



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

“Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio”

Monografia submetida ao Colegiado do Curso de Especialização em Ensino de Física do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas em cumprimento parcial para a obtenção do título de Especialista em Ensino de Física.

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 26/04/2001

Dr. José André Peres Angotti - Orientador

Msc. Evandro Cantu - Examinador

**Prof. Dr. Maurício Pietrocola
Coordenador CCEEF/CFM/UFSC**

Fábio Heberton Sepka

Florianópolis, Santa Catarina, abril de 2001.

“A física é uma entre as tantas coisas que as crianças aprendem nos primeiros anos de vida. Elas a aprendem de modo espontâneo ao lançar objetos e ao deixá-los cair, ao tentar caminhar e ao distinguir, pelo tato, os corpos quentes dos corpos frios.

Com essas experiências, as crianças exploram o estranho ambiente o qual é descoberto através da vivência. A física que se estuda no colégio e na universidade tem exatamente o mesmo propósito: permitir que compreendamos alguns aspectos importantes do ambiente que nos circunda, saber porque os objetos caem ao solo (ao invés de ficarem suspensos no ar), o que são a luz e o calor, compreender como funcionam a televisão ou uma central nuclear; tudo isto serve para nos fazer sentir mais participantes no complexo mundo em que vivemos”.

Mikael Frank Rezende Junior

Agradecimentos

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a efetivação deste trabalho, dentre eles, da cidade de Xanxerê:

- *professor Vanderlei do SENAC;*
- *professor Rafael, técnico Jaime e Tomazoni, proprietário da empresa Mouse-thec informática;*
- *técnico em eletrônica Moacir;*
- *orientadoras educacionais Carme e Rúbia da escola em que foi realizado o trabalho;*
- *ao professor Marcelo, diretor da referida escola;*
- *aos professores de matemática Marivone e Almir, e Neiva, de química, desta escola;*
- *aos alunos das turmas trabalhadas;*

Aos professores orientadores: Angotti e Canzian.

Á senhora Sandra, secretária do curso.

Sumário

I)	Introdução:	
	Justificativa	1
	Referencial Teórico	4
	Relevância do Trabalho	8
	Objetivos	10
II)	Desenvolvimento:	
	Situação da Pesquisa	11
	Descrição das Atividades	11
	Dos Aparelhos Utilizados	13
	Dos Conteúdos	13
	Multimídia	13
	Das avaliações	14
III)	Resultados Obtidos:	
	Das Pessoas Envolvidas	15
	Do Material Didático	16
	Das Avaliações	17
	Dificuldades Encontradas	17
	Surpresas	18
IV)	Análise dos Dados:	
	Questionário Inicial	19
	Exercícios	20
	Provas Escritas	22
	Entrevistas	26
	Avaliação Final	28
V)	Conclusões	32
VI)	Sugestões	34
VII)	Referências Bibliográficas	35

Resumo

O trabalho consistiu na aplicação de um módulo de ensino com aproximadamente 16 horas-aulas, numa escola de Ensino Médio da rede pública do Estado de Santa Catarina.

A partir do Tema Gerador – aparelho de CD, foram explorados conteúdos como eletromagnetismo (motores de passo), introdução à física quântica, laser, reflexão simples e polarizada (sistema óptico), teoria das bandas (semicondutores, diodos, fotodetectores), sistemas analógicos e digitais.

Utilizando a proposta metodológica sugerida por Delizoicov e Angotti, que consiste na problematização inicial e na sistematização e aplicação dos conhecimentos numa perspectiva de pesquisa-ação à luz do paradigma antropológico social, procurou-se atingir os objetivos de mostrar que conteúdos contemporâneos e relacionados ao cotidiano dos alunos contribuem significativamente para despertar-lhes o interesse e proporcionar significação dos conteúdos estudados e a viabilidade da inserção de conteúdos contemporâneos neste nível de Ensino.

Os resultados obtidos corroboraram as teses iniciais, revelando maior interesse e participação dos alunos no desenvolvimento do trabalho e desmistificando a inviabilidade de se trabalhar com Física Moderna no Ensino Médio. A Física, tratada desta forma revelou-se aos alunos como cultura e conhecimento útil ao nosso dia-a-dia, assim como importante instrumento de tomada de decisões, colaborando para o exercício da cidadania pelos nossos alunos.

Destaca-se a colaboração de todos os segmentos envolvidos no desenvolvimento do trabalho: comunidade, escola (direção, especialistas, funcionários e professores) e alunos, que pode contribuir para o amadurecimento do trabalho interdisciplinar na instituição.

Anexos

Fotos dos aparelhos utilizados

39

Apostila utilizada

40

D) Introdução:

Justificativa:

Temos percebido, com preocupação, durante os anos que lecionamos no ensino médio, e mais a cada ano que passa, que ele está se distanciando dos alunos.

Em seu livro *Alegria na Escola*, Snyders (1988) afirma que:

“... nossa escola tem uma terrível necessidade de ser transformada. Esta renovação, quero afirmar que só pode se realizar a partir de uma renovação do que há de essencial na escola, específico na tarefa da escola: a cultura, cujo acesso e participação são permitidos aos nossos jovens pela escola. Daí minha preocupação constante: renovar a escola a partir de uma transformação dos conteúdos culturais”. (Alveti, 1998, p. 11).

O ‘mundo’ da escola e o ‘mundo’ dos alunos já não são mais os mesmos. No mundo dos alunos são muitas as inovações sociais, científicas e tecnológicas. A cada dia deparam-se com uma considerável quantidade de novas informações que, para poderem interagir, têm de virar-se por si próprios, como e quando podem; enquanto a escola, que deveria assessorá-los nesta empreitada, está longe de poder fazê-lo, ao menos como deveria, pois se encontra em anacronismo espacial e temporal com este mundo.

“Temos que pensar organicamente sobre a Física, uma ciência em constante evolução. Este processo evolutivo se torna cada vez mais evidente, visto que o intervalo de tempo entre uma descoberta científica e suas aplicações tecnológicas tem se reduzido drasticamente”. Os nossos estudantes não podem receber uma mensagem atemporal e estática sobre a Física. Assumindo-se o conhecimento desta forma, nega-se qualquer tentativa de inseri-lo em um contexto de construção humana.” (Cavalcante, 1999, p. 551).

É fato conhecido e comentado, quase por unanimidade, entre os que trabalham com o ensino médio, o desinteresse de nossos alunos. Procuramos os culpados, dentre eles a mídia, a sociedade, os sistemas educacionais nacional e estaduais. Não queremos eximí-los, mas devemos admitir a nossa parcela de culpa, enquanto profissionais da educação.

Causas e soluções têm sido apresentadas por instituições privadas e governamentais, grupos de trabalho e profissionais de renome, encontros, simpósios. Dentre as principais causas

levantadas, destacamos algumas voltadas ao ensino de ciências, área em que trabalhamos e especificamente, à disciplina de Física :

- os conteúdos estão distantes das situações vividas pelos alunos (Delizoicov & Angotti, 1991, p. 24 e Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), 1999, p. 229);
- a matematização excessiva e desarticulada dos conteúdos físicos (GREF, 1993, p. 15; Proposta Curricular do Estado de Santa Catarina (PC), 1997, p. 106 e PCN, 1999, p. 229);
- objetivos de ensino ultrapassados (PCN, 1999, p. 230);
- preocupação excessiva com os testes vestibulares (Delizoicov & Angotti, 1991, p. 13; e PC, 1997, p. 106);
- conteúdos desatualizados (Ustra, Strieder & Terrazzan, 1997, p. 539; e Pinto & Zanetic, 1999, p. 7).

Das sugestões apresentadas que procuram reverter este quadro, destacamos as seguintes:

- aproximação dos conteúdos às situações vividas pelos alunos (Delizoicov & Angotti, 1991, p. 13);
- conteúdos práticos e contextualizados (PCN, 1999, p. 207 e 230 ; PC, 1997, p.105/6 e GREF, 1993, p. 15);
- atualização dos currículos (PCN, 1999, p. 209; Fagundes, Pessoa Jr, Zanetic & Muramatsu, 1997, p. 538; Pinto & Zanetic, 1999, p. 7; Cavalcante, Jardim & Barros, 1999, p. 154; Ostermann & Cavalcanti, 1999, p. 267; Valadares & Moreira, 1998, p. 121; e PC, 1997, p. 109/10);
- tornar significativo o ensino da física mesmo para alunos que não dependerão dele para seu futuro profissional (GREF, 1993, p. 15; Delizoicov, p. 7; e Fagundes, Pessoa Jr., Zanetic & Muramatsu, 1997, p. 529);
- conteúdos e metodologias voltados à utilidade e universalidade dos conhecimentos (GREF, 1993, p. 15 e PCN, 1999, p. 230);
- Física como Cultura (PCN, 1999, p. 229; PC, 1997, p. 79; e Zanetic, 1999, p. 8).

É importante salientar que existe consenso entre os autores citados, bem como das orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e Proposta Curricular do Estado de Santa Catarina (PC), de um ensino de física voltado ao cotidiano dos alunos, que parta de suas vivências, que os ajude a interagir com o meio em que vivem contemplando conteúdos contemporâneos. Terrazan em sua tese de doutorado (1994) argumenta:

“Nesta perspectiva, conteúdos de física moderna e contemporânea correspondem a uma necessidade vital de nossos currículos de física escolar. A própria importância dos temas de física moderna e contemporânea na constituição da física, enquanto área do conhecimento científico, exige sua inclusão nos currículos escolares.” (Alveti, 1998, p. 28).

Carvalho e Vannucchi realizaram um estudo de nove encontros científicos nacionais e internacionais realizados nos primeiros quatro anos da última década e verificaram que um ensino de física voltado ao cotidiano e a inserção a física moderna são duas das mais fortes tendências curriculares dos anos 90.

Baseados nas sugestões e resultados obtidos pelos referidos autores e pelas orientações sugeridas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (1999, p. 207/9,230 e 234) e Proposta Curricular do Estado de Santa Catarina (1997, p. 79/80 e 107/9) resolvemos, enfim, encarar o desafio de unir essas duas fortes tendências curriculares no efetivo trabalho de sala de aula, pois parece-nos esta distinção mais de cunho conceitual que pragmático: *“... princípios de física moderna estão presentes no cotidiano, fonte de inúmeras perguntas dos estudantes”*. (Argumento levantado por professores em um curso de capacitação em Ponta Grossa em 1990, apud Camargo, 1996, p. 1).

Numa vertente de escolha de tópicos essenciais para introdução de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio Delizoicov e Alveti alertam:

“... é necessário que se construa e compreenda a física num quadro conceitual que ressalte a sua totalidade estruturada, evitando uma fragmentação desconexa no trabalho com os tópicos. Uma proposta para o ensino de FMC na escola média com tais características está em sintonia e pode ser trabalhada no contexto de uma abordagem temática para o ensino de física”. (Delizoicov & Alveti, 1998, p. 232).

Para isto escolhemos como tema gerador o aparelho de CD – Compact Disk - (PC, 1997, p. 110), tão presente nas nossas vidas e com possibilidades enormes para explorar conceitos e princípios físicos tanto pertinentes ao assunto trabalhado na série em questão, quanto contemporâneo. A partir deste tema estudamos conteúdos como motor de passo (eletromagnetismo), laser e semicondutores (física quântica), reflexão (simples e polarizada) e sistemas analógicos e digitais (sistemas de informação e comunicação).

O trabalho foi realizado com 3^{as} séries do ensino médio do Colégio Estadual Presidente Artur da Costa e Silva de Xanxerê, Santa Catarina, pertencente à rede pública do referido estado, no último bimestre deste ano letivo.

Referencial Teórico:

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), a Proposta Curricular do Estado de Santa Catarina (PC), propostas metodológicas apresentadas por Angotti e Delizoicov e o grupo GREF nos fornecem uma base teórica segura e suficiente, ao nosso ver, para a realização do trabalho.

Para efeitos de esclarecimento, descrevemos a seguir a essência de tais propostas:

PCN :

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio buscam dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização, e evitar a compartimentalização, mediante a interdisciplinaridade.

Consideram que em decorrência da revolução tecnológica, a nova sociedade apresenta características possíveis de assegurar à educação uma autonomia ainda não alcançada. Surge um novo paradigma – *as competências desejáveis ao pleno desenvolvimento humano aproximam-se das necessárias à inserção no processo produtivo*: capacidade de abstração, do desenvolvimento do pensamento sistêmico e divergente, criatividade, curiosidade, capacidade de trabalhar em equipe, saber comunicar-se e buscar conhecimento.

Uma concepção curricular neste sentido deve expressar a contemporaneidade. Mudanças na seleção, tratamento de conteúdos e incorporação de instrumentos tecnológicos são exigidas. Deve-se privilegiar a aplicação da teoria na prática, relacionar ciência, tecnologia e sociedade.

Ancorada na LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - 1996), esta proposta considera o aspecto de terminalidade da Educação Básica do Ensino Médio, no sentido de produzir um conhecimento efetivo, de significado próprio, não somente propedêutico. Um Ensino Médio que, sem ser profissionalizante, efetivamente propicie um aprendizado útil à vida e ao trabalho.

“Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o

desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo” (PCN, 1999, p. 207).

Especificamente ao Ensino de Física, ele deve contribuir para a formação de uma cultura científica que permita a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, bem como a interação do homem com a natureza. É necessário também que inclua a compreensão de equipamentos e técnicas do cotidiano doméstico, social e profissional. *“Mais que uma simples reformulação de conteúdos ou tópicos, pretende-se promover uma mudança de ênfase, visando à vida individual, social e profissional, presente e futura, dos jovens que frequentam a escola média” (idem, p. 236).*

Proposta Curricular - PC:

A Proposta Curricular de Santa Catarina, editada anteriormente aos PCN, e contempla igualmente a contextualização e interdisciplinaridade, enfatizando que o aluno é parte ativa da produção do conhecimento do qual se apropria, participante de um processo coletivo de questionamento e aprendizagem.

Procura também responder às novas condições do mundo contemporâneo e, neste aspecto, mostrar a ciência como instrumento essencial à construção da cidadania.

Reconhece a rapidez das transformações tanto do conhecimento científico quanto tecnológico, exigindo o trabalho com conteúdos contemporâneos e tecnológicos no Ensino Médio. *“Hoje, vai se estabelecendo uma consciência cada vez mais clara de que um aprendizado básico de ciência e de tecnologia é essencial à construção da própria cidadania” (PC, 1997, p. 80).*

Sugere a investigação dos conhecimentos científico e tecnológico a partir dos fenômenos, procedimentos e equipamentos que fazem parte do cotidiano dos alunos, para então, estabelecer relações mais abstratas e universais. *“Contextualizar o ensino das Ciências hoje, permite à escola trabalhar melhor com seus alunos os conteúdos fundamentais do conhecimento universal e da cultura tecnológica, de que eles necessitam” (idem, p. 106).*

Com relação ao Ensino de Física, condena o excessivo treinamento para a aplicação de fórmulas na resolução de problemas muitas vezes artificiais e descontextualizados, desvelando uma preocupação excessiva e descabida com os testes vestibulares e desconsiderando o aspecto de terminalidade para a maioria dos estudantes secundaristas.

Recomenda fortemente a inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, considerando frágeis os argumentos contrários normalmente apresentados a este respeito. *“Não é tão difícil os alunos entenderem elementos de Física Moderna, desde que tais conteúdos sejam dominados pelos professores... Cada cidadão tem o direito de acompanhar a cultura de sua época”* (ibidem, p. 110).

GRAF:

O Grupo de Reelaboração do Ensino de Física formado por professores da USP e contando com a colaboração de dezenas de professores do Ensino Médio do Estado de São Paulo e outros, nos seus aproximados 17 anos de existência vêm, sem dúvida, contribuindo de maneira significativa para a melhoria do Ensino de Física no país.

Percebe-se claramente tanto nos PCN como na PC a influência das idéias deste grupo nas suas elaborações. Torna-se redundante, portanto, descrevermos suas principais propostas para o Ensino de Física, no entanto, com o objetivo de ratificá-las e enfatizá-las, o faremos sucintamente.

Uma de suas principais preocupações é apresentar, desde o início, a relevância prática e a universalidade dos conhecimentos científicos, procurando partir sempre que possível, de elementos vivenciais e mesmo cotidianos.

Por um lado, tornar significativo os conteúdos físicos mesmo para os alunos que encerrarão seus estudos no Ensino Médio, e por outro, dar a todos os alunos condições de acesso a uma compreensão conceitual e formal consistente, essencial para sua cultura e para uma possível carreira universitária.

O excesso de aparatos matemáticos sem a devida relação com os conceitos físicos pertinentes é também condenada pelo grupo, que sugere:

“Uma maneira de evitar esta distorção pedagógica é começar cada assunto da Física pelo desenvolvimento de uma temática e de uma linguagem, comuns ao professor e a seu aluno, contidas no universo de vivência de ambos, e que só o transcenda à medida que se amplie a área comum de compreensão e domínio” (GRAF, 1993, p. 16).

É forte tendência nesta proposta, a inter-relação ciência-tecnologia, valendo-se muitas vezes de equipamentos do cotidiano como ponto de partida para o aprendizado.

Orientação metodológica e conteúdos relativos ao Ensino Médio podem ser encontrados nos três volumes publicados - **Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física 1, Física 2 e**

Física 3. São Paulo: Universidade de São Paulo. - destinados a professores de Física do Ensino Médio. No site <http://axpfep1.if.usp.br/~gref> podemos encontrar também riquíssimo material intitulado "Leituras de Física" e destinados aos estudantes secundaristas.

Angotti & Delizoicov:

Concretizando propostas metodológicas nesta mesma linha, os referidos autores, em seu livro *Física – coleção magistério 2º grau*, sistematizaram um programa para o Ensino de Física no Ensino Médio, contemplando, em ressonância, aspectos metodológicos associados ao desenvolvimento dos conteúdos.

“...a preocupação desta proposta é subsidiar um trabalho didático-pedagógico que permita tanto a apreensão dos conceitos, leis, relações da Física e sua utilização, bem como a sua aproximação com fenômenos ligados a situações vividas pelos alunos, sejam as de origem natural, sejam as de origem tecnológica” (Delizoicov & Angotti, 1992, p. 13).

Na efetivação de nosso trabalho, seguiremos uma linha teórica construtivista onde se respeitam as idéias prévias dos alunos, levando em conta que a construção dos conhecimentos científicos envolve valores humanos e sociais e relaciona-se com a tecnologia, enfatizando a contextualização e contemporaneidade dos conhecimentos (PCN, 1999, p. 262).

A Proposta Curricular de Santa Catarina, numa linha sócio-interacionista, não destoa das teorias apresentadas nos PCN, pelo contrário, complementa-a na medida em que salienta a física como processo cultural e os alunos como participantes no processo de construção histórica (PC, 1997, p. 79).

Ainda, concordam estas duas propostas na necessidade da interdisciplinaridade e no caráter de terminalidade de estudos para muitos dos alunos do ensino médio.

Uma proposta metodológica efetiva que vem do encontro do referencial adotado e, portanto, que procuramos seguir, é a sugerida por Angotti e Delizoicov, que delineamos sucintamente a seguir:

- *problematização inicial* empregada, aqui, no sentido de permitir que o aluno sinta a necessidade da aquisição de conhecimentos que ainda não detém (Delizoicov & Angotti, 1991, p. 29; e Delizoicov, p. 8 e 11);

- *organização do conhecimento*: os conhecimentos necessários à compreensão do tema central são sistematizados, sob a orientação do professor (Delizoicov e Angotti, 1991, p. 29; e Delizoicov, p. 12). Vale destacar que cabem, neste momento, atividades diversas que o professor poderá empregar para atingir seus objetivos;
- *aplicação do conhecimento*: momento em que o aluno deve perceber que o conhecimento, uma vez apreendido, pode ser aplicado em diversas outras situações, inclusive e preferencialmente no seu cotidiano (Delizoicov e Angotti, 1991, p. 31; e Delizoicov, p. 12).

Outra proposta que tem caminhado nesta mesma direção e com conquistas consistentes ao longo do tempo é a do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) já citada, das quais, também, aproveitamos muitas orientações (GREF, 1993, p. 15/6).

Relevância do trabalho:

Parece-nos evidente a necessidade de renovação nas nossas escolas, e que ela passa necessariamente pela renovação dos conteúdos. Alvetti cita uma afirmação contundente de Snyders:

“... a escola não propicia a satisfação cultural, em particular no que diz respeito ao mundo técnico e científico, e o balanço custo-benefício da tecnologia, e que apenas aperfeiçoamento metodológico, ‘dourar a pilula’, não será suficiente para a transformação, a qual só poderá ser atingida via a renovação dos conteúdos culturais”. (Snyders, apud Alvetti, 1998, p. 15).

