.

Ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas, que são geradas pela aceleração de cargas elétricas, incluem a luz visível, as ondas de rádio e as de radar, os raios gama, microondas e outras, que envolvem a propagação de ondas de campos elétricos e magnéticos através do espaço, com velocidade de 300 000 000 m/s no vácuo. A diferença entre as radiações em diferentes partes do espectro deste tipo citadas é uma quantidade que pode ser medida por várias formas, como o comprimento de onda, a energia de um fóton ou a oscilação da freqüência em um campo eletromagnético.

Cada medida possui sua própria unidade, seja ela comprimento de onda, energia ou freqüência. Internacionalmente, a mais usada é o comprimento de onda, sendo medido em unidades métricas, micrométricas ($10^{-6}\mu m$) e em nanométricas (10^{-9} nm). A freqüência é medida em hertz (1 Hz= 1/segundo) ou ciclos por segundo (cps)

Todas as medidas nos informam a mesma coisa, e existem equações que convertem estas medidas em diferentes valores. Uma delas $< c=\lambda f \Rightarrow 3.10^{8}$ m/s > mede, por exemplo, a velocidade da luz (**c**) em função de comprimento de onda (λ) e da freqüência (**f**). Se preferirmos utilizar o fóton, a energia (**E**) para fibras, utilizamos a Lei de Plank $< E = hf >$ em que (h) é a constante de Plank e (f) a freqüência. A mesma equação, em função do comprimento de onda, ficaria $< E = 1,2406 / \lambda >$.[Civita, 1971]

Observando no espectro de freqüência verificamos que as fibras ópticas trabalham apenas numa pequena região denominada de região óptica. Esta região inclui uma luz visível para os olhos humanos com o comprimento de onda que varia entre 400 e 700 nm, perto da região do infravermelho e do ultravioleta, que possuem propriedades similares.

Toma-se o Índice Refrativo (n) com a mais importante medida óptica para os materiais transparentes, que é descrito como sendo uma razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio(c/v). O índice refrativo será sempre maior que 1, quando medimos a velocidade da luz no material que é sempre menor que a velocidade da luz no vácuo. [Guimarães, 1998]

A transmissão de um raio de luz diretamente em linhas de materiais ópticos surgem determinadas situações em seu interior. Existe uma distorção da luz quando esta passa do ar para o vidro. Esta distorção depende fundamentalmente do índice de refração, em que surge um ângulo no qual a luz alcança a outra superfície. Os ângulos de incidência e refração são medidos não do plano da superfície, mas da linha normal, isto é, perpendicular à face. A relação é conhecida como Lei de Snell < n_i sin i = n_r sin r > onde n_i e n_r são os índices de refração do meio incidente e do meio refrativo, e **i** e **r** são os ângulos de incidência e de refração.

Lei de Snell

Quando tentamos fazer a luz passar de um meio mais refringente para um meio menos refringente, a Lei de Snell indica que a refração não pode ocorrer quando o ângulo de incidência for muito grande, isto é, se ele exceder um valor crítico, que denominamos de ângulo crítico, em que o seno do ângulo de refração seria de 90°, saindo o raio refratado tangente a superfície entre os dois meios.

Ao se analisar a condução da luz, devemos considerar o núcleo da fibra, onde a luz é guiada, e a cobertura que está em torno desta.

Devemos levar em consideração estes fatores porque o índice refrativo do núcleo é mais alto que o do revestimento da fibra, fazendo com que a luz se propague até a parede oposta, num ângulo superior ao ângulo crítico mantendo, desta forma, a luz confinada ao núcleo pela reflexão interna total. Na prática, esta diferença não é muito grande, cerca de 1%. O cálculo é simples: se n_r / n_i = 0,99, o valor do ângulo limite é de aproximadamente 82°. Isto faz com que a luz seja confinada ao núcleo se o ângulo do raio com a cobertura for de apenas 8°. [Civita, 1996]

Atenuação, Largura de Banda e Dispersão em Fibra Óptica

À medida que a luz se propaga pela fibra óptica, perde parte da potência pela absorção de luz na casca, bem como imperfeições do material empregado na fabricação (sílica) dentro da fibra (guia de onda), por um processo que chamamos de atenuação do

sinal que é medido em dB/km. A absorção da luz por materiais e a difusão da luz dentro da fibra e o vazamento de luz do núcleo, também estão envolvidos nesta perda. O grau de Atenuação depende do comprimento de onda da luz transmitida. Isto faz com que a transmissão por fibra óptica não seja um meio 100% eficiente.

A dispersão é a principal responsável pela limitação da largura de banda do sinal transmitido. Esta dispersão tem causa em sinais digitais (mais comuns em fibras ópticas), um alargamento temporal do sinal óptico, o que resulta na superposição de diversos pulsos do sinal.

A dispersão é um efeito em que os modos geradores de uma frente de onda de luz são separados quando trafegam pela fibra óptica, o que ocasiona a chegada delas à outra extremidade defasadas em relação ao tempo.

Então, concluímos que a Interferência Intersimbólica ou dispersão do pulso é a diferença entre a largura de banda do pulso de entrada para o pulso correspondente do sinal de saída. Como estamos falando da distância percorrida pela luz, este fenômeno é especificado por unidade de comprimento em ns/km. O que em uma transmissão digital vem a dificultar a recepção do sinal no circuito receptor e sua posterior decodificação.

Podemos classificar a dispersão do pulso de duas maneiras: Dispersão Intermodal e Dispersão Intramodal.

O resultado da geometria da guia de onda e das diferenças dos índices de refração que permitem à fibra propagar vários modos ou raios de luz, define a dispersão multimodo ou intermodal. As fibras multimodos são mais susceptíveis à dispersão intermodal, observando-se os vários modos com que os raios de luz percorrem caminhos diferentes a um determinado ponto em tempos distintos.

Em todas as fibras está presente a dispersão material, intramodal ou cromática, porque é decorrente da dependência do índice de refração do material da fibra com relação ao comprimento de onda. Com somente uma fonte de luz (monocromática - uma cor

somente) não existe dispersão cromática - o que torna essa fonte, que gera uma luz mais pura e com menor largura espectral, efetivamente melhor do que um LED convencional.

Para efeito de medição, numa fibra óptica de sílica-padrão o coeficiente de dispersão medido é nulo para um comprimento de onda próximo a 1.300 nm. Neste único caso não ocorre o alargamento do pulso. Assim, os atuais sistemas de comunicação ópticos foram desenvolvidos para aproveitar tais características. Fibras ópticas de dispersão deslocada (Dispersion Shifted "DS") reúnem atenuação e dispersão mínimas. Estes tipos de fibras ópticas, que até então eram fabricadas levando-se em conta características de aplicação e necessidades de transmissão, foram substituídas por fibras monomodo NZD que possuem dispersão de banda de comprimento de onda, em que os amplificadores ópticos podem trabalhar com valores mínimos e não zero (0), diferentemente das fibras monomodo DS. Isto permite maiores taxas de transmissão e menor espaçamento entre canais de comunicação. O que acontece é que o ponto de dispersão zero é deslocado da banda crítica de aplicação, tanto para a região de dispersão negativa (NZD-) como para uma região de dispersão positiva (NZD+).

5 - TECNOLOGIA DAS FIBRAS ÓPTICAS

5.1 Tipos de Fibras Ópticas

Em geral as fibras ópticas são encontradas de duas formas: fibra Monomodo e fibra Multímodo.

