

---

## **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA**

### CATÁLOGO DE DISCIPLINAS

---

#### Número mínimo de créditos em disciplinas

- Mestrado: 78 créditos
- Doutorado: 114 créditos

1 crédito = 12 horas de atividades acadêmicas

#### Estágio de Docência

O estudante de Mestrado deverá realizar estágio de docência por pelos menos um período letivo. O estudante de Doutorado deverá realizar estágio de docência por pelos menos dois períodos letivos.

Cada período de estágio corresponde a cursar uma das seguintes disciplinas:

- FIS-801 - Estágio Docente Supervisionado I (2 créditos)
- FIS-802 - Estágio Docente Supervisionado II (2 créditos)

#### Disciplinas Obrigatórias

O estudante de Mestrado deverá cursar obrigatoriamente as seguintes disciplinas:

- FIS-101 - Mecânica Quântica I (18 créditos)
- FIS-102 - Mecânica Quântica II (12 créditos)
- FIS-107 - Mecânica Estatística I (12 créditos)
- FIS-108 - Eletrodinâmica Clássica I (12 créditos)

O estudante de Doutorado deverá obrigatoriamente cursar ou já ter cursado as 4 (quatro) disciplinas listadas acima, e ainda deverá cursar ou já ter cursado pelo menos uma das seguintes disciplinas:

- FIS-109 - Mecânica Estatística II (12 créditos)
- FIS-110 - Eletrodinâmica Clássica II (12 créditos)
- FIS-103 - Mecânica Quântica III (12 créditos)
- FIS-106 - Mecânica Clássica (12 créditos)

## Disciplinas Eletivas

Além das disciplinas obrigatórias, as seguintes disciplinas eletivas poderão ser cursadas para completar o número de créditos requeridos (pelo menos duas disciplinas eletivas para o mestrado, e quatro para o doutorado, podendo neste último caso aproveitar as disciplinas eletivas do mestrado):

- FIS-201 - Física Computacional (12 créditos)
- FIS-202 - Física da Matéria Condensada (12 créditos)
- FIS-203 - Óptica Não-Linear e Fotônica (12 créditos)
- FIS-204 - Sistemas Quânticos Abertos (12 créditos)
- FIS-205 - Teoria de Muitos Corpos (12 créditos)
- FIS-301 - Física de Partículas Elementares I (12 créditos)
- FIS-302 - Física de Partículas Elementares II (12 créditos)
- FIS-303 - Teoria Quântica de Campos I (12 créditos)
- FIS-304 - Teoria Quântica de Campos II (12 créditos)
- FIS-401 - Astrofísica Relativística (12 créditos)
- FIS-402 - Cosmologia (12 créditos)
- FIS-403 - Estrutura e Evolução Estelar (12 créditos)
- FIS-404 - Relatividade Geral (12 créditos)
- FIS-501 - Computação Quântica e Informação Quântica (12 créditos)
- FIS-502 - Óptica Quântica (12 créditos)
- FIS-503 - Sistemas Nano-Estruturados e Dispositivos Semicondutores (12 créditos)
- FIS-601 - Tópicos de Física I (12 créditos)
- FIS-602 - Tópicos de Física II (12 créditos)
- FIS-603 - Tópicos de Física III (12 créditos)
- FIS-701 - Cristalografia de Difração de Raios X (12 créditos)
- FIS-702 - Propriedades Térmicas, Eletrônicas e Magnéticas (12 créditos)
- FIS-703 - Fundamentos de Microscopia Eletrônica (12 créditos)
- FIS-704 - Espectroscopia Óptica (12 créditos)
- FIS-705 - Laboratório de Física Nuclear e Subnuclear (12 créditos)
- FIS-901 - Empreendedorismo, Gestão da Inovação e Propriedade Intelectual (8 créditos)

A escolha das disciplinas a serem cursadas é feita em comum acordo entre estudante e orientador lavando-se em conta o plano de trabalho do estudante.

## Oferecimento de Disciplinas

As disciplinas obrigatórias são oferecidas pelo menos uma vez por ano, seguindo o seguinte padrão:

- FIS-101 – Mecânica Quântica I: 1º e 3º quadrimestre
- FIS-102 – Mecânica Quântica II: 2º quadrimestre
- FIS-103 – Mecânica Quântica III: 3º quadrimestre
- FIS-106 – Mecânica Clássica: 2º quadrimestre
- FIS-107 – Mecânica Estatística I: 3º quadrimestre
- FIS-108 – Eletrodinâmica Clássica I: 1º quadrimestre
- FIS-109 – Mecânica Estatística II: 1º quadrimestre
- FIS-110 – Eletrodinâmica Clássica II: 2º quadrimestre

DISCIPLINA	1º quadrimestre	2º quadrimestre	3º quadrimestre
FIS-101 - Mec. Quântica I			
FIS-102 - Mec. Quântica II			
FIS-103 - Mec. Quântica III			
FIS-108 - Eletrodinâmica I			
FIS-110 - Eletrodinâmica II			
FIS-107 - Mec. Estatística I			
FIS-109 - Mec. Estatística II			
FIS-106 - Mecânica Clássica			

Obrigatória Mestrado

Obrigatória Doutorado

## Equivalência de Disciplinas

Disciplina Antiga	Disciplina Nova
FIS-104 - Mecânica Estatística	FIS-107 - Mecânica Estatística I
FIS-105 - Eletrodinâmica Clássica	FIS-108 - Eletrodinâmica Clássica I

---

## EMENTAS DAS DISCIPLINAS

---

### OBRIGATÓRIAS

#### **FIS-101**

#### **MECÂNICA QUÂNTICA I**

Conceitos fundamentais: Postulados da mecânica quântica e espaço de estados. Quantização canônica. Medidas observáveis e as relações de incerteza; Dinâmica quântica: Operador de evolução e expansão de Dyson. Descrições de Schrödinger, Heisenberg e interação. Propagadores e integrais de caminho. Operador densidade. Momento linear. Rotações e momento angular. O grupo de rotações. Adição de momentos angulares.

#### **Bibliografia**

- J.J. Sakurai, Modern Quantum Mechanics (Addison-Wesley, 1994).
- C. Cohen-Tannoudji, B. Diu e F. Laloë, Quantum Mechanics (Wiley, 1977).
- A. Messiah, Quantum Mechanics (Wiley, 1968).
- Asher Peres, Quantum Theory: Concepts and Methods (Kluwer Academic Publishers, 2002).
- A.F.R. de Toledo Piza, Mecânica Quântica (EDUSP, 2003).
- E. Merzbacher, Quantum Mechanics (John Wiley & Sons Inc, 1998).
- L. E. Ballentine, Quantum Mechanics - A Modern Development (World Scientific, 1998).

