



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
Departamento de Física  
Campus Trindade - CEP 88040-900 - Florianópolis SC  
Tel: 48 3721-2876

## PLANO DE ENSINO 2025.2

Em acordo com a Resolução nº 003/CEPE/8405 de Abril de 1984

### I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA:

CÓDIGO	NOME DA DISCIPLINA	HORAS-AULA SEMANAIS		HORAS-AULA SEMESTRAIS
		TEÓRICAS	PRÁTICAS	
FSC 5527	FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO	4,0 HA	00	72 HA

### II. PRÉ-REQUISITO(S)(Código(s) e nome da(s) disciplina(s))

FSC5511 ou MECÂNICA QUÂNTICA I ou  
FSC5539 ESTRUTURA DA MATÉRIA ii

### III. CURSO(S) PARA O(S) QUAL(IS) A DISCIPLINA É OFERECIDA

NOME DO CURSO	TURMA	HORÁRIO
Física Bacharelado	8002	413302/515102

### IV. PROFESSOR(ES) MINISTRANTE(S)

Felipe Arretche

### V. EMENTA

Estrutura cristalina. Difração e rede recíproca. Forças interatômicas e intermoleculares. Constantes elásticas e ondas. Fónons e vibrações da rede. Propriedades térmicas de isoladores. Estatística de Fermi e o gás de elétrons. Bandas de energia. Semicondutores. Tópicos livres: dielétricos, ferroeletricidade, dia e paramagnetismo, supercondutividade.

### VI. OBJETIVOS

1. Estabelecer as bases teóricas e empíricas do que se entende como “Física do Estado Sólido”.
2. Introduzir o ferramental matemático adequado para tratar problemas sofisticados de Física do Estado Sólido.

### VII. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

1. Introdução à Física do Estado Sólido
  - 1.1 O que é a Física do Estado Sólido
  - 1.2 Fenômenos da Física do Estado Sólido
  - 1.3 Por que é relevante estudar a Física do Estado Sólido?
2. Calor específico dos sólidos: Boltzmann, Einstein e Debye
  - 2.1 O modelo de Einstein
  - 2.2 O modelo de Debye
3. Elétrons em metais: o modelo de Drude
  - 3.1 Elétrons em campos elétricos
  - 3.2 Elétrons em campos elétricos e magnéticos
  - 3.3 Transporte térmico e elétrico
4. A teoria de Sommerfeld para os metais
  - 4.1 Estatística de Fermi-Dirac
  - 4.2 Capacidade calorífica eletrônica
  - 4.3 Susceptibilidade de spin magnética (Paramagnetismo de Pauli)