Fibra Monomodo

A vantagem da fibra monomodo é seu alto desempenho quanto à largura de faixa e à atenuação. O diâmetro reduzido do núcleo limita a propagação da luz a um único modo, eliminando totalmente a dispersão modal. Com componentes adequados, um sistema que usa fibra monomodo pode transportar sinais de mais de 10 GHz em distâncias superiores a 100 Km. O sistema pode ainda ter capacidade maior de tráfego, através do uso de vários sinais sendo transmitidos simultaneamente em uma única fibra monomodo através do uso de WDM (Wavelength Division Multiplexing). O pequeno tamanho do núcleo obriga as fontes de luz serem mais caras e que o alinhamento (acoplamento) dos sistemas sejam mais complicados, pois existe maior complicação no acoplamento das emendas e conectores. No entanto, para sistemas de alta performance ou sistemas de uns poucos quilômetro, a solução por fibras monomodo permanecem a melhor opção As dimensões tipicas de fibras monomodo estão entre 5 a 12 μm para o núcleo, e 125 μm para a casca. Um ângulo critico entre o núcleo e a casca é de 8,5°. O índice de refração do grupo está em torno de 1,465 para a fibra monomodo. O pequeno diâmetro do núcleo diminui o número de modos de propagação. Em uma fibra monomodo, somente um raio por vez (modo) propaga-se pelo núcleo da fibra. [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

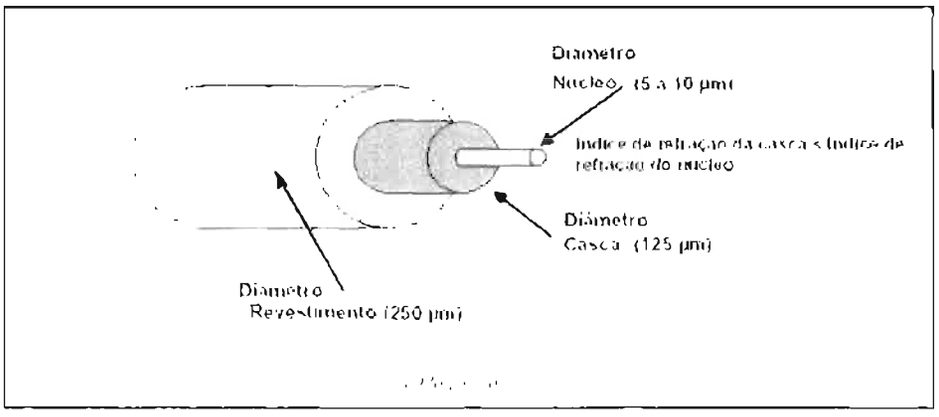


Figura 11 - Fibra Monomodo [www. fibraoptica.cjb.net, 2004]

Fibra Multimodo

A fibra multimodo, devido ao grande diâmetro do núcleo, possibilita a ocorrência de diferentes caminhos (múltiplos modos de propagação) para a luz que se propaga pelo enlace (fibra). Por esta razão, esta fibra é bastante sensível à dispersão modal. As principais vantagens da fibra multimodo decorrem de uma maior facilidade de acoplar a fonte de luz do que outros tipos de fibras. Sendo assim, reduz-se o custo das fontes de luz (emissores ópticos), dos conectores e das emendas (junções mecânicas ou emendas por fusão). No entanto, sua atenuação relativamente alta e largura de faixa baixa restringem seu uso a sistemas para distâncias curtas e baixas velocidades. Geralmente, não se destinam a atividades de telecomunicações, que exigem outras características. [www.fibraoptica.cjb.net, 2004].

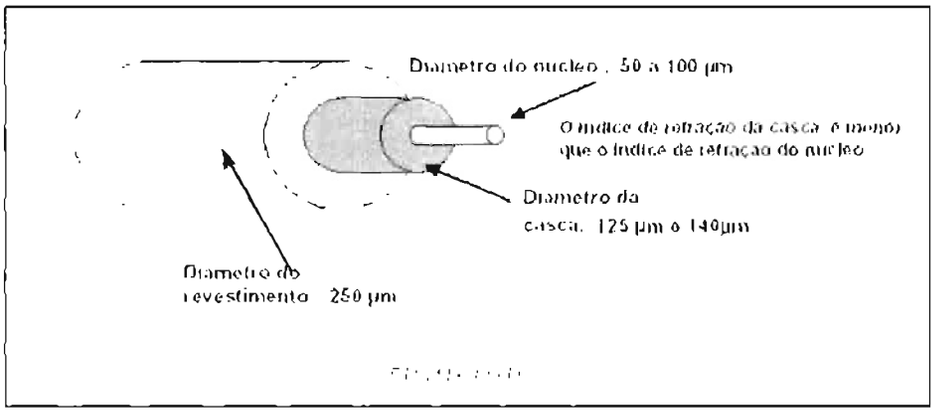


Figura 12 – Fibra Multimodo [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

Fontes de luz

Para sistemas de comunicação por fibra óptica existem no mercado vários dispositivos de conversão eletroóptico. Mas, somente dois dispositivos, dentre os mais comuns até o presente momento, são realmente aplicados para transmissão por fibra óptica: o LED (Light Emition Diode) e o ILD (Injection Laser Diode), ambos semicondutores modulados diretamente pela variação da corrente de entrada, constituídos por arsenieto de gálio e alumínio (GaAlAs), fosfato de arsenieto de gálio e alumínio (GaAlAsP) ou fosfato de arsenieto de gálio e índio (GaInAsP). [Klick, 1995]

LEDs - Light Emition Diode

As fontes de luz mais comuns para os sistemas de comunicação por fibra óptica são os LEDs, porque emitem luz invisível próxima do infravermelho. Sua operação é como a operação básica de um diodo comum. Uma pequena tensão é aplicada entre seus terminais, fazendo uma pequena corrente fluir através da junção. Este diodo é formado por duas regiões de arterial semicondutor, dopado com impurezas do tipo P e do tipo N. A região P é a que possui menos elétrons do que átomos, o que implica em lacunas onde há espaços para os elétrons na estrutura cristalina. Já a região N é caracterizada por apresentar mais elétrons livres do que lacunas.

O comprimento de onda emitido pelo LED depende dos níveis internos de energia do semicondutor. Os comprimentos de onda mais usados em aplicações de fibra óptica são de 820 e 850 nm. Em temperatura ambiente, a largura de banda típica de 3dB de um LED de 820 nm é de 40 nm, aproximadamente.

A potência de luz de um LED é, aproximadamente, proporcional à injeção de corrente, devido a algumas recombinações entre elétrons e lacunas que não produzam fótons. O LED não é 100% eficiente.

Existem dois tipos de LED mais utilizados em sistemas de comunicação por fibras ópticas: emissores de borda e emissores de superfície, sendo que os emissores de superfície são mais comumente utilizados, porque oferece melhor emissão de luz. Mas as perdas de

acoplamento são maiores nestes emissores e eles apresentam larguras de banda de modulação menores que os emissores de borda. [Klick, 1995]

Injection LASER Diode

Enumeramos no mercado três tipos básicos de laser: a gás, sólido ou semicondutor. Apenas o laser semicondutor encontra aplicação prática em sistemas de comunicação por fibras ópticas devido a custo, dimensões e tensão de alimentação.

É mais indicado para sistemas de longas distâncias por acoplar maiores potências em fibras ópticas.

Com operação bastante similar ao LED, possuem os mesmos materiais em sua constituição, embora arranjados de maneira diferente. Abaixo de um limite bem definido (*thresold*) de corrente, o ILD se comporta como um LED: apresenta emissão espontânea e uma irradiação de luz mais ampla (menos direcionada). Acima do *thresold*, porém, o laser começa a oscilar. [Klick, 1995]

Velocidade de Transmissão

Um cabo contendo dezoito fibras pode transmitir 28.000 ligações telefônicas simultâneas. Isto representa, aproximadamente, 622 megabytes por segundo. Portanto, tais características nos demonstram que um cabo de fibra óptica desse tipo tem capacidade 25 vezes maior do que o cabo de cobre que liga o Brasil aos EUA. Essa capacidade pode ser ainda mais alta se a potência dos equipamentos nos terminais for maior que a atual.