#### **FIS-102**

#### **MECÂNICA QUÂNTICA II**

Teoria das perturbações: Perturbações estacionárias e dependentes do tempo. Fenômenos dependentes do tempo (Aproximação adiabática). Formulação variacional do problema de autovalores. Átomos Hidrogenóides. Estrutura fina e hiperfina. Efeito Stark. Partículas carregadas em campos magnéticos (Efeitos Zeeman e Aharonov-Bohn). Simetrias dinâmicas e o átomo de Hidrogênio. Sistemas de partículas idênticas.

#### **Bibliografia**

- J.J. Sakurai, Modern Quantum Mechanics (Addison-Wesley, 1994).
- C. Cohen-Tannoudji, B. Diu e F. Laloë, Quantum Mechanics (Wiley, 1977).
- A. Messiah, Quantum Mechanics (Wiley, 1968).
- Asher Peres, Quantum Theory: Concepts and Methods (Kluwer Academic Publishers,

2002).

- A.F.R. de Toledo Piza, Mecânica Quântica (EDUSP, 2003).
- E. Merzbacher, Quantum Mechanics (John Wiley & Sons Inc, 1998).
- L. E. Ballentine, Quantum Mechanics - A Modern Development (World Scientific, 1998).

## **FIS-103**

### **MECÂNICA QUÂNTICA III**

Interação da radiação com a matéria. Espalhamento Elástico. Simetrias e leis de conservação. Visão Geral da Quantização do campo eletromagnético (Absorção e emissão estimuladas. Emissão espontânea. Regras de seleção.) Introdução à Segunda quantização. Introdução à equação de Dirac.

#### **Bibliografia**

- C. Cohen-Tannoudji, B. Diu e F. Laloë, Quantum Mechanics (Wiley, 1977).
- Asher Peres, Quantum Theory: Concepts and Methods (Kluwer Academic Publishers, 2002).
- A.F.R. de Toledo Piza, Mecânica Quântica (EDUSP, 2003).
- E. Merzbacher, Quantum Mechanics (John Wiley & Sons Inc, 1998).
- L. E. Ballentine, Quantum Mechanics - A Modern Development (World Scientific, 1998).
- J. J. Sakurai, Advanced Quantum Mechanics (Addison-Wesley, 1967).
- J. D. Bjorken e S. D. Drell, Relativistic Quantum Mechanics (McGraw-Hill, 1964).
- W. Greiner e D. a. Bromley, Relativistic Quantum Mechanics. Wave Equations (Springer, 2000).
- W. Greiner e B. Müller, Quantum Mechanics: Symitries (Springer, 1994).

## **FIS-106**

### **MECÂNICA CLÁSSICA**

Princípio variacional, formalismos Lagrangiano e Hamiltoniano. Propriedade de simetria, invariantes integrais, variáveis de ângulo e ação. Transformações canônicas. Parênteses de Poisson. Transformações canônicas infinitesimais e propriedades de simetria. Teoria de Hamilton-Jacobi. Introdução ao caos.

#### **Bibliografia**

- Goldstein, H; Poole, C.P; Safko, J.L. - Classical mechanics, 3rd. (Addison-Wesley, 2003).
- Landau, L.D; Lifshitz, E.M. - Mechanics, Butterworth-Heinemann; 3rd. ed., 1982.
- Marion, J.B.; Thornton, S.T. - Classical Dynamics of Particles and Systems, 5th ed., Brooks Cole, 2003.

- Arnold, V.I.; Weinstein, A.; Vogtmann, K. - Mathematical Methods of Classical Mechanics, Springer, 1997.

## **FIS-107**

### **MECÂNICA ESTATÍSTICA I**

Revisão de Termodinâmica. Ensemble microcanônico, canônico e grande canônico. Aplicação a sistemas de partículas não interagentes; magnetismo. Gases reais, expansão virial. Operador densidade. Gás ideal de bósons. Gás ideal de férmions, magnetismo a baixas temperaturas. Transições de fase; ferromagnetismo; modelo de Ising.

#### **Bibliografia:**

- R. K. Pathria and P. D. Beale, Statistical Mechanics (Elsevier, 3rd Edition, 2011).
- W. Greiner, L. Neise and H. Stöcker, Thermodynamics and Statistical Mechanics (Springer, 2001).
- K. Huang, Statistical Mechanics (Wiley, 2nd Edition, 1987).

## **FIS-108**

### **ELETRODINÂMICA CLÁSSICA I**

Lei de Coulomb e Campo Elétrico; Equações de Poisson e de Laplace para o Potencial Escalar; Energia Potencial e Densidade de Energia. Desenvolvimento Multipolar; Problemas de Valores de Contorno com Dielétricos; Polarizabilidade Molecular e Suscetibilidade Elétrica; Deslocamento Elétrico; Modelos Microscópicos para a Polarizabilidade Elétrica; Energia Eletrostática em Dielétricos.

Campo Magnético; Lei de Biot e Savart; Lei de Ampère; Potencial Vetor; Força e Torque sobre uma Distribuição de Corrente em um Campo Magnético; Condições de Contorno sobre o Campo Magnético; Lei de Faraday; Energia do Campo Magnético; Auto Indutância e Indutância Mútua;

Corrente de Deslocamento e Equações de Maxwell; Equação de Onda; Transformações de Calibre; Calibres de Lorenz e de Coulomb; Funções de Green para a Equação de Onda; Soluções Retardadas para os Campos; Dedução das Equações do Eletromagnetismo Macroscópico; Teorema de Poynting em Meios Lineares;

#### **Bibliografia:**

- J. D. Jackson, 1999, Classical Electrodynamics, 3rd edn, John Wiley and Sons Inc, New York;
- L. D. Landau, E. M. Lifshitz and L. P. Pitaevskii, 1984, Electrodynamics of Continuous Media, 2nd edn, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford;
- J. Frenkel, Princípios de Eletrodinâmica Clássica, 2nd Ed, Edusp, 2005.

## **FIS-109**

### **MECÂNICA ESTATÍSTICA II**

Sistemas interagentes e teorias de campo médio. Modelo de Ising e correlatos. Transições de Fase e grupo de renormalização. Sistemas fora do equilíbrio.

