



Ministério da Educação  
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
 Setor de Tecnologia  
 Departamento de Engenharia Elétrica

Ficha 2 (2023/1)

Disciplina: <b>Semicondutores</b>						Código: <b>TE935</b>	
Natureza: Obrigatória			Semestral				
Pré-requisito: -			Co-requisito: -		Modalidade: Presencial		
CH Total: <b>60</b> CH semanal: <b>04</b>	Padrão (PD): 60	Laboratório (LB): 0	Campo (CP): 0	Estágio (ES): 0	Orientada (OR): 0	Prática Específica (PE): 0	Estágio de Formação Pedagógica (EFP): 0
<b>EMENTA (Unidade Didática)</b>							
Física básica de semicondutores. Transporte e equilíbrio em semicondutores. Junção p-n, metal semicondutor, metal-óxido-semicondutor. Diodos e transistores bipolares. Transistores de efeito de campo. CMOS. Foto-detetores. Diodos emissores de luz. Cavidades ressonantes. Laser de semicondutor. Fotônica.							
<b>PROGRAMA (itens de cada unidade didática)</b>							
<ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Introdução:</b> História da Eletrônica, Classificação dos Materiais por sua Condutividade; Principais Materiais Semicondutores e Perspectivas;</li> <li><b>2. Fundamentos da Mecânica Quântica:</b> Dualidade Onda-Partícula, Incerteza; Equação de Schroedinger; O Poço de Potencial e o Poço Duplo: Lições Importantes; Princípio de Exclusão de Pauli, Férmions, Bósons, Estatística Quântica; Orbitais Atômicos, Hibridização, Tabela Periódica; Teoria do Estado Sólido: De Átomos e Moléculas ao Sólido, Efeitos de Interações e Simetrias, Teorema de Bloch, Modelo de Kronig-Penney, Estrutura de Bandas, Energia e Nível de Fermi, Densidades de Estados, Definição de Massa Efetiva; O gás de elétrons e os metais;</li> <li><b>3. Física dos Semicondutores:</b> Bandas de Valência e Condução, Massa Efetiva, Elétrons e o Conceito de Lacunas; Lei de Ação de Massas, Efeitos de Dopagem, Dopagem tipo P e tipo N; Condutividade em Semicondutores Homogêneos, Efeito Hall, Coeficiente de Hall, Magnetorresistência; Transporte e equilíbrio em semicondutores: Processos difusivos, Relação de Einstein, Efeitos Termoelétricos; Junção P-N: análise eletrostática, difusão de portadores e equações de corrente, efeito de retificação; Junção Metal-Semicondutor; Metal-óxido-semicondutor. Dispositivos Semicondutores: diodos e transistores bipolares, transistor de efeito de campo, CMOS. Tunelamento quântico;</li> <li><b>4. Processos Ópticos e Dispositivos:</b> Diodos Emissores de Luz, Cavidade Ressonante e LASERs Semicondutores, Foto-detetores. Fotônica.</li> <li><b>5. Aplicações Modernas:</b> Efeito de Dimensionalidade na Densidade de Estados: simples considerações; Da micro para a nanoeletrônica; Spintrônica e Novos Materiais: nanotubos, nanofios, dispositivos orgânicos, grafeno e potenciais aplicações.</li> </ol>							
<b>OBJETIVO GERAL</b>							
Familiarizar o aluno com os materiais semicondutores e os princípios físicos básicos que governam os dispositivos semicondutores, visando as suas aplicações em engenharia. O estudante deverá ser capaz de compreender com base nos fundamentos da mecânica quântica e da física do estado sólido, o comportamento dos semicondutores, formação de heteroestruturas como junções pn e metal-semicondutor, bem como os processos físicos envolvidos,							

com aplicações, em particular para dispositivos.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar ao com base nos fundamentos da mecânica quântica os princípios da física do estado sólido, com especial atenção às aplicações em física dos semicondutores
- Estudar o comportamento dos semicondutores por efeito de dopagem e seus efeitos nas bandas de energia e condutividade do material
- Estudar a formação de heteroestruturas como junções p-n e metal-semicondutor, bem como os processos físicos envolvidos, com aplicações, em particular para dispositivos.
- Apresentar os principais dispositivos semicondutores e suas aplicações, indo desde os transistores e diodos bipolares, passando pelos dispositivos opto-eletrônicos e chegando até o campo da fotônica.
- Apresentar novas perspectivas no campo da eletrônica, com os novos materiais e escalas reduzidas de dimensões.

### PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS

A proposta metodológica para esta disciplina baseia-se no conceito de aprendizagem ativa e enfatiza buscar a construção do conhecimento do graduando que deverá aliar a teoria às aplicações práticas voltadas ao contexto da Engenharia Elétrica e suas competências. Os principais conceitos teóricos e demonstrações são expostos pelo professor em sala de aula, e também será solicitada a leitura prévia dos assuntos a serem abordados, para posterior discussão em sala de aula e esclarecimento de dúvidas pertinentes. O discente recebe tarefas (listas de exercícios, textos, artigos) disponibilizadas em Ambiente Virtual (como o Moodle ou página do professor), revê com o professor as informações e dúvidas em sala de aula, com o objetivo de estimular o aluno a compreender conceitos e interagir com os colegas de forma participativa na solução de problemas, e depois, resolve uma série de exercícios em grupos. Serão utilizadas diferentes técnicas de ensino, como aulas expositivas dialogadas, estudos dirigidos, além de outras a pedido dos alunos. O uso do software Matlab poderá ser necessário em alguns tópicos. Serão propostas listas de exercícios para os alunos resolverem em horário extra-classe, como forma de fixação e aprendizado do conteúdo.

**Aulas expositivas:** apresentação da teoria, conceitos, propriedades, simulações, exemplos e aplicações.

**Avaliação teórica:** avaliação teórica do conteúdo exposto em sala de aula.

**Recursos:** Quadro branco, recursos de multimídia e computador.

### FORMAS DE AVALIAÇÃO

O aproveitamento será realizado através de duas avaliações escritas P1 e P2, e a média final do semestre MF corresponderá a média simples,  $MF = (P1+P2) / 2$ . Listas de Exercícios e/ou Trabalhos teórico-experimentais, ou com o uso do software Matlab, poderão se tornar parte constituinte das notas P1 e P2. O aluno que obtiver o aproveitamento igual ou acima de 70,0 nas provas do semestre estará aprovado e aqueles que obtiverem aproveitamento inferior a 40,0 estarão automaticamente reprovados. Para os que ficarem entre 40,0 e 70,0 há ainda a possibilidade de aprovação através do exame final, onde a média simples entre a nota final do semestre e da prova de Exame Final deve ser maior ou igual a 50,0 para aprovação. As datas das avaliações são propostas na primeira aula:

**-Prova P1: 26/04/2024 – Sexta-Feira 13h:30min às 17h:30min**

**-Prova P2: 21/06/2024 - Sexta-Feira 13h:30min às 17h:30min**

**-Exame Final: 05/07/2023 – Sexta-Feira 13h:30min às 17h:30min**

\*Todas as datas seguem rigorosamente o calendário estipulado pela Res. Do CEPE vigente para os cursos de 15 semanas.

\*\*Comunicações e materiais didáticos são disponibilizados aos alunos através da Internet (Página da disciplina ou Plataforma TEAMS).

<http://www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE935.htm>

### BIBLIOGRAFIA BÁSICA (mínimo 03 títulos)

- REZENDE, Sergio Machado. Materiais e dispositivos eletrônicos, 2.ed. São Paulo: Editora Livraria

da Física, 2004, 547p., il. Apêndice e índice. ISBN 85-88325-27-6 (broch..).

- MELLO, Hilton Andrade de; DE BIASI, Ronaldo Sergio. Introdução à Física dos semicondutores. São Paulo; Brasília, DF: E. Blucher: INL, c1975. 124p., il. Inclui bibliografia.
- SZE, S.M. Physics of semiconductor devices. 2. ed. New York: Wiley, c1981. Xii, 868p., il. ISBN 047109837X: (broch.).