Transmissão e Recepção de Dados com Fibras Ópticas

Todos os sistemas de transmissão e recepção de dados com Fibras Ópticas funcionam de forma similar ao esquema abaixo. Consistem de transmissor que toma uma entrada elétrica e a converte para uma saída óptica através de um diodo laser ou LED. A luz do transmissor é acoplada na Fibra com um conector e é transmitida através da planta de

cabeamento de Fibras Ópticas. A luz é ao final acoplada a um receptor, onde um detector converte a luz em um sinal elétrico que é então propriamente condicionado para uso do equipamento. Do mesmo modo que com fios de cobre ou transmissão de rádio, a performance do link de dados com Fibras Ópticas pode ser determinada pelo quão bem o sinal elétrico reconvertido no receptor é igual ao sinal da entrada do transmissor.

A capacidade de qualquer sistema de transmissão de dados com Fibras Ópticas depende em última análise da potência óptica no receptor.

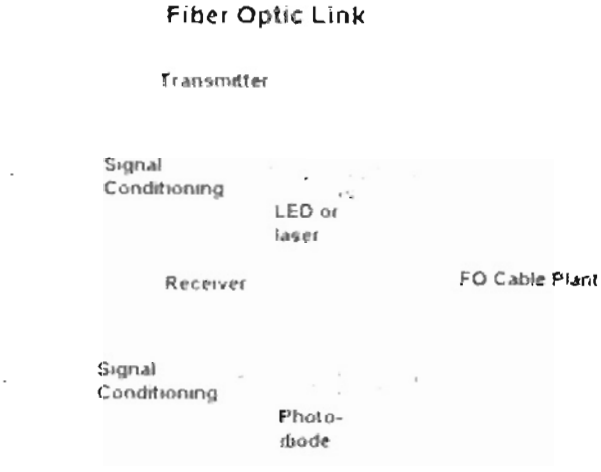


Figura 13 - Link de fibra óptica, . (www.policom.com.br, 2004)

A figura acima mostra a taxa de erros em número de bits (Bit Error Rate, BER) como uma função da potência óptica no receptor. Tanto muito pouca potência como potência demais causarão altas taxas de erro, no primeiro caso devido a ruídos e no segundo devido à saturação do amplificador do receptor. A potência no receptor depende de dois fatores básicos: a quantidade de potência lançada na Fibra pelo transmissor e a quantidade perdida por atenuação nos cabos de Fibras Ópticas que conectam o transmissor e receptor. Os links de dados podem ser tanto analógicos (tais como AM CATV ou monitores coloridos RGB), quanto digitais (tais como SONET, Ethernet, FDDI ou ESCON). Ambos possuem parâmetros críticos em comum e algumas diferenças principais. Para ambos, a margem de perda óptica é o mais importante. Ela é determinada conectando o link a um atenuador ajustável na planta de cabos ópticos e variando a perda. Links analógicos são testados pela

taxa sinal/ruído, enquanto links digitais utilizam a taxa de erros em bits como medida de performance. [www.djalma2002.sites.com.br/fibraopticas.html, 2004]

Capacidade de transmissão de dados de Fibras Ópticas para Telefonia:

Distância	Largura de Banda	Canais de Voz
Cobre2,5Km	1,5 Mbit/s	24
Fibra 200Km	2,5+ Gbit/s	32000+

Tabela 1 larguras de bandas [www.cjb.fibraoptica.net, 2004]

Emendas de Fibras ópticas

Existem dois tipos básicos de emendas que podem ser efetuadas: emenda por fusão ou emenda mecânica.

a) Emenda por Fusão

Neste tipo de emenda a fibra é introduzida numa máquina, chamada máquina de fusão, limpa e clivada, para, após o alinhamento apropriado, ser submetida à um arco voltaico que eleva a temperatura nas faces das fibras, o que provoca o derretimento das fibras e a sua soldagem. O arco voltaico é obtido a partir de uma diferença de potencial aplicada sobre dois eletrodos de metal. Após a fusão a fibra é revestida por resinas que tem a função de oferecer resistência mecânica à emenda, protegendo-a contra quebras e fraturas.

Após a proteção a fibra emendada é acomodada em recipientes chamados caixa de emendas. As caixas de emendas podem ser de vários tipos de acordo com a aplicação e o número de fibras. Umas são pressurizáveis ou impermeáveis, outras resistentes ao sol, para instalação aérea.

A CLIVAGEM é o processo de corte da ponta da fibra óptica. É efetuada a partir de um pequeno ferimento na casca da fibra óptica (risco) e a fibra é tracionada e curvada sob o risco, assim o ferimento se propaga pela estrutura cristalina da fibra. A qualidade de uma clivagem deve ser observada com microscópio.

b) Emenda Mecânica

Este tipo de emenda é baseado no alinhamento das fibras através de estruturas mecânicas. São dispositivos dotados de travas para que a fibra não se mova no interior da emenda e contém líquidos entre as fibras, chamados líquidos casadores de índice e refração, que tem a função de diminuir as perdas de Fresnel (reflexão). Neste tipo de emenda as fibras também devem ser limpas e clivadas. Este tipo de emenda é recomendado para aqueles que tem um número reduzido de emendas a realizar, pois o custo desses dispositivos é relativamente barato, além de serem reaproveitáveis.

c) Conectores

Os conectores utilizam acoplamentos frontais ou lenticulares, sendo que existem três tipos de acoplamentos frontais:

- quando a superfície de saída é maior que a de entrada.
- quando a superfície de saída é igual à de entrada.
- quando a superfície de saída é menor que a de entrada.

E também existem dois tipos de acoplamentos lenticulares:

- simétrico
- assimétrico

Os requisitos dos conectores são:

- montagem simples;
- forma construtiva estável;
- pequenas atenuações;

- proteção das faces das fibras.

Os fatores que influenciam na qualidade de um conector são:

- alinhamento:
- montagem ;
- características de transmissão das fibras .

Existem conectores:

- para fibra única ;
- para várias fibras (múltiplo).

Análise de Reflectometria da Fibra (OTDR)

a) Teste de Atenuação por Análise de Reflectometria

Este teste é realizado com um instrumento chamado OTDR (optical time domain reflectometer), que significa refletômetro óptico no domínio do tempo. O instrumento faz uso do fenômeno do espalhamento de Rayleigh, que é a irradiação da luz das moléculas de vidro, proporcional à luz incidente. O instrumento faz uso deste fenômeno da seguinte forma:

· Gera-se um impulso luminoso que é inserido na fibra óptica sob teste.
· Ao percorrer a fibra até um ponto X, a luz é atenuada.

· Ao chegar no ponto X, a luz provoca o espelhamento de Rayleigh das moléculas de vidro desse ponto, com intensidade proporcional à luz existente nesse ponto.
· Como o espalhamento é homogêneo em todas as direções, parte dessa energia luminosa retorna à fonte (OTDR).

· A luz que retorna à fonte também é atenuada. É importante observar que a atenuação do retorno à fonte é igual à atenuação do sinal até o ponto X, pois o caminho de propagação é o mesmo.

· O OTDR mede a potência de luz que retorna à fonte, bem como o tempo gasto para que o impulso gerado vá até o ponto X e retorne ao início da fibra. Para que o OTDR possa calcular a localização do ponto X, é necessário fornecer-lhe o índice de refração da fibra sob teste.

As vantagens deste tipo de medida é que necessitamos de apenas uma ponta da fibra, não é destrutivo, possibilita medir comprimentos, atenuação das emendas, atenuação nos conectores, localiza defeitos, etc.

Como desvantagens, podemos citar:

· Possui pequena faixa dinâmica de medidas;

· A atenuação só é precisa se o espelhamento de Rayleigh for homogêneo em toda a fibra óptica ;

· Necessita do índice de refração;

· Não mede atenuação espectral. Sua utilização é muito comum em todas as fases de implementação dos sistemas ópticos.

b) Teste de Atenuação

Este tipo de teste mede a atenuação da fibra óptica numa faixa de comprimentos de onda, normalmente contendo o comprimento de onda em que a fibra operará.