#### **Bibliografia:**

- R. K. Pathria and P. D. Beale, *Statistical Mechanics* (Elsevier, 3rd Edition, 2011).
- K. Huang, *Statistical Mechanics* (Wiley, 2nd Edition, 1987) .
- T. Tomé e M. J. de Oliveira, *Dinâmica Estocástica e Irreversibilidade* (EDUSP, 2001).

## **FIS-110**

### **ELETRODINÂMICA CLÁSSICA II**

Ondas Eletromagnéticas Planas em Meios Dielétricos; Polarização e Parâmetros de Stokes; Reflexão e Refração na Interface de Meios Dielétricos; Guias de Ondas e Cavidades Ressonantes; Escoamento de Energia e Atenuação em Guias de Ondas; Perturbação das Condições de Contorno;

Radiação de uma Fonte Oscilante Localizada; Radiação de um Dipolo Elétrico; Radiação de um Dipolo Magnético e de um Quadrupolo Elétrico; Soluções de Onda Esférica para a Equação de Onda Escalar; Desenvolvimento em Multipolos de Radiação; Energia e Momento Angular de Radiação; Distribuição Angular de Radiação Multipolar;

Espalhamento em Comprimentos de Onda Longos; Teoria de Perturbação para o Espalhamento; Desenvolvimento em Ondas Esféricas de um Vetor de Onda Plano; Espalhamento de Ondas Eletromagnéticas por uma Esfera; Princípio de Babinet; Difração por um Orifício Circular; Espalhamento no Limite de Comprimentos de Onda Curtos.

#### **Bibliografia:**

- J. D. Jackson, 1999, *Classical Electrodynamics*, 3rd edn, John Wiley and Sons Inc, New York;
- L. D. Landau, E. M. Lifshitz and L. P. Pitaevskii, 1984, *Electrodynamics of Continuous Media*, 2nd edn, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford;
- J. Frenkel, *Princípios de Eletrodinâmica Clássica*, 2nd Ed, Edusp, 2005.

## ELETIVAS

### **FIS-201**

#### **FÍSICA COMPUTACIONAL**

Diferenciação e Quadratura Numéricas. Determinação de raízes de equações e sistemas de equações. Elementos finitos. Problemas de contorno e autovalores. Método de dinâmica molecular. Métodos estocásticos (Monte Carlo, random walk). Métodos e Técnicas de Otimização. Outros tópicos a critério do professor.

#### **Bibliografia**

- T. Pang, An Introduction to Computational Physics (Cambridge University Press, 2006).
- D. Yevick, A First Course in Computational Physics and Object-Oriented Programming with C++ (Cambridge University Press, 2005).
- N. J. Giordano e H. Nakanishi, Computational Physics (Benjamin Cummings, 2005).
- S. E. Koonin, Computational Physics: Fortran Version (Addison Wesley, 1998).
- H. Gould, J. Tobochnik e W. Christian, An Introduction to Computer Simulation Methods: Applications to Physical Systems (Addison Wesley, 2006).
- W. Christian, Open Source Physics: A User's Guide with Examples (Addison Wesley, 2006).
- W. H. Press, B. P. Flannery, S. A. Teukolsky e W. T. Vetterling, Numerical Recipes in FORTRAN (Cambridge University Press, 1992).
- W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, e B. P. Flannery, Numerical Recipes in C++: The Art of Scientific Computing (ridge University Press, 2002).

### **FIS-202**

#### **FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA**

Simetrias. Estrutura Eletrônica (Aproximações de elétrons quase livres, Elétrons Fortemente Ligados, Hartree-Fock, Teoria de Bandas). Quase Partículas (quase-elétrons, plasmons, excitons, fonons, magnons). Interação entre Quase-Partículas. Teoria de transporte. Supercondutividade (pares de Cooper, teoria BCS). Efeito Hall quântico. Desenvolvimentos Modernos (Spintrônica e Computação Quântica). Outros tópicos a critério do professor.

#### **Bibliografia**

- N. W. Ashcroft e N. D. Mermin, Solid State Physics (Brooks Cole, 1976).
- M. P. Marder, Condensed Matter Physics (Wiley-Interscience, 2000).
- Ulrich Rössler, Solid State Theory: An Introduction (Springer, 2004).
- J. P. Mckelvey, Solid State and Semiconductor Physics (Harper & Row, 1982).
- D. D. Awschalom, D. Loss e N. Samarth, Semiconductor Spintronics and Quantum Computation (Springer, 2002).
- B. Ruggiero, P. Delsing, C. Granata, Y. Pashkin, P. Silvestrini, Quantum Computation

in Solid State Systems (Springer, 2005).

- C. Kittel, Introdução á Física do Estado Sólido (LTC, 2006).

## **FIS-203**

### **ÓPTICA NÃO-LINEAR E FOTÔNICA**

Fundamentos de Óptica Não-Linear e Fotônica. Ondas Eletromagnéticas. Efeitos de Interferência e Difração. Susceptibilidade Óptica Não-Linear. Propagação de Ondas em Meios Ópticos Não- Lineares. Geração de Frequência e Harmônicos. Oscilação e Amplificação Paramétrica. Espalhamento Estimulado. Absorção de Dois Fótons. Materiais Ópticos Não-Lineares. Radiação e Matéria. Espectroscopia Óptica Linear e Não- Linear. Coerência: Espacial e Temporal. Lasers: Princípio de Funcionamento, Propriedades, Tipos e Aplicações. Efeitos Termo-ópticos, Eletro-óptico, Fotorrefrativos, Magneto-ópticos e Acústico-ópticos. Mistura de Ondas. Birrefringência Foto-induzida. Redes Foto-induzidas. Auto-Focalização e Auto-Defocalização. Detectores: Quânticos e Térmicos. Sensores Ópticos: Matriciais, CCD, CMOS e LDR. Manipulação Óptica. Descrição Quântica da Susceptibilidade Óptica Não-Linear. Índice de Refração Dependente da Intensidade. Origem Molecular da Susceptibilidade Óptica Não Linear. Aproximação de Dois Níveis em Óptica Não-Linear. Holografia. Óptica de Fourier. Processamento, Memória e Metrologia Óptica. Guias de Onda Ópticas, Fibras Ópticas e Sólitons Ópticos. Óptica Integrada e Optoeletrônica. Instrumentação e Medidas Experimentais de Caracterização de Materiais Ópticos Não-Lineares: Aquisição e Análise dos Resultados. Tópicos Avançados em Óptica Não-Linear e Fotônica: Novos Materiais; Nanoóptica e Nanofotônica; Ultrafast Photonics; Terahertz Technology; Biofotônica; e outros.

