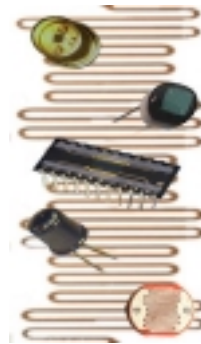
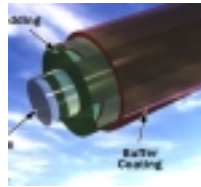


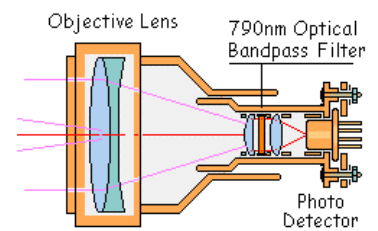
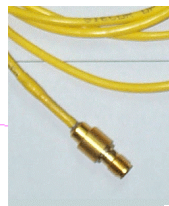
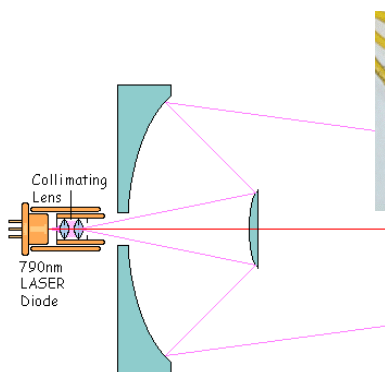
# SECÇÃO DE ELECTRONICA



Passado



Presente



Futuro

I SEL, 2003

# ÍNDICE

---

Secção de Electrónica .....	1
1 Enquadramento .....	3
2 Metodologia .....	3
3 A secção de Electrónica .....	4
3.1 As disciplinas .....	4
3.2 Os docentes .....	5
3.3 Estratégia de formação.....	6
3.4 Conteúdos programáticos .....	7
3.4.1 Disciplinas básicas .....	7
3.4.2 Disciplinas de opção .....	10
3.5 As aulas laboratoriais.....	13
3.6 A avaliação .....	14
4 Contributos para a profissão .....	15
5 Contributos para investigação e desenvolvimento.....	16
5.1 Grupo de Investigação Aplicada em Microelectrónica, Optoelectrónica e Sensores .....	16
5.2 Resumo de publicações em revistas e em actas de congressos.....	17
6 A electrónica, que futuro?.....	20
7 Optoelectrónica/comunicações ópticas .....	21
7.1 Introdução .....	21
7.2 Optoelectrónica-Disciplina de opção (L/M) .....	22

# 1 ENQUADRAMENTO



A *electrónica* faz parte do nosso dia a dia, estando associada a uma diversidade de tópicos. Quando falamos de transferência de informação, de computadores, de “chipes”, de televisão e vídeo, de telemóveis ou de novas tecnologias, sentimos que a *Electrónica* está presente. A sociedade necessita não só de profissionais qualificados capazes de lidar com sistemas complexos mas também de profissionais capazes de se ocuparem com os componentes que realizam esses sistemas. Compreender o comportamento físico dos dispositivos electrónicos e interpretar a sua acção em circuitos complexos, deverá constituir uma prioridade na formação de base em electrónica.

A descoberta do transístor (1948) constituiu um marco importante dividindo a história da electrónica em dois períodos: “era dos tubos de vácuo” e “era dos transístores”. No passado a electrónica foi entendida como “uma ciência e tecnologia que se ocupa do movimento de carga num gás, no vácuo ou num semiconductor”. Actualmente é considerada a ciência dos quatro “C’s”: *comunicação*, *computação*, *controlo* e *componentes*. Encontra-se associada ao processamento de informação e identifica-se com a microelectrónica e com toda a tecnologia de circuitos integrados, *IC’s*. Com esta tecnologia produzem-se circuitos que contêm mais do que um milhão de componentes integrados numa pastilha de silício, o *chipe*. A área de um chipe ronda os 60 mm<sup>2</sup> sendo a densidade de componentes integrados da ordem de 30000 componentes/mm<sup>2</sup>. A um chipe pode corresponder um computador digital completo, o microcomputador, ou um microprocessador.

Comunicar e longa distância, de qualquer ponto da Terra ou a partir de milhões de quilómetros no espaço, é a realidade actual e deve-se também aos avanços da electrónica e principalmente à tecnologia do circuito integrado. No futuro, prevê-se que os quatro C’s que caracterizam a electrónica, funcionem em unísono, caminhando para a “*era da electrónica inteligente*” .

A *electrónica*, para além das aplicações industriais tradicionais, revolucionou o nosso dia a dia. Permite, armazenar, manipular, reconstituir e transmitir informação. No futuro será comparável ao motor eléctrico actual: “não se dá por ele”.