---

4.4 Por que a teoria de Drude funciona?

4.5 Sutilezas do modelo de elétrons livres

5. A Tabela Periódica

5.1 Química, átomos e a equação de Schroedinger

5.2 Estrutura da tabela periódica

6. Ligações químicas em sólidos

6.1 Tipos de sólidos

6.2 Ligações iônicas

6.3 Ligações covalentes

6.4 Forças de van der Waals e ligações moleculares

6.5 Ligações metálicas

6.6 Pontes de hidrogênio

7. Vibrações de uma rede monoatômica unidimensional

7.1 - Introdução à rede recíproca

7.2 - Propriedades de dispersão da rede unidimensional

7.3 - Modos quânticos: fônons

7.4 - Momento do cristal

8. Modelo Tight-Binding

8.1 O modelo tight-binding em uma dimensão

8.2 Solução da rede tight-binding

8.3 Introdução à estrutura de bandas

9. Estrutura cristalina

9.1 Redes e células unitárias

9.2 Redes em três dimensões: redes bcc e fcc

9.3 Cristais reais

10. Rede recíproca e zona de Brillouin

10.1 A rede recíproca em 3 dimensões

10.2 Zonas de Brillouin

10.3 Ondas eletrônicas e vibracionais em cristais tridimensionais

11. Espalhamento de ondas em cristais

11.1 As condições de Laue e Bragg

11.2 Amplitudes de espalhamento

11.3 Métodos experimentais de espalhamento e difração

11.4 Espalhamento em líquidos e sólidos amorfos

12. Elétrons em um potencial periódico

12.1 Elétrons quase-livres

12.2 Teorema de Bloch

13. Metais, isolantes e semicondutores

13.1 Bandas de energia em uma dimensão

13.2 Bandas de energia em duas e três dimensões

13.3 Tight-binding

---

---

13.4 Falhas do modelo de estrutura de bandas de metais e isolantes

13.5 Estrutura de bandas e propriedades óticas

13.6 Propriedades óticas de isolantes e semicondutores

13.7 Propriedades óticas de metais

14. Semicondutores

14.1 Elétrons e buracos

14.2 Dopagem: juntando elétrons ou buracos com impurezas

14.3 Mecânica estatística dos semicondutores

15. Propriedades magnéticas dos átomos: para e diamagnetismo

15.1 Definições básicas dos tipos de magnetismo

15.2 Regras de Hund

15.3 Acoplamento de elétrons em átomos em um campo externo

15.4 Paramagnetismo de Langevin

15.5 Diamagnetismo de Larmor

15.6 Paramagnetismo de Pauli em metais

15.7 Diamagnetismo em sólidos

15.8 Paramagnetismo de Curie em sólidos

16. Ferro, antiferro e ferrimagnetismo

16.1 Ordenamento magnético: ferromagnetos, antiferromagnetos e ferrimagnetos

16.2 Quebra de simetria e o modelo de Ising

17. Domínios magnéticos e histerése

17.1 Domínios magnéticos

17.2 Histerése em ferromagnetos

18. Teoria de Campo Médio e Modelo de Hubbard

18.1 Equações de campo médio para o modelo de Ising ferromagnético

18.2 Teoria de campo médio de Hubbard

18.3 Antiferromagnetismo de Mott

---

#### **VIII. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA**

As aulas serão presenciais e expositivas. Os alunos poderão tirar suas dúvidas diretamente com o professor via e-mail ou presencialmente no horário de atendimento semanal: quartas-feiras, entre 10:10-11:50 h.

---

#### **IX. ATIVIDADES PRÁTICAS (se houver)**

Não se aplica.

---

#### **X. FORMAS DE AVALIAÇÃO E REGISTRO DE FREQUÊNCIA**

A avaliação será baseada nas notas de 4 provas a serem realizadas presencialmente conforme cronograma presente no final deste plano de ensino. A média semestral será feita tomando a média aritmética das 4 provas. Conforme legislação, média semestral igual ou superior a 6,00 corresponde à aprovação. Média semestral inferior a 3,00 corresponde à reprovação. Média semestral igual ou superior a 3,00 mas inferior a 6,00 permite ao aluno fazer o exame. O exame será realizado na forma de uma prova presencial conforme cronograma. A partir da nota do exame calcula-se a nota final que é dada pela média aritmética da média semestral com a nota do exame. Nota final maior ou igual a 6,00 leva à aprovação e caso contrário à reprovação.

---

---

A frequência será inferida a partir da presença nas aulas. Conforme legislação, exige-se frequência mínima de 75%.

**XI. LIMITES LEGAIS DO DIREITO DE AUTOR E IMAGEM (em acordo com a Lei nº 9.610/98 –Lei de Direitos Autorais)**

O curso é baseado em material a ser desenvolvido pelo próprio instrutor a partir das referências bibliográficas presentes na respectiva seção deste plano de ensino. Não haverá portanto uso indevido de direitos autorais ou de imagem.

**XII. ATENDIMENTO AO ESTUDANTE (horário/Monitoria - se houver)**

O atendimento aos estudantes será realizado na sala do professor nas quartas-feiras entre 10:10-11:50 h.

**XIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Básica e Complementar)**

**(LEMBRANDO QUE NO ENSINO REMOTO DEVE HAVER REFERÊNCIAS DE ACESSO DIGITAL)**

**BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL:**

1. S.H. Simon, Solid State Basics, Oxford University Press, 2013, first edition.

**BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR**

2. N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, Solid State Physics, Saunders College Publishing, 1976, Harcourt, Inc.

3. C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, John Wiley & Sons, Inc. 2005, 8th edition.

4. J.S. Blakemore, Solid State Physics, Cambridge University Press, 1985, 2nd edition.

5. J. Patterson and B. Bailey, Solid-State Physics, Springer, 2010, 2nd edition.

6. Y.M. Galperin, Introduction to Modern Solid State Physics, 2001, 2nd edition.

---

## Cronograma

Nr.	Data	Planejamento
		<b>Semana 1: Introdução à Física do Estado Sólido</b>
01	13/08/2025 – qua	Apresentação, Ementa, Avaliações e Bibliografia Introdução à Física do Estado Sólido
02	14/08/2025 – qui	<b>Calor específico dos sólidos</b> Modelo de Einstein Modelo de Debye
		<b>Semana 2: Os primórdios da Física de Estado Sólido</b>
03	20/08/2025 – qua	<b>O Modelo de Drude</b> Hipóteses básicas do modelo de Drude Colisões e tempos de relaxação Condutividade elétrica DC Condutividade elétrica AC Condutividade térmica
04	21/08/2025 – qui	<b>O Modelo de Sommerfeld</b> Distribuição de Fermi-Dirac Elétrons livres Capacidade calorífica eletrônica Susceptibilidade de spin magnética – Paramagnetismo de Pauli Por que a teoria de Drude funciona?
		<b>Semana 3: Estrutura dos Materiais</b>
05	27/08/2023 – qua	<b>A Tabela Periódica</b> A equação de Schoedinger e a tabela periódica Estruturas na tabela periódica
06	28/08/2025 – qui	<b>Ligações Químicas em Sólidos</b> Tipos de sólidos Ligações iônicas Ligações covalentes Forças de Van der Waals Ligações metálicas Pontes de hidrogênio
		<b>Semana 4: Aula de exercícios e prova 01</b>
07	03/09/2025 – qua	<b>Aula de exercícios para a prova 01</b>
08	04/09/2025 – qui	<b>PROVA 01: Primórdios da Física de Estado Sólido e Estrutura dos Materiais</b>
		<b>Semana 5: Modelos de Sólidos em Uma Dimensão</b>
09	10/09/2025 – qua	<b>Vibrações de uma rede monoatômica unidimensional</b> Introdução à rede recíproca Propriedades de dispersão da rede unidimensional Modos quânticos: fônons Momento do cristal
10	11/09/2025 – qui	<b>Modelo Tight-Binding</b> O modelo tight-binding em uma dimensão Solução da rede tight-binding Introdução à estrutura de bandas
		<b>Semana 6: Geometria dos Sólidos</b>
11	17/09/2025 – qua	<b>Estrutura cristalina</b> Redes e células unitárias Redes em três dimensões: redes bcc e fcc Cristais reais