#### **Bibliografia**

- E. Hecht, Óptica (Fundação Calouste Gulbenkian, 1998).
- R.W.Boyd, Nonlinear Optics (Academic Press, San Diego USA, 2002).
- Y.R. Shen, The Principles of Nonlinear Optics (Wiley, New York, 2002).
- B. E. A. Saleh e M. C.Teich, Fundamentals of Photonics (Wiley, 2000).
- J. L. Miller e E. Friedman, Photonics Rules of Thumb: Optics, Electro-Optics, Fiber Optics and Lasers (McGrawHill, 2003).
- J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics (Roberts & Company Publishers, 2000).
- F. Yu, Introduction to Optical Engineering (Cambridge, 2002).

## **FIS-204**

### **SISTEMAS QUÂNTICOS ABERTOS**

Modelos Fenomenológicos para a Dissipação em Mecânica Quântica. Modelos de Reservatórios e Mecanismos de Perda. Aproximação de Markov e Equação Mestra. Aproximação de Wigner-Weisskopf e Métodos no Espaço de Fase. Trajetórias Quânticas (Quantum Jumps). Equação de Schrödinger Estocástica. Flutuações como Fontes de Ruídos.

Teorema dissipação flutuação. O Significado da Decoerência. Implicações da Decoerência: Transição entre a Mecânica Quântica e Mecânica Clássica, Origens da irreversibilidade e seta do tempo, Limites para o Processamento de Informação Quântica. Outros tópicos a critério do professor.

### **Bibliografia**

- C. W. Gardiner e P. Zoller, Quantum Noise (Springer, 2000).
- Ph. Blanchard, D. Giulini, E. Joos, C. Kiefer, I. O. Stamatescu, Decoherence: Theoretical Experimental and Conceptual Problems (Springer, 2000).
- W. H. Luisell, Quantum Statistical Properties of Radiation (Wiley, 1973).
- M. Orszag, Quantum Optics (Springer, 2000). D. F. Walls e G. J. Milburn, Quantum Optics (Springer, 1994).

## **FIS-205**

### **TEORIA DE MUITOS CORPOS**

Partículas Idênticas. Segunda Quantização (operador de evolução temporal, expansão em propagadores, teorema de Wick, diagramas de Feynman, auto-energia e correlação, RPA). Funções de Green a temperatura zero. Funções de Green a temperatura finita. Modelos exatamente solúveis. Gás de elétrons. Supercondutividade (Teoria BCS). Gases Quânticos (Hélio líquido, Superfluidez). Outros tópicos a critério do professor.

### **Bibliografia**

- G. D. Mahan, Many-Particle Physics (Plenum, 1981).
- A. L. Fetter and J. D. Walecka, Quantum Theory of Many-Particle Systems (McGraw-Hill, 1971).
- P. A. Martin, F. Rothen, Many-Body Problems and Quantum Field Theory: An Introduction (Springer, 2004).

## **FIS-301**

### **FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES I**

Revisão histórica. As forças fundamentais da Natureza. Detetores e aceleradores de partículas. Simetrias. Princípios de invariância e leis de conservação. Cinemática relativística. Seção de choque e taxa de decaimento. Eletrodinâmica quântica. Regras de Feynman. Espalhamentos Møller, Bhabha e Compton. Aniquilação elétron-pósitron. Interações fracas.

### **Bibliografia**

- D. J. Griffiths, Introduction to elementary particles (John Wiley & Sons, 1987).
- F. Halzen e A. D. Martin, Quarks and leptons (John Wiley & Sons, 1984).
- R. N. Cahn e G. Goldhaber, The experimental foundations of particle physics (Cambridge University Press, 1989).

- D. Perkins, Introduction to High Energy Physics, (Cambridge University Press, 2000).

## **FIS-302**

### **FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES II**

Modelo Padrão das interações eletrofracas. Quebra espontânea de simetria e o bóson de Higgs. Estrutura dos hádrons. Espalhamento inelástico elétron-núcleon. Modelo a partons. O processo de Drell-Yan. Fragmentação de quarks e glúons. Cromodinâmica quântica. Extensões do Modelo Padrão.

#### **Bibliografia**

- F. Halzen, Quarks and leptons (John Wiley & Sons, 1984).
- R. N. Cahn e G. Goldhaber, The experimental foundations of particle physics (Cambridge University Press, 1989).
- D. Perkins, Introduction to High Energy Physics (Cambridge University Press, 2000).
- P. Renton, Electroweak Interactions (Cambridge University Press, 1990).
- V. Barger e R. Phillips, Collider Physics (AddisonWesley, 1987).
- C. Quigg, Gauge Theories of the Strong, Weak, and Electromagnetic Interactions (Addison-Wesley, 1997).

## **FIS-303**

### **TEORIA QUÂNTICA DE CAMPOS I**

Motivações para a Teoria Quântica Relativística. Simetrias, Grupo de Poincaré e Representações. Equações Relativísticas dos Campos Clássicos e o Formalismo Lagrangiano. Simetrias e Leis de Conservação. Quantização Canônica dos Campos Escalar, Espinorial e Vetorial. Campos em Interação e a Matriz S. Formalismo de Redução e Teoria de Perturbações. Eletrodinâmica Quântica e Processos Elementares.

#### **Bibliografia**

- M. Srednicki, Quantum Field Theory (Cambridge University Press, 2007).
- L. Ryder, Quantum Field Theory (Cambridge University Press, 1996).
- W. Greiner, J. Reinhardt, Field Quantization (Springer, 2006).
- M. Kaku, Quantum Field Theory: A Modern Introduction (Oxford University Press, 1993).
- M. Peskin, An Introduction to Quantum Field Theory (Frontiers in Physics, 1995).
- M. Gomes, Teoria Quântica de Campos (Edusp, 2002).
- S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields Vol. I (Cambridge University Press, 1995).