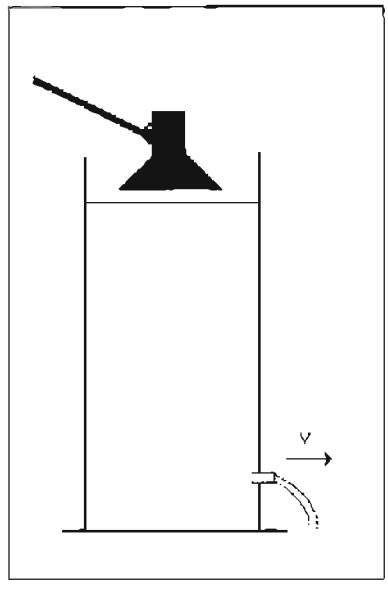
O teste utiliza dois instrumentos portáteis (Power Meter): o medidor de potência e a fonte de luz.

O teste divide-se em duas etapas, na primeira é efetuada uma calibração dos dois instrumentos, para conhecermos a potência de luz que será lançada na fibra óptica, e na segunda é efetuada a medida de potência após a luz percorre toda a fibra óptica. A diferença entre as duas será o valor de atenuação.

6– EXPERIMENTOS

6.1 Experiência 1 - Condutores de Luz

Objetivo: Simular os efeitos de uma fibra óptica.



Material:

Lata vazia de leite longa vida ou lata grande de metal;

Mangueira fina de aquário;

Lanterna ou luminária com lâmpada de uns 60 W.

Montagem

Use uma caixa grande de leite longa vida (vazia, é claro) aberta no topo. Faça um pequeno furo a uns 2 centímetros do fundo. Enfie, com cuidado, a ponta da mangueira nesse furo, até entrar cerca de 1 cm. Corte a mangueira de modo a sobrar uns 2 cm para fora. Vede a mangueira cola quente, chicletes ou massa de moldar. Encha a caixa com água tampando a ponta da mangueira com o dedo. Coloque uma lâmpada no topo da caixa, acenda-a e solte a água. Em um ambiente escurecido vemos claramente o feixe de água como um conduto de luz.

Esse fenômeno que é utilizado hoje em dia nas fibras ópticas foi primeiro demonstrado por John Tyndall em 1854. A luz fica praticamente presa no feixe de água por causa da reflexão total.

6.2 Experiência 2: Propagação da luz

Material: 1 lanterna laser, 1 lanterna de fibras ópticas, 1 aquário pequeno com água e algumas gotas de leite.

Procedimento:

Mostrar a lanterna de fibra óptica vendida nas ruas, como brinquedo para as crianças. Apagar as luzes para que todos possam ver as pontas das fibras iluminadas. Utilizando um aquário pequeno com água e algumas gotas de leite, mostrar a propagação do feixe luminoso de uma lanterna laser de brinquedo,

6.3 Experiência 3 : Mostrar o tubo de mangueira retorcido

Material :

1 lanterna laser;

0,5 m de mangueira transparente com o diâmetro da lanterna;

2 tubo de ensaio do mesmo tamanho da mangueira;

glicerina;

cola araldite.

Montagem:

Se possível corte os dois tubos de ensaio que vão funcionar como "rolha" para a mangueira.

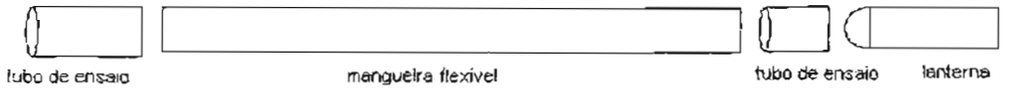
Cole um tubo de ensaio numa das extremidades da mangueira;

Encha a mangueira com glicerina tirando as bolhas que se formam;

Cole o outro tubo vedando bem. Cuidado para não sujar o vidro com a cola. Passe pouca cola e somente nas paredes laterais;

Cole a lanterna no tubo, deixando o interruptor de fora.

A fazer a demonstração entorte a mangueira.



7– APLICAÇÕES

As fibras ópticas são usadas em vários equipamentos médicos projetados para examinar o interior do corpo, uma vez que as imagens transmitidas podem ser ampliadas e manipuladas para permitir uma observação mais detalhada de cavidades do organismo. Recorre-se também à fibra óptica nos estudos de física e engenharia nuclear para a visualização das operações que se realizam na inspeção do núcleo dos reatores. [www.brasilenosso.hpg.ig.com.br/fibraoptica.htm, 2004].

7.1 Vantagens do uso das Fibras Ópticas

As fibras ópticas são pequenas (5mm); Evitam conexões elétricas no paciente e Podem ser esterilizadas. Além dessas vantagens há mais algumas que podemos destacar: [www.brasilenosso.hpg.ig.com.br/fibraoptica.htm. 2004]

Imunidade a Interferências

O feixe de luz transmitido pela fibra óptica não sofre interferência de sistemas eletromagnéticos externos.

Sigilo

Devido à dificuldades de extração do sinal transmitido, obtém-se sigilo nas comunicações.

Tamanho Pequeno

Um cabo de 3/8 de polegada (9,18mm) com 12 pares de fibra, operando à 140 MBPS pode carregar tantos canais de voz quanto um de 3 polegadas (73mm) de cobre com 900 pares trançados. Menor tamanho significa melhor utilização de dutos internos.

Condutividade elétrica nula

A fibra óptica não precisa ser protegida de descargas elétricas, nem mesmo precisa ser aterrada, podendo suportar elevadas diferenças de potencial.

Leveza

O mesmo cabo óptico citado no item "tamanho pequeno" pesa aproximadamente 58 kg/km.

O cabo de pares trançados pesa 7.250 Kg/km. Isto possibilita maiores lances de puxamento para o cabo de fibra óptica.

Largura de Banda

Fibras ópticas foram testadas até os 350 bilhões de bits por segundo em uma distância de 100km. Taxas teóricas de 200-500 trilhões de bits por segundo são alcançáveis.

Baixa Perda

As fibras monomodo atuais possuem perdas tão baixas quanto 0,2 dB/km (Em 1550 nm)

Imunidade a Ruídos

Diferente dos sistemas metálicos, que requerem blindagem para evitar radiação e captação eletromagnética, o cabo óptico é um dielétrico e não é afetado por interferências de rádio freqüência ou eletromagnéticas. O potencial para baixas taxas de erro eleva a eficiência do circuito. As fibras ópticas são o único meio que podem transmitir através de ambientes sob severa radiação.

Alta Faixa de Temperatura

Fibras e cabos podem ser fabricados para operar em temperaturas de -40° C até 93°C. Há registros de resistência a temperatura de -73°C até 535°C.

Sem Risco de Fogo ou Centelhamento

As fibras ópticas oferecem um meio para dados sem circulação de corrente elétrica. Para aplicações em ambientes perigosos ou explosivos, elas são uma forma de transmissão segura.

Comparações com o Cabo de Cobre

Apesar do cabo de fibra óptica custar 10 vezes mais do que o cabo de cobre, ele transporta 39 mil vezes mais informações, ou seja, apresenta relação custo-benefício 3.900 vezes superior.

sistema	Modem de 28.800	Drive de quádrupla velocidade	Winchester IDE	Rede Nacional de Fibras ópticas
velocidade	0,028 mbps	4,8 mbps	9,6 mbps	622 mbps
volume	Transmite 10 ave-marias e 5 pai-nossos em um segundo.	Transmite 2 200 ave-marias e 500 pai-nossos em um segundo, ou ½ disquete de 3,5 polegadas.	Transmite 1 disquete de 3,5 polegadas em um segundo.	Transmite 54 disquete de 3,5 polegadas por segundo, ou 308 750 ave-marias e 50 000 pai-nossos.

Tabela 2 - Qualidade incomparável do cabo de fibra óptica.
[www.brasilenosso.hpg.ig.com.br/fibraoptica.htm, 2004]

As fibras ópticas têm capacidade muito grande de transmissão de sinais, pois a taxa de transmissão de sinais é proporcional a freqüência do sinal. A faixa de freqüência de rádio é da ordem de 106Hz, a faixa das microondas está entre 108 e 1010 Hz, enquanto a luz tem uma freqüência entre 1014 e 1015Hz. A capacidade de uma fibra óptica também corresponde à cerca de 400 fios metálicos duplos. Desta forma, um cabo com 400 fios de cobre permite a realização de 3000 conversas telefônicas, enquanto um cabo com 12 fibras ópticas, permite 9600 conversas.