Terrazan, ao examinar a proposta de Arnold Arons para inserir a física moderna no ensino médio a partir de uma tendência de ‘Escolha de Tópicos Essenciais’, afirma:

“Concordo com Arons no sentido de que, na atividade docente, sempre se está diante de uma necessária seleção de conteúdos e que esta tarefa deve ser realizada de forma consciente. Porém, qualquer que seja a definição destes tópicos essenciais, como já dissemos anteriormente, deve-se ter critérios claros e explícitos que procurem garantir a compreensão da Física enquanto um todo, formado de ramificações que se articulam de modo coerente”. (Terrazan, apud Camargo, 1996, p. 47).

Acreditamos que não se trate mais do “se é necessário” mas sim do “como” fazer.

As orientações descritas constituem um caminho profícuo para uma melhora significativa do processo ensino aprendizagem no ensino médio, e o tema central escolhido, bem como a metodologia empregada, apresentam grande potencial para obtenção dos resultados esperados.

“O cidadão do século XXI precisa, tanto para exercer sua cidadania quanto para atuar profissionalmente, dominar não só a linguagem das letras como também usufruir conscientemente dos benefícios que os recursos tecnológicos contemporâneos lhe proporcionam”. (Costa & Santos, 1998, p. 137).

O tema central escolhido - dispositivo de leitura de CD-ROM - é um tema claramente contextualizado, vivenciado pelos alunos e relativamente moderno – poderíamos dizer moderníssimo no nosso contexto escolar vigente; interdisciplinaridade fica também assegurada (com a matemática – sistemas binários; química; física quântica e semicondutores, sem falar nos sistemas econômicos e sociais implicado, a implantação de sistemas digitais para transmissão de sinais de TV, por exemplo, e outros).

“Cremos poder afirmar que trabalhar com objetos reais torna o processo de ensino aprendizagem mais significativo aos envolvidos e que esta prática, além de potencializar as ações-participantes facilita a retenção da aprendizagem por períodos mais longos.” (Angotti, De Bastos & Mion, 1998, p. 368).

A efetivação deste trabalho pode contribuir para diminuir a distância entre os ‘mundos’ da escola e dos alunos a que nos referimos, de modo que esses possam encontrar a tão esperada significação nos conteúdos escolares ensinados.

Essa aproximação é uma das condições primeiras para que se concretize efetivamente o processo ensino-aprendizagem, deixando de ser um processo unilateral para ser dialético e conseqüentemente contando com a efetiva participação dos alunos.

É necessário que os alunos percebam os conteúdos escolares como importantes instrumentos que podem contribuir de forma eficaz para melhorar suas qualidades de vida e não apenas informações abstratas e obsoletas.

Objetivos:

Discutir e defender a viabilidade da inserção da física moderna no ensino médio; apresentar e conduzir atividades didático-pedagógicas com esta perspectiva em salas de aula do Ensino Médio.

Contextualizar os temas e tópicos escolhidos tanto no conhecimento científico como no tecnológico contemporâneos; utilizar metodologias diversificadas comprometidas com a motivação e o interesse dos alunos pelas aulas de Física.

II) Desenvolvimento:

Situação da pesquisa:

A partir do tema central escolhido (aparelho de CD), exploramos conceitos, princípios físicos e aspectos tecnológicos relacionados com os seguintes conteúdos: motores de passo, noções de física quântica, laser, teoria das bandas, semicondutores, sistemas ópticos, sistemas analógicos e digitais. Instrumentos de avaliação nos permitiram verificar se os objetivos pretendidos foram alcançados, numa perspectiva de pesquisa-ação à luz do paradigma antropológico social.

A pesquisa foi realizada na Escola de Educação Básica Presidente Artur da Costa e Silva, município de Xanxerê, pertencente à rede pública do Estado de Santa Catarina, com duas turmas de terceira série do Ensino Médio: 3ª série número 4 do turno vespertino, com 24 alunos e 3ª série número 9 do noturno, com 33 alunos; no período de 14/11 à 22/12/2000.

Foi aplicado um módulo de ensino com 14 aulas para a 3ª-9 e 16 para a 3ª-4.

Descrição das atividades:

Descreveremos a seguir, sucintamente, a aplicação do módulo, por aula¹:

1ª aula: um compartimento de CD-ROM de computador, ligado a uma fonte, foi posto em funcionamento, fechado, depois aberto, para que os alunos pudessem observar os componentes principais. Outros aparelhos foram desmontados pelos alunos para serem observados com mais detalhes. Ao final, o professor entregou um questionário a fim de diagnosticar o conhecimento que os alunos possuíam do assunto.

2ª aula: foram recolhidos os questionários, e levantadas as respostas dadas pelos alunos, as quais foram sintetizadas no quadro negro, da mesma forma que os principais questionamentos suscitados.

¹ É feita uma descrição única para as duas séries por entendermos que as diferenças que ocorreram entre as duas, na aplicação, não justificam tal detalhamento.

3ª aula: fomos no laboratório de informática, através de um televisor ligado a um computador, os alunos acompanharam explicações sobre laser, funcionamento do aparelho de CD e assuntos complementares constantes no software “Como as coisas funcionam”.

4ª aula: primeiramente o professor fez uma exposição oral dos principais tipos e propriedades dos motores de passo e suas aplicações, os alunos puderam “mexer” com alguns motores de passo que foram levados a aula. Foi entregue, ao final, uma lista de exercícios.

5ª aula: aula expositiva sobre introdução a física quântica: “catástrofe do ultravioleta”, equação de Plank, aspecto dual das radiações. Entrega de exercícios.

6ª aula: continuação: absorção e emissão de fótons. Retomada do aspecto matemático da equação de Plank.

7ª aula: os alunos assistiram à fita de vídeo sobre Laser, da Britânica, 17 minutos.

8ª aula: aula expositiva sobre laser, principiando pela lâmpada fluorescente, após, condições fundamentais para obtenção do fenômeno laser. Mais uma lista de exercícios.

9ª aula: inicialmente os alunos observaram a reflexão laser através de um aparelho confeccionado pelo professor para este fim (fotografia em anexo); logo após, com auxílio de transparências, exposição sobre o sistema óptico envolvido na leitura do CD, com ênfase em reflexão e polarização do laser.

10ª aula: avaliação.

11ª aula: exposição, também com auxílio de transparências, sobre teoria das bandas e sua explicação para condutores, isolantes e semicondutores.

12ª aula: continuação: diodos, efeitos da junção **p e n**, polarização direta e inversa. Entrega de exercícios.

13ª aula: exposição rápida sobre Diodos Emissores de Luz (LED) e diodos laser. A maior parte da aula foi usada para resolução de exercícios e esclarecimento de dúvidas.

14ª aula: aula expositiva sobre transmissão e recepção de sinais: sistemas analógico e digital.

15ª aula: resolução de exercícios e esclarecimento de dúvidas.

16ª aula: avaliação.

Obs: - o preenchimento do questionário final pelos alunos, que visou a avaliação do trabalho, foi feito em horário extra-aula, visto o final do ano letivo;

- o conteúdo sobre sistemas binários foi trabalhado em algumas aulas de matemática, pelos professores de cada turma.

Dos aparelhos utilizados:

Foram utilizados: uma fonte de computador, um compartimento antigo de CD-ROM de um computador doado por uma empresa de informática, dois destes aparelhos estragados doados por uma eletrônica; alguns motores de passo de compartimento de disquete, de impressora, de disco rígido (HD) de computadores, de compartimento de CD-Rom de computadores que estavam fora de uso doados pela mesma eletrônica e um aparato confeccionado pelo professor para visualização da reflexão laser (o motor deste aparato também foi doado por outra eletrônica). [Ver fotos no anexo].

Dos conteúdos:

Os conteúdos trabalhados foram retirados das seguintes fontes:

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Leituras de Física*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1998, encontrado no site: [http:// axpfep1.if.usp.Br/~gref](http://axpfep1.if.usp.Br/~gref).

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física 3 – eletromagnetismo – 4ª* edição. São Paulo: Universidade de São Paulo.

Saber Eletrônica. São Paulo. Editora Saber Ltda.

[A apostila utilizada encontra-se também em anexo].

Multimídia:

A escola dispõe de laboratório de informática do qual utilizamos o software:

Globo Multimídia – CD-ROM: *Como as Coisas Funcionam 2.0*. Editora Globo. São Paulo, 1997.

Também da escola utilizamos a fita de vídeo que contém o conteúdos sobre Laser:

BRITANNICA, Encyclopaedia Britannica Educational Corporation. *Energia Nuclear, Magnetismo e Raio Laser – nº 3175 – O que é Raio Laser (vídeo)*. Barsa Vídeo Divulgação Cultural Ltda. São Paulo.

Das avaliações:

Dos alunos: foram realizadas duas avaliações escritas, individuais com consulta na 10ª e 16ª aulas; durante o processo foram dadas também duas listas de exercícios que recolhidas serviram para avaliação.

Do trabalho: todo o trabalho foi acompanhado pelas orientadoras da escola, que, informalmente, foram colhendo informações dos alunos, de professores e emitindo suas próprias avaliações. Ao final foi aplicado um questionário aos alunos com a finalidade de avaliação do trabalho. Partes de muitas aulas foram gravadas em vídeo e posterior análise destas colaboraram também para o processo de avaliação. [Fita editada em anexo – 5 minutos].

III) Resultados obtidos:

Das pessoas envolvidas:

Alunos:

Inicialmente houve, para a maioria, uma empolgação por estarem participando de um projeto de pesquisa, mas, principalmente pelo “clima de novidade” que o trabalho suscitou. Esta euforia permaneceu pelo menos até a quarta aula, pois trabalhamos com manuseio de aparelhos e software. Os ânimos arrefeceram um pouco a partir da quinta aula quando começamos com as exposições dos conteúdos de maneira mais formal, inclusive com resoluções de exercícios e avaliações, mas os alunos continuaram tendo efetiva participação até o final do trabalho.

Pudemos perceber, através de entrevistas, colocações e perguntas feitas pelos alunos um bom interesse e participação da maioria deles durante todo o trabalho (a maioria, pois um pequeno grupo de alunos não se envolveu de forma efetiva com o trabalho, demonstrando o desinteresse pelas atividades escolares que sempre lhes foi peculiar. Todavia uma análise dos resultados nas avaliações e no preenchimento do questionário final leva-nos a pensar que este desinteresse foi apenas aparente).

Percebemos também, através dos instrumentos de avaliação e em conversas com os alunos, que houve razoável assimilação cognitiva, apesar da novidade dos conteúdos estudados e sujeitos às adaptações feitas pelo professor.

Velhos hábitos, como preocupação com as ‘notas’ e, em decorrência, cópia de exercícios dos colegas ou feitos às pressas para a entrega e até mesmo tentativas de ‘cola’ continuaram a aparecer como tradicionalmente acontece.

Alguns alunos foram demonstrando, no decorrer do processo, a intenção de seguirem os estudos em áreas como informática, eletrônica e física.

A frequência às aulas foi ótima, inclusive no dia que houve atividade extra concomitante às aulas (apresentação de canto na escola, em que a frequências às aulas foi opcional), a maioria dos alunos optou por permanecer em aula.

Professor:

O professor também experimentou da mesma empolgação inicial dos alunos, e da mesma forma que eles, manteve o empenho até o final do trabalho. Inegável a motivação extra de se trabalhar com novidades.

Avaliações feitas pelos alunos e orientadoras mostraram razoável desempenho das atividades. Ressalte-se aqui a natural dificuldade de trabalhar com conteúdos que ainda não estão consagrados pelo tempo no currículo escolar.

A busca por conteúdos novos e que não fazem parte tradicionalmente dos livros didáticos, sua adequação didática, bem como dos materiais e aparelhos necessários, sem dúvida, demanda maior tempo e disposição do professor que nas atividades escolares tradicionais.

Escola:

A escola respondeu prontamente, na medida do possível, às necessidades decorrentes do trabalho e do mesmo modo que alunos e professor, demonstrou certa empolgação; parecendo-nos que ela, também, está ansiosa por novidades.

Valem ressaltar a colaboração e o pronto atendimento aos pedidos feitos pelo professor às orientadoras, professores de matemática, de química e à direção da escola.

A comunidade:

Chamou-nos particular atenção a presteza que os profissionais e empresas da comunidade nos dispensaram, quando da nossa solicitação, e tivemos a mesma impressão que também a comunidade está ávida por mudanças na educação. Além de ajuda material, recebemos incentivos à realização do trabalho.

Do material didático:

Os conteúdos selecionados:

Os conteúdos retirados das fontes já citadas anteriormente e reunidos em forma de apostila adequaram-se satisfatoriamente à realização do trabalho.

A expectativa que possuíamos de que, norteados pelo tema gerador, o necessário entrosamento dos conteúdos ocorreria, se concretizou. Observemos, contudo, que todas essas fontes, apesar de terem objetivos específicos diferentes, apresentam um forte cunho didático.

Tanto professor quanto alunos, reconhecemos, sentiram em alguns momentos e em certo nível, alguma dificuldade em relação aos conteúdos, exigindo maior esforço de ambos, mas, superadas no decorrer das atividades.

Os aparelhos utilizados:

Os dispositivos de leitura de CD-ROM de computadores utilizados serviram ao propósito de exploração e observação dos principais componentes e princípios físicos envolvidos, mas como foram projetados também para outros fins, além de requererem o uso de uma fonte energia de computador, suscitaram nos alunos o interesse pela produção da imagem digital, o que não era prioritário no nosso trabalho.

Os motores de passo não só serviram ao propósito previsto como permitiram aos alunos a percepção visual e a sensação tátil que os diferenciam dos motores comuns.

O aparato confeccionado pelo professor serviu ao propósito, mas não possibilitou, todavia, a percepção visual com a nitidez e evidência esperada.

Multimídia:

O uso do software “Como as Coisas Funcionam” se mostrou muito eficiente para um primeiro contato dos alunos com os conteúdos.

Como havia só um CD e o laboratório de informática da escola possuía um aparelho de TV ligado a um computador, nós assim o utilizamos. Devemos reconhecer, contudo, que houve certa perda na qualidade de imagem e que desta forma, a atenção dos alunos não foi despertada, acreditamos, como seria se cada um pudesse interagir com seu próprio software.

Com respeito ao vídeo sobre Laser, todos conhecem a confiabilidade e seriedade característicos da Enciclopédia Britânica. O tempo de duração – cerca de 17 minutos, é também muito adequado aos objetivos desta edição. Ressalvamos, porém, certa carência motivacional da apresentação e algumas dificuldades de compreensão cognitiva, por parte dos alunos.

Das avaliações:

Comentaremos com detalhes os resultados das avaliações tanto dos alunos quanto do processo no capítulo Análise dos Dados.

Dificuldades encontradas:

A maior dificuldade durante a realização do trabalho foi quanto ao cronograma. O calendário especial ao qual a escola teve que se submeter para reposição das aulas,

devido à greve que ocorreu no ano de 2000, acabou exigindo uma concentração no horário e esforços nos últimos bimestres, especialmente o último, período em que realizamos o trabalho. Tivemos dificuldades em ministrar o número de aulas previstos para a aplicação do módulo – motivo pelo qual ministramos somente 14 aulas na turma do noturno. Tivemos que ‘emprestar’ 4 aulas da professora de química da turma do vespertino e aplicar o questionário final em horário extra aula.

Reconhecemos também, que para aplicar o módulo nas 16 aulas previstas, impusemos aos alunos um ritmo de trabalho mais intenso que o normalmente realizado em escolas públicas. Maior número de aulas para leitura e realização de exercícios se fariam necessárias, especialmente para os alunos do noturno que dispõem de pouco tempo extraclasse.

Quanto ao aspecto cognitivo, encontramos, como professor, certa dificuldade em transmitir o assunto sobre ‘catástrofe do ultravioleta’ e processos de digitalização de ondas, e que naturalmente, prejudicou a compreensão destes por parte dos alunos.

A aula prevista para exploração do site <http://jas.eng.buffalo.edu/education/system/cdrom/index.html>, não pode ser ministrada devido a problemas de configuração no computador da escola.

Surpresas:

Três fatos em particular, nos chamaram a atenção:

- o fato de que os alunos do noturno demonstraram maior interesse e participação nos trabalhos que os alunos do vespertino. Mesmo cientes, pelo que observamos durante os trabalhos no decorrer do ano, que a turma do noturno era considerada por nós professores, uma turma “boa de trabalhar”, poderíamos dizer que o incremento motivacional foi maior nessa turma;
- o fato de não termos conseguido com este trabalho motivar alguns alunos, principalmente da turma do vespertino, que habitualmente demonstravam desinteresse pelas atividades escolares, especificamente reportando-nos à disciplina de física (desinteresse talvez apenas aparente, como já comentamos);
- a quantidade de manifestações, pelos alunos, da intenção de aprofundarem estudos em áreas relacionadas aos conteúdos trabalhados, seja em caráter pessoal, cursos técnicos e até mesmo universidades.

IV) Análise dos dados:

Questionário inicial:

O questionário abaixo foi distribuído no final da primeira aula para que os alunos o trouxessem preenchido na aula seguinte. A grande maioria voltou em branco, por isso ele não serviu ao propósito de diagnose e ruptura que pretendíamos. Os poucos que o preencheram procuram respostas na apostila que elaboramos, a qual eles já possuíam.

Caro aluno: as questões abaixo têm como finalidade detectar os conhecimentos que você possui sobre o assunto e também aqueles que você ainda não domina, para que possamos melhor planejar nossas atividades. Procure respondê-las com sinceridade e tranquilidade, sem a preocupação com a 'nota'.

- 1) Como e do que é feito o disco – CD?
- 2) Quais os componentes essenciais que você supõe que o sistema deva ter para o seu funcionamento?
- 3) Você já ouviu falar ou leu alguma coisa sobre motor de passo?
- 4) Descreva, resumidamente, o que você conhece sobre laser.
- 5) Quais os princípios físicos envolvidos no laser?
- 6) O que são semicondutores?
- 7) Quais os princípios físicos envolvidos nos semicondutores?
- 8) O que é um diodo fotodetector?
- 9) Qual a diferença entre sistemas analógicos e digitais?

Optamos, então, por responde-lo coletivamente em sala de aula, anotando as respostas no quadro negro. As principais, respectivamente, são:

- 1) Vidro, alguma coisa de fibra de vidro, como o vinil antigo, plástico, acrílico;
- 2) Laser, motores (dois ou três), chips, ímã, placa eletrônica, bandeja CD, capacitores, diodos, eletrônicos, engrenagens, rolamentos, amortecedores;
- 3) Ninguém;
- 4) Grande quantidade de luz num feixe, apenas de uma cor, consegue alcançar grandes distâncias, luz ultravioleta (ou infravermelha), luz forte, invisível, prejudicial aos

- olhos, queima a pele, cancerígeno, é usado em cirurgias, para leitura óptica, mira de arma, para secar massinha no dentista;
- 5) Não é onda, dualidade onda partícula, luz refletida num diamante;
 - 6) Devem ser materiais que conduzem ou pela metade ou são derivados de semicondutores, serve como condutor e como isolante, retém energia e libera só o necessário;
 - 7) Sem respostas;
 - 8) Lê, detecta alguma coisa, recebe a mensagem e manda pro chips;
 - 9) Analógico: tem que girar o botão, ondas de rádio, tem ponteiros, telefonia analógica, é mecânico e digital: é que nem no computador (digitar, escrever), telefonia e rádio digitais, vem tudo num mesmo circuito numa placa mãe, quando aparece o número no display, redes de TV trocando para digitais, relógio digital, o surgimento dos m.d.v.

Percebemos que parte dos alunos ainda não havia, de modo claro, se perguntado sobre tais questões.

O conhecimento expresso é derivado dos meios de comunicação – principalmente TV, observações de equipamentos que estão presentes no cotidiano, como CDs, leitura óptica de supermercados, computadores, relógios, rádios, e alguma confusão com câmaras de bronzamento, luz que os dentistas usam para secar a ‘massinha’, e alguns por contato amador ou profissional com eletrônica.

Dos alunos que se manifestaram, constatamos que possuíam conhecimentos prévios sobre o assunto abordado – mais ou menos aceitos pelo conhecimento atual em ciência e tecnologia, os quais, no decorrer do processo, procuramos sistematizar.

Exercícios:

Exercícios – Física Quântica

- 1) O que fez Plank para conseguir ajustar as equações matemáticas aos dados experimentais existentes no fenômeno que ficou conhecido como ‘catástrofe do ultravioleta’?
- 2) Quando, e quem, apostou na idéia de que o que Plank fez foi mais que um artifício matemático e a aplicou para explicar o efeito fotoelétrico?

