J7 – UM CURSO DE MATERIAIS ELÉTRICOS

MAMMANA, Alaide Pellegrini – Faculdade de Engenharia – UNICAMP

Apesar de Materiais Elétricos ser disciplina obrigatória do "curriculum" de Engenharia Elétrica, achamos oportuno e pertinente apresentar algumas soluções propostas e resultados obtidos num curso que ministramos. Sugerimos um novo enfoque nos objetivos da disciplina, tanto nos tópicos a serem abordados como pelos trabalhos de laboratório propostos. Sugere-se a instalação de um laboratório de baixo custo, com equipamentos que, em grande parte, podem ser facilmente construidos com material nacional.

Ao invés de descrever extensiva e superficialmente o comportamento e as propriedades dos materiais optamos por desenvolver tópicos básicos de Física Moderna que proporcionem subsídios para uma compreensão conceitual das propriedades de semicondutores, metais e dielétricos, Úteis às aplicações em engenharia elétrica e eletrônica. Decidimos pela segunda alternativa, ainda que em prejuizo de um tratamento mais extenso das propriedades, por acreditarmos que, na ausência de uma disciplina de Física Moderna no "curriculum" de Engenharia, deva competir a Materiais Elétricos proporcionar a Única oportunidade de discussão de conceitos e observação de fenômenos fundamentais importantes na formação de futuros engenheiros.

Quatro horas semanais foram empregadas em aulas de exposição, com auxilio de recursos de projeção de transparências e de filmes "loops" enquanto que outras quatro horas semanais foram dedicadas aos trabalhos de laboratório em grupos de três alunos. Antecipando-se os experimentos às

aulas de discussão e exposição de conceitos, conseguiu-se manter um elevado nível de interesse tanto nas aulas de teoria como nas de laboratório, insistindo-se muito nas limitações dos modelos propostos na interpretação dos fenômenos.

Este trabalho tem por finalidade descrever as características de uma recém implantada disciplina de Materiais Elétricos, procurando chamar atenção para sua importância como ponte de conexão entre o conhecimento dos conceitos e modelos físicos e sua utilização no campo da tecnologia.

Materiais Elétricos é disciplina obrigatária do *curriculum* de Engenharia Elétrica e Eletrônica. Como seu próprio nome sugere esta disciplina deve proporcionar o conhecimento das propriedades elétricas, magnéticas e Ópticasdos materiais semicondutores, condutores e isolantes, tão importantes na engenharia elétrica e eletrônica.

Como o pré-requisito exigido é a disciplina de Física IV, pode-se supor que o aluno que vá cursar Materiais Elétricos deva estar familiarizado com os conceitos de Mecânica, Calor e Eletricidade, ministrados nas quatro disciplinas de Física Básica. Além destas, nenhuma disciplina de Física Moderna é, na maioria dos casos, oferecida ao aluno de engenharia, nem tampouco tem ele qualquer outra oportunidade de travar contato ou discutir conceitos relativos à estrutura dos materiais. Como poderá então este aluno compreender o comportamento dos materiais, como por exemplo entender a variação da resistividade em ordens de grandeza nos semicondutores se nem ao menos os níveis energéticos do átomo de Bohr este aluno conhece?

De imediato duas opções se oferecem ao professor na estruturação do curso de Materiais Elétricos: abordar extensivamente as propriedades dos materiais, descrevendo-as, ou apresentar e discutir os conceitos básicos necessários à compreensão da estrutura, estabelecendo e discutindo os modelos propostos pela Física Atômica, Mecânica Quântica, Mecânica Estatística e Física do Estado Sólido, em nível introdutório. A segunda alternativa nos parece a mais adequa-

da considerando-se a inviabilidade da introdução de uma nova disciplina de física no *curriculum* de Engenharia, que viria onerar ainda mais a carga horária do estudante brasileiro, já tão sobrecarregado. A Materiais Elétricos deve competir, portanto, proporcionar subsídios para uma melhor compreensão da estrutura da matéria e de suas propriedades, ainda que em prejuízo de uma abordagem mais extensa. De posse dos conceitos básicos o aluno terá condições de completar seu conhecimento com informações mais detalhadas, e tecnológicas, à medida em que isso se fizer necessário, quer seja através de cursos futuros ou mesmo por si só, ao longo da vida profissional.

Neste trabalho pretendemos assim tecer considerações mais sobre o conteúdo a ser ministrado na disciplina do que sobre o método de ensino propriamente dito, acreditando desta forma estar contribuindo com sugestões que visem um aprimoramento do ensino de engenharia no seu aspecto formativo. Estas sugestões propostas abrangem principalmente um laboratório de baixo custo, o qual pode ser quase que totalmente implantado com equipamento nacional.

OBJETIVO DO CURSO

Propomos como objetivo final do curso de Materiais Elétricos o desenvolvimento no aluno de uma capacidade crítica em relação aos modelos estabelecidos para o comportamento dos materiais, no sentido de estabelecer seus limites de validade na explicação dos fenômenos observados, capacidade esta tão carente no aluno médio de engenharia.

Tendo em vista as considerações feitas, o aluno de engenharia elétrica tem em Materiais Elétricos a única oportunidade de abordagem de tópicos como: o comportamento dual da luz e da matéria; a estrutura eletrônica da eletricidade; o átomo de Bohr; a equação de Schrödinger e sua solução para potenciais simples; a tabela periódica; a molécula; sólidos cristalinos; as bandas de energia; as estatísticas de Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein e Fermi-Dirac; os semicondutores, os dielétricos e os metais e suas pro-

priedades.