Enquanto os fios de cobre transportam elétrons, os cabos de fibra óptica (cabos de fibra de vidro) transportam luz. Dentre as vantagens dos cabos de fibra óptica estão a imunidade total contra a diafonia e contra interferências eletromagnéticas e de

radiofreqüência. A falta de ruídos internos e externos significa que os sinais têm um alcance maior e se movem mais rápido, além da melhor qualidade, o que proporciona uma velocidade e uma distância maiores do que as obtidas com cabos de cobre. Como não transporta eletricidade, a fibra é o meio mais adequado para conectar prédios com diferentes aterramentos elétricos, além disso, os cabos de fibra não atraem raios como cabos de cobre. Além disto, cabos ópticos usados em transmissões telefônicas são impossíveis de serem grampeados por curiosos ou por profissionais. Por que ainda usamos o cabo de cobre?

A resposta está nos dispositivos de interface e no custo das conexões. Por ser uma interface ótica, um conector de fibra ótica deve criar um ângulo reto preciso em relação extremidade do cabo, estabelecendo com ela uma conexão perfeita, o que dificulta a instalação.

São necessários vários minutos para que um instalador treinado estabeleça uma conexão. Portanto, o custo da mão-de-obra é alto, e o responsável pela instalação necessita de um conjunto de ferramentas caras, mesmo que seja necessário estabelecer apenas uma conexão.
[www.brasilenosso.hpg.ig.com.br/fibraoptica.htm, 2004]

Por fim, os transceptores de fibra ótica localizada em cada extremidade do cabo são muito caros.

7.2 Uso de Fibras Ópticas na Medicina

- Confecção de endoscópios com feixes de Fibras Ópticas para iluminação;
- Uso de Fibras como ponta de bisturi óptico para cirurgias a laser, como:
  Desobstrução de vias aéreas (cirurgias na faringe ou traquéia);
  Desobstrução de vias venosas ("limpeza" de canais arteriais, evitando pontes de safena);
- Uso odontológico: aplicação de selantes.

- Cirurgias de descolamento de retina;

[www.tranjan.com.br/especialidades/cirurgias0001.asp, 2004]

Figura 14 - Um médico operando a laser um paciente.
[www.tranjan.com.br/especialidades/cirurgias0001.asp, 2004]

7.3 Fibras Ópticas na Instrumentação

Sensores

Um sensor é um dispositivo que atua como um transdutor: "traduz" o sinal causado pela propriedade física do meio em estudo (como pressão ou temperatura) em um tipo de sinal cujas características têm informações sobre o fenômeno ocorrido.

A sensitividade dos sensores a fibra, ou seja, o distúrbio menos intenso que pode ser medido, pode depender de:

- Variações infinitesimais em algum parâmetro de caracterização da fibra usada, quando a fibra é o próprio elemento sensor;
- Mudanças nas propriedades da luz usada quando a Fibra é o canal através do qual a luz vai e volta do local sob teste.Os sensores a Fibras Ópticas são compactos e apresentam sensitividades comparáveis ou superiores aos similares convencionais. São usadas tanto Fibras monomodo como multimodo. Existem muitos sensores comerciais feitos com Fibras Ópticas, para medição de temperatura, pressão, rotação, sinais acústicos, corrente, fluxo, etc. [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

Emprego de Fibras Ópticas na construção de sensores

Sensores interferométricos utilizando Fibras monomodo. São usados dois "braços" de Fibras com comprimentos iguais aos quais é acoplada luz. Um dos braços atua como referência e o outro vai ser submetido a algum distúrbio do ambiente. A luz de saída das duas Fibras é recombinada, formando um padrão de interferência. Na medida em que o braço sensor sofre as influências do distúrbio, as franjas de interferência se deslocam a uma razão que é proporcional à intensidade do distúrbio cuja magnitude se deseja medir; Se a intensidade de luz acoplada a uma fibra quase monomodo é medida num certo instante de tempo após o qual submete-se a fibra a micro-curvaturas (geradas por variações de pressão de ondas acústicas, por exemplo) espera-se uma diminuição na intensidade de saída porque os modos de ordens mais altas encontrarão o seu corte, devido às variações na diferença de índices de refração entre o núcleo e a casca induzidas pelas micro-curvaturas. [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

Exemplos de sensores construídos com Fibras Ópticas

- Micro pontas de prova para medição de temperatura: as pontas de prova são equipadas com transdutores nas pontas, os quais possuem um cristal cuja luminescência varia com a temperatura (-50 a +200oC);

- Sensores de pressão construídos com o emprego de uma membrana móvel numa das extremidades da Fibra. A Fibra é encapsulada em um cateter e a membrana se movimenta de acordo com a pressão (0 a 300mm de Hg);

- Sensores químicos construído com o emprego de uma membrana permeável numa das extremidades da Fibra. A membrana contém um indicador reversível que responde a um estímulo químico mudando sua absorção ou luminescência.

  [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

Emprega-se uma Fibra a base de sílica dopada em seu núcleo com algum elemento terra-rara, como o érbio ou o neodímio. A presença destes elementos em algumas partes por milhão é o bastante para que, após o bombeio, a Fibra fluoresça com picos intenso em vários comprimentos de onda de extremo interesse como, por exemplo, a 1,55mm (comprimentos de onda onde as Fibras de sílica "normais" podem apresentar mínimos em atenuação e dispersão materiais. A Fibra dopada, adequadamente bombeada, pode ser usada como meio amplificador (o sinal a ser amplificado coincide com algum pico de fluorescência) ou como um laser, se inserida entre dois espelhos convenientemente selecionados). [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

7.4 Uso de Fibras Ópticas nas Telecomunicações

A Fibra monomodo é a opção preferida para comunicação a longa distância. Ela permite que a informação seja transmitida a altas taxas sobre distâncias de dezenas de quilômetros sem um repetidor. Sua capacidade de transmissão superior é possível devido a seu pequeno núcleo - entre 5 e 10 mm de diâmetro. Isto limita a luz transmitida a somente um modo principal, o que minimiza a distorção dos pulsos de luz, aumentando a distância em que o sinal pode ser transmitido.

Praticamente todas as aplicações de telefonia e CATV (TV a cabo) utilizam a Fibra monomodo em função das maiores taxas de transmissão e menores atenuações do sinal. Redes de dados que requeiram taxas de transmissão de gigabits também precisam utilizar a Fibra monomodo.

A Fibra multimodo é usada em sistemas de comunicação como LANS (Local Area Networks) e WANS (Wide Area Network) em campi universitários, hospitais e empresas. O diâmetro de seu núcleo é largo em comparação ao comprimento de onda da luz transmitida. Por isso, a Fibra multimodo propaga mais que um modo de luz. Com seu relativamente grande núcleo, a Fibra multimodo é mais fácil de conectar e unir; é a Fibra escolhida para aplicações de curta distância consistindo de numerosas conexões.

Fibras multimodo de índice gradual também são preferidas quando o bom acoplamento com a fonte de luz é mais importante do que a atenuação do sinal na Fibra, ou ainda quando há preocupação com radiação, uma vez que estas Fibras podem ser construídas com núcleo de pura sílica que não é grandemente afetado pela radiação. [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

Sistemas de Comunicação

As fibras ópticas são aplicadas a vários sistemas de comunicação, tais como: **Rede Telefônica**: serviços de tronco de telefonia, interligando centrais de tráfego interurbano e interligação de centrais telefônicas urbanas; **Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI)**: rede local de assinantes, isto é, a rede física interligando os assinantes à central telefônica local; **Cabos Submarinos**: sistemas de transmissão em cabos submarinos; **Televisão por Cabo (CATV)**: transmissão de sinais de vídeo através de fibras ópticas; **Sistema de Energia e Transporte**: distribuição de energia elétrica e sistema de transmissão ferroviário; **Redes Locais de Computadores**: aplicações em sistemas de longa distância e locais; **Controle de aviões** e **Instrumentação**. [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

Transmissão Óptica

Para se criar um sistema de comunicação através de fibras ópticas, é necessário a utilização de alguns elementos além da fibra, tais como: **Emissores** e **Receptores**, que transformam o sinal elétrico em óptico, e vice versa.