#### **BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR (mínimo 05 títulos)**

- KITTEL, Charles. Introdução a física do estado sólido. 5. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. 572p.
- Semiconductor Physics, K. Seeger, 6th. Ed. Springer, Solid State Science Series vol. 40, 1997.
- GRIFFITHS, David J. (David Jeffrey). Mecânica Quântica, 2.Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2011. 347p., il. ISBN 9788576059271(broch).
- ASCHCROFT, Neil W; MERMIN, N. David. Solid State Physics. Philadelphia: Saunders College, c1976. Xxi, 826p. il. Inclui índice. ISBN 0030839939; (enc).
- GREINER, Richard Anton. Semiconductor devices and applications. New York: McGraw-Hill, c1961. 493p., il. (McGraw-Hill electrical and electronic engineering series).

**Professores da Disciplina:** César Augusto Dartora

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

**Chefe de Departamento ou Unidade equivalente:**

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

*\*OBS: ao assinalar a opção % EAD, indicar a carga horária que será à distância.*

**Planejamento Detalhado de Aulas e Avaliações – Período Letivo 2024/1**  
**(Resolução 90/23-CEPE)**

<b>Data</b>	<b>Assunto</b>
01/03	Aula 1: Introdução: História da Eletrônica, Classificação dos Materiais por sua Condutividade,
01/03	Aula 2: Materiais Semicondutores e Perspectivas
08/03	Aula 3: Mecânica Quântica: Introdução, Princípio de de Broglie, Equação de Schroedinger
08/03	Aula 4: O problema 1D: Solução do Poço de Potencial Infinito
15/03	Aula 5: Espaços de Hilbert, Interpretação Probabilística, Operadores e Médias
Aula Extra: Gravada	Aula 6: Segunda Quantização, operadores de criação e aniquilação.
22/03	Aula 7: Estatística Quântica – Bósons e Férmions
22/03	Aula 8: Orbitais, Hibridização, Formação de Moléculas, Simetrias
05/04	Aula 9: Bandas de Energia em Semicondutores
05/04	Aula 10: Noções de Estado Sólido: Do átomo, para a molécula para a formação de bandas de Energia
12/04	Aula 11: Estrutura de Bandas, Massa Efetiva, Densidade de Estados
12/04	Aula 12: Lei de Ação de Massas, Potencial Químico e Efeitos de Dopagem em Semicondutores
19/04	Aula 13: Permissividade Dielétrica Complexa, Mobilidade dos portadores (aula gravada com informações adicionais) Aula 14: Efeito Hall em Semicondutores
19/04	Aula 15: Equação de Difusão, Processos de Geração, Recombinação e Injeção de Portadores Aula Gravada (extra): Dedução da Equação de difusão)
26/04	<b>Prova P1</b>
03/05	Aula 16: Junção PN – Parte 1
03/05	Aula 17: Junção PN – Parte 2
17/05	Aula 18: Junção Metal-Semicondutor 1
17/05	Aula 19: Junção Metal-Semicondutor 2 – Diodo Schottky Aula Gravada (Extra): Tipos de Diodos
24/05	Aula 20: Transistores Bipolares de Junção (BJT)
31/05	Aula 21: Transistores de Efeito de Campo (FETs e MOSFETs)
Aula Extra Gravada	Aula 22: Técnicas de Fabricação: Panorama Geral
07/06	Aula 23: Processos ópticos em Semicondutores
07/06	Aula 24: Absorção e Ganho em Semicondutores
14/06	Aula 25: Lasers e Fotodetectores, Células Fotovoltaicas
14/06	Aula 26: Nanoeletrônica: Panorama geral
14/06	Aula 27: Adição de Resistores Quânticos em Série e Paralelo
14/06	Aula 28: Materiais Magnéticos
Aula Extra Gravada	Aula 29: Spintrônica, Nanoestruturas Magnéticas e Magnetorresistência
21/06	<b>Prova P2</b>
05/07	<b>Exame Final</b>

\* As datas acima seguem Resoluções Vigentes do CEPE que regem o calendário acadêmico dos cursos de graduação. **Possíveis alterações de datas de aulas poderão ocorrer, a depender do andamento da disciplina e eventuais alterações em datas de avaliação serão previamente comunicadas aos alunos através da homepage da disciplina.**

<http://www.eletrica.ufpr.br/cadartora/TE935.htm>