## **FIS-304**

### **TEORIA QUÂNTICA DE CAMPOS II**

Quantização via Integrais de Trajetória e Regras de Feynman para o Campo escalar e o Campo Espinorial. Funções de Green e o Funcional Gerador para os Campos em Interação. Seção de Choque de Espalhamento. Quantização via Integrais de Trajetória para os Campos de Gauge Abelianos e Não Abelianos. Correções Quânticas. Teoria Geral de Renormalização. Grupo de Renormalização. Identidades de Ward. Anomalias. Potencial Efetivo e Quebra de Simetria. Objetos Topológicos em Teorias de Campo. Algumas aplicações em física da matéria condensada.

#### **Bibliografia**

- M. Srednicki, Quantum Field Theory (Cambridge University Press, 2007).
- L. Ryder, Quantum Field Theory (Cambridge University Press, 1996).
- M. Peskin, An Introduction to Quantum Field Theory (Frontiers in Physics, 1995).
- M. Kaku, Quantum Field Theory: A Modern Introduction (Oxford University Press, 1993).
- M. Gomes, Teoria Quântica de Campos (Edusp, 2002).
- S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields Vols. I e II (Cambridge University Press, 1995).

## **FIS-401**

### **ASTROFÍSICA RELATIVÍSTICA**

Estrelas Anãs Brancas: O limite de Chandrasekhar. Observações de anãs brancas, massas e raios. Propriedades térmicas e evolução de anãs brancas. Cristalização. Acreção em anãs brancas e supernovas tipo I: processos físicos nas explosões, deflagrações e detonações, curvas de luz e aplicações na cosmologia. Formação de estrelas de nêutrons por colapso induzido (AIC). Estrelas de Nêutrons: Composição interna (regime de baixas densidades, nêutron drip, saturação das forças nucleares, supercondutividade e superfluidade, equações de estado a altas densidades, medição de massas e raios). Evolução (resfriamento por neutrinos e por fótons, o papel do campo magnético). Pulsares (modelo do dipolo magnético e alternativas, mecanismos de emissão, dinâmica interna e glitches). Buracos negros: Buracos negros de Schwarzschild e de Kerr. Teorema da área e evaporação de Hawking. Acreção sobre buracos negros: acreção esférica, discos de acreção, emissão de raios-X e raios-Gama. Observações indiretas de buracos negros. Gamma Ray Bursts (GRBs): Observações (duração, espectro, distribuição observada, afterglows), Modelos teóricos dos progenitores (colapsars, mergers de estrelas compactas). Mecanismos de emissão (problema da compactidade, modelo da fireball, shocks externos e internos). Ondas Gravitacionais: Fórmula quadrupolar. Fontes astrofísicas de ondas gravitacionais (sistemas binários, oscilações estelares, colisões estelares, supernovas, outras fontes). Detectores interferométricos e mecânicos (Virgo, LIGO, LISA, o detector brasileiro Mario Schemberg). Astropartículas: Mecanismos de aceleração de raios cósmicos. Propagação. O espectro dos

raios cósmicos: knee, ankle, e limite GZK. Detectores de raios cósmicos, chuviscos atmosféricos. Partículas fracamente interagentes: WIMPS, axions, neutrinos, detectores. Matéria escura e energia escura.

### **Bibliografia**

- S. Shapiro & S. Teukolsky, Black holes, white dwarfs, and neutron stars: the physics of compact objects (Wiley & Sons, 1983).
- S. D. Kawaler, G. Srinivasan & I. Novikov, Stellar Remnants (Springer-Verlag, 1997). T. Padmanabhan, Theoretical Astrophysics (Cambridge Univ. Press, 2002).
- Misner, Thorne & Wheeler, Gravitation (Freeman & Co, 1973).
- J. N. Bahcall & J. P. Ostriker, Unsolved problems in astrophysics (Princeton University Press 1997).
- M. S. Longair, High energy astrophysics (Cambridge Univ. Press, 1997).

## **FIS-402**

### **COSMOLOGIA**

Introdução à cosmologia. O espaço-tempo da relatividade geral. Modelos de Friedman-Lemaître-Robertson-Walker. Cosmologia observacional. Big-Bang: o modelo padrão da cosmologia. A história térmica do universo. Problemas do modelo padrão. O universo inflacionário. A radiação cósmica de fundo. Formação de estruturas. Matéria escura. Energia escura. Modelos cosmológicos alternativos. Cosmologia quântica.

### **Bibliografia**

- P. Coles e F. Lucchin, Cosmology: the origin and evolution of cosmic structure (Wiley, 1995).
- F. Dodelson, Modern cosmology (Academic Press, 2003).
- E. W. Kolb e M. S. Turner, The Early Universe (Addison-Wesley, 1990).
- J.V. Narlikar, Introduction to cosmology (Cambridge, 1993).
- T. Padmanabhan, Structure formation in the universe (Cambridge, 1993).
- J.A. Peacock, Cosmological physics (Cambridge, 1998).
- B. Ryden, Introduction to cosmology (Benjamin Cummings, 2002).
- S. Weinberg, Gravitation and Cosmology (John Wiley & Sons, 1972).

## **FIS-403**

### **ESTRUTURA E EVOLUÇÃO ESTELAR**

As equações básicas da estrutura e evolução: conservação do momentum, conservação da energia, transporte de energia por radiação e condução, estabilidade em relação a perturbações locais não-esféricas, transporte de energia por convecção, composição química. As equações diferenciais da evolução estelar: Escalas de tempo e simplificações, condições de contorno, procedimentos numéricos (método de "shooting" e método de

Heney). Atmosferas Estelares: equação de transporte radiativo, composição química e formação de linhas espectrais. Modelos estelares simples: modelos politrópicos, relações de homologia. Propriedades da matéria estelar: Gás ideal com radiação, ionização, gás degenerado de elétrons, equações de estado da matéria estelar, opacidades, produção de energia nuclear, os principais ciclos de queima nuclear, emissão de neutrinos. O início da evolução estelar: formação estelar, critério de Jeans, a formação das protoestrelas, contração pre-seqüência-principal. Evolução química na seqüência principal. Evolução após a seqüência-principal: queima de Helio em estrelas massivas, fase de cefeída, queima de Helio em estrelas de baixa massa, flash de Helio. Evolução a partir da rama horizontal de idade zero. Estrutura de camadas das fases posteriores. Ciclos nucleares e estabilidade das camadas. Fases finais e colapso gravitacional. A evolução do caroço de C-O. Queima de carbono em caroços degenerados. Flash de carbono. Equilíbrio estatístico nuclear. Evolução de estrelas de baixa massa. Colapso do núcleo das estrelas massivas, reflexão do colapso, "trapping" dos neutrinos, reações nucleares avançadas. Explosões de supernovas. Formação de anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros.