Portanto, a comunicação óptica se estabelece da seguinte forma: o equipamento (Hub ou estação de trabalho) envia uma mensagem codificada através de um pulso elétrico ao emissor que o converte em pulso luminoso, tal pulso percorre a fibra até atingir seu destino, onde encontra um receptor que o recebe e o converte novamente em pulso elétrico para que o outro equipamento possa interpretar a mensagem. Os emissores e receptores geralmente ficam alojados em equipamentos tais como hubs ópticos, placas ópticas e transceivers (transceptores). (www.policom.com.br, 2004)

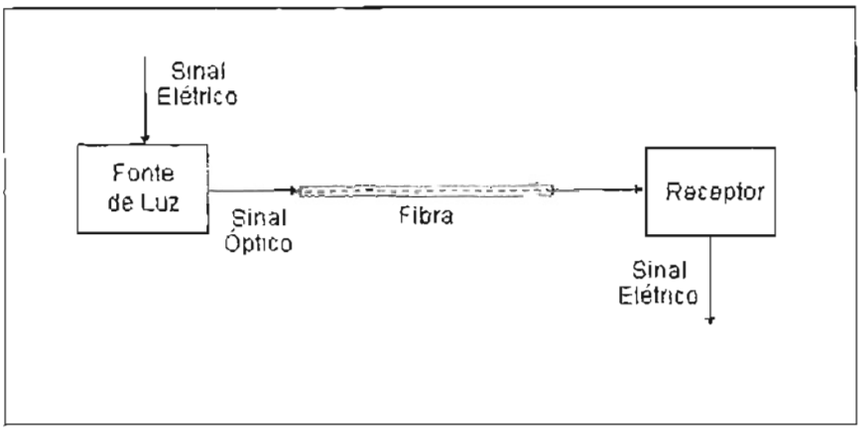


Figura 15 - Representação da comunicação óptica, (www.policom.com.br, 2004)

7.5 Termômetro a Fibra Óptica Para Uso em Ambientes com Microondas

Foi desenvolvido por Luiz Augusto Polydoro o protótipo de um termômetro a fibra óptica, que pode ser aplicado em ambientes com microondas. A sua ponta sensora é uma fibra óptica monomodo em forma de uma pequena curva recoberta de uma resina polimerizável, cujo princípio de funcionamento é a dependência do índice de refração do material com a temperatura, influenciando a perda por radiação nos modos de casca. O instrumento poderá ser utilizado em algumas aplicações biomédicas. [www.fibraoptica.cjb.net, 2004]

7.6 As Pinças Ópticas

As pinças ópticas são formadas por feixes de laser. O primeiro a suspeitar que a luz podia exercer força e era até capaz de empurrar alguns objetos, foi o físico e astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630). Para ele, a pressão dos raios solares atuava sobre a cauda dos cometas, varrendo-as para longe, e sempre em direção oposta à do sol.

James Clerk Maxwell demonstrou matematicamente que Kepler estava certo. Mas na prática, os raios solares não tinham essa capacidade, pois eram rarefeitos e, por isso, muito fracos.

O que revolucionou essa teoria foi à invenção, em 1960, do aparelho de raio LASER, que concentrava uma grande quantidade de luz num único feixe. Mesmo quando sua potência abaixa, a concentração de seus feixes garante a eficácia. Foi a partir daí que surgiu a possibilidade de construir uma ferramenta de luz, que hoje é chamada de **pinça óptica**.

O segredo da pinça óptica é o poder que ela tem de ajustar o foco do laser **com absoluta precisão no "alvo".** (Vieira, 1997)

7.7 Aplicações Militares

As aplicações militares de fibras ópticas incluem, desde sistemas de comunicação de voz e dados a baixa velocidade, onde as fibras ópticas simplesmente substituem suportes metálicos convencionais, até aplicações envolvendo sistemas de navegação e controle de mísseis ou torpedos guiados por cabo. (www.policom.com.br, 2004)

7.8 O Chip do Futuro

O chip de computador é formado por inúmeros transistores, que a princípio, eram feitos de germânio, e hoje, são feitos de um material chamado silício. As empresas dessa área iniciaram uma tremenda batalha desde quando surgiu o transistor, buscando cada vez mais miniaturizar esses componentes e obter sua velocidade máxima como um todo.

Com o surgimento de novos materiais e conceitos, irá haver uma revolução no cérebro do computador. No século XXI, ele poderá trabalhar com DNA, luz, neurônios, lascas que brilham e até com novos plásticos. Não há nada de estranho nisso, pois desde o surgimento do transistor, há meio século atrás, a cada dez anos, mais ou menos, a indústria da informática sofre uma transformação importante.

Pelo que se sabia até pouco tempo atrás, o silício, material com o qual são feitos os chips dos computadores, apesar de serem ótimos condutores de eletricidade, são péssimos condutores de luz. Isso, porém, nunca foi problema, uma vez que os circuitos eletrônicos sempre deram conta das tarefas que as máquinas tinham de realizar. Com o uso cada vez

maior das **fibras ópticas** e dos **CD-ROMS**, que se utilizam da luz para manipular dados, o silício passou a ser um problema devido a sua cegueira perante a luz. Portanto o silício sendo um péssimo emissor de luz, nos sistemas de transmissão de dados por fibra óptica, os computadores precisam de um conversor para transformar os impulsos elétricos dos chips em ondas luminosas.

Outro motivo para o surgimento de um novo padrão de chips, é literalmente a falta de espaço. A cada nova geração os chips possuem maior quantidade de transistores (assim ficam mais competentes e velozes) e, conseqüentemente, os espaços entre eles vão diminuindo.

No final do ano de 1996, o cientista norte-americano, Karl Hirschman, descobriu um novo tipo de silício que é capaz de brilhar. A partir daí foi um pulo para o desenvolvimento do primeiro **chip opticoeletrônico** (que mistura óptica e eletrônica). Praticamente pronto para sair dos laboratórios, é muito parecido com seus ancestrais, mas faz contato com os equipamentos externos a ele, dentro do computador, por meio da luz. A idéia é construir computadores que recebam dados, por exemplo, de um CD-ROM e possam passá-los direto para o chip, sem precisar convertê-los em pulsos elétricos. Isso economizaria tempo e resultaria mais velocidade.

Um computador assim seria muito mais rápido e muito mais seguro, uma vez que a luz, além da velocidade, possui a vantagem de não receber interferências.

Um pouco além dessas maravilhas estão outras, ainda mais incríveis, que são os **chips ópticos**. Eles usarão a luz não apenas para o contato externo, mas também para operações internas dos chips. Ao invés de eles utilizarem a atual linguagem binária (*um* e *zero*, ou nesse novo sistema *aceso* e *apagado*), o novo computador terá uma linguagem quaternária que será composta pelas cores branco, preto, azul e vermelho. Segundo o engenheiro David Miller do laboratório de engenharia elétrica da Universidade de Stanford, na Califórnia: *Isso sim será uma revolução, pois poderemos elevar todas as velocidades a quarta potência*, ou seja, isso significa cálculos tão rápidos quanto a luz. [Setti, 1997]

7.9 Os Cubos Ameaçam os Discos

A equipe de Paras N. Prasad, da Universidade Estadual de Nova York, em Buffalo, Estados Unidos, construiu um cubo de plástico capaz de armazenar o equivalente a cerca de 1000 CD-ROMS em apenas 1 centímetro cúbico. Isso só foi possível graças à descoberta de um novo plástico.