- 3) O que é efeito fotoelétrico?
- 4) Quando dizemos que um átomo encontra-se excitado?
- 5) Explique a expressão: $\Delta E = E_3 - E_1$.
- 6) Qual a faixa de frequência da radiação luminosa? O que significa isto?
- 7) Que são fótons?
- 8) Que são saltos quânticos?
- 9) Observe a representação dos níveis de energia da página 55. Se o átomo receber 12 eV de energia, para que nível seu elétron vai pular? E se receber um fóton de 10 eV?

Exercícios – Laser.

- 1) Explique com tuas palavras o que é o laser.
- 2) O que significa o termo LASER?
- 3) Cite algumas aplicações do laser.
- 4) No laser de rubi mostrado no texto, qual a função da lâmpada?
- 5) Qual a diferença entre emissão espontânea e emissão estimulada?
- 6) Que cientista primeiro alertou para a possibilidade de se conseguir emissão estimulada?
- 7) Por que uma das extremidades do laser tem que ser totalmente e a outra apenas parcialmente refletora?
- 8) O que significa uma radiação coerente?

Exercícios sobre semicondutores:

- 1) Em que estados físicos ocorrem as bandas de energia? O que são?
- 2) Baseado na teoria das bandas conceitue: condutores, isolantes e semicondutores.
- 3) Desenhe os diagramas típicos de energia para condutores, isolantes e semicondutores.
- 4) Quais as particularidades que os semicondutores apresentam quanto à condução elétrica em relação aos condutores?
- 5) Por que é adicionada uma pequena quantidade de gás arsênio, por exemplo, ao silício para transformá-lo em um semicondutor do tipo n?
- 6) Por que é adicionado o elemento índio (por exemplo) para transformar o silício num semicondutor do tipo p?
- 7) O que ocorre quando colocamos semicondutores do tipo n e do tipo p em contato?

- 8) Nesse caso, na fronteira (região de contato) como cada tipo de semicondutor fica carregado? Qual a consequência disto?
- 9) O que é polarização direta e inversa?
- 10) O que é e como funciona um LED?
- 11) Como é obtido o feixe laser de um diodo?
- 12) Como é definido o termo 'digital'? E o termo 'analógico'?
- 13) Qual a diferença básica entre eletrônica analógica e digital?
- 14) O que são circuitos lógicos?
- 15) Quais as vantagens do sistema digital?

Esses exercícios tiveram como objetivo a fixação do conteúdo estudado, bem como o esclarecimento de dúvidas. Parte deles foi feita em sala de aula e parte extraclasse. Também serviram como instrumento de avaliação dos alunos.

Daqueles que foram realizados extraclasse, observamos que apenas alguns alunos realmente se empenharam em responde-los e outros apenas copiaram destes para poderem entrega-los ao professor, certamente pela preocupação com a 'nota'. Reconhecemos a falta de tempo dos alunos que estudam no período noturno, todavia, este argumento não é válido quando aplicado aos alunos do turno vespertino.

Estamos convencidos da necessidade de incentivo, acompanhamento e cobrança nossa de atividades extraclasse como leitura, resolução de exercícios, pesquisas teóricas e de campo. Infelizmente, percebemos nas escolas em que trabalhamos e com o passar do tempo, que nossos alunos estão pouco comprometidos com o hábito de estudar.

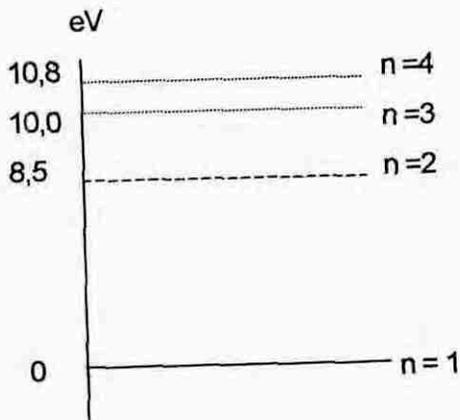
Provas escritas:

Foram realizadas duas avaliações individuais escritas e com consulta.

Avaliação I:

- 1) Cite algumas características (as principais no aparelho de CD) dos motores de passo que os diferenciam dos motores comuns.
- 2) Qual a estranha suposição que Max Planck teve que fazer para conseguir deduzir uma equação matemática que concordava com as curvas experimentais das radiações dos corpos?

- 3) Qual a frequência e a energia (em J) de um fóton de luz, cujo comprimento de onda é $4 \times 10^{-7} \text{m}$?
- 4) Expresse o resultado anterior em eV.
- 5) Observe o diagrama dos níveis de energia abaixo:



- a) Para que nível de energia vai saltar um elétron que está no nível um e receber um fóton de 8 eV?
- b) E se ele receber um fóton de 10 eV?
- c) E se, então, depois, saltar para o nível dois? O que vai acontecer?
- 6) Quais são as duas condições básicas necessárias para que um laser possa emitir radiação estimulada?
- 7) Cite algumas aplicações do laser.

Resultados obtidos:

Distribuição por notas:

Notas	Frequências
0 - 2	0
2 - 4	3
4 - 6	14
6 - 8	19
8 - 10	8
Total	44

Distribuição por questões:

Questão	Frequência de acertos
1	39
2	38
3	17
4	12
5	19
6	23
7	35
Total	44

A média aritmética das notas nos dá um valor aproximado de 6,0, o que a primeira vista não nos parece muito animador, tentaremos, porém, justificar essas 'baixas notas'.

Pareceu-nos paradoxal que, se por um lado ficou evidente o aumento de interesse e participação dos alunos, por outro não haver se revertido em melhores 'notas'. Analisando com mais vagar, observamos:

- o trabalho foi realizado num ritmo mais intenso daquele que os alunos estão acostumados;
- faltaram aulas de exercícios em classe, principalmente porque falharam as atividades extras;
- o trabalho exigiu bastante leitura e escrita por parte dos alunos, o que também não é habitual entre nossos alunos.

A respeito das respostas apresentadas na avaliação 1 observamos que as maiores dificuldades foram encontradas nas questões 3, 4 e 5. Nas questões 3 e 4 notamos a dificuldade matemática comum em nossos alunos. Estranhamos, contudo, a dificuldade na questão 5 que se refere aos saltos quânticos, pois nos pareceu no momento da explanação, que houve boa compreensão do assunto; certamente ele merece ser trabalhado com maior cautela. Alguns alunos encontraram também dificuldade na compreensão da 'inversão de população' necessário para a ocorrência do fenômeno laser.

Avaliação 2:

- 1) Como a teoria das bandas explica o fato do silício e do germânio, por exemplo, melhorarem a condutividade elétrica quando aquecidos?
- 2) Quais particularidades possuem os semicondutores quanto à condutividade elétrica?
- 3) Como se consegue semicondutores do tipo n? E do tipo p?
- 4) Se juntarmos semicondutores do tipo n com semicondutores do tipo p, o que ocorre na região do contato?
- 5) Explique o funcionamento de um diodo como retificador de corrente.
- 6) Por que um LED emite luz?
- 7) O que é digitalizar um sinal analógico?

Resultados:

Distribuição por notas:

Notas	Frequências
0-2	2
2-4	11
4-6	16
6-8	21
8-10	5
Total	55

Distribuição por questões:

Questão	Frequência de acertos
1	33
2	32
3	28
4	37
5	22
6	27
7	16
Total	55

Na análise da avaliação 2 ficou evidenciada a dificuldade que encontramos em explicar a ‘digitalização’, a maioria dos alunos não conseguiu uma resposta satisfatória para a questão 7. Não observamos dificuldades específicas nas demais questões, mas sim, dificuldades de cunho geral. Esses conteúdos: teoria das bandas e semicondutores, ao nosso ver, precisariam ser trabalhados com maior atenção – mais exercícios e maiores recursos didáticos.

Entrevistas:

As orientadoras educacionais da escola conversaram, ao longo do trabalho, individual e coletivamente com os alunos envolvidos, de maneira informal. Dos comentários dos alunos para elas, destacamos os seguintes:

- “Estamos gostando. O assunto é interessante. Nos chamou muito a atenção à questão dos sistemas digitais e analógicos e as mudanças que em breve vamos enfrentar no cotidiano devidas a este novo sistema” (3^a- 4);
- “Está interessante” (3^a- 9);
- “Me despertou tanto a curiosidade que até quis emprestar do professor o material e levar para casa, para abrir e confirmar o que vimos no assunto, e foi interessante abrir e constatar. Senti vontade de saber mais, desmontar tudo e analisar” (Gutieres, 3^a- 9);
- “Está ótimo o conteúdo que nós estamos vendo” (3^a- 9);
- “Particularmente é um assunto que está em nosso dia a dia, aí tenho curiosidade” (Gisele, 3^a- 9);
- “As aulas estão diferentes, não é só conteúdo, exercícios e prova” (3^a- 4);
- “Quando a gente aprende, se prende” (3^a- 9);
- “Quando o professor estava explicando o assunto sobre motores de passo comentei com minha colega: é bem isso que já observei que ocorre com um aparelho lá em casa” (Robson, 3^a- 4);
- “Quando vemos a parte teórica apenas, parece muito difícil, mas quando o professor esclarece na prática, me localizo e consigo compreender” (Kety, 3^a- 9);
- “Aprendemos bem melhor quando a prática é apresentada e depois dada à teoria. Conseguimos associar porque vinculamos o que observamos com a teoria” (3^a- 9);
- “Se todos prestassem atenção, mesmo o conteúdo sendo difícil, temos todas as condições para compreendermos... O conteúdo é interessante e bem explicado” (Vanessa, 3^a- 4);
- “Estou feliz de poder ver este assunto no 2º grau. Este assunto é de faculdade, nós fomos privilegiados” (Fabio, 3^a- 4);
- “Achamos que o conteúdo está sendo corrido, concentrado, devido às poucas aulas que restam. Melhor seria se tivéssemos trabalhado com mais tempo. Mesmo assim, fizemos trabalho e prova e percebemos que ficou entendido” (3^a- 9).

Podemos perceber claramente, o envolvimento e interesse por boa parte dos alunos, assim como a importância atribuída, por eles próprios, a conteúdos relacionados com seus cotidianos e às atividades práticas. Notamos também que encontraram alguma dificuldade com relação ao nível dos conteúdos apresentados.

Chamou-nos especial atenção o fato de não terem surgido maiores críticas (exceto a falta de tempo), até por que foram as orientadoras que realizaram as entrevistas, às quais os alunos estão acostumados a desabafar suas queixas e fazer suas reivindicações.

A nosso pedido, as orientadoras elaboraram uma síntese avaliativa sobre o trabalho, a qual transcrevemos a seguir, na íntegra:

“Do projeto ‘Física Contemporânea’ desenvolvido pelo professor Fabio Sepka, nas turmas 3^a-4 vespertino e 3^a-9 noturno, salientamos que: Os conteúdos trabalhados tratavam do mundo dos alunos (som, tecnologia), ficando evidenciado a importância de se ligar os conteúdos sistematizados pela escola, ao cotidiano dos alunos”.

Observou-se no depoimento dos mesmos a relevância dada ao tema; pelo qual perceberam como se dá este processo, que facilita e alegria suas vidas, presentes nos conteúdos da Física.

Tal projeto surpreendeu-nos no sentido que conseguiu abranger desde opção profissional do aluno, alerta enquanto consumidores na aquisição de instrumentos, como também, aprimorando quem já é profissional na área.

Destacamos a ousadia do professor em trabalhar este projeto, adaptado ao nível de 2^o grau e que teve um bom aproveitamento dos alunos, que justificaram seus êxitos, na mediação do professor.

A escola também foi beneficiada com este trabalho que servirá de referência para estudos e análises no que se refere à sistematização e a mediação de novas práticas escolares”.

Carne Rosane Vivan e
Rubia Benck Pasa.

Avaliação final:

Elaboramos, professor e orientadoras, o questionário a seguir que foi aplicado no último momento das atividades – o preenchimento foi opcional e anônimo, pelos alunos:

Avaliação final:

Caro aluno: este questionário tem por objetivo avaliar como foi a compreensão do conteúdo estudado em física que abordou o tema 'funcionamento do CD'. Responda com a tranquilidade e seriedade necessárias para que de fato possamos tê-los como referencial no preparo de novas práticas de ensino.

- 1) Quando foi apresentado o conteúdo 'CD', você foi questionado sobre o domínio do assunto. Qual o conceito que você se dá para aquele momento, sobre o tema?
() ótimo () bom () satisfatório () regular () insuficiente
- 2) O uso de aparelhos facilitou a compreensão teórica, podendo ser considerada:
() ótimo () bom () satisfatório () regular () insuficiente
- 3) O uso de hipermídia – softwares educacionais e vídeos, facilitaram a aprendizagem num nível que você consideraria:
() ótimo () bom () satisfatório () regular () insuficiente
- 4) Ao estudar esse conteúdo você teve a oportunidade de perceber e compreender coisas do cotidiano que, no estudo da física, podemos explicar. Descreva, sucintamente, a importância (ou não) para a sua vida desse novo conhecimento.
- 5) Qual o conceito que você se dá sobre o domínio do conhecimento que possui agora, sobre esse assunto?
() ótimo () bom () satisfatório () regular () insuficiente
- 6) Refletindo sobre a participação no decorrer dos diferentes momentos que foram necessários para o estudo deste tema, qual o conceito que você se dá?
() ótimo () bom () satisfatório () regular () insuficiente
- 7) Os conteúdos estudados foram:
() muito difíceis () difíceis () regulares () fáceis () muito fáceis
- 8) O tema estudado é interessante num conceito:
() ótimo () bom () satisfatório () regular () insuficiente

9) Se você considerou que ocorreu uma compreensão do conhecimento sobre o tema estudado, que possibilidades existem, para novas investigações, que necessariamente alterarão esse conhecimento?

10) Fique a vontade para colocar alguma observação que você julga importante para melhorar a aplicação desse trabalho em futuras turmas.

Colhemos os resultados que passaremos a comentar por questão apresentada:

Distribuição dos resultados por frequência:

Questão	Ótimo	Bom	Satisfatório	Regular	Insuficiente
1	8	16	5	11	9
2	27	16	5	1	0
3	22	20	7	0	0
5	2	30	15	1	1
6	4	24	14	6	1
8	23	19	7	0	0
Total	49	49	49	49	49

Questão	Muito difíceis	Difíceis	Regular	Fáceis	Muito fáceis
7	1	15	30	3	0
Total	49	49	49	49	49

1) Nesta questão reparamos que houve problema de interpretação, principalmente na turma 3ª- 4 do turno vespertino, visto que a maioria atribui para si como conceitos: bom e ótimo; no que se contradisseram com a questão 5 onde se atribuíram conceitos bom e satisfatório. Isto implicaria numa desaprendizagem, discordando das demais respostas apresentadas no questionário. Na turma 3ª- 9 do noturno, onde o professor procurou esclarece-la antes do preenchimento do questionário, em virtude do que tinha observado na turma vespertina, apareceram alguns satisfatórios, mas a maior frequência ficou entre regular e insuficiente.

- 2) O fato dos alunos poderem observar, manusear os aparelhos, contribuiu para a motivação, apresentação e compreensão dos conteúdos.
- 3) Acreditamos que o pequeno descontentamento aqui se deveu ao fato dos alunos não poderem interagir individualmente com o software e a formalidade na apresentação do vídeo.
- 4) As principais expressões foram: - a importância de compreender o funcionamento de aparelhos que os rodeiam; - o despertar da consciência de conhecer o que os cerca; - aquisição de conhecimentos que podem facilitar suas vidas, na hora da compra de um aparelho, por exemplo; - poder transmitir estes conhecimentos para os outros; - aprender por aprender; - aplicação destes conhecimentos para quem já trabalha em área relacionadas. Despertou-nos atenção o fato de que mesmo aqueles que não souberam argumentar, expressaram o gosto pelo trabalho.

Trabalhar com conteúdos relacionados ao cotidiano permitiu aos alunos a percepção da importância e utilidade dos conhecimentos físicos. Saliemos também o caráter social que tais conhecimentos suscitaram.

- 5) Encontramos a maior frequência para o conceito bom, revelando, ao nosso ver, que os alunos consideraram que houve um bom aprendizado, contudo, curiosidades e dúvidas ainda permaneceram, o que consideramos natural e de certa forma, salutar.
- 6) Os alunos consideraram como boa suas participações durante o trabalho, concordando com o que observamos enquanto professor.
- 7) A maior frequência de respostas para regular nos parece concordante com as demais respostas apresentadas nas outras questões e nos confirma a viabilidade de se trabalhar esses conteúdos a nível de 2º grau.
- 8) Apenas sete alunos consideraram o tema de interesse satisfatório e nenhum o considerou desinteressante, o que reforça nossa hipótese de aumento na motivação dos alunos.
- 9) Muitas respostas em branco foram encontradas para esta questão, isto, talvez por problema de interpretação ou, o que nos causou preocupação, talvez porque o trabalho foi falho no que concernia à aplicação dos conhecimentos. Das respostas apresentadas, destacamos: - continuar o estudo do tema, por iniciativa própria, pesquisando em revistas, livros, internet, profissionais da área, etc; - fazer cursos na área; - dar aulas de física futuramente.

10) Aqui, a maior ressalva foi quanto à falta de tempo na aplicação do módulo de ensino. Alguns comentaram da necessidade de mais aulas práticas e uso de hipermídia, teve também quem viu necessidade em aulas mais dinâmicas e diferentes e de um sofisticado laboratório. Para outros, a filmagem constrangeu. Das sugestões apresentadas as principais foram: - abrir um aparelho de CD (aparelho de som); -visitar lojas para questionar o conhecimento dos vendedores (no sentido de verificar se possuem conhecimento suficiente para orientarem os clientes de maneira adequada, por ocasião da compra); - ver o assunto com maior profundidade; - aplicar o módulo em todas as turmas. Também podemos perceber nesta questão, a importância social atribuída ao trabalho.

Destacamos que nenhum aluno se recusou a preencher o questionário e a seriedade com que o fizeram, mesmo sendo opcional e anônimo seu preenchimento. Isto nos confirma o empenho e a seriedade com que participaram de todo o trabalho, transformando-se num dado tão importante quanto as respostas explícitas e que confirma nossas teses iniciais.

V) Conclusões:

Conteúdos contemporâneos relacionados ao cotidiano dos alunos mostraram-se eficazes como aspecto motivador no trabalho escolar. Essa afirmação certamente não representa uma novidade, mas vem somar-se a inúmeros trabalhos nesta perspectiva, o que, ao nosso ver, comprova de maneira definitiva sua importância e a necessidade de ser levada em consideração no planejamento de qualquer atividade docente.

Durante os anos e nas escolas públicas em que trabalhamos, temos percebido um maior engajamento dos alunos às atividades escolares quando relacionadas com o dia a dia de suas vidas. Trabalhos realizados por nós e por colegas sob orientação de cursos como o “Pró-Ciência”, por exemplo, ministrado por este departamento, nesta instituição, conduzem também para a mesma direção.

Há muitos anos a Proposta Curricular do Estado de Santa Catarina tem sugerido trabalhos com esta perspectiva, mas que, infelizmente ainda não foi assimilada, de forma mais pragmática pelos educadores deste Estado. Aproveitamos a oportunidade para insistir na necessidade do Estado incrementar investimentos que viabilizem treinamentos com tais objetivos.

Mais recentemente, os Parâmetros Curriculares Nacionais reforçam também esta perspectiva, mas da mesma forma julgamos necessária uma ação mais efetiva para sua implementação.

Temos, como educador, procurado sempre que possível buscar tal relacionamento e os resultados nos confirmam cada vez mais que essa tendência curricular é eficaz para que os alunos percebam a significação dos conteúdos escolares.

A contemporaneidade dos conteúdos trabalhados pela escola é outro aspecto que não pode ser desconsiderado. Não pretendemos diminuir a importância dos conteúdos clássicos, de forma alguma, até por que, acreditamos na influência positiva que a localização histórica causa na aprendizagem, mas não podemos esquecer, contudo, que vivemos num mundo que em grande parte só pode ser explicado por teorias contemporâneas.

O fato de tais conteúdos não figurarem nos livros didáticos de maneira pedagogicamente adequada como os tradicionalmente consagrados pelo uso ao longo dos anos exige maior trabalho do professor para conquista e adequação aos trabalhos escolares, mas não inviabiliza sua aplicação neste nível de ensino, ao contrário, nos desafia a consagrá-los.

A existência de um tema gerador assegurou unicidade e entrosamento dos assuntos apresentados e contribuiu para percepção, pelos alunos, da significação dos conteúdos.

Certamente o despreparo docente e discente, má remuneração e carga horária excessiva dos professores são fatores inibidores, como tantos outros, de trabalhos desta natureza, mas o são também para trabalhos de qualquer natureza.