Estatísticas e projecções apontam para o grande impacto da *microelectrónica* nos tempos que se avizinham. Apostar na electrónica e nas tecnologias que lhe estão associadas quer a nível de formação quer a nível de investigação e desenvolvimento, deverá ser uma aposta prioritária na organização curricular das licenciaturas afins (engenharia electrotécnica ou engenharia informática e de computadores).

## 2 METODOLOGIA

A *formação básica*, começa pela física do semiconductor, e acaba nos circuitos e sistemas, passando pelos dispositivos e correspondentes modelos. Como *complemento*, e em regime obrigatório ou de opção e com diferentes graus de profundidade, tratam-se a noção de circuito integrado, os processos tecnológicos associados à microelectrónica, o desenho e a simulação e teste de circuitos integrados específicos.

A *abordagem dos temas* é progressiva e de acordo com o grau de maturidade dos estudantes e seu enquadramento nos respectivos cursos. Os conceitos são introduzidos através de técnicas analíticas familiares e cálculos numéricos extremamente simples, para rápido entendimento do comportamento do dispositivo ou sistema analisados. É estimulada a utilização de software de simulação de dispositivos e sistemas. A componente teórica é acompanhada de exemplos práticos e a componente laboratorial é fortemente apoiada, tendo em vista a integração rápida dos futuros engenheiros no mercado de trabalho ou a sua progressão em cursos de pós-graduação.

A *pedagogia* utilizada consiste em, numa fase inicial, motivar o aluno para o entendimento qualitativo das propriedades dos semicondutores e seu relacionamento com o funcionamento isolado de cada dispositivo. Posteriormente, interligam-se os diferentes dispositivos entre si de forma a formar circuitos integrados que realizem determinadas funções e analisam-se características de entrada e saída. Finalmente, desenha-se, simula-se e testam-se dispositivos e circuitos reais, e explicam-se as suas limitações práticas.

O processo de *aprendizagem* e *motivação* do estudante para a electrónica moderna depende dos recursos humanos e laboratoriais das instituições. A formação académica e profissional do corpo docente, os seus interesses e envolvimento em projectos de investigação e desenvolvimento, influenciam a participação dos estudantes e a oferta de disciplinas de especialização.

## 3 A SECÇÃO DE ELECTRÓNICA

### 3.1 As disciplinas

O grupo de disciplinas da secção de electrónica inclui as disciplinas de electrónica básica e de tecnologias da microelectrónica. São disciplinas de âmbito geral e são idênticas às ministradas em diferentes cursos de licenciaturas em engenharia electrotécnica e computadores.

As *disciplinas* deste grupo distribuem-se por vários semestres lectivos, ao longo dos dois cursos. Na Tabela 1 indicam-se os nomes, códigos, semestres lectivos e cargas horárias semanais. A existência de laboratórios abertos (LA) envolve uma carga horária extra semelhante em todas as disciplinas do grupo abrangido por este relatório.

São evidenciados os conceitos fundamentais subjacentes à operação física, comportamento e desempenho dos principais dispositivos semicondutores usados em circuitos integrados. São analisados circuitos e sistemas digitais básicos e sistemas de amplificação elementares. A componente prática é privilegiada, tendo em conta a sua aplicação a um problema específico. É fomentada a interacção com grupos de disciplinas afins, como por exemplo, programação, análise de circuitos, sistemas digitais e electrónica aplicada.

Tabela 1- Disciplinas leccionadas nas licenciaturas em Engenharia de Sistemas de Telecomunicações e de Electrónica (LESTE) e em Informática e Computadores (LEIC) do ISEL.

Nome	Código		Sem.	Horas Semanais			
				T	TP	P	Total
Introdução à Teoria Circuitos	ITC	LEIC	1ª		1.5	3.0	4.5
Física dos Semicondutores	FS	LEIC	2º	3.0	1.5	LA	4.5
Física Aplicada à Electrotecnia	FAEI	LEIC	3ª	3.0	1.5	1.5	6.0
Física Aplicada à Electrónica	FAE	LESTE	1º		4.5		4.5
Electrónica I	EI	LESTE	2º		4.5	LA	4.5
Electrónica II	EII	LESTE	3º	3.0	3.0	LA	6.0
Circuitos Integrados	CI	LEIC/LESTE	9º		4.5	LA	4.5
Optoelectrónica	Opto	LEIC/LESTE	10º		4.5	LA	4.5
Proc. Tecnológicos da Microelectrónica	PTM	LEIC/LESTE	10º		4.5	LA	4.5
Sensores e Transdutores	ST	LEIC/LESTE	10º		4.5	LA	4.5

### 3.2 Os docentes

Na secção de Electrónica prestam serviço 16 docentes e 2 encarregado de trabalhos. Representam 14,5% dos docentes do DEETC e leccionam uma média de 164 h semanais. Deles, 13% são professores coordenadores, 54% professores adjuntos e 33% assistentes.