Este curso é, pois, considerado como fundamental para as posteriores descrições dos dispositivos elétricos e eletrônicos sem pretender uma descrição tecnológica para os materiais, o que é deixado para os cursos específicos de aplicação.

LABORATÓRIO

Ao laboratório é conferido papel importantíssimo na formação do futuro engenheiro, ao proporcionar a oportunidade de observação de fenômenos fundamentais relativos aos tópicos desenvolvidos na teoria. Os experimentos montados versaram sobre*: comportamento ondulatório da luz; efeito fotoelétrico; efeito termoiônico; determinação da razão e/m para elétrons; espectroscopia atômica; estrutura cristalina; modelos estatísticos observação da orientação cristalina de monocristais; identificação de portadores de carga em serni condutores e medida de resistividade elétrica e de sua variação com a temperatura. Devem ser incluídos, ainda em 1976, experimentos de difração de elétrons e de raios X, tendo em vista serem ferramentas importantíssimas na investigação da estrutura dos materiais.

Estes experimentos foram montados com equipamento predominantemente nacional, em grande parte desenvolvido nas próprias oficinas da Faculdade de Engenharia de Campinas. Citamos como exemplo:

1. fendas simples, duplas e múltiplas obtidas por técnicas fotográficas;
2. filtros de cor de gelatina;
3. fontes de baixa e alta tensão, de alta e baixa corrente;
4. espectrômetro Óptico;

---

*Colaborou no projeto e construção do equipamento de laboratório a equipe de professores: Carlos Ignácio Zamitti Mammana, Furio Damiani, José Carlos Kretly, Manoel Francisco de Souza, Oseas Valente de Avilez Filho e Peter Jurgen Tastch além do chefe da oficina Mecânica Rutênio Gadelha de Meneses.

5. arranjo de bolas de ping-pong e de poliedros para o estudo do empacotamento atômico em cristais;
6. gangorra de esferas de aço para o estudo da função de distribuição binomial;
7. arranjo para a identificação do tipo de condutividade em lâminas de semicondutores;
8. arranjo para a identificação de direções cristalinas;
9. dispositivo de quatro pontas para medida de resistividade; etc.

Além do material desenvolvido na FEC, foram empregados medidores de corrente e tensão, trenas, componentes eletrônicos simples, diodos termoiônicos, lâmpadas incandescentes, termômetros, conjunto Poliopticon, material químico para limpeza, abrasivos, ferros de solda, recipientes isolantes para gelo e nitrogênio líquido e aquecedores, todos eles de fabricação nacional. Importados são o laser, o tubo de raios catódicos, as lâmpadas espectrais e as redes de difração. São ainda importados, podendo no entanto serem encontrados no comércio local, os fotodiodos e as fotocélulas a vácuo.

TEXTO

Foram redigidos tanto o texto básico do curso [1] como também as apostilas de laboratório[2].

ESTRUTURAÇÃO DO CURSO

O curso de Materiais Elétricos é ministrado em duas disciplinas: Materiais Elétricos e Laboratório de Materiais Elétricos com matrículas independentes. A segunda é exigida como requisito paralelo para a matricula da primeira. Estruturamos o curso em sessenta horas no semestre, ou quatro horas semanais, dedicadas à teoria e exercicios, e quarenta e cinco horas dedicadas ao laboratório, em sessões semanais de três horas. O número de alunos nas duas disciplinas é de aproximadamente oitenta, subdivididos em quatro turmas de laboratório.

MÉTODO

Nas aulas de teoria empregamos o método tradicional expositivo com auxílio de retroprojetores e filmes de curta duração. Havia listas semanais de exercícios, muitos dos quais discutidos em classe.

No laboratório os trabalhos se desenvolveram em grupos de três alunos, no máximo, exigindo-se relatórios individuais sobre os experimentos efetuados. Procurou-se na medida do possível antecipar os experimentos às aulas expositivas, nas quais os conceitos eram discutidos. Conseguiu-se desta forma manter um elevado nível de interesse tanto nas aulas de teoria como nas de laboratório, insistindo-se muito nas limitações dos modelos propostos na interpretaçãodos fenômenos.

AVALIAÇÃO

A avaliação se efetuou através de provas conceituais e dos relatórios individuais, nos quais se exigia uma análise crítica dos resultados experimentais obtidos e dos métodos de medida empregados. Efetuaram-se ainda seminários sobre alguns tópicos importantes.

CONCLUSÃO

A tônica do curso foi tentar desenvolver nos alunos o espírito de investigação através da observação dos fenômenos (sempre que possível), e da elaboração de modelos para sua explicação. Para preencher estes objetivos montou-se um laboratório didãtico de baixo custo e compatível com as disponibilidades do comérico local, que permitisse investigar a estrutura da matéria e algumas de suas propriedades.

Apesar do bom resultado do trabalho em andamento, veficado basicamente através da atitude dos alunos diante das disciplinas de Dispositivo e Circuitos Eletrônicos das quais Materiais Elétricos é pré-requisito, consideramos esta uma primeira aproximação para a otimização do *curriculum* de Engenharia Elétrica neste campo, havendo ainda muito a ser feito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MAMMANA, Alaide Pellegrini - *"Texto de Materiais Elétricos"* - apostila publicada na Faculdade de Engenharia de Campinas, UNICAMP, 1975.
2. *"Textos de Laboratório de Materiais Elétricos"* - Faculdade de Engenharia de Campinas, UNICAMP, 1975.