Trabalhos nesta perspectiva asseguram a motivação dos alunos e a viabilidade de inserção de conteúdos contemporâneos no Ensino Médio.

Chamou-nos atenção, como já comentamos no desenvolvimento deste trabalho, haver colaboração de todos: comunidade, escola e alunos para realização dos trabalhos. Isto para nós evidencia a ânsia de todos por mudanças no ambiente escolar. Apesar da consciência que temos da existência de uma natural 'inércia' contrária a mudanças que todos possuímos, o desejo para que ela aconteça representa a força necessária para fazer propostas como estas se movimentarem.

Pudemos constatar também 'velhas máximas':

- a escola é um todo em que suas partes devem trabalhar harmônicas. Precisamos recuperar nos alunos hábitos como do estudo e da leitura, incentivá-los ao pensamento e à reflexão, tarefa esta, multidisciplinar;
- a motivação como uma das condições primeiras para que a aprendizagem ocorra. Não se ensina quem não quer aprender;
- a importância do trabalho do professor no processo da aprendizagem. Pudemos perceber como as dificuldades que o professor encontrou para explicar a 'catástrofe do ultravioleta' e a 'digitalização de ondas' refletiram-se claramente na dificuldade de assimilação destes conteúdos pelos alunos.

VI) Sugestões:

Apesar de inseridas no texto deste trabalho vamos, aqui, apresenta-las de modo conciso:

- trabalhar com um aparelho de som de CD e não compartimento de CD-ROM de computador;
- disponibilizar maior número de aulas para exercícios em classe;
- trabalhar com mais vagar e cautela, se possível com maiores recursos didáticos, o conteúdo sobre semicondutores;
- a terceira parte do processo, aplicação dos conhecimentos, carece de maior clareza e objetividade;
- a interdisciplinaridade é um aspecto que pode ser melhor explorado.

VII) Referências Bibliográficas:

- Alveti, Marco A. Simas & Delizoicov, Demétrio.** *Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a Revista Ciência Hoje*, in VI – EPEF, Florianópolis/SC, 1998.
- Alveti, Marco A. Simas.** *Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a Revista Ciência Hoje*. Florianópolis/SC, Dissertação de Mestrado, CED/UFSC, 1998.
- Amaldi, Ugo.** *Imagens da Física*. São Paulo, Editora Scipione, 1995.
- Angotti, José André P.; De Bastos, Fábio da Purificação & Mion, Rejane Aurora.** *Um Momento Coletivo do Processo Reflexivo de uma Prática Educacional Dialógica em Física*, in VI – EPEF, Florianópolis/SC, 1998.
- Braga, Newton C.** *Conversores Analógicos/Digitais*, in Revista Saber Eletrônica, nº 328, 2000.
- Braga, Newton C.** *Motores de Passo*, in Revista Saber Eletrônica, nº 323, 1999.
- Braga, Newton C.** *DSPs – Processadores de Sinais Digitais*, in Revista Saber Eletrônica, nº 300, 1998.
- Braga, Newton C.** *TV Digital*, in Revista Saber Eletrônica, nº 297, 1997.
- Braga, Newton C.** *Módulo Laser Semicondutor DL660*, in Revista Saber Eletrônica, nº 297, 1997.
- Braga, Newton C.** *Curso de Eletrônica Digital*, in Revista Saber Eletrônica, nº 297, 1997.
- Braga, Newton C.** *TV Digital II*, in Revista Saber Eletrônica, nº 298, 1997.
- Braga, Newton C.** *Curso de Eletrônica Digital – 2ª parte*, in Revista Saber Eletrônica, nº 298, 1997.
- Braga, Newton C.** *Diodo Laser*, in Revista Saber Eletrônica, nº 290, 1997.
- Brasil MEC. SEMT.** *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília, 1999.
- BRITANNICA, Encyclopaedia Britannica Educational Corporation.** *Energia Nuclear, Magnetismo e Raio Laser – nº 3175 – O que é Raio Laser (video)*. Barsa Vídeo Divulgação Cultural Ltda. São Paulo.
- Camargo, Antônio José.** *A introdução da Física Moderna no 2º grau: obstáculos e possibilidades*. Florianópolis/SC, Dissertação de Mestrado, UFSC/CED, 1996.
- Carvalho, A. M. P. & Vannucchi, A.** *O Currículo de Física: inovações e tendências*

nos anos noventa. Faculdade de Educação / Instituto de Física, Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

Cavalcante, Marisa Almeida. *O Ensino de uma NOVA FÍSICA e o Exercício da Cidadania*, in Revista Brasileira do Ensino de Física. Sociedade Brasileira de Física (SBF), vol 21, nº 4, 1999.

Cavalcante, M. A.; Jardim, V.; Almeida Barros, J.A. *Inserção de física moderna no ensino Médio: difração de um feixe laser*, in Caderno Catarinense de Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vol 16, nº 2, 1999.

Costa, Isa & Santos, Marly da Silva. *A FMC na Escola Média: uma estratégia de mudança na prática docente*, in VI – EPEF, Florianópolis/SC, 1998.

Custódio Pinto, A.; Zanetic, J. *É possível levar a física quântica para o ensino médio?*, in Caderno Catarinense de Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vol 16, nº 1, 1999.

Delizoicov, D. & Angotti, J.A. *Física, Coleção Magistério - 2º grau, 2ª edição.* São Paulo: Cortez, 1991.

Delizoicov, D. *Problemas e problematizações.*

Fagundes, M. A.; Pessoa Jr, Osvaldo; Zanetic, João; Muramatsu, Mikiya. *Ensinando a Dualidade onda-partícula sob uma nova óptica*, in Atas do V EPEF, Belo Horizonte - MG, 1997.

Globo Multimídia – CD-ROM: Como as Coisas Funcionam 2.0. Editora Globo. São Paulo, 1997.

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Leituras de Física.* São Paulo: Universidade de São Paulo, 1998, encontrado no site: [http:// axpfep1.if.usp.Br/~gref](http://axpfep1.if.usp.Br/~gref).

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física 3 – eletromagnetismo – 4ª edição.* São Paulo: Universidade de São Paulo.

Laburú, C. E.; Simões, A. M.; Urbano, A. A. *Mexendo com polaróides e mostradores de cristais líquidos (o ensino de física contemporânea, tendo como pano de fundo a física do cotidiano)*, in Caderno Catarinense de Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vol 15, nº 2, 1998.

Ostermann, F.; Cavalcanti, C. J. de H. *Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais*, in Caderno Catarinense de Ensino de Física.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vol 16, nº 3, 1999.

Rezende Junior, Mikael Frank. *O desenvolvimento de uma abordagem fenomenológica para a introdução de tópicos de física moderna e contemporânea no ensino médio*, trabalho para disciplina de Seminários de Dissertação 2, Florianópolis/SC, UFSC/CED, 1999.

Santa Catarina (Estado). Secretaria de Estado da Educação e do Desporto. Coordenadoria Geral de Ensino. *Proposta Curricular de Santa Catarina, versão preliminar*. Florianópolis, 1997.

Tipler, Paul. *Física, volume 4: ótica e física moderna*, 3ª edição. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan S. A., 1995.

Ustra, S. R. V.; Strieder, D. M.; Terrazan, E. A. *Condicionantes estruturais para o ensino de física moderna*, in Atas do V EPEF, Belo Horizonte - MG, 1997.

Valadares, E. de C.; Moreira, A. M. *Ensinando física moderna no 2º grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro*, in Caderno Catarinense de Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vol 15, nº 2, 1998.

Zuffo, J. A. *Os fundamentos do áudio digital a laser – (parte I)*, in Saber Eletrônica, nº 221, 1991.

Zuffo, J. A. *Os fundamentos do áudio digital a laser – (parte II)*, in Revista Saber Eletrônica, nº 222, 1991.

Anexos:

Fotos dos aparelhos utilizados:



MOTORES DE PASSO

Newton C. Braga

Os motores de passo são usados numa infinidade de equipamentos modernos, tais como impressoras, scanners, drives de disquetes em computadores, automatismos diversos, robótica e mecatrônica. Conhecer o funcionamento destes motores é de vital importância para qualquer profissional de Eletrônica em nossos dias. Neste artigo abordamos alguns fundamentos relativos ao funcionamento dos motores de passo.

O que são os motores de passo?

Podemos dizer que os motores de passo, assim como os motores comuns, são dispositivos que convertem energia elétrica em energia mecânica na forma de torque. No entanto, os motores de passo possuem algumas características próprias que os diferenciam dos motores comuns, a saber:

a) os motores de passo funcionam como dispositivos posicionadores, pois podem parar numa posição perfeitamente controlada.

b) os motores de passo também podem funcionar como motores de velocidade perfeitamente controlada, sendo energizados numa determinada ordem.

Estas características são ainda acrescidas a outras que os tornam ideais para aplicações em informática, eletrônica industrial e de controle,

robótica e mecatrônica:

a) Eles podem ter seu eixo posicionado em um ângulo proporcional ao número de impulsos de entrada.

b) Os erros que ocorrem no posicionamento do seu eixo são muito pequenos e não são cumulativos. Um motor de passo pode ser posicionado com uma precisão de 1 milésimo de radiano tipicamente, conforme sugere a figura 1.

c) O controle sem realimentação (*open loop*) é possível devido ao uso de sinais digitais para esta finalidade.

d) As respostas à partida, à parada e à reversão são muito rápidas.

Tudo isso torna o motor de passo um elemento sem equivalente em diversas aplicações.

APLICAÇÕES TÍPICAS

Na figura 2 temos uma aplicação industrial de um motor de passo, que consiste numa bomba de líquido, com fluxo constante.

O motor de passo é controlado por um circuito processador que recebe informações sobre o fluxo de líquido mantendo-o desta forma constante.

Na figura 3 mostramos a aplicação do motor de passo no posicionamento da cabeça de leitura e gravação de um driver de disco flexível. Outra aplicação importante é ilustrada na figura 4, onde o motor de passo é usado tanto para posicionar o papel, avançando-o ou recuando, como também para movimentar com precisão a cabeça de impressão sobre o papel.

Fig. 1 - $1/1000$ rd significa apenas 5 cm, a 200 metros de distância.

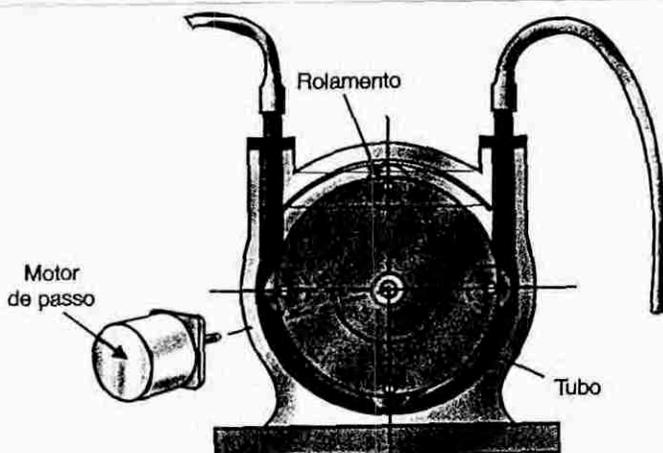


Fig. 2 - Bomba de fluxo constante.

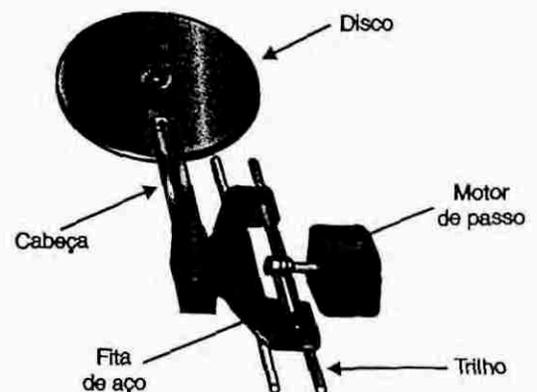


Fig. 3 - Motor de Passo num drive de disco flexível (disquete).

Em robótica e mecatrônica o motor de passo pode ser empregado em precisos controles de movimento com a estrutura em blocos mostrada na figura 5.

TIPOS DE MOTORES DE PASSO

Existem três tipos básicos de motores de passo, que são:

- * Relutância variável
- * Imã permanente
- * Híbrido

Analisemos as principais características de cada um.

a) Relutância variável:

Na figura 6 temos uma vista em corte da construção de um motor de passo de relutância variável.

Conforme podemos ver, é a ação das bobinas criando campos que posiciona os dentes de material ferromagnético acoplados a um eixo móvel.

O rotor múltipolo deste motor é feito de ferro macio, enquanto que o estator é multilaminado.

O rotor deste tipo possui uma inércia pequena.

b) Imã permanente:

Na figura 7 temos uma vista em corte de um motor deste tipo.

Este motor gira quando o campo magnético das bobinas energizadas interage com um conjunto de ímãs permanentes.

O rotor é energizado radialmente.

Este tipo de motor é indicado para aplicações onde não se exige precisão, e o custo seja importante já que tem um preço baixo. Outra característica é sua operação com ângulos de passo grandes, entre 45 e 90 graus.

c) Híbridos

Estes motores têm a construção do tipo ilustrado na figura 8.

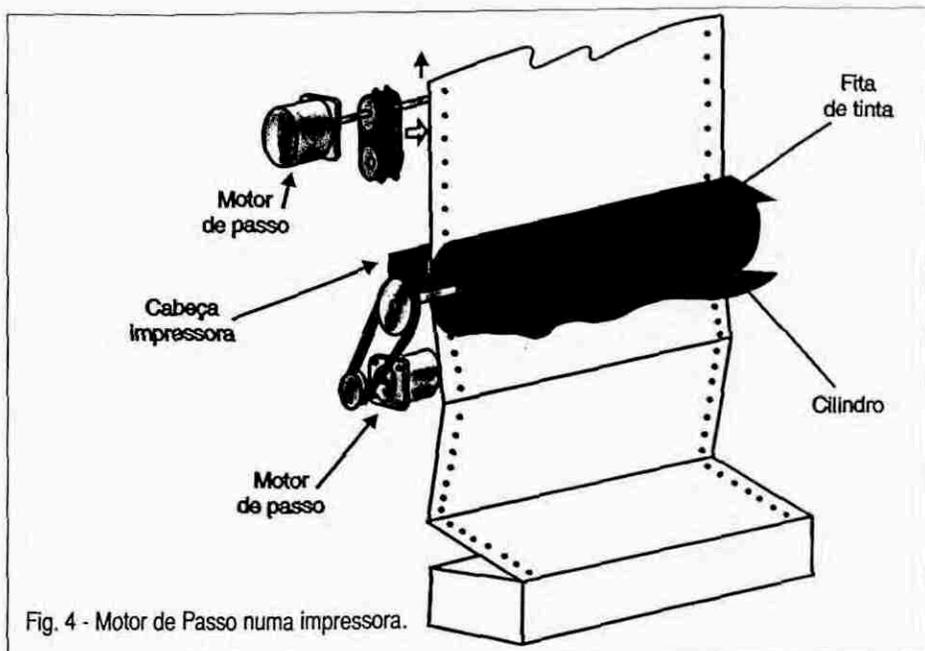


Fig. 4 - Motor de Passo numa impressora.

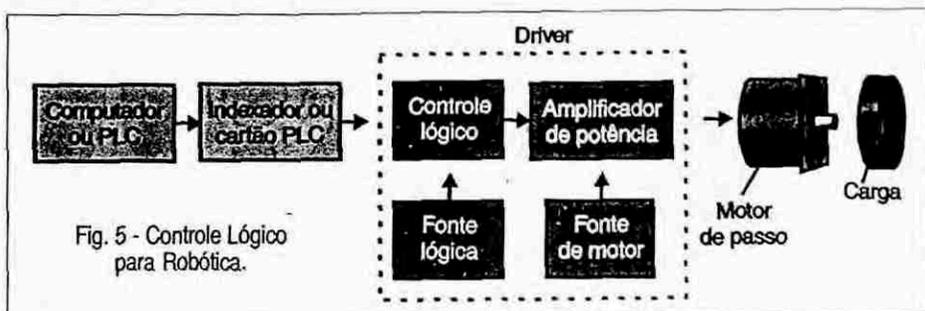


Fig. 5 - Controle Lógico para Robótica.

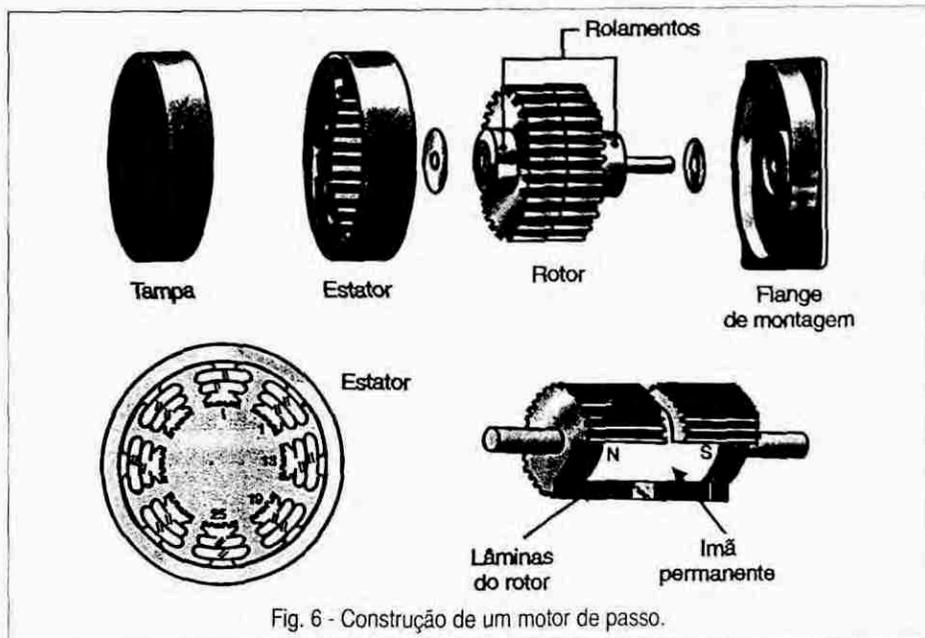


Fig. 6 - Construção de um motor de passo.



Fig. 7 - Motor de Passo de Imã permanente.

O rotor é energizado axialmente. Tanto o rotor como o estator são do tipo multipolares.

A principal vantagem deste motor é a sua precisão com passos de 1,8 graus nos tipos mais comuns, e chegando mesmo a 0,36 graus nos tipos de maior precisão.

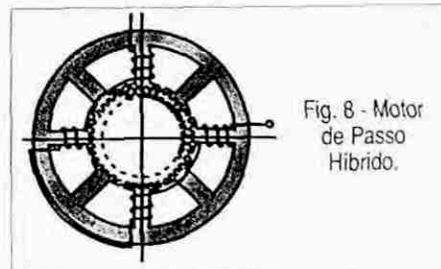


Fig. 8 - Motor de Passo Híbrido.



Fig. 9 -
Excitação de
Fase.

MODOS DE EXCITAÇÃO

Os motores de passo são formados por 4 bobinas que devem ser excitadas numa certa ordem, ou ainda de acordo com o posicionamento desejado. A configuração típica destas bobinas é apresentada na figura 9 onde também vemos os modos de ligação mais comuns, que são o unipolar e o bipolar.

A excitação de fase destas bobinas depende da aplicação e pode ser feita das seguintes maneiras:

A) Uma fase ou onda (wave)

Nesta excitação, cada bobina é energizada separadamente em sequência de acordo com o movimento de posicionamento do rotor, conforme mostra a figura 10.

B) Duas fases

Nesta modalidade de operação, exemplificada na figura 11, as bobinas são energizadas duas a duas de modo que o rotor possa parar em posições intermediárias dadas pela resultante das forças de atração entre as bobinas.

C) Uma-Duas fases

Nesta modalidade de funcionamento, uma e duas fases são excitadas alternadamente levando o rotor ao movimento ou posição desejada, veja a figura 12.

D) Duas fases ou micro-passo

Nesta modalidade temos a aplicação de níveis de tensão diferenciados na bobina, o que permite o posicionamento do rotor em pontos intermediários aos pólos das bobinas energizadas, conforme figura 13.

O escalonamento das tensões aplicadas às bobinas vai determinar quantos pontos intermediários entre dois passos (90 graus) podem ser obtidos.



Fig. 10 - Excitação de uma fase (wave).