<b>12</b>	18/09/2025 – qui	<b>Rede recíproca e zona de Brillouin</b> A rede recíproca em 3 dimensões Zonas de Brillouin Ondas eletrônicas e vibracionais em cristais tridimensionais
		<b>Semana 7: Aula de exercícios e prova 02</b>
<b>13</b>	24/09/2025 – qua	<b>Aula de exercícios para a prova 02</b>
<b>14</b>	<b>25/09/2025 – qui</b>	<b>PROVA 02: Modelos de sólidos unidimensionais e geometrias dos sólidos</b>
		<b>Semana 8: Difração de nêutrons e de raios-X</b>
<b>15</b>	01/10/2025 – qua	<b>Espalhamento de ondas em cristais 1</b> As condições de Laue e Bragg Amplitudes de espalhamento
<b>16</b>	02/10/2025 – qui	<b>Espalhamento de ondas em cristais 2</b> Métodos experimentais de espalhamento e difração Espalhamento em líquidos e sólidos amorfos
		<b>Semana 9: Elétrons em Sólidos</b>
<b>17</b>	08/10/2025 – qua	<b>Elétrons em um potencial periódico</b> Elétrons quase-livres Teorema de Bloch
<b>18</b>	09/10/2025 – qui	<b>Metais, isolantes e semicondutores 1</b> Bandas de energia em uma dimensão Bandas de energia em duas e três dimensões Tight-binding Falhas do modelo de estrutura de bandas de metais e isolantes
		<b>Semana 10: Semicondutores</b>
<b>19</b>	15/10/2025 – qua	<b>Metais, isolantes e semicondutores 2</b> Estrutura de bandas e propriedades óticas Propriedades óticas de isolantes e semicondutores Propriedades óticas de metais
<b>20</b>	16/10/2025 - qui	<b>Semicondutores</b> Elétrons e buracos Dopagem: juntando elétrons ou buracos com impurezas Mecânica estatística dos semicondutores
		<b>Semana 11: Aula de exercícios e prova 03</b>
<b>21</b>	22/10/2025 – qua	<b>Aula de exercícios para a prova 03</b>
<b>22</b>	<b>23/10/2025 – qui</b>	<b>PROVA 03: Difração, elétrons em sólidos e semicondutores</b>
		<b>Semana 12: Propriedades magnéticas dos átomos</b>
<b>23</b>	29/10/2025 – qua	<b>Propriedades magnéticas dos átomos: para e diamagnetismo</b> Definições básicas dos tipos de magnetismo Regras de Hund Acoplamento de elétrons em átomos em um campo externo Paramagnetismo de Langevin Diamagnetismo de Larmor
<b>24</b>	30/10/2025 – qui	<b>Propriedades magnéticas dos átomos: para e diamagnetismo</b> Paramagnetismo de Pauli em metais Diamagnetismo em sólidos Paramagnetismo de Curie em sólidos
		<b>Semana 13: Ordenamento magnético espontâneo</b>
<b>25</b>	05/11/2025 – qua	<b>Ferro, antiferro e ferrimagnetismo</b> Ordenamento magnético: ferromagnetos, antiferromagnetos e ferrimagnetos Quebra de simetria e o modelo de Ising
<b>26</b>	06/11/2025 – qui	<b>Domínios magnéticos e histerése</b> Domínios magnéticos

		Histerése em ferromagnetos
		<b>Semana 14: Teorias de campo médio do magnetismo</b>
27	12/11/2025 – qua	<b>Teoria de Campo Médio</b> Equações de campo médio para o modelo de Ising ferromagnético
28	13/11/2025 – qui	<b>Modelo de Hubbard</b> Teoria de campo médio de Hubbard Antiferromagnetismo de Mott
		<b>Semana 16: Aula de exercícios</b>
29	19/11/2025 – qua	<b>Aula de exercícios para a prova 04</b>
30	20/11/2025 – qui	<b>Dia não letivo</b>
		<b>Semana 16: Prova 04</b>
31	26/11/2025 – qua	<b>Prova 04: Magnetismo dos sólidos</b>
32	27/11/2025 – qui	<b>Dia não letivo</b>
		<b>Semana 17: Divulgação das notas</b>
33	03/12/2025 - qua	<b>Exame Final</b>
34	04/12/2025 – qui	<b>Dia não letivo</b>
		<b>Semana 18: Período para possíveis ajustes de calendário</b>
35	10/12/2025 – qua	Envio das notas finais para o CAGR
36	11/12/2025 – qui	

**Observação:**

Os termos marcados como “VA” correspondem às videoaulas já gravadas por mim e presentes no canal Eletroatividade:

[https://www.youtube.com/channel/UC8d\\_5US7I\\_S\\_IIPKa6ZWOig](https://www.youtube.com/channel/UC8d_5US7I_S_IIPKa6ZWOig).

Estes vídeos funcionam como material de apoio ao curso presencial.