Na Tabela 2, elencam-se os seus nomes, categorias, grau académico e tipo de contrato.

Tabela 2 Nomes, categorias, grau académico e tipo de contrato (DE-dedicação exclusiva, TI-tempo integral, TP-tempo parcial).

Nome	Categoria	Grau Académico	Tipo de Contrato
Manuela Vieira	Professora Coordenadora c/agregação	Doutora	DE
Alessandro Fantoni	Professor Adjunto	Doutor	DE
Fernando Rodrigues Teixeira	Professor Adjunto	Licenciado	DE
João Manuel Ferreira Martins	Professor Adjunto	Mestre	DE
Reinhard Host Schwarz	Prof. Associado (IST).	Doutor	TP(30%)
António de Almeida Marques	Eq. Professor Adjunto	Licenciado	TP (60%)
António Filipe Trindade Maçarico	Eq. Professor Adjunto	Licenciado	DE
Luís Miguel Tavares Fernandes	Eq. Professor Adjunto	Licenciado	DE

Manuel Augusto Vieira	Eq. Professor Adjunto	Licenciado	TP (60%)
Fernando dos Santos Azevedo	Eq. Professor Adjunto	Mestre	DE
Paula Maria Garcia Louro Antunes	Eq. Professor Adjunto	Mestre	DE
António Júlio Anes Duarte Nogueira	Eq. Assistente do 2º T	Licenciado	TP (30%)
Donatello Brida	Eq. Assistente do 1º T	Licenciado	DE
João Pedro Costa	Eq. Assistente do 1º T	Licenciado	DE
Luís Miguel Maia Bravo da Mata	Eq. Assistente do 1º T	Licenciado	TP (60%)
Manfred Niehus	Eq. Assistente do 1º T	Licenciado	DE
Hugo Silva	Encarregado de Trabalhos	Bacharel	TI
Pedro Sousa	Encarregado de Trabalhos	Bacharel	TI

A *formação de base* destes docentes é diversificada e foi obtida em diferentes instituições. Sendo a maioria diplomada por universidades ou institutos portugueses (IST-UTL, FCT-UNL, FC-UCL, ISEL-IPL), existem licenciados por universidades estrangeiras (universidades de Estugarda e Colónia, na Alemanha e universidades de Roma e Pisa, em Itália). O corpo docente é constituído por 8 engenheiros electrotécnicos, 3 engenheiros de materiais, 4 físicos e 1 matemático.

Estes docentes realizaram *pós-graduações* em diferentes sub-áreas de conhecimentos: Engenharia Electrotécnica e de Computadores e Engenharia de Materiais, com especialidades em materiais semicondutores e microelectrónica.

A coexistência de *diferentes formações* assegura a transversalidade da Electrónica enquanto área de formação básica. Esta multidisciplinaridade traduz-se na inovação nos conceitos ministrados e diversidade na transmissão de conhecimentos.

### 3.3 Estratégia de formação.

As unidades curriculares da secção interligam-se, constituindo um todo coerente, e progridem em grau de exigência e maturidade de acordo com as diferentes fases da aprendizagem.

Numa primeira fase (FAE, ITC) pretende-se motivar os alunos para a electrónica. Nesta fase, aqui designada por "*brincar com a electrónica*", os alunos familiarizam-se com a electrónica elementar (componentes discretos, montagem de sistemas elementares lineares e não lineares) e com técnicas de instrumentação e medida. Os conceitos físicos são introduzidos progressivamente e sempre tendo por base a realização experimental. Os alunos são fortemente apoiados sendo, contudo, incentivada a criatividade.

Na segunda fase (EI, FS), designada por "*sentir a electrónica*", os alunos são confrontados com a análise do comportamento dos materiais e dispositivos e a física subjacente ao seu funcionamento. São introduzidos conceitos básicos da micro e macro-electrónica, e analisado o comportamento dos principais dispositivos utilizados nos

circuitos integrados. O seu desempenho é testado do ponto de vista teórico-prático e comparado com os resultados obtidos através de simulação numérica utilizando simuladores convencionais. Utilizando os conceitos apreendidos é fomentada a realização de montagens experimentais direccionadas para aplicações convencionais.