Por enquanto, o fantástico componente só funciona com um aparelho de LASER que custa cerca de 100 mil dólares. Tem que se levar em conta que a tecnologia anda devagar. E é por isso que não se tem previsão de quando teremos uma memória holográfica para computadores, apesar da grande descoberta de Rolf Henrik Berg, do laboratório Riso, na Dinamarca. Berg apresentou ao mundo no final do ano passado uma nova molécula chamada DNO. Ele garantiu que esta molécula poderá fazer com que a holografia, antes usada apenas para produzir desenhos tridimensionais passe a ser um componente de computador, pois ele afirma que se nós podemos ver uma holografia e pensar que é real, o computador também pode. [Setti, 1997]

7.10 Holografia

A partir do seu surgimento, a holografia vem sendo estudada e explorada com o intuito de abrir novos caminhos à expressão visual.

Igual a fotografia, o cinema, o vídeo e os computadores, a holografia é usada para permitir a diversificação e o enriquecimento da linguagem visual e plástica da nossa sociedade.

Antes de tudo, precisamos levar em consideração que a holografia é simplesmente um quadro bidimensional. E para entendermos o que é holografia e como funciona, precisamos ter uma noção de como o cérebro interpreta essas imagens. Sabemos que *os nossos dois olhos, pelo efeito da paralaxe binocular, captam paralelamente imagens da mesma cena, a partir de perspectivas ligeiramente diferentes, enviando-as ao cérebro que as interpreta, de uma maneira tridimensional*, segundo Rosa Maria Oliveira. (www.arnal.es/bang/ holoport.html).

Já em relação à sensação de profundidade, o nosso cérebro analisa o tamanho relativo dos objetos, reconhecendo as formas e registrando as suas variações.

Numa fotografia normal, temos uma noção de profundidade que pode ser chamada de Perspectiva Cônica. E quando essa perspectiva foi descoberta pensou-se que tinha sido encontrada a melhor forma de representar a terceira dimensão. Era a maneira mais parecida com o mundo que os nossos olhos viam e o nosso cérebro interpretava, embora a representação do objeto fosse apenas de um ponto de vista, que se mantinha inalterável, qualquer que fosse a posição em que estivesse o observador.

Então, pensou-se que talvez fosse interessante procurar novos efeitos de tridimensionalidade, mais de acordo com a realidade, em que o objeto pudesse ser observado de mais do que um ângulo. Com o surgimento da holografia isso foi possível, **pois ela é a única técnica que permite mostrar, de maneira natural e perfeitamente contínua e com uma resolução espantosa, todas as perspectivas da imagem registrada**.

Esta técnica holográfica foi inventada por Dennis Gabor em 1948, mas só foi desenvolvida com a descoberta do laser, em 1960, por Leith e Upatnieks. Desse modo foi possível registrar a imagem total de um objeto, registrando a informação contida na amplitude e na fase da luz proveniente dele, pela impressão sobre uma placa ou filme emulsionado de alta resolução. Aí permanece codificada, de forma que, numa segunda iluminação, seja reproduzida perfeitamente, com toda a noção de profundidade.

Para que o registro seja possível, ambos os feixes de luz (o feixe de referência, que ilumina a placa holográfica e o feixe objeto, que ilumina o objeto antes de ser refletido para a mesma placa holográfica), sejam coerentes, isto é, tenham o mesmo comprimento de onda. Após a sua revelação - processo idêntico ao usado para a fotografia - a placa, iluminada com um feixe de luz com a mesma direção do feixe referência, reconstitui uma imagem perfeita e tridimensional do objeto holografado (Figura 16). (www.arnal.es/bang/holoport.html, 2004).

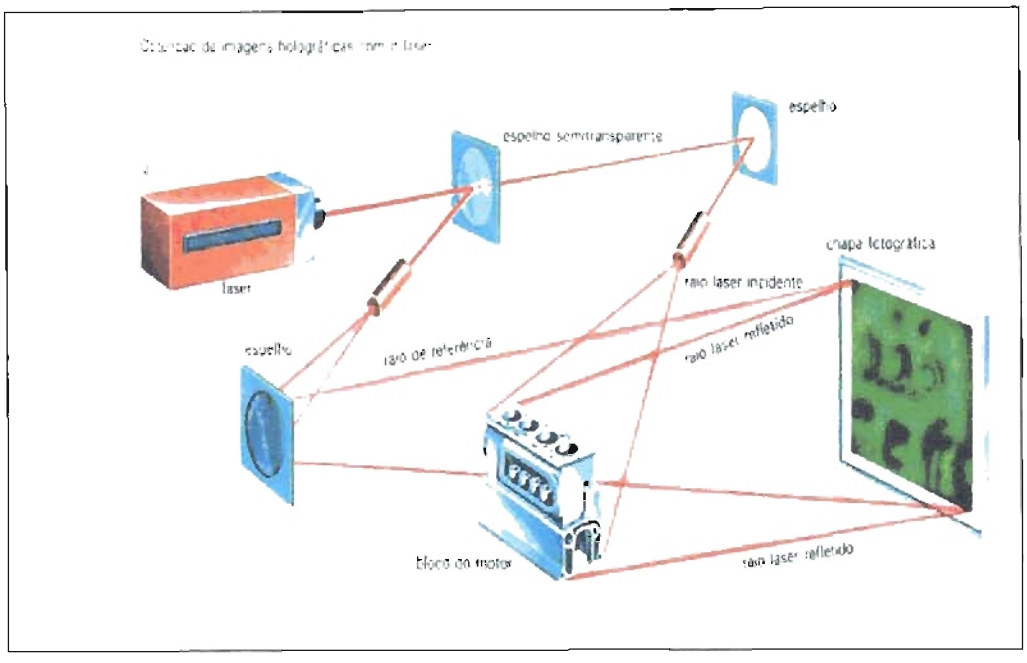


Figura 16 - (www.arnal.es/bang/ holoport.html, 2004)

Sendo assim, a imagem pode aparecer atrás ou à frente da placa holográfica, enriquecendo a noção de espaço e tempo, flutuando como um fantasma e criando uma das mais fantásticas sensações visuais do nosso tempo. o contrário da fotografia. se mudarmos o ângulo de observação do holograma, podemos ver novas superfícies, assim como, pela iluminação no ângulo certo, podemos fazer com que composições diferentes apareçam e desapareçam no mesmo lugar, através de um simples jogo de luzes. E essas imagens são tão fiéis que se pode fotografar o objeto de diferentes ângulos. Isso ocorre porque na holografia, ao

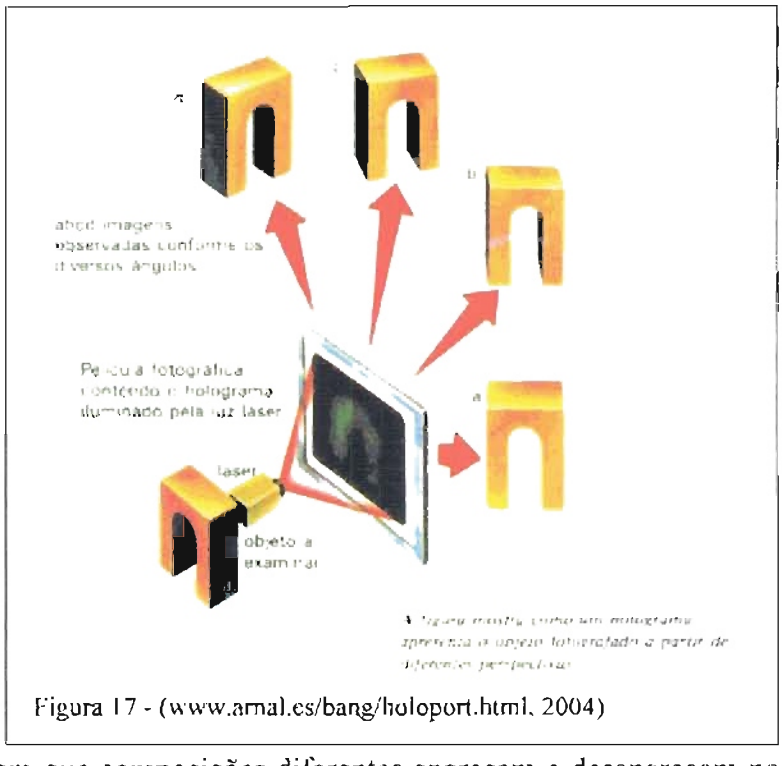


Figura 17 - (www.arnal.es/bang/holoport.html, 2004)

contrário da fotografia, não se registra sobre a película (holograma) só a intensidade das ondas luminosas, mas também a sua fase. Isso garante o efeito tridimensional (Figura 17).