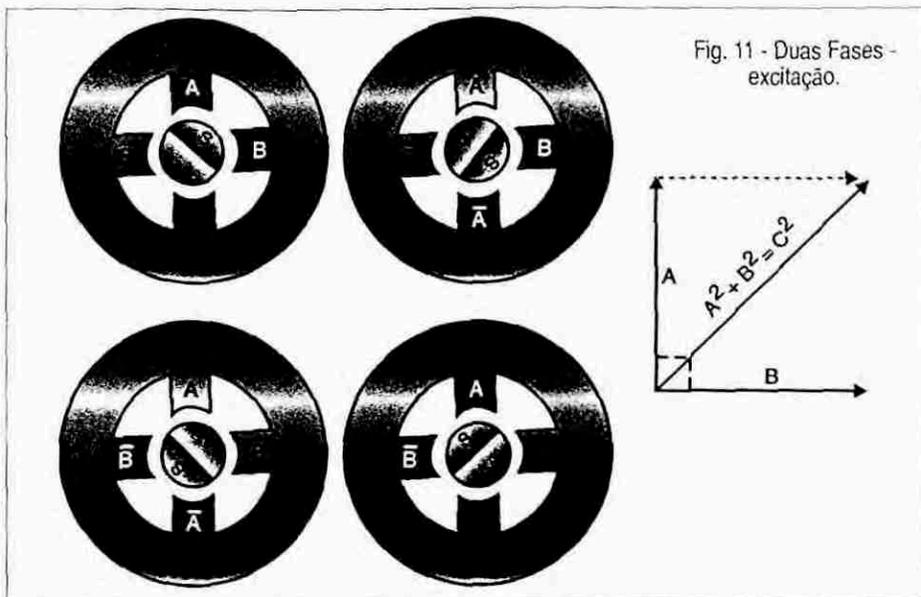


Fig. 11 - Duas Fases -
excitação.



Fig. 12 - Excitação Uma-Duas Fases.

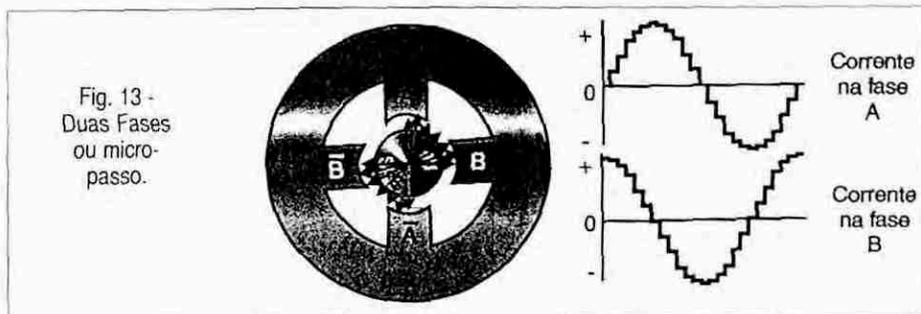


Fig. 13 -
Duas Fases
ou micro-
passo.

CONCLUSÃO

A escolha do tipo e do modo de operação depende da aplicação. Assim, para saber usar corretamente um motor de passo existem outras informações importantes que serão abordadas oportunamente em novos artigos. ■

Leituras de Física é uma publicação do

GRAF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física
Instituto de Física da USP

EQUIPE DE ELABORAÇÃO DAS LEITURAS DE FÍSICA

Anna Cecilia Copelli
Carlos Toscano
Dorival Rodrigues Teixeira
Isilda Sampaio Silva
Jairo Alves Pereira
João Martins
Luís Carlos de Menezes (coordenador)
Luís Paulo de Carvalho Piassi
Suely Baldin Pelaes
Wilton da Silva Dias
Yassuko Hosoume (coordenadora)

ILUSTRAÇÕES:

Fernando Chui de Menezes
Mário Kano

GRAF - Instituto de Física da USP
rua do Matão, travessa R, 187
Edifício Principal, Ala 2, sala 305
05508-900 São Paulo - SP
fone: (011) 818-7011 fax:(011) 818-7057

financiamento e apoio:

Convênio USP/MEC-FNDE

Sub-programa de educação para as Ciências (CAPES-MEC)

FAPESP / MEC - Programa Pró-Ciência

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo - CENP

A reprodução deste material é permitida, desde que observadas as seguintes condições:

- 1. Esta página deve estar presente em todas as cópias impressas ou eletrônicas.**
- 2. Nenhuma alteração, exclusão ou acréscimo de qualquer espécie podem ser efetuados no material.**
- 3. As cópias impressas ou eletrônicas não podem ser utilizadas com fins comerciais de qualquer espécie.**

junho de 1998

—13—

As cores da luz e a sua complicação

As teorias de Planck e
de Einstein

O filamento metálico de lâmpadas incandescentes, o carvão, os metais em geral e muitos sólidos quando aquecidos a altas temperaturas tornam-se fontes de luz. A cor da luz emitida por esses materiais está relacionada com a sua temperatura.

No começo desse século, Max Planck deu passo decisivo para compreender essa relação, além de introduzir elementos novos para uma compreensão mais elaborada do que é a luz. Foi o nascimento da Física Quântica.

13 As cores da Luz e a sua complicação

No final do século passado já se sabia que as fontes quentes de luz guardavam uma relação entre cor e temperatura. Nos altos fornos, por exemplo, a temperatura era avaliada em função da cor da luz emitida desses fornos, através do pirômetro, como descrevemos na leitura 10. Esta luz varia de um branco-avermelhado a um branco-azulado à medida que a temperatura aumenta.



CORES	TEMPERATURA
Castanho	de 800K a 930K
Vermelho	de 930K a 1330K
Amarelo	de 1330K a 1530K
Branco azulado	Acima de 1530K

Relação entre cor e temperatura apresentada por um filamento aquecido.

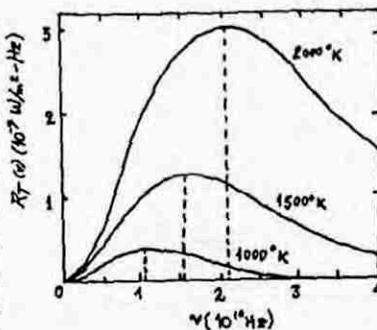
Entretanto a radiação emitida, pelos objetos quentes, não é toda na faixa da luz visível.

Mesmo para objetos a milhares de graus Kelvin, a maior parte de sua radiação possui frequência menor que a da luz visível, estando portanto na região do Infrá-vermelho. O restante é irradiado, parte como luz visível e parte como ultra-violeta e radiações de frequências maiores.

Embora, nesse processo, uma grande extensão de frequências seja irradiada, as mais baixas predominam a baixas temperaturas e, quando a temperatura do objeto sobe, cada vez mais radiação de alta frequência é emitida. Por isso a intensidade desta radiação aumenta com a temperatura.

Os físicos já dispunham de dados experimentais, sobre a radiação de um corpo aquecido, para traçar o gráfico da frequência [ou comprimento de onda] versus intensidade de radiação, como o apresentado a seguir.

Este gráfico indica que a energia radiada, por unidade de área por unidade de tempo, de um corpo aquecido apresenta um máximo para cada temperatura. Na medida que a temperatura aumenta esses máximos se deslocam para regiões de comprimentos de onda menores, ou equivalentemente, para frequências maiores.



A teoria da época admitia que a luz era emitida de maneira contínua, como uma frente homogênea atingindo por igual toda a superfície sobre a qual incidia. A luz se constituía em algo como uma onda.

A energia transportada pela luz teria um valor contínuo, compatível com a **idéia de onda**. Mas quando os físicos usavam essas idéias, tentando compreender a relação entre cor e temperatura, o resultado ou a previsão teórica não concordava com a experiência, cujos dados reproduziam curvas como a representada no alto desta página..

Os físicos tinham dois trabalhos: desenvolver uma equação que descrevesse as curvas experimentais da figura anterior e uma teoria que explicasse o que acontecia com a luz. Parte disto foi conseguido por Max Planck: no dia 14 de dezembro de 1900: ele apresentou à Sociedade Alemã de Física um trabalho sobre este problema onde estava deduzida uma equação que concordava plenamente com as curvas experimentais.

Mas para conseguí-la, Planck precisou supor que a luz fosse emitida de forma descontínua, em pacotes, cada um denominado **quantum**, que em latim significa quantidade, porção. O plural de quantum é **quanta**, daí o nome **Física Quântica** atribuído à física desenvolvida a partir das idéias de Planck.

Cada um desses pacotes possui uma energia bem definida, que corresponde a múltiplos de apenas determinadas frequências.

Esses pacotes de energia são os **fótons**, cada qual com sua energia bem determinada, dada pela equação de Planck:

$$E = h \cdot f$$

Onde f é a frequência da luz ou da radiação emitida e h é a famosa constante de Planck, cujo valor é:

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Embora seu trabalho fornecesse uma resposta matematicamente concordante com os dados experimentais, a hipótese que fizera sobre a emissão discreta da luz, em pacotes ou fótons, não era do agrado de Planck, pois, como todos na época, imaginava a luz uma onda eletromagnética.

Mas em 1905, Einstein publicou um trabalho que explicava porque a luz ao atingir uma superfície metálica com frequência suficientemente alta, era capaz de retirar elétrons, eletrizando o metal, fenômeno que ficou conhecido como **efeito fotoelétrico**.

Em sua explicação, Einstein teve que admitir, não só que a luz era emitida em pacotes, mas que também incidia sobre as superfícies como se fossem os tais pacotes de energia, sugerido por Planck.

Atualmente não estranhemos tanto a ideia da descontinuidade da energia.

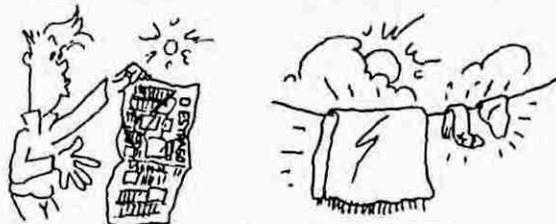
No processo de fixação da fotografia verificamos que cada partícula de sal de prata reage ou não reage, dependendo se ela for atingida pelo fóton, com energia suficiente. Também na tela da televisão, a luz chega com energia suficiente ou não acontece nada.

Isto porque a luz vem em pacotes ou grânulos de energia como se fosse partícula e não numa frente contínua como sugere a ideia de onda.

Onda ou partícula ?

Nos filmes fotográficos, por exemplo, cada ponto da imagem corresponde a uma pequena reação provocada pela luz incidente sobre o sal de prata do filme. Nos pontos onde não incide luz não ocorre reação.

Igualmente, o desbotamento de papéis como jornais e revistas, de tecidos como cortinas e roupas, só ocorre nas regiões desses materiais que ficam expostas a luz do sol.



Tanto a impressão do filme fotográfico como o desbotamento de papéis e roupas são efeitos que revelam uma ação muito localizada da luz.

Isto pode ser explicado considerando que a luz ao interagir com a matéria se comporta como uma partícula, como havia suposto Einstein, na explicação do efeito fotoelétrico.

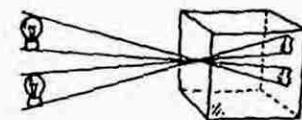
Nesse caso a energia luminosa atinge a matéria na forma de pequenos pacotes de energia, os fótons.

Entretanto se fizermos a luz passar por um orifício muito pequeno, bem menor que o orifício de nossa câmara escura, nenhuma imagem nítida se formará no papel vegetal no fundo da caixa. É o fenômeno da difração, típico de ondas.

Nesse caso, a luz se comporta como uma onda !!!

Mas esses são os fatos! Em certas situações, a luz, ao interagir com matéria, se comporta como partícula e, em outras, o seu comportamento é de uma onda.

Os físicos incorporaram esses dois aspectos da natureza da luz, conhecido como dualidade onda-partícula dentro do chamado Modelo Quântico da Luz.



A luz se difrata e borra a tela

Calu no Vestibular

FUVEST - SP - A energia de um fóton de frequência f é dada por $E = h \cdot f$, onde h é a constante de Planck. Qual a frequência e a energia de um fóton de luz, cujo comprimento de onda é igual a 5000 Å?

Dados: $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J.s; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e $1 \text{ Å} = 1 \text{ angström} = 10^{-10}$ m.

- a) $6 \cdot 10^{14}$ Hz e $4,0 \cdot 10^{-19}$ J
- b) 0 Hz e 0 J
- c) 6 Hz e 4,0 J
- d) 60 Hz e 40 J
- e) 60 Hz e 0,4 J

ALGUMAS QUESTÕES

1. Com base na equação de Planck, $E = h \cdot f$, determine a energia, em joules, associada a fótons que possuam as seguintes frequências:

a) 60 Hz, b) 1450 Hz, c) 125×10^6 Hz, d) 5×10^{14} Hz, e) 3×10^{17} Hz

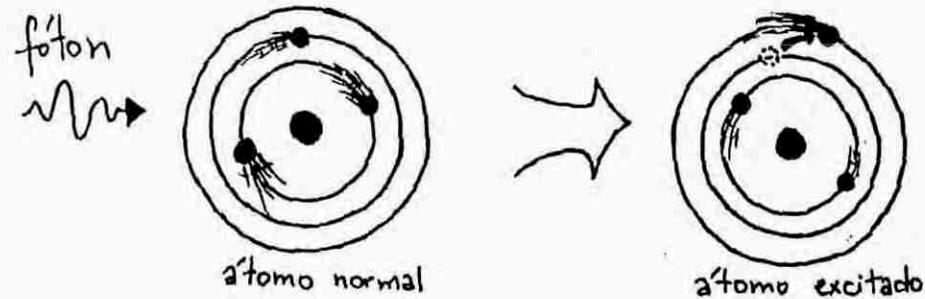
2. No mundo microscópico uma unidade de energia pertinente é o elétron-volt, designado por eV. Sabendo que $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J, transforme os valores de energia, acima obtidos, nesta nova unidade.

3. Observe o gráfico da página 50 e confronte-o com o da página 42. É possível avaliar que cor é mais intensamente emitida, nas diversas temperaturas indicadas no gráfico da página 50.

—14—

As cores da luz
e
a sua explicação

Um modelo para
explicar a luz



Se um fóton de frequência f interagir com um átomo e for por ele absorvido, a sua energia é transferida para um dos elétrons e o átomo transita para um estado excitado.

Modelo de matéria para compreender a luz

Vimos até aqui que a luz é uma radiação emitida pelos mais diferentes materiais, submetidos a diferentes processos: a parafina da vela em combustão, um filamento metálico aquecido pela corrente elétrica na lâmpada incandescente ou os gases na lâmpada fluorescente, o material das estrelas e do nosso Sol, compactado pela ação da gravidade, todos emitem luz.

Para compreender o que é a luz precisamos indagar primeiro como as coisas são constituídas.

Os antigos gregos já se preocupavam com essa questão, tanto que, é de um deles a idéia de que cada coisa é constituída por um grande número de pequenos "tijolinhos" que foram chamados de **átomos**, que na linguagem grega significava **indivisível**.

Muitos séculos nos separam dos antigos gregos, mas a idéia de átomo cada vez mais precisou ser lembrada e aprimorada na tentativa de compreender a natureza das coisas.

O que é a luz ?

Atualmente a Física Quântica tem o melhor modelo para a compreensão da luz. Nessa teoria, a matéria é interpretada como sendo constituída por átomos, que agrupados vão formar as moléculas, que por sua vez formarão todas as coisas existentes na natureza.

Mas como são esses átomos?

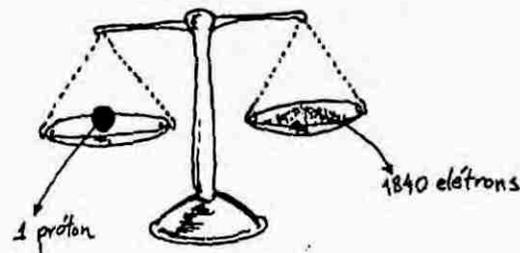
Cada material é constituído por um tipo de átomo, tendo cada átomo uma estrutura formada por duas regiões distintas.

Uma região central, chamada **núcleo**, onde estão confinados os prótons e os neutrons, além de outras partículas menores.

Outra é a **eletrosfera**, região em torno do núcleo onde movimentam-se os elétrons. Num átomo normal, o número de prótons no núcleo é igual ao número de elétrons na eletrosfera.

A massa de um próton ou de um neutron é da ordem de 2000 vezes maior que a massa do elétron, o que nos faz concluir que, praticamente toda massa do átomo está concentrada em seu núcleo.

Para termos uma idéia das dimensões relativas dessas duas regiões, se pudéssemos aumentar o átomo de hidrogênio de tal forma que seu núcleo alcançasse o tamanho de uma azeitona, o ralo da eletrosfera alcançaria o tamanho de um estádio de futebol, como o Morumbi, por exemplo.

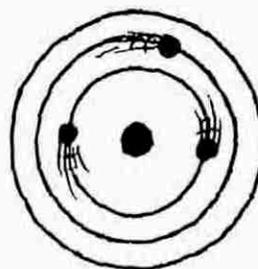


Comparação entre as massas do próton (ou neutron) e do elétron

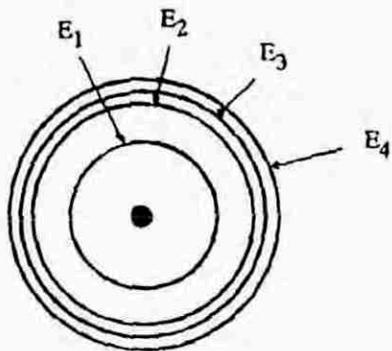
Mesmo para átomos com poucos elétrons, como o hidrogênio (que só tem um), associamos à eletrosfera a idéia de **nuvem** devido ao intenso movimento dos elétrons a grandes velocidades, ao redor do núcleo.

De acordo com esse modelo, existem regiões na eletrosfera onde a probabilidade de encontrar elétrons é maior.

Essas regiões são as **camadas eletrônicas**, às quais são associadas quantidades de energia bem definidas, constituindo os **níveis de energia**. Cada camada comporta um determinado número de elétrons.



Representação (fora de escala) de um átomo.



Camadas eletrônicas, em corte, para um átomo isolado, onde $E_1 < E_2 < E_3 < E_4$ correspondem à energia dos diferentes níveis

Os estados fundamental e excitado dos átomos

O átomo que mantém os seus elétrons distribuídos nos possíveis níveis de menor energia, se encontra, portanto, no seu estado de mais baixa energia que é denominado de **estado fundamental**.

O átomo se encontra num **estado excitado** se, através de algum processo, por exemplo o aquecimento, absorver uma certa quantidade de energia, suficiente para que um de seus elétrons passe de um nível para outro de maior energia.

O estado de excitação não persiste por tempo indefinido pois o elétron retorna ao seu nível de origem, emitindo, nesse processo, uma quantidade de energia bem definida, que corresponde, exatamente, à diferença de energia entre os dois níveis.

A diferença de energia depende dos níveis entre os quais o elétron transita. Para o elétron passar do nível 1 para o nível 3, o átomo precisará receber uma quantidade de energia exatamente igual a diferença de energia entre esses níveis, ou seja, $\Delta E = E_3 - E_1$.

A mesma diferença de energia ΔE deverá também ser emitida, pelo átomo, quando o elétron retornar ao seu nível de origem, neste caso do nível 3 para o nível 1.

A diferença de energia entre dois níveis determina que espécie de radiação é emitida, pois existe uma relação direta entre energia e frequência. Se a diferença de energia entre dois níveis é tal que a frequência da radiação emitida está entre 10^{14} Hz e 10^{15} Hz trata-se de uma radiação luminosa ou simplesmente luz!

Essas mudanças de níveis são chamadas de **'saltos quânticos'**, já que as diferenças de energia não podem assumir qualquer valor mas apenas valores discretos, definidos, uma espécie de **'pacote'**, ou **'quantum'** de energia. Na linguagem da física tais pacotes de energia, emitidos ou absorvidos pelo átomo são chamados de **fótons**.

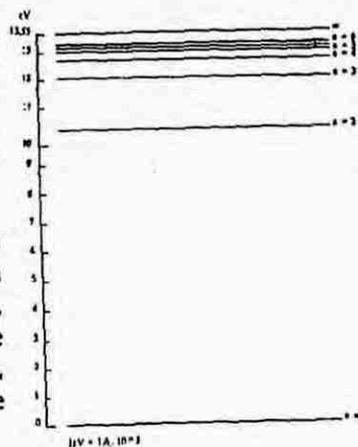
Imagine que incida sobre um átomo um fóton de energia que não corresponde a de um possível salto quântico. Nesse caso o elétron não muda de nível e o átomo também não absorve essa energia, da mesma forma que um pugilista, ao receber um golpe de raspão, nos dá a impressão que nada sentiu. A energia do golpe foi embora...