### **Bibliografia**

- R. Kippenhahn e A. Weigert, *Stellar structure and evolution* (Springer-Verlag, 1991).
- T. Padmanabhan, *Theoretical Astrophysics* (Cambridge Univ. Press 2002).
- S. Shapiro & S. Teukolsky, *Black holes, white dwarfs, and neutron stars: the physics of compact objects* (Wiley & Sons, 1983).
- S. N. Shore, *The tapestry of modern astrophysics* (Wiley & Sons, 2003).
- D. D. Clayton, *Principles of stellar evolution and nucleosynthesis*, (The University of Chicago Press, 1983).
- G. W. Collins, *The fundamentals of stellar astrophysics*, (Web edition, free, 2003).

---

## **FIS-404**

### **RELATIVIDADE GERAL**

Relatividade restrita. Tensores. Formulação covariante do eletromagnetismo. Fluidos. Variedades diferenciáveis. Derivada covariante. Transporte paralelo e geodésicas. Curvatura e tensores. Princípio de equivalência. Equações de Einstein: as equações de campo da gravitação. Solução de Schwarzschild. Testes experimentais da relatividade geral. Campos gravitacionais fracos. Ondas gravitacionais e radiação gravitacional. Buracos negros e termodinâmica. Buracos negros girantes e carregados. Radiação de Hawking.

### **Bibliografia**

- S. Carroll, *Spacetime and geometry: an introduction to general relativity* (Benjamin-Cummins, 2003).
- R. D'Inverno, *Introducing Einstein's Relativity* (Cambridge, 1980).
- C. Misner, K. Thorne e J. A. Wheeler, *Gravitation*, (Freeman, 1973).
- H. C. Ohanian e R. Ruffini, *Gravitation and Spacetime* (Norton, 1994).
- B.F Schutz, *A First Course in General Relativity* (Cambridge, 1985).

## **FIS-501**

### **COMPUTAÇÃO QUÂNTICA E INFORMAÇÃO QUÂNTICA**

Rudimentos de Teoria da Computação. Limites Físicos do Desempenho de Computadores. Bits Quânticos e Portas Lógicas Quânticas. Circuitos e Algoritmos Quânticos (Algoritmo de Deutsch, Algoritmo de Busca, Fatoração de Shor). Comunicação Quântica (Criptografia Quântica, Codificação Superdensa, Teletransporte). Implementações Experimentais (Sistemas Ópticos, Eletrodinâmica Quântica de Cavidades, Íons Aprisionados, Circuitos Supercondutores, Spins em Semicondutores, Quantum Dots). Computação Quântica Geométrica. Cluster States. Decoerência (Modelos Fenomenológicos). Correção de erros. Introdução a Informação Quântica (Entropia de Shannon, Entropia de von Neumann, Compressão de Dados Quântica, Canais Quânticos). Outros tópicos a critério do professor.

#### **Bibliografia**

- R. P. Feynman, Feynman Lectures on Computation, ed. A. J. G. Hey e R. W. Allen (Addison- Wesley, 1997).
- M. A. Nielsen e I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge University Press, 2000).
- G. Benenti, G. Casati, G. Strini, Principles of Quantum Computation and Information (World Scientific, 2004).
- J. Stolze e D. Suter, Quantum Computing, (Wiley-VCH, 2004).
- D. Bouwmeester, A. Ekert, A. Zeilinger (eds.), The Physics of Quantum Information (Springer, Berlin, 2000).
- J. Preskill. Lecture Notes on Quantum Computation (Caltech, disponível on-line em <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229/>).

## **FIS-502**

### **ÓPTICA QUÂNTICA**

Coerência Quântica. Interação da Radiação com Sistemas atômicos (Modelo de Jaynes-Cummings, Fases Geométricas). Princípios do Laser. Eletrodinâmica Quântica de Cavidades. Campos Propagantes em Arranjos Ópticos (interferometria). Movimento Quantizado de íons aprisionados. Estados não Clássicos da Luz (Produção, Detecção e aplicações em metrologia). Reconstrução de Estados Quânticos. Paradoxo de EPR e teorema de Bell. Distribuições de quase-probabilidade no espaço de fase. Interação de Sistemas Quânticos com o Meio Ambiente. Efeitos Cooperativos. Aplicações Recentes da Óptica Quântica (Resfriamento a Laser, Condensação de Bose-Einstein, Processamento de Informação Quântica e Teletransporte Quântico). Outros tópicos a critério do professor.

#### **Bibliografia**

- V. Vedral, Modern Foundation of Quantum Optics (Imperial College Press, 2005).
- M. O. Scully e M. S. Zubairy, Quantum Optics (Cambridge, 1997).
- M. Orszag, Quantum Optics (Springer, 2000).
- D. F. Walls e G. J. Milburn, Quantum Optics (Springer, 1994).

- W. H. Luisell, Quantum Statistical Properties of Radiation (Wiley, 1973).
- H. M. Nussenzveig, Introduction to Quantum Optics (Addison Wesley, 1974).
- L. Mandel e E. Wolf, Optical Coherence and Quantum Optics (Cambridge University Press, 1995).
- W. P. Schleich, Quantum Optics in Phase Space (Wiley-VCH, 2001).

## **FIS-503**

### **SISTEMAS NANO-ESTRUTURADOS E DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES**

Semicondutores Intrínsecos e Dopados: Ge,Si,GaAs e AlGaAs. Junções p-n: Diodos, Transistores e Células Fotovoltaicas. Nano-estruturas: Heteroestruturas; Técnicas de crescimento epitaxial; litográficas e de caracterização; Teoria da Massa efetiva ou Função Envelope. Sistemas Quânticos Nanoestruturados de baixa dimensionalidade: Poços Quânticos; Diodos de tunelamento Ressonante; Super Redes; Fios Quânticos e pontos quânticos. Propriedades Ópticas e de Transporte em Nanoestruturas: Revisão Experimental e Aspectos Qualitativos; Modelagem e Métodos de Cálculo. Modelagem numérica de propriedades eletrônicas de nano-estruturas.

#### **Bibliografia**

- C. Kittel, Introdução á Física do Estado Sólido (LTC, 2006).
- V. V. Mitin, V. A. Kochelap, M. A. Stroscio. Quantum Heterostructures: Microelectronics and Optoelectronics, (Cambridge University Press, 1999).
- D. K. Ferry, S. M. Goodnick. Transport in Nanostructures (Cambridge University Press, 1997).
- J. Davies, The Physics of Low-Dimensional Semiconductor Physics (Cambridge University Press, 1998).