Além disso, uma pequena parte do holograma contém informações sobre toda a imagem. Caso um pedaço do holograma se estrague, é possível reconstituí-lo. Funciona de uma maneira análoga ao cérebro, já que a memória do homem se distribui por todo o córtex cerebral.

É extremamente fácil se compreender porque a holografia é tão valiosa para as aplicações científicas e tecnológicas. Imaginemos um sistema extremamente delicado. Com a holografia é possível registrar seu comportamento sem tocá-lo, como pesquisas sobre o comportamento de micro partículas, tais como bactérias, células vivas, etc.

A alta resolução e quantidade de informações das holografias permitem a criação de imagens ou palavras ocultas ou invisíveis a olho nu, reveladas somente através de processos especiais. Esse é um dos motivos que faz com que o material holográfico seja o preferido para aplicações na área de segurança e para evitar a falsificação. Ainda mais que atualmente o Brasil vem sofrendo uma onda de falsificação de remédios.

E com o crescente uso e divulgação deste material, sua utilização na área publicitária e decorativa tem crescido rapidamente, tornando a holografia bastante acessível em termos de custos. Talvez, num futuro não muito distante, a holografia se incorpore em nosso cotidiano, na forma de filmes e TVs holográficos.

Existem hologramas que podem ser de transmissão ou de reflexão. Isto vai depender da onda de luz aplicada no objeto e na referência, ou seja, se incidem do mesmo lado, ou de lados opostos da placa holográfica.

Existem vários tipos de holografia, dentre a qual destacamos a Holografia de Luz Monocromática que é caracterizada pelo fato de os hologramas serem reconstituídos com luz de uma única cor. No entanto, o mesmo já não se poderá dizer dos hologramas de "arco-íris". Baseados nesta técnica podem ser feitos hologramas de imagem múltipla, particularmente interessantes, como instrumento de produção estética.

A difração da luz altera a própria definição cromática, pois que, dependendo da iluminação e da posição do observador, a cor do objeto pode ser alterada, abrindo uma nova fronteira na paleta do artista, que fica a dispor do mesmo recurso que a Natureza utilizou para colorir as mais belas borboletas: a impressão de finíssimos traços (mais de mil por milímetro), que captam a luz na sua freqüência de onda, fazendo variar a cor com o seu ângulo de incidência.

Apenas um espectador móvel pode usufruir de tudo o que se passa no holograma. O seu ponto de vista determina o que vê: novas cores, novo espaço, novo imaginário.

A realidade de uma imagem produzida holograficamente, é luz pura. Ela consiste realmente em luz, criada pela luz. A realidade aparece, parece existir, e então desaparece novamente no nada.

Deste modo, o trabalho artístico torna-se fundamentalmente indeterminado e culmina em sublimação. Esta sublimação, de acordo com Robert Boileau, "*não pode estritamente ser provada ou demonstrada, mas é qualquer coisa de maravilhoso, que toca, move e mexe com os sentidos*" [www.arnal.es/bang/holoport.html.2004].

Hoje, é através dos hologramas que vem sendo testada uma nova técnica que permite a transmissão de dados entre chips através de raio laser, sem fios e com muito mais rapidez do que a utilizada até agora. Um holograma do tamanho de um CD-ROM armazena mil vezes mais informações do que o próprio CD. Essa técnica é considerada por alguns cientistas como "A nova luz deste século".

8. CONCLUSÃO

Dentro das várias ciências existentes, a óptica se destaca entre elas, pois a cada dia que passa, a óptica vem se incorporando mais em nossa vida, ou seja, ela desafia cada vez mais o homem a aprofundar em pesquisas, de onde surgem materiais que no futuro ajudarão no seu próprio bem estar.

Hoje, a óptica é uma peça fundamental de nossa vida, pois ela vem sendo utilizada nas mais diversas áreas, como na telecomunicação, na medicina, entre outras.

Não podemos esquecer que foi graças a invenção do LASER que a óptica se revolucionou. Após a sua descoberta, surgiram às fibras ópticas, os hologramas, as pinças ópticas e a cada vez mais novas tecnologias surgem, como é o caso dos chips ópticos e os cubos.

Essas descobertas nos ajudam cada vez mais, como é o caso dos hologramas que vem sendo utilizados nos cartões de crédito, nas embalagens de produtos industrializados e nos remédios, evitando que nós não sejamos enganados com produtos falsificados. E não é só nisso que essas descobertas nos ajudam, pois no caso das pinças ópticas, é possível manipular o micro mundo, tais como as células, bactérias e sistemas responsáveis pelo funcionamento de máquinas e computadores.

Portanto, percebemos a fundamental importância da óptica, suas ramificações para as mais variadas áreas através de seus instrumentos.

Isso nos leva a concluir que com a união do LASER e a fibra óptica, os médicos poderão eventualmente no futuro examinar os seus pacientes que moram muito distante dos hospitais, os pesquisadores terão um acesso muito rápido da informação localizada nas maiores bibliotecas que estão espalhadas pelo mundo, estudantes de arte poderão, através do computador, ter acesso as melhores coleções dos museus mais importante da Europa, e os nossos telefones não serão como os convencionais de hoje, pois seremos capazes de não

apenas falar ou ouvir, mas sim ver a outra pessoa através de imagens visuais. E isto é apenas o começo!

9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CIVITA, Victor. ***Enciclopédia Conhecer***. São Paulo: Nova Cultural, V. 1, 1998.

CIVITA, Victor. ***Ciência Ilustrada***. São Paulo: Abril Cultural S.A., V. 1, 1971.

GASPAR, Alberto, ***Física série Brasil***, São Paulo, Ed. Ática, 2004.

GRASSI Marcos. ***Apostila - Fibras Ópticas*** , Universidade Estácio de Sá, 2001).

GUIMARÃES, Luiz Alberto e Fonte Boa, Marcelo, ***Livro de Termologia e óptica, Física para o 2º Grau***/, São Paulo, Editora Harbra, 1998

KLICK, V., ***Aventura do conhecimento – Novos Materiais,*** National Geographic Society.

O Estado de S. Paulo. SP, 1995.

PCN, ***Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio***. Brasília. Ministério da Educação.2003.

SETTI, Ricardo Balbachevsky. ***O chip do futuro***. Super Interessante. SP: Abril, Ano 11, Nº 7. Julho, 1997.

VIEIRA, Cassio Leite. ***Pinças de Luz***. Super Interessante. SP: Abril, Ano 11, Nº 9. Setembro. 1997.

Sites consultados

www.arnal.es/bang/holoport.html, disponível em outubro de 2004

www.brasilenosso.hpg.ig.com.br/fibraoptica.htm, disponível em outubro de 2004

www.djalma2002.sites.com.br/fibraoptica.html, disponível em outubro de 2004

www.fibraoptica.cjb.net, disponível em outubro de 2004

www.if.ufrgs.br/~murillo/otica/node13.html, disponível em outubro de 2004

www.if.ufrj.br/teaching/otica/fibras.html, disponível em 2004

www.policom.com.br, disponível em outubro de 2004

www.tranjan.com.br/especialidades/cirurgias0001.asp, disponível em outubro de 2004