Absorção e emissão de fótons pelos átomos

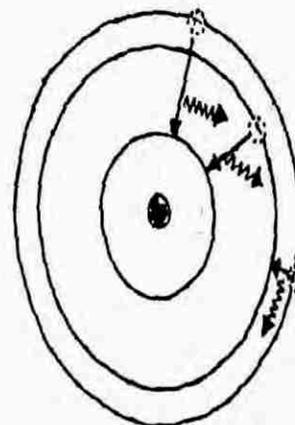
Se um determinado átomo receber, por algum processo, um fóton, cuja energia coincidir com a diferença de energia entre dois de seus níveis, ocorrerá o salto quântico do elétron entre esses níveis e o fóton incidente será absorvido e posteriormente reemitido com o retorno do elétron ao nível de origem.

Esse retorno pode ser realizado por etapas: reemissão simples de um único fóton de energia igual ao do fóton incidente ou, reemissão de dois fótons de energias diferentes, cuja soma dá a energia do fóton incidente.

Nesse último caso, cada fóton emitido está associado a saltos quânticos distintos, existindo um nível intermediário de curta permanência.



Representação dos níveis de energia do átomo mais simples, o hidrogênio.

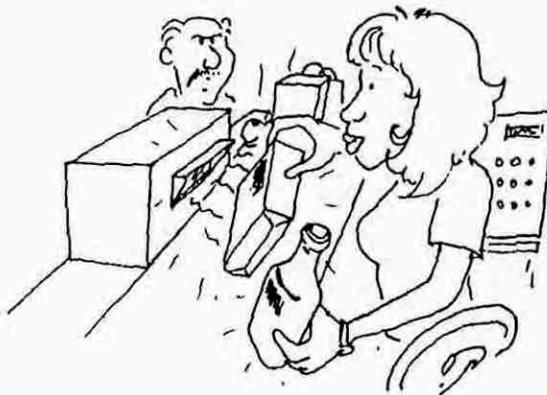


Representação dos possíveis saltos quânticos do elétron entre os níveis 1, 2 e 3.

O que é um LASER? Onde ele está presente? Para que serve?

Trata-se de uma fonte de luz muito especial já presente em várias atividades nos diversos setores de nossa sociedade.

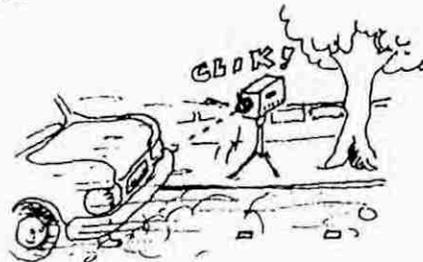
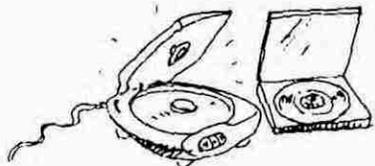
A mais comum é, provavelmente, o laser que encontramos nos caixas dos supermercados, responsável pela leitura óptica dos preços das mercadorias.



A luz concentrada de uma única cor e suas várias aplicações

Um outro laser já agora muito comum é o que encontramos nos "deck" dos "compact disc" responsável pela leitura digital do som.

Outros laser já vêm sendo empregados a mais tempo: na medicina em cirurgias delicadas como as de catarata, na qual o feixe estreito de luz é usado como bisturi; nas casas lotéricas o feixe estreito de luz faz a leitura óptica das apostas que você marcou em um cartão; em impressoras, fotocopiadoras e muitos outros sistemas de registro e processamento de informação.



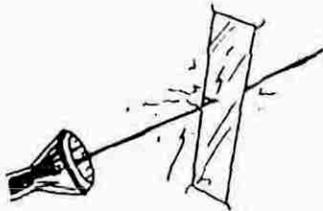
17 LASER e outras fontes fontes (frias) de luz

LASER, uma fonte de luz monocromática

A luz laser é uma fonte de luz muito especial, possui apenas uma cor e por isso é chamada de monocromática.

Esta luz pode ser concentrada em um feixe estreito e intenso, capaz de percorrer longas distâncias sem se espalhar.

Pela sua alta concentração luminosa, pode fundir uma chapa de aço em segundos e, devido à sua alta precisão, é usada como bisturi em cirurgias delicadas, em leituras ópticas nos preços dos produtos em supermercados e nos mais modernos vídeos e discos.

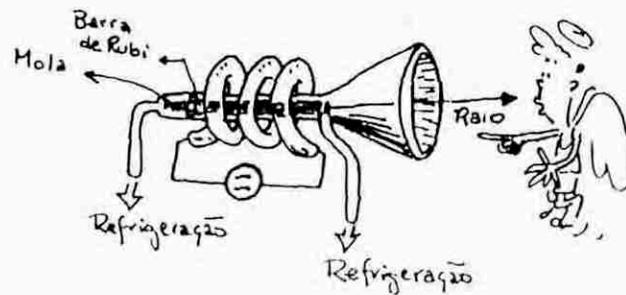


Um intenso raio laser fundindo uma chapa de aço

Construção de laser de rubi

A primeira "máquina laser" foi construída por Maiman em 1960 e usava como fonte de radiação um cristal de rubi artificial. Nessa construção foi dado ao rubi a forma de uma barra cilíndrica de uns 4 cm de comprimento por 0,5 cm de diâmetro. As extremidades dessa barra foram cortadas rigorosamente paralelas e depois polidas e recobertas com prata que é um metal refletor de luz.

Por razões que veremos adiante, uma das extremidades da barra de rubi deve ser opaca e muito refletora enquanto que a outra, por onde sai a radiação, deve ser semi-transparente, o que se consegue depositando lá uma menor quantidade de prata.



Esquema da primeira laser de rubi

A pequena barra de rubi foi envolvida por uma lâmpada excitadora, constituída por um tubo de descarga de formato helicoidal.

Logo após a lâmpada ser ligada, um feixe de raios quase paralelos, de uma linda cor vermelha, é emitido da extremidade semi-transparente da vareta de rubi para o meio.

Como funciona o laser

A luz da lâmpada helicoidal é a energia que ativa os átomos de cromo, presentes na barra de rubi e que são responsáveis pela emissão da radiação luminosa quando tais átomos retornam ao seu estado normal.

Se esse retorno é feito de modo espontâneo, os fótons emitidos dispersam-se em muitas direções e em fases distintas, o que torna tal radiação incoerente e sem nenhuma orientação comum.

A situação se modifica quando a radiação é provocada ou estimulada, fenômeno que ocorre quando, nas proximidades de átomos excitados se movimenta um fóton que pode ser proveniente da emissão de um outro átomo semelhante.

Tal fóton na presença dos átomos excitados produz o efeito de uma ressonância, estimulando um deles a emitir um novo fóton com características idênticas às suas.

Esses fótons se deslocam no mesmo sentido e em fase o que proporciona uma amplificação da radiação.

O aparato mostrado ao lado consegue produzir uma radiação estimulada de grande intensidade porque torna possível duas condições necessárias para isso: os átomos precisam se manter no estado excitado durante um certo tempo e deve haver um grande número de átomos excitados.

O cristal de rubi e a lâmpada de descarga preenchem essas exigências. Os átomos de cromo presentes na barra de rubi são excitados pela descarga da lâmpada helicoidal, permanecendo neste estado durante um pequeno intervalo de tempo.

O termo LASER é formado pelas iniciais das palavras que compõem a frase inglesa "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" que quer dizer: Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação.

Espe
Refle

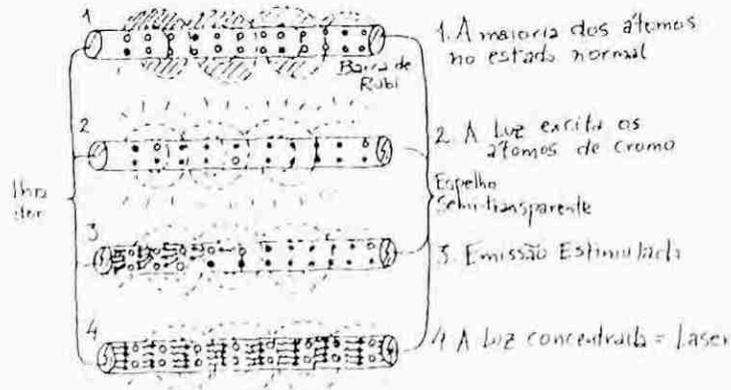
Se um desses átomos de rubi, excitados pela lâmpada, emitir espontaneamente um fóton que se desloque ao longo da barra de rubi, tal fóton provocará a emissão de um outro fóton idêntico, que juntos estimularão a emissão de mais dois fótons e assim por diante.

Esse conjunto de fótons preserva suas características originais e por isso se movimenta paralelamente ao eixo da barra de rubi, sendo refletido em uma extremidade retornando até a outra repetidas vezes. Durante esse processo o número de fótons vai crescendo, devido as emissões estimuladas, intensificando a radiação.

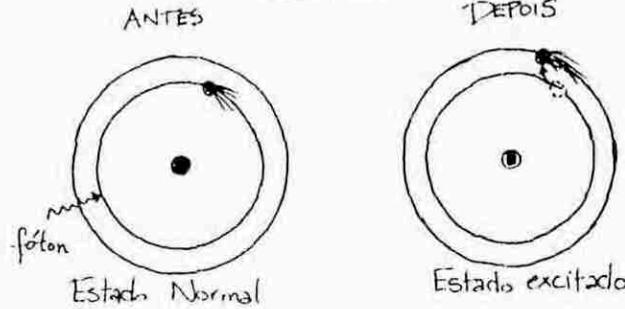
Ao atingir uma certa intensidade, a radiação concentrada escapa através da extremidade semi-transparente. Esse feixe de luz é o laser!

Os fótons emitidos em outras direções, não paralelas ao eixo, saem fora da barra de rubi, não participando do processo descrito.

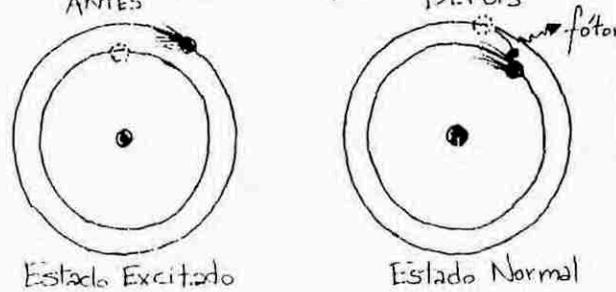
Na figura abaixo estamos representando a barra de rubi em quatro momentos que antecedem a emissão laser. No momento 1 a lâmpada helicoidal está desligada. No momento 2 a lâmpada é ligada e a sua luz excita os átomos de cromo existentes na barra. No momento 3 ocorre a emissão estimulada e os espelhos paralelos nas extremidades da barra selecionam os elétrons que formarão o feixe concentrado de luz - o laser - no momento 4.



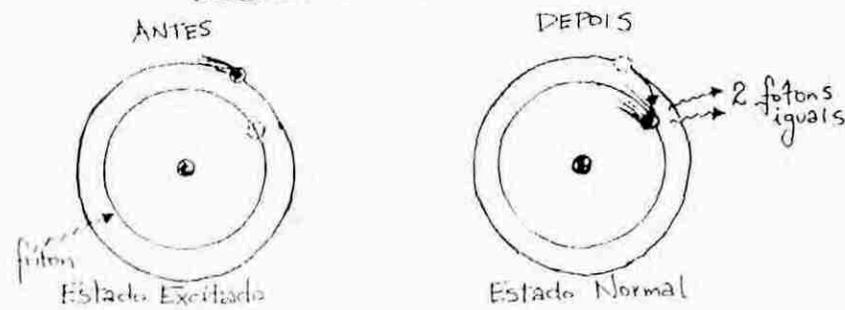
Absorção



Emissão Espontânea



Emissão Estimulada



O que é o rubi?

O rubi natural é uma pedra preciosa vermelha não muito abundante na natureza que é utilizada muitas vezes como adorno.

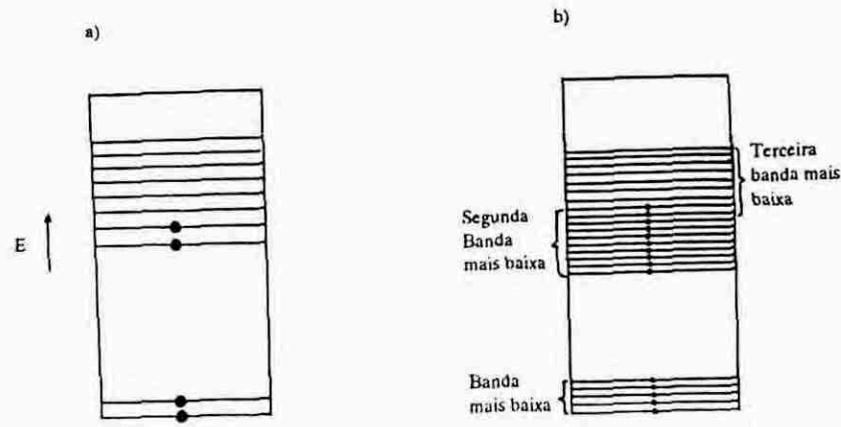
Entretanto podem ser construídos artificialmente, grossos cristais de rubi com óxido de alumínio misturado com óxido de cromo a temperaturas superiores a 2000°C.

A cor do rubi varia do rosa pálido ao cereja escuro, dependendo do teor de átomos de cromo contido no cristal.

Quanto maior for o teor de átomos de cromo mais intensa é a sua cor vermelha.

Nos diagramas energéticos da figura 5.7, as linhas representam os níveis de energia permitidos e o símbolo ● indica qual nível está ocupado por elétrons de um átomo ou de um conjunto de átomos de um sólido. As distâncias entre as linhas não correspondem a uma descrição realista.

fig. 5.7

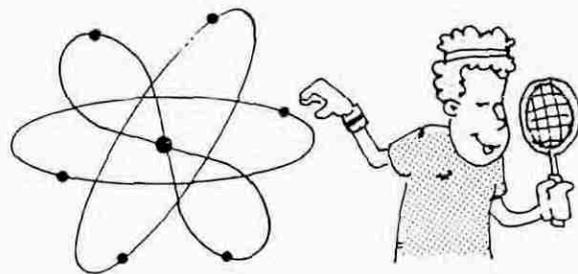


Representação dos níveis de energia:
a) em um átomo isolado de berílio

b) em um sólido metálico de berílio

Os seis elétrons, segundo o Princípio de Exclusão de Pauli, no estado fundamental estariam distribuídos de seguinte modo: dois elétrons estariam na primeira camada e numa mesma órbita e os quatro elétrons restantes na camada seguinte, dois em cada órbita com spins diferentes. A última camada contendo quatro elétrons é chamada camada de valência. A figura 5.6 é um esquema representativo desse átomo.

fig. 5.6



Esquema do átomo de carbono.

5.4 Os Diferentes Comportamentos Elétricos dos Materiais quanto à Condução Elétrica: Um Modelo Baseado na Física Quântica

A discussão realizada até agora sobre o modelo quântico utilizou átomos isolados que caracterizam o estado gasoso da matéria.

Os níveis energéticos apresentados baseiam-se na interpretação dos espectros da radiação das substâncias nesse estado, quando os átomos estão bastante distantes uns dos outros.

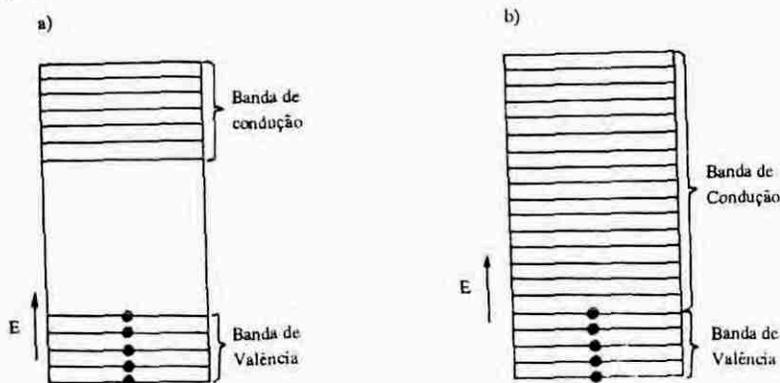
Em um material qualquer nos estados líquido ou sólido, os átomos constituem moléculas que, por sua vez, fazem parte de estruturas mais complexas. Assim, a proximidade dos átomos faz com que os seus níveis energéticos se superponham, gerando uma quantidade maior de níveis permitidos. Essa reorganização dos níveis de energia, devida à proximidade dos átomos, é denominada banda de energia e caracteriza os materiais nos estados líquido ou sólido.

Nessas bandas de energia os saltos quânticos correspondem a fótons de energia tão baixos que os diferentes níveis energéticos podem ser pensados como assumindo valores contínuos. Como os níveis energéticos são informações essenciais a respeito de um átomo, passaremos a representá-los pelos diagramas de energia e não mais por seu esquema de órbitas.

A discussão, acerca das diferenças na condução elétrica nos materiais, tomará por base os chamados diagramas energéticos construídos a partir dos níveis de energia do átomo. Assim, podemos fazer uma classificação das substâncias de acordo com suas propriedades elétricas e desse modo reconhecer o que se entende por condutores e isolantes.

De acordo com a distribuição dos níveis de energia (que os elétrons já ocupam ou que podem vir a ocupar), são considerados isolantes as substâncias em que é grande a diferença entre a última banda já ocupada por elétrons, denominada banda de valência, e a banda livre, denominada banda de condução. Para os condutores não ocorre essa separação entre a banda livre e a já ocupada por elétrons. Então, para eles, por menor que seja a quantidade de energia proveniente de uma fonte externa, será suficiente para provocar saltos quânticos e o conseqüente movimento dos elétrons no interior da matéria. A figura 5.8 ilustra a diferença entre os diagramas de energia para os materiais condutores e isolantes.

fig. 5.8

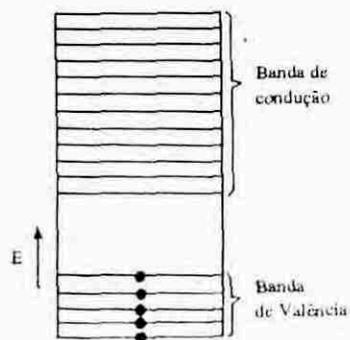


Distribuição dos níveis energéticos:

a) para um material isolante b) para um material condutor.

A utilização de diagramas de energia permite interpretar um terceiro grupo de substância cuja separação entre a banda já ocupada por elétrons e a banda livre é menor, quando comparada com isolantes. Deste modo, com uma certa quantidade de energia, tal como fóton de luz ou de energia térmica, os elétrons atingem a banda livre tornando a substância condutora. Por isso, tais substâncias são denominadas semicondutores. A figura 5.9 representa a distribuição destas bandas.

fig. 5.9



Caracterização de um material semicondutor através de um diagrama de níveis de energia

Quando a temperatura dos materiais semicondutores é baixa, os elétrons encontram-se ligados aos seus respectivos átomos e ocupando níveis de energia próximos ao núcleo. Dessa forma, o material não apresenta elétrons na banda de condução e comporta-se eletricamente como isolante.

Elevando-se progressivamente a temperatura do semicondutor, transmitimos a ele energia suficiente para que alguns dos elétrons (aqueles que ocupam a banda de valência) passem para níveis de energia mais elevados, ocupando a banda de condução. Essa nova situação altera o comportamento elétrico desses materiais, tornando-os condutores.

De acordo com esse modelo é possível explicar o comportamento elétrico de materiais como o silício e o germânio, que com a elevação da temperatura têm a condutividade aumentada, ou a resistividade diminuída. Assim sendo, o modelo de condutividade na Física Quântica explica esse comportamento admitindo o aumento dos elétrons livres que constituem a corrente.

Em certos materiais semicondutores, mesmo à temperatura ambiente, alguns elétrons da banda de valência já adquirem a energia necessária para atingirem níveis de energia correspondentes à banda de condução. É o caso do germânio e do silício. Nessas condições, mesmo um campo elétrico de baixa intensidade, produzido por uma fonte de energia elétrica, fará surgir uma corrente nesses materiais, tal como em qualquer condutor.