## **FIS-601**

### **TOPICOS DE FÍSICA I**

Tópicos em áreas de fronteira em física contemporânea. Cada vez que esta disciplina for ministrada o professor deverá apresentar uma ementa, com subtítulo e bibliografia a ser adotada, a Comissão de Pós-Graduação do Programa para avaliação e aprovação.

**Bibliografia:** Sugerida pelo professor cada vez que esta disciplina for ministrada.

## **FIS-602**

### **TOPICOS DE FÍSICA II**

Tópicos em áreas de fronteira em física contemporânea. Cada vez que esta disciplina for

ministrada o professor deverá apresentar uma ementa, com subtítulo e bibliografia a ser adotada, a Comissão de Pós-Graduação do Programa para avaliação e aprovação.

**Bibliografia:** Sugerida pelo professor cada vez que esta disciplina for ministrada.

## **FIS-602**

### **TOPICOS DE FÍSICA III**

Tópicos em áreas de fronteira em física contemporânea. Cada vez que esta disciplina for ministrada o professor deverá apresentar uma ementa, com subtítulo e bibliografia a ser adotada, a Comissão de Pós-Graduação do Programa para avaliação e aprovação.

**Bibliografia:** Sugerida pelo professor cada vez que esta disciplina for ministrada.

## **FIS-701**

### **CRISTALOGRAFIA DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X**

Espectro eletromagnético e produção de radiação; Características da radiação - raios X; Estado cristalino; espalhamento de raios X por átomos e moléculas; Difração de raios X por cristais; Determinação de grupos espaciais; Métodos experimentais para coleta de dados de difração; Intensidades difratadas; Determinação de estruturas; Análises pelo método de Rietveld; Aplicações: estudos de materiais cristalinos e não cristalinos; Radiação síncrotron: características e aplicações.

#### **Bibliografia**

- Boris K. Vainshtein , Modern Crystallography 1: Fundamentals of Crystals. Symmetry, and Methods of Structural Crystallography (Modern Crystallography), Springer; 2 edição (2003).
- Michael M. Woolfson , An Introduction to X-ray Crystallography , Cambridge University Press; 2 edição (2003).
- B.D. Cullity, S.R. Stock, Stuart Stock , Elements of X-Ray Diffraction, Prentice Hall; 3 edição (2001).
- R. Jenkins, R. Snyder, Introduction to X-ray powder diffraction, John Wiley & sons (1996).

## **FIS-702**

### **PROPRIEDADES TÉRMICAS, ELETRÔNICAS E MAGNÉTICAS**

Propriedades Elétricas: Condução Elétrica em metais, isolantes, semicondutores, Cerâmicas Iônicas e em Polímeros; Comportamento Dielétrico; Ferroelectricidade; Piezoelectricidade; Supercondutividade. Propriedades Térmicas: Capacidade Calorífica; Expansão Térmica; Condutividade Térmica; Parâmetros Termodinâmicos. Propriedades Magnéticas: Campo

magnético; Magnetização e momento magnéticos; Medidas magnéticas; Materiais magnéticos; Magnetismo em materiais: diamagnéticos, paramagnético, ferromagnético, antiferromagnético, ferrimagnético; Curvas de histerese: domínios, anisotropia, processos reversíveis e irreversíveis; Ordem magnética e fenômeno crítico; Teoria quântica do magnetismo. Técnicas experimentais de caracterização dessas propriedades físicas como função de parâmetros termodinâmicos.

### **Bibliografia**

- Robert C. O'Handley, Modern Magnetic Materials: Principles and Applications, Wiley-Interscience (1999).
- Allan H. Morrish, The Physical Principles of Magnetism, Wiley-IEEE Press (2001).
- William D. Callister Jr. "Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução" - Ed. LTC 2002 (5ª ed.).
- Sérgio M. Rezende "A Física de Materiais e Dispositivos eletrônicos" - Ed. UFPE 1996. Rolf E. Hummel "Understanding Materials Science" ? Ed. Springer 1998.

## **FIS-703**

### **FUNDAMENTOS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA**

Noções de óptica eletrônica. Lentes magnéticas. Microscópio eletrônico de transmissão (MET): fonte de elétrons; sistema de iluminação; sistema de formação da imagem; aberrações de lentes; poder de resolução e profundidade de campo e foco; formação do diagrama de difração e da imagem. Microscópio eletrônico de varredura (MEV): sistema óptico-eletrônico; interação feixe-amostra. Formação de imagens no microscópio eletrônico de transmissão. Microanálise: descrição do método; espectro característico de emissão de raios-X; espectroscopia por dispersão de energia (EDS) e por dispersão de comprimento de onda (WDS); microanálise por raios-X em MET e MEV; microanálise por perda de energia de elétrons (EELS). Fatores instrumentais. Contraste: de massa e espessura; de difração e de fase. Microscopia eletrônica de transmissão e de varredura (STEM). Microscopia eletrônica analítica. Interpretação da imagem eletrônica de transmissão e de varredura. Aulas práticas de preparação de amostras e observações experimentais nos microscópios eletrônicos. Seminários.

### **Bibliografia**

- C.E. Hall - Introduction to Electron Microscopy. McGraw-Hill Book Co., New York, 1966.
- O.C. Wells - Scanning Electron Microscopy. McGraw Hill Book Co., New York, 1974.
- L.M. Reimer - Transmission Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis. Springer-Verlag, 1984.
- M.A. Hirsch et al - Electron Microscopy of Thin Crystals. Butterworths, London, 1985.
- D.E. Newbury et al - Advanced Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Plenum Press, Second Edition, New York, 1987.

## **FIS-704**

### **ESPECTROSCOPIA ÓPTICA**

Equações de Maxwell. Ondas Eletromagnéticas. Visão Clássica da Interação Radiação-Matéria. Radiação de dipolo. Osciladores Elétricos. Dielétricos. Índice de refração. Coeficiente de absorção. Espalhamento de luz e rotação óptica. Teoria de perturbação e espalhamento. Interação radiação com a matéria: potencial vetor, transição de dipolo, coeficientes de Einstein. Densidades de modo e radiação de Planck. Regras de seleção. Espectros eletrônicos. Efeito Zeeman. Efeito Stark. Absorção. Fluorescência. Espectroscopia vibracional. Espectroscopia resolvida no tempo. Princípios de operação de lasers. Saturação. Alargamento Doppler. Alargamento colisional. Espectroscopia sub-Doppler. Espectroscopia optoacústica e opto-galvânica.