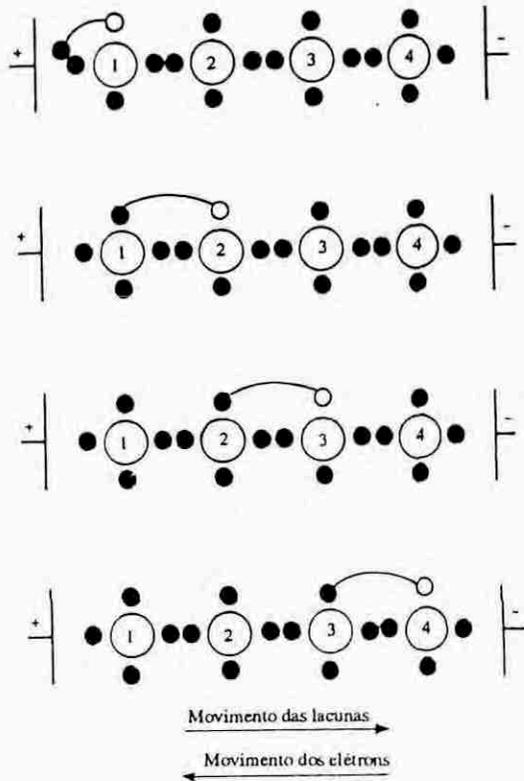
Passando para níveis energéticos da banda de condução, o elétron deixa um lugar vago, na banda de valência, denominado lacuna eletrônica, que poderia ser interpretado como o "surgimento" de uma carga positiva local. Por isso nos materiais semicondutores há um outro movimento de carga, ou seja, de elétrons que vão ocupando o lugar vago. Esse movimento de elétrons em direção às "lacunas" corresponde à ocupação de "vagas" na banda de valência e acaba originando outras lacunas.

Segundo essa interpretação, o aparecimento de lacunas em diferentes lugares corresponderia à "sinalização" ou ao "aviso" de que o elétron acabou de deixar o "lugar" que ocupava.

Esse fenômeno representa uma outra particularidade dos materiais semicondutores, no que se refere à condutividade elétrica. Tanto os elétrons que atingem a banda de condução como os de outras bandas tomam parte no processo de condução elétrica. Ou seja, submetidos à ação de um campo elétrico, produzido por uma fonte de energia elétrica, serão eles que constituirão a corrente elétrica no material.

Dessa forma, a condução elétrica nos semicondutores é formada por elétrons e por lacunas, em iguais quantidades no caso de ser a substância pura, isto é, aquela que tem apenas um tipo de elemento químico.

Fig. 5.10



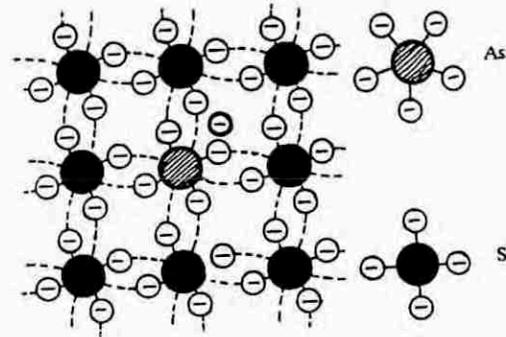
Representação esquemática do movimento dos elétrons e das lacunas, quando o material semicondutor é submetido a um campo elétrico.

Caso seja introduzida uma pequena quantidade (da ordem de $10^{-5}\%$ do total do material) de um outro elemento escolhido adequadamente, poderemos obter uma alteração na condutividade do semicondutor, de modo que a corrente possa ser constituída majoritariamente por elétrons ou por lacunas.

Vejamos com mais detalhes em que consiste este processo. Vamos considerar como material semicondutor o silício em que foi introduzido uma pequena quantidade de arsênio.

Essa mistura de materiais consiste em introduzir no silício fundido uma pequena quantidade de arsênio na forma de gás rarefeito, solidificando a mistura gradualmente. Desse modo, a rede cristalina seria idêntica à do silício puro onde o átomo de arsênio ocuparia o lugar do átomo de silício.

fig. 5.11



Representação da mistura Si-As.

A escolha da mistura silício-arsênio é feita porque o primeiro tem 4 elétrons de valência e o segundo tem 5. Assim, dentro da rede cristalina, 4 dos 5 elétrons de valência do arsênio associam-se em ligação covalente aos 4 átomos de silício mais próximos. Ocorre ainda que, rodeado por átomos de silício, o átomo de arsênio comporta-se como elemento tetravalente, fazendo com que um dos seus elétrons fique fracamente atraído pelo núcleo. Nesse caso, mesmo à temperatura ambiente, estes elétrons já adquirem energia necessária (a partir da energia térmica do material) para atingir a banda de condução. Assim, uma pequena quantidade de arsênio num cristal de silício produz níveis doadores em bandas normalmente proibidas, produzindo um semicondutor do tipo n (de negativo). A figura 5.12 ilustra o diagrama de energia para essa mistura.

fig. 5.12

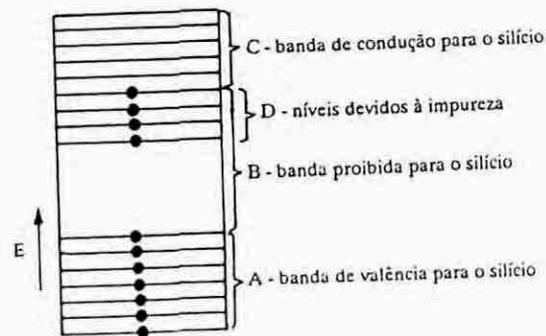


Diagrama de energia para a mistura Si-As.

Dessa mistura obtida pode resultar um aumento do número de elétrons na banda de condução.

A corrente elétrica, num semiconductor em que foi misturada substância desse tipo, será constituída majoritariamente por elétrons. Por isso o semiconductor é denominado impuro do tipo n, referindo-se à carga elétrica dos portadores majoritários na corrente.

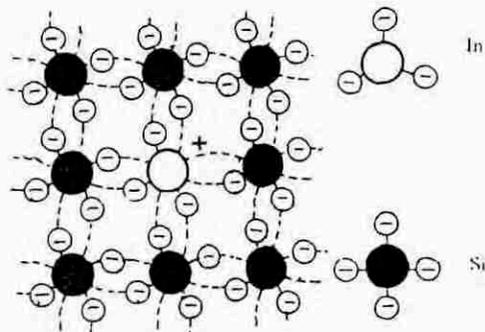
Para imaginarmos a alteração que ocorre devido à impureza, um pedaço de 1cm^2 de germânio puro apresenta na temperatura ambiente uma resistência elétrica da ordem de 50Ω . Esse mesmo pedaço de germânio, quando tratado com impurezas doadoras, é transformado num cristal tipo n e tem uma resistência elétrica próxima de 2Ω .

É possível também realizar uma mistura que resulte uma corrente constituída majoritariamente de lacunas. Nesse caso, escolhendo-se novamente o silício, devemos introduzir uma substância cujo número de elétrons de valência seja menor que o do semiconductor, por exemplo, o índio, que possui três elétrons de valência.

Pelo fato desta substância dentro da rede, formada por átomos de silício, comportar-se como ele, isto é, valência 4, supomos que ocorra uma "captura" de um dos elétrons de valência do silício, que esteja próximo ao átomo do índio. Isso resulta na formação de um íon positivo, ou seja, de uma lacuna eletrônica, conforme está ilustrado na figura 5.13.

O surgimento deste íon positivo fará com que um outro elétron seja "capturado", surgindo uma nova lacuna, que capturará outro elétron, resultando no deslocamento da lacuna pelo interior do material.

fig. 5.13



Representação da mistura Si-In.

Assim, uma pequena quantidade de índio em um cristal de silício fornece níveis receptores na banda normalmente proibida. Nesse caso, com acréscimo de uma substância com valência inferior à do semiconductor, aumenta o número de elétrons que se movimentam na banda de valência. A figura 5.14 ilustra os níveis de energia para essa mistura.

fig. 5.14

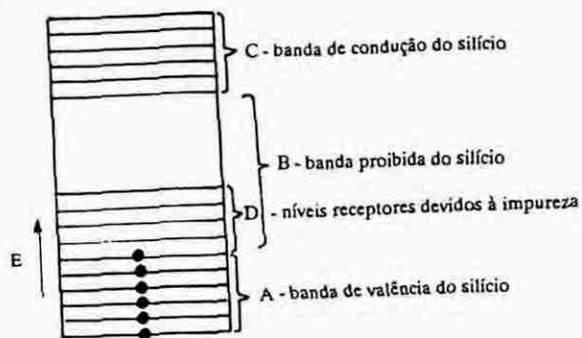
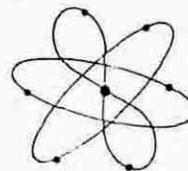


Diagrama de energia para a mistura Si-In.

Num semiconductor em que foi introduzido uma substância desse tipo, a corrente elétrica é descrita como sendo constituída majoritariamente por lacunas. Um semiconductor que apresenta essa característica é denominado impuro do tipo p (de positivo).

Nos exercícios 5.1, 5.2 e 5.3 utilizamos um modelo baseado na Física Quântica para explicar a condutividade do germânio, a ionização dos grânulos de césio na câmara de TV e a interação do feixe eletrônico com a substância da tela de TV.



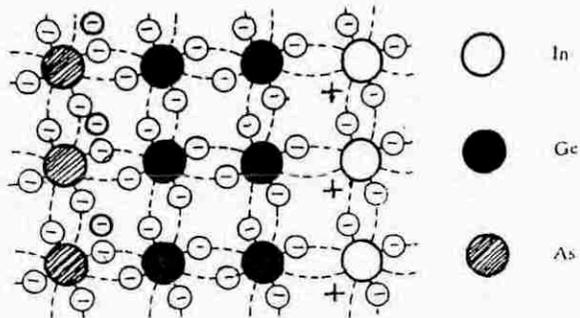
5.5 Efeito do Contato Entre Regiões do Tipo N e do Tipo P num Semiconductor

Vamos considerar um semiconductor de germânio no qual em uma de suas metades foi introduzido arsênio e na outra índio.

Desse modo, numa metade (a que contém arsênio) o semiconductor pode ser caracterizado como do tipo n e na outra (que contém índio) como do tipo p.

Vamos supor ainda que as misturas do germânio com arsênio e com o índio entrem em contato. A figura 5.15 ilustra a situação descrita.

fig. 5.15



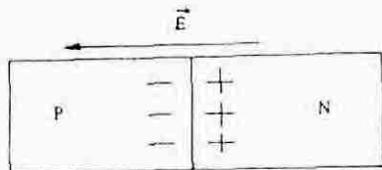
Representação do contato entre Ge-As e Ge-In.

A partir do momento em que o contato é estabelecido, tem início um movimento de cargas na região, ou seja, há um movimento de elétrons da região n para a região p e de lacunas da região p para a região n.

Esse movimento de portadores que ocorre na junção de cargas faz com que, após um certo intervalo de tempo, a região n, fronteira com a região p, fique carregada positivamente e a região p, fronteira com n, fique carregada negativamente.

Sendo assim, na fronteira entre as duas regiões surge, devido à separação de cargas, um campo elétrico local cujo sentido é o da região n para a região p. A figura 5.16 ilustra a situação descrita acima.

fig. 5.16



Representação da separação de carga na fronteira entre as regiões p e n no semicondutor e do campo elétrico criado por elas

Devido ao surgimento deste campo elétrico local, o fluxo de cargas nessa região diminui quase que totalmente, uma vez que este campo possui sentido oposto ao do movimento "natural" das cargas. Diz-se que foi criada uma "barreira" ao movimento dessas cargas.

5.5.1 O diodo semicondutor: o efeito da retificação obtida a partir da junção P-N

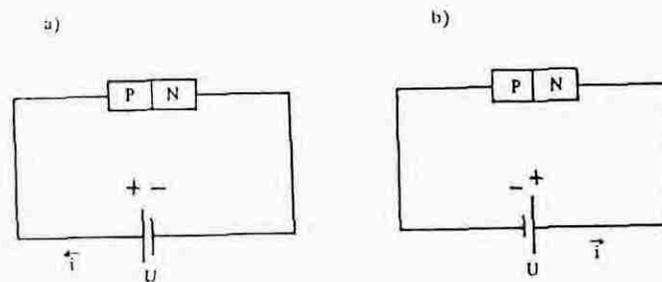
Quando um semicondutor com uma junção p-n, descrito no item anterior, é colocado num circuito, o campo elétrico produzido pela fonte de energia se superpõe ao campo elétrico que surge na fronteira que separa as regiões p e n.

Desta superposição podemos obter dois efeitos distintos: se o sentido do campo elétrico produzido pela fonte for contrário ao campo elétrico local, terá reinício o movimento de cargas através da junção. Caso contrário, se o sentido destes campos forem iguais ao do campo elétrico produzido pela fonte, reforça-se a "barreira", produzida pelo campo local, ao movimento de carga. Desse modo, a corrente elétrica será praticamente nula.

Por isso a junção p-n pode ser caracterizada como sendo assimétrica em relação ao sentido da corrente, quando um semicondutor deste tipo é parte de um circuito elétrico: num certo sentido há corrente (polarização direta), no sentido contrário, praticamente não há (polarização inversa).

A figura 5.17 ilustra como a existência de um diodo p-n influi na ocorrência de corrente elétrica num circuito.

fig. 5.17

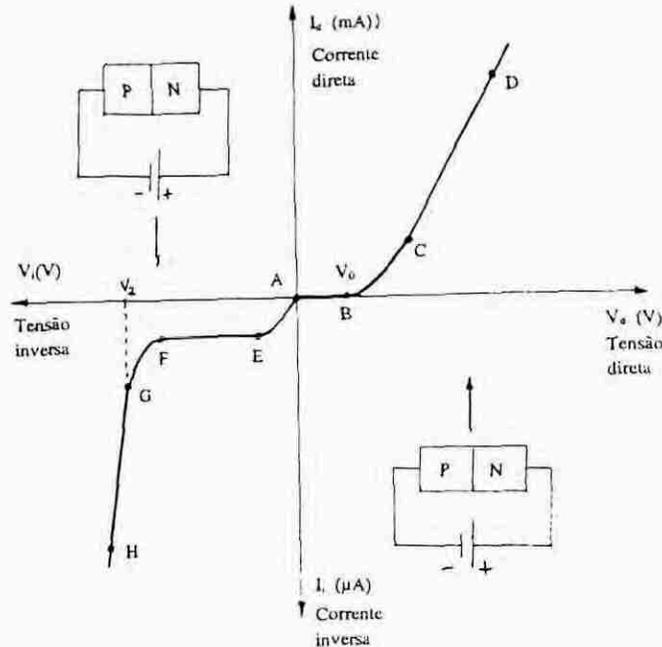


a) polarização direta b) polarização inversa

Para que um diodo de junção p-n seja utilizado num circuito é necessário conhecer sua curva característica, uma vez que os valores de tensão e corrente são os dados essenciais.

A figura 5.18 apresenta uma curva característica de um diodo de junção p-n. O trecho ABCD corresponde à polarização direta; neste caso a junção só começará a conduzir corrente quando a tensão aplicada anular a tensão U_0 da barreira de potencial (0,6V para o silício e 0,3V para o germânio, na temperatura ambiente).

fig. 5.18



Curva característica de uma junção p-n.

No trecho CD, a corrente aumenta rapidamente com a tensão. Para evitar que a junção p-n se danifique devido ao calor produzido pela corrente, costuma-se inserir um resistor de proteção no circuito.

O trecho AEFGH corresponde à polarização inversa. Nesse trecho, os valores de corrente são cerca de mil vezes menores do que os da corrente direta. Para valores de U maiores do U_z , a corrente aumenta abruptamente o que corresponde ao efeito de avalanche ou efeito Zener. A tensão U_z é chamada tensão Zener ou tensão de ruptura, a partir da qual a junção p-n é destruída.

O diodo Zener é um dispositivo que, apesar de funcionar com uma polarização inversa igual à tensão de ruptura, tem sua corrente limitada a um valor adequado.

Num circuito em que a fonte produz uma corrente alternada, a presença de um semiconductor com a junção p-n transformará a corrente em unidirecional, ou seja, de um único sentido, o que constitui o princípio denominado retificação da corrente elétrica, obtida a partir de um diodo semiconductor.

Os diodos de silício, utilizados em receptores de rádio e TV e amplificadores de som, tal como as válvulas termoionicas, retificam meia onda ou uma onda completa de tensão e corrente. A discussão dessas duas formas de retificação está detalhada no estudo da válvula termoionica, na parte 6.

5.5.2 O diodo fotoemissor (led): o efeito da eletroluminescência obtido através da junção P-N

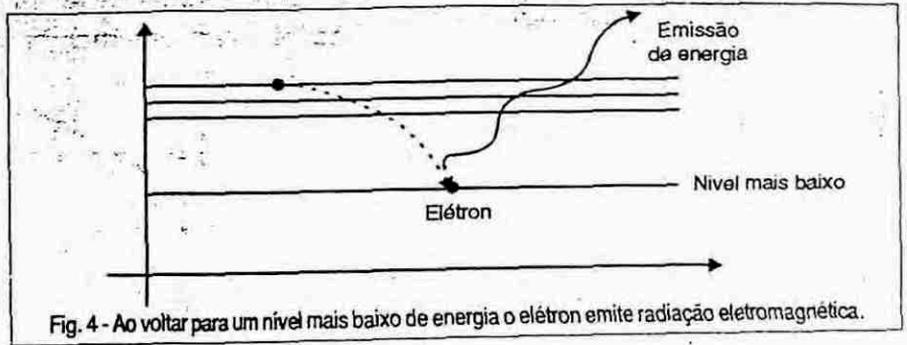
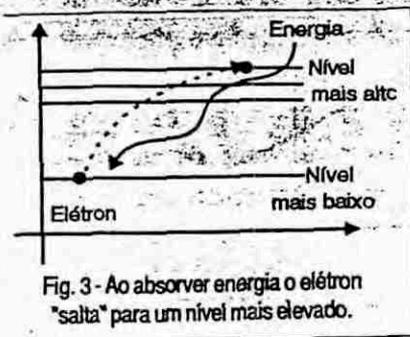
Agora discutiremos um outro tipo de diodo cuja função é a de emitir luz visível. Esses diodos conhecidos por led, abreviação da expressão inglesa *light emitting diodes*, são utilizados principalmente na construção dos visores de calculadoras eletrônicas e de rádios-relógio.

Conforme já salientamos na apresentação do modelo do átomo de Bohr, quando um elétron passa de um nível de energia maior, e, portanto, mais afastado do núcleo, para um mais próximo (de menor energia) emite uma quantidade de energia exatamente igual à diferença energética entre esses dois níveis. Essa quantidade discreta de energia eletromagnética emitida é denominada fóton. Dependendo dos níveis de energia entre os quais ocorrem o movimento do elétron, o fóton emitido pode ter frequência que o coloca dentro dos limites da radiação visível. É baseado neste princípio que são construídos os leds, só que nestes o movimento do elétron é no sentido de preencher uma lacuna, que conforme a discussão anterior se encontra na banda de valência. A estrutura do material semiconductor usado na construção do led deve propiciar o movimento de uma grande quantidade de elétrons em direção às lacunas que se encontram em níveis energéticos inferiores.

Materiais semicondutores como o fosfeto ou arseneto de gálio mostram-se extremamente eficazes na obtenção desse efeito e por isso são escolhidos para a construção de fotoemissores.

Sua utilização consiste inicialmente em acrescentar impurezas que possibilitem a formação de regiões do tipo p e n. Ligando-se um semiconductor deste tipo a uma fonte de energia elétrica, ocorre na fronteira entre as regiões p e n, em grande quantidade, o movimento de elétrons em direção às lacunas. Os fótons emitidos têm frequência capaz de sensibilizar nossos olhos. Esse processo pode também ser descrito como uma forma de obter luz a partir da corrente elétrica. Este fenômeno é denominado eletroluminescência e o semiconductor onde ele ocorre recebe o nome de diodo fotoemissor ou led.

Aparelhos eletrônicos como calculadora e rádio-relógio, cuja função final é passar ao seu circuito algum tipo de informação "impressa" para quem os utiliza, possuem ligados ao seu circuito interno um pequeno visor, onde o resultado das informações processadas no circuito são expressas em forma de números ou letras. Estes caracteres alfanuméricos são construídos com diodos fotoemissores, que têm o formato de pequenos segmentos de reta. Usando-se de forma adequada apenas sete diodos fotoemissores, pode-se representar o número 8, por exemplo. Os demais algarismos entre 0 e 9 podem ser representados suprimindo um ou mais desses diodos. A figura 5.19 ilustra como estes segmentos ou leds estão posicionados para a formação dos dígitos.



...ula outro e temos dois fótons. Dois fótons estimulam mais dois elétrons e temos quatro fótons. O efeito rapidamente se multiplica como uma reação em cadeia e numa fração de segundo, de modo quase que sincronizado, todos os elétrons são forçados a devolver sua energia.

O espelhamento do bastão de rubi ajuda muito na determinação do modo como a luz é produzida.

Refletindo nas faces espelhadas, a quantidade de fótons liberados aumenta rapidamente até o ponto em que eles não podem ser refletidos.

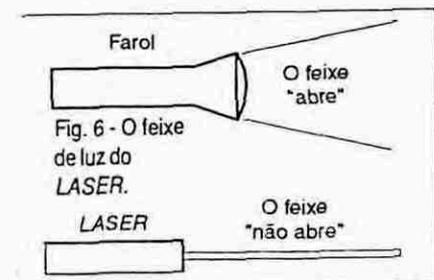
Os fótons rompem então o espelhamento mais fino passando na forma de um feixe de luz muito estreito.

A explosão de luz obtida é violentíssima, com a concentração de uma enorme quantidade de energia com características especiais.

Assim, toda a energia absorvida em milésimos de segundo é devolvida em bilionésimos de segundo de uma forma especial.

Por exemplo, se a energia absorvida num intervalo de 1 milésimo de segundo corresponde a 1 watt, ao ser devolvida em 1 bilionésimo de segundo, corresponderá a uma potência de 1 milhão de watts.

Esta é uma primeira característica importante do LASER, a concentração de energia que o leva a potências extremamente elevadas.



A segunda característica, conforme vimos, está no fato desta energia consistir em luz de comprimento único de onda ou frequência única. Para o rubi temos a emissão de uma luz avermelhada.

A terceira característica está na coerência da luz.

Como podemos observar na figura 6 todos os fótons são emitidos praticamente ao mesmo tempo e na mesma direção, sendo obtido um feixe de luz muito estreito que praticamente não abre como ocorre com o feixe de luz produzido por um farol ou por uma lanterna. Num LASER comum o feixe produzido pode ser mais fino que um fio de cabelo e isso é muito importante em aplicações críticas como nos leitores de CDs.

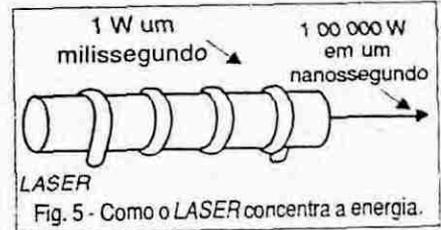
Observe que um feixe de luz com as características descritas tanto pode ter efeitos destrutivos como pode ser importante em aplicações eletrônicas de precisão.

De fato, a grande quantidade de energia concentrada permite que um feixe de luz vaporize materiais como o aço, furando grossas chapas.

Mas é na Eletrônica que uma luz com as características do LASER encontra uma vasta gama de aplicações.

O DIODO LASER

O exemplo de LASER que vimos baseia-se no bastão de rubi. No



entanto, existem muitos outros materiais que manifestam propriedades semelhantes e portanto, podem ser usados na fabricação de LASERs.

Um primeiro tipo de LASER a ser citado é o de Hélio-Neon pelas suas características de baixo custo e fácil manuseio.

Na figura 7 temos um tubo de LASER deste tipo que é excitado com uma tensão de alguns milhares de volts.

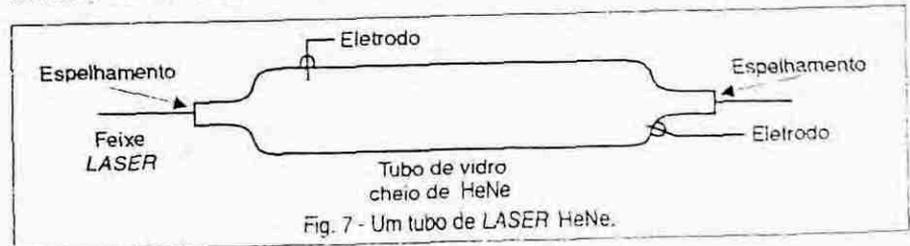
Para a Eletrônica, entretanto, temos um tipo especial de LASER que é o diodo LASER ou LASER semiconductor.

A estrutura básica de um diodo LASER é mostrada na figura 8.

Conforme podemos ver, a estrutura básica e o próprio material são os mesmos usados nos LEDs. Na verdade, podemos dizer que um LED é um "quase LASER".

O que falta para o LED chegar a ser realmente um emissor LASER será percebido nas explicações que daremos a seguir.

Neste tipo de dispositivo a circulação de uma corrente pela junção, quando polarizada no sentido direto, faz com que os elétrons do material



COMPONENTES

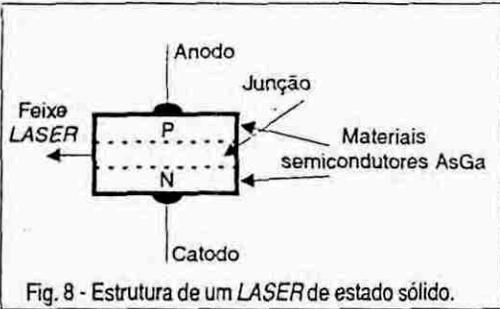


Fig. 8 - Estrutura de um LASER de estado sólido.

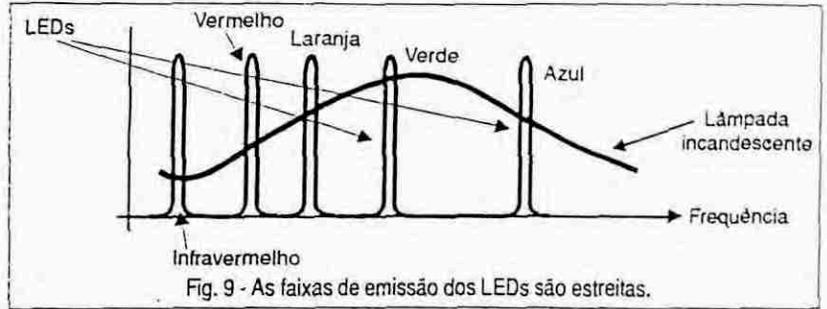


Fig. 9 - As faixas de emissão dos LEDs são estreitas.

saltem de suas órbitas absorvendo energia.

Nos LEDs a devolução da energia na forma de luz monocromática se faz de forma suave e constante, pois não temos as condições de inversão de população necessárias ao efeito de "reação em cadeia" na devolução desta energia.

O LED acende suavemente com luz que depende do material de que ele é feito.

Substâncias usadas como dopantes permitem que luz de diversos comprimentos de onda sejam emitidas e portanto, a fabricação de LEDs de diversas cores.

No diodo LASER o estímulo é mais intenso, com correntes maiores e além disso, a própria estrutura do material favorece a absorção de uma quantidade maior de energia e a obtenção da condição de inversão de população.

Quando a energia é devolvida o dispositivo emite então a radiação que caracteriza o LASER.

Os diodos LASER são dispositivos extremamente pequenos e eficientes.

Os primeiros tipos emitiam radiação apenas na faixa do espectro correspondente ao infravermelho, mas hoje existem diodos LASER que emitem luz na faixa visível.

Um exemplo de dispositivo muito comum que emite radiação visível (vermelha) a partir de um diodo LASER é o LASER POINTER, veja figura 10.

Do tamanho de uma caneta comum este dispositivo emite um feixe que projeta uma seta ou outra forma indicadora num painel ou qualquer anteparo, sendo usado por conferencistas.

O feixe muito estreito que gera esta imagem, mais a potência

elevada permite a obtenção de uma seta indicadora muito brilhante, facilmente vista por todos.

Mas, é em dispositivos como o CD comum e o CD-ROM que o LASER semiconductor manifesta toda sua utilidade.

Conforme verificamos na figura 11, as informações num CD são gravadas na forma de pequenas saliências ou "pits" numa superfície lisa.

A leitura das informações ou dos pits que indicam os níveis lógicos 0 ou 1, é feita por um feixe de luz emitido por um diodo LASER.

Na presença do pit a luz se reflete de modo diferente do que quando ele está ausente e isso permite que um foto-diodo, usado como sensor e devidamente focalizado, faça a leitura da informação.

Quando o CD gira, o sistema óptico de leitura acompanha as trilhas deslocando-se transversalmente de modo a procurar as trilhas e com isso as informações podem ser lidas.

Considerando-se as dimensões dos pits fica claro que este dispositivo óptico de leitura deve ter

enorme precisão, mas o mais importante é a densidade de informações que se consegue gravar num único CD. Mais de 550 Megabytes de informação que tanto pode ser som como informação digital colocadas num único CD.

Novas tecnologias que permitem ler pits em profundidades diferentes ou nas duas faces dos CDs já permitem que a quantidade de informação gravada seja muito maior, figura 12.

No entanto, mesmo aumentando a densidade dos dados gravados ou modificando a profundidade, o diodo LASER ainda vai estar presente como principal dispositivo envolvido no processo de leitura. ■

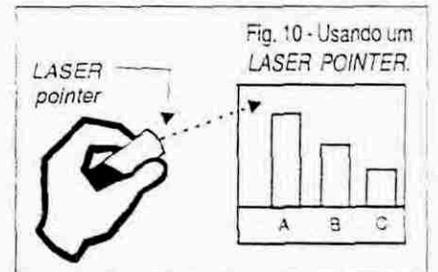


Fig. 10 - Usando um LASER POINTER.



Fig. 11 - CD em corte muito ampliado.

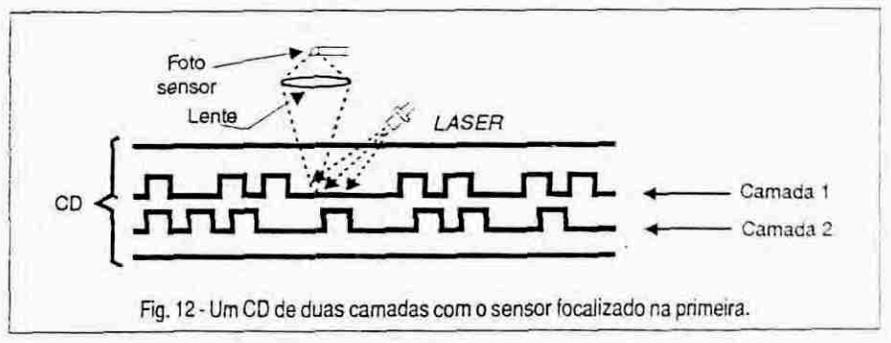
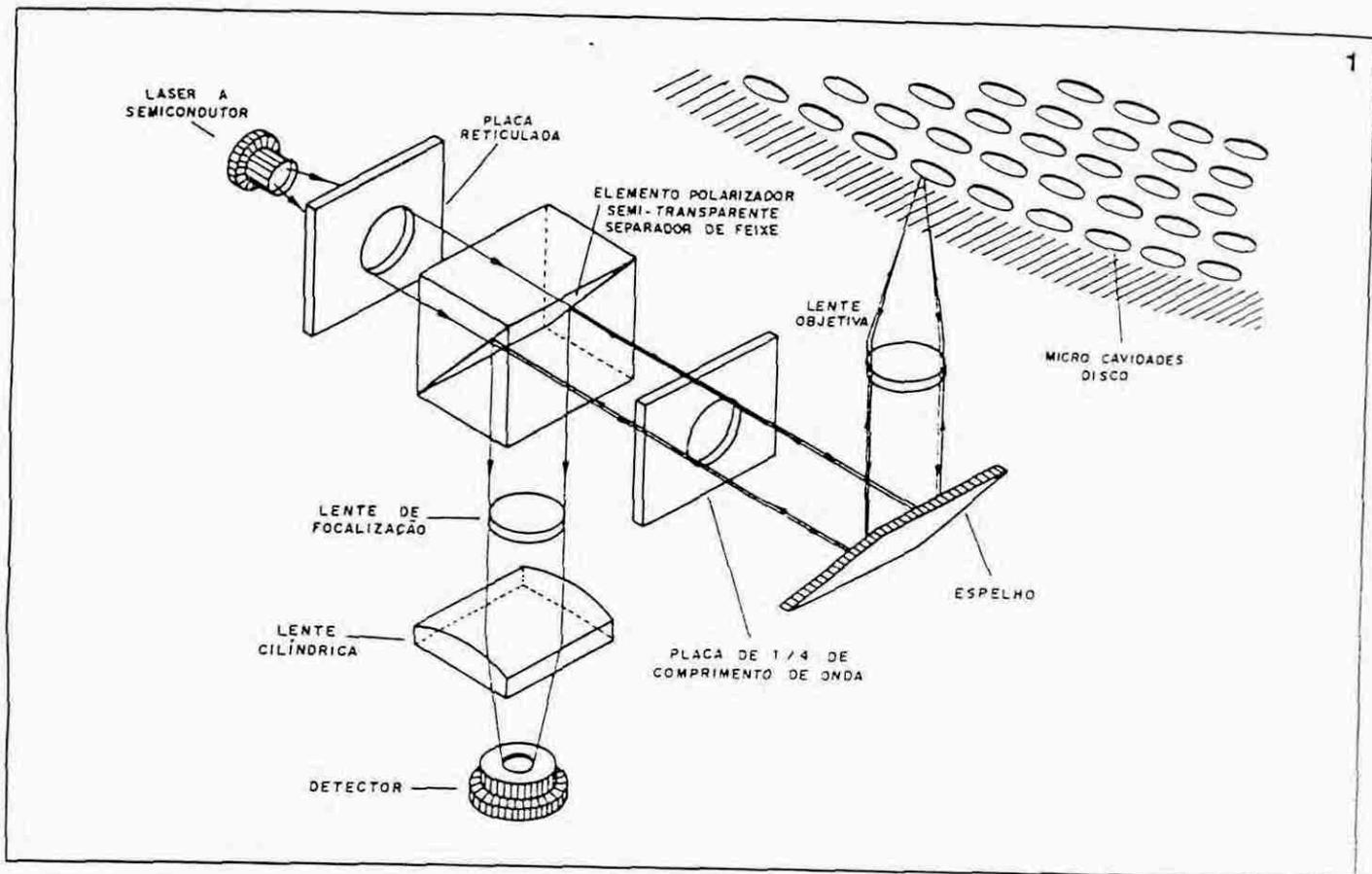
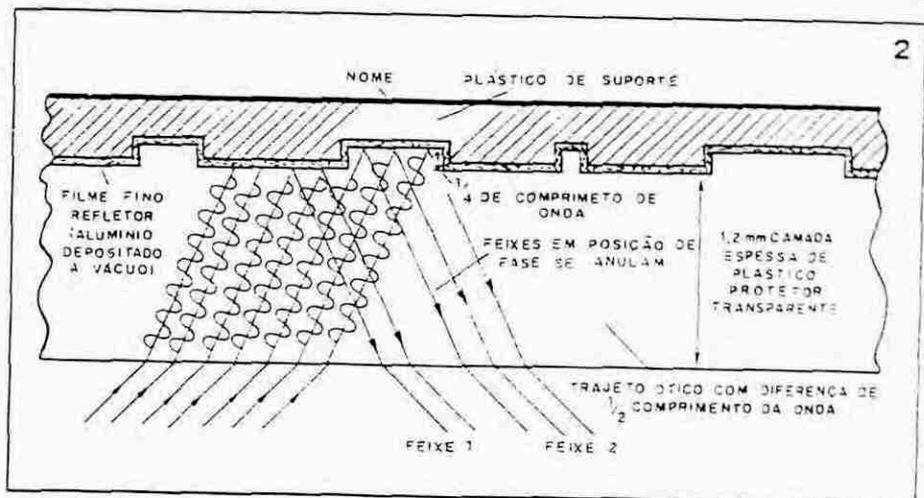


Fig. 12 - Um CD de duas camadas com o sensor focalizado na primeira.



mação é gravada na forma digital e que existem considerável número de bits de redundância. A título de comparação um disco compacto a laser permite em uma única face a gravação de maior quantidade de música, em seus 12 cm de diâmetro, do que a quantidade de música gravada em um LP de 30 cm de diâmetro em suas duas faces.

Como mostra a fig. 1, o feixe de laser é aplicado por baixo dos disco compacto e mantém-se em passos sintonizáveis através de uma camada transparente cuja espessura é de 1,2 mm e cuja função é de proteger a superfície do disco. Após passar a camada de plástico transparente, o feixe de laser, focaliza-se sobre um filme refletor de alumínio, depositado sobre a superfície do disco. A camada de plástico cobre totalmente este filme metálico refletor. É exatamente nesse filme refletor que são gravadas as informações de sinal. As dimensões do círculo de luz na superfície da camada de plástico é de 0,8 mm de diâmetro, reduzindo-se o diâmetro do feixe na superfície do filme de alumínio a tão somente 1,7 μm . Nessa estrutura grãos de poeira com diâmetro inferior a 0,5 μm não causam maiores problemas, já que estes estão na superfície de plástico, estando por isso fora de foco.



Efeitos causados por grãos de maiores dimensões, são tratados e corrigidos pelo sistema de correção automática de erros. Com isso elimina-se a necessidade de grandes cuidados com a manipulação dos discos compactos a laser, contrariamente ao que ocorre com os LPs comuns.

A existência ou não de transições entre as cavidades e a superfície do filme representa a presença ou não de informação digital, ou seja a presença ou não de bit 0 ou bit 1. Observe-se que a profundidade das cavidades no filme metálico é de 0,11 μm (1100Å) um valor

muito próximo a um quarto do comprimento de onda da luz gerada pelo laser, dividida pelo coeficiente de refração da camada plástica transparente. Este coeficiente de refração é de 1,5. Nessas condições temos uma diferença de fase de meio comprimento de onda entre o feixe refletido no fundo da cavidade e o feixe refletido na superfície do filme metálico. Estes feixes interferem entre si de modo a se cancelarem mutuamente. Na fig. 2 temos ilustrado este mecanismo.

A informação é amostrada opticamente com a reflexão do feixe na su-

LIÇÃO 1

ELETRÔNICA ANALÓGICA E DIGITAL SISTEMAS DE NUMERAÇÃO

1.1- ANALÓGICO E DIGITAL

Por que digital? Esta é certamente a primeira pergunta que qualquer leitor que está "chegando agora" e tem apenas alguma base teórica sobre Eletrônica faria ao encontrar o nosso curso.

Por este motivo, começamos justamente por explicar as diferenças entre as duas eletrônicas, de modo que elas fiquem bem claras. Devemos lembrar que em muitos equipamentos, mesmo classificados como analógicos ou digitais, encontraremos os dois tipos de circuitos. É o caso dos computadores, que mesmo sendo classificados como "máquinas estritamente digitais" podem ter em alguns pontos de seus circuitos configurações analógicas.

Uma definição encontrada nos livros especializados atribui o nome de Eletrônica Digital aos circuitos que operam com quantidades que só podem ser incrementadas ou decrementadas em passos finitos.

Um exemplo disso é dado pelos circuitos que operam com impulsos. Só podemos ter números inteiros de pulsos sendo trabalhados em qualquer momento em qualquer ponto do circuito. Em nenhum lugar encontraremos "meio pulso" ou "um quarto de pulso".

A palavra digital também está associada a dígito (do latim *digitu*, dedo) que está associado à representação de quantidades inteiras. Não podemos usar os dedos para representar meio pulso ou um quarto de pulso.

Na Eletrônica Analógica trabalhamos com quantidades ou sinais que podem ter valores que variam de

modo contínuo numa escala. Os valores dos sinais não precisam ser inteiros. Por exemplo, um sinal de áudio, que é analógico, varia suavemente entre dois extremos, enquanto que um sinal digital só pode variar aos saltos, observe a figura 1.

Conforme o leitor pode perceber, a diferença básica entre os dois tipos de eletrônica está associada inicialmente ao tipo de sinais com que elas trabalham e no que elas fazem com os sinais.

De uma forma resumida podemos dizer que:

A Eletrônica Digital trabalha com sinais que só podem assumir valores discretos ou inteiros.

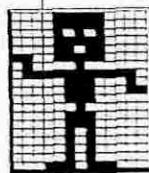
A Eletrônica Analógica trabalha com sinais que podem ter qualquer valor entre dois limites.

1.2 - LÓGICA DIGITAL

Os computadores e outros equipamentos que usam circuitos digitais funcionam obedecendo a um tipo de comportamento baseado no que se denomina Lógica.

Diferentemente dos circuitos amplificadores comuns que simplesmente amplificam, atenuam ou realizam algum tipo de processamento simples dos sinais, os circuitos digitais usa-

COMPUTADORES: os computadores atuais são digitais em sua totalidade e praticamente não é usado outro tipo de configuração. No entanto, nem sempre foi assim. Nas primeiras décadas deste século, quando os circuitos eram ainda valvulados, os primeiros computadores eram máquinas analógicas. A imprecisão e algumas outras dificuldades técnicas que estes computadores apresentavam fizeram com que logo fossem substituídos pelos circuitos digitais hoje usados.



dos em computadores e outras máquinas não processam os sinais baseados em uma finalidade simples determinada quando são fabricados.

Os circuitos digitais dos computadores e outros equipamentos são capazes de combinar os sinais tomando decisões segundo um comportamento lógico.

É evidente que se o leitor deseja realmente entender como as coisas acontecem nos circuitos digitais, deve partir exatamente do aprendizado do comportamento lógico. Podemos dizer que a lógica nos permite tirar