#### **Bibliografia**

- Rodney Loudon. The Quantum Theory of Light. (3a. ed., Oxford University Press, 2000).
- H. Kuzmany. Solid-State Spectroscopy. (Springer, 1998).
- Nikolai V. Tkachenko. Optical and instrumentations: methods and instrumentations. (Elsevier, 2006).
- Donald L. Pavia et al. Introduction to spectroscopy. (4 ed. Belmont: Brooks/Cole; Cengage learning, 2009).
- Wolfgang Demtröder, Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation, (3rd ed., Springer, 2003).

## **FIS-705**

### **LABORATÓRIO DE FÍSICA NUCLEAR E SUBNUCLEAR**

Teoria: Fontes de radiação e interação da radiação com a matéria. Propriedades gerais dos detectores de radiação. Detectores proporcionais e de Geiger-Mueller. Detectores à cintilação. Fotomultiplicadores. Detectores de semicondutores. Formação e processamento do sinal eletrônico. Funções de Pulso lineares e lógicas. Outros tipos de detectores. Métodos de redução do background. Laboratório: Medidas de raios cósmicos com detectores à cintilação. Medidas de percurso das partículas através de detectores a transporte de elétrons. Medidas de radiação natural com detectores a semicondutores.

#### **Bibliografia**

- G. F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement" (Wiley; 3 ed., 2000).
- W. R. Leo, "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments" (Springer; 2nd ed., 1994).

## **FIS-901**

### **Empreendedorismo, Gestão da Inovação e Propriedade Intelectual**

#### 1) Objetivos:

- Discutir o cenário e as perspectivas dos processos de criação de novos negócios de base tecnológica.
- Facilitar a reflexão sobre o desenho das estratégias de tecnologia e de inovação tecnológica diante das oportunidades oferecidas pelo sistema de CT&I. Tomar conhecimento dos conceitos, processos, ferramentas de gestão de tecnologia e inovação.
- Propiciar uma visão geral sobre os aspectos relacionados à propriedade intelectual e industrial, com ênfase na sua importância como agente estratégico no processo de proteção do conhecimento, contribuindo para a inovação e o desenvolvimento científico e tecnológico.

#### 2) Programa:

- Empreendedorismo: conceitos e oportunidades para novos negócios de base tecnológica. Aspectos gerais de um plano de negócios.
- Conceito de inovação tecnológica: classificações e limites conceituais. Recursos e competências para a geração de inovações tecnológicas. Processos e ferramentas de gestão de tecnologia e de inovação.
- Propriedade Intelectual: conceitos, formas de proteção e importância como ferramenta estratégica de desenvolvimento. Propriedade Industrial: marcas, desenho industrial, indicações geográficas e patentes.

#### **Bibliografia:**

- Empreendedorismo:
  - KOLB, Gloria Ro. FOSSA Medical Business Plan, 2002.
  - ANDREASSI, T. Empreendedorismo Corporativo. GV Executivo, Vol. 4 (3), Ago./Out. 2005.
  - HISRICH, Robert D.; PETERS, Michael. Empreendedorismo. Porto Alegre: Bookman, 2004, cap. 3, pp. 74-93 e cap. 5, pp. 161-185.
  - DOLABELA, Fernando. O segredo de Luiza. São Paulo: Cultura. 1999, cap. 1, pp. 27-50.
- Gestão de Inovação:
  - FUCK, M. P.; VILHA, A. M. Inovação Tecnológica: da definição à ação. Revista Contemporâneos, n. 9, p. 1-21, nov. 2011.
  - FREEMAN, C. & SOETE, L. A Economia da Inovação Industrial. Editora da Unicamp, Campinas/SP, 2008, (introdução).

- OECD – Organization for Economic Co-operation and Development (2006). Manual de Oslo – Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação, OECD – tradução FINEP, Brasília.
- POSSAS, S. Concorrência e Inovação In: PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. Economia da Inovação Tecnológica. São Paulo, Editora Hucitec, 2006.
- TEECE, D. As aptidões das empresas e o desenvolvimento econômico: implicações para as economias de industrialização recente in KIM, L. NELSON. Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências das economias de industrialização recente. Editora da Unicamp, Campinas/SP, 2005 (capítulo 4).
- VILHA, A. M. Relação Universidade-Empresa no Brasil: Reflexões sobre divergências e alinhamentos na formação de arranjos voltados à inovação. In: ZIMMERMAN, Artur. (Org.). Pesquisa na Universidade e o setor produtivo. 1ed.Santo André: Universidade Federal do ABC, 2013, v. 1, p. 145-166.
- VILHA, A. M. Práticas de Gestão de Inovação Tecnológica: proposição de um modelo para pequenas e médias empresas brasileiras. Revista Gestão & Conexões, v. 2, p. 116, 2013.
- BURGELMAN, R.A.; MAIDIQUE, M.A.; WHEELWRIGHT, S. Strategic Management of Technology and Innovation. McGraw-Hill/Irwin Press, New York, 2001, section two, pp. 35-48.
- DODGSON, M. The Management of Technological Innovation. An international and strategic approach. Oxford University Press, 2000, cap. 6, 133-165.
- TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. Managing innovation: integrating technological, managerial organizational change. 3° ed. Wiley, 2005.
- Propriedade Intelectual:
  - SILVEIRA, N. Propriedade intelectual: propriedade industrial; direito de autor; software; cultivares, nome empresarial. Imprensa: São Paulo, Manole, 2011.
  - PIMENTEL, L. O. Propriedade intelectual e universidade: aspectos legais. Florianópolis: Fundação Boiteux, 2005.
  - GORDON, T. T.; Patent fundamentals: for scientists and engineers. Patent Fundamentals : for scientists and engineers / 2 ed, 2000.
  - SCHECHTER, Roger E. Intellectual property : the law of copyrights, patents and trademarks, 2003.
  - IDRIS, K. Intellectual Property - A Power Tool for Economic Growth. WIPO Publication.
  - PIMENTA, E. Dos crimes contra a propriedade intelectual / 2 ed., 2005.
  - Lei N° 9279/1996 – Lei da Propriedade Industrial.