A fase seguinte, "*viver a electrónica*", é direccionada para aplicações reais da electrónica e microelectrónica. Analisam sistemas mais complexos (digitais e analógicos) concentrando o estudo na operação e desempenho das principais tecnologias de circuitos integrados, FET (CMOS, NMOS) e BJT (TTL, ECL) e nos circuitos e sistemas amplificadores. É dado especial ênfase às propriedades dos andares de amplificação básicos com BJTs e FETs .

A fase terminal, "*complementar e aplicar a electrónica*", é optativa, e direccionada para o conhecimento profundo da microelectrónica, do ponto de vista do processamento de materiais e dispositivos semicondutores, tecnologias da microelectrónica, sensores transdutores, integração em pequena, média e grande escala e sistemas VLSI. Esta fase pode ser complementada através do projecto final de curso oferecido anualmente a cada licenciatura.

### **3.4 Conteúdos programáticos**

Os dispositivos e materiais semicondutores são a base de toda a indústria da electrónica. O conhecimento dos fundamentos da electrónica, e dos dispositivos a ela associados, constitui uma base essencial para um futuro engenheiro na área das telecomunicações, electrónica e computadores.

Os conteúdos programáticos podem ser agrupados em dois tipos diferentes de unidades curriculares:

#### **3.4.1 Disciplinas básicas**

As disciplinas básicas cumprem a função de iniciar os alunos na electrónica moderna, encaminhando-os para o entendimento da tecnologia dos circuitos integrados. Familiarizam os alunos com os dispositivos electrónicos fundamentais e suas aplicações específicas. Durante o processo de aprendizagem, tenta-se desenvolver uma base laboratorial sólida, com conhecimento das principais ferramentas de trabalho (instrumentação e simulação) e técnicas (montagem e teste).

São consideradas disciplinas básicas, as mencionadas nas fases brincar, sentir e viver a electrónica. Para cada uma das disciplinas e cursos, vamos apresentar os objectivos e tópicos que lhes estão associados. A título de exemplo mostram-se algumas aplicações desenvolvidas pelos alunos nessas disciplinas.

#### **Física Aplicada à Electrónica / Introdução à Teoria de Circuitos**

*Objectivos:*

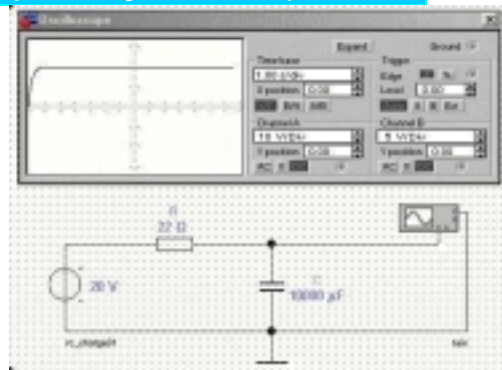
Sistematizar e consolidar conhecimentos adquiridos direccionando-os para a compreensão dos fenómenos eléctricos subjacentes à implementação de circuitos e sistemas electrónicos. Familiarizar a componente de instrumentação e medida e desenvolver aplicações concretas.

### Tópicos:

Conceitos básicos de física para engenharia: forças, campos, potenciais e energia; materiais electrónicos; balística electrónica. Instrumentação e medida: introdução à prática e às técnicas laboratoriais; aparelhos de medida; componentes discretos. Circuitos e sistemas lineares: circuitos resistivos, capacitivos e indutivos; lei de Ohm; métodos de análise de circuitos; elementos armazenadores de energia; resposta natural e forçada em circuitos RL e RC. Circuitos e sistemas não lineares: análise de circuitos não lineares; características de transferência; regime estático e dinâmico; simulação numérica. Aplicação prática específica: planificação, realização, simulação e teste.

### Realizações:

#### Descarga de um condensador (simulação e teste)



### Pré-requisitos:

Não existem.

## Electrónica I / Física dos Semicondutores

### Objectivos:

Análise física das propriedades dos materiais e dos dispositivos semicondutores. Abordagem dos conceitos fundamentais subjacentes à operação física, comportamento e desempenho de dispositivos semicondutores básicos e das suas características quando integrados em circuitos.

### Tópicos:

Física dos semicondutores: materiais semicondutores e dieléctricos; bandas de energias; equações de equilíbrio. Transporte nos semicondutores: efeito da temperatura e dopagem; propriedades optoelectrónicas; correntes de difusão e deriva; mobilidade, condutividade e fotocondutividade. Díodos de junção PN: processos de fabrico e características simplificadas; modelos equivalentes estáticos e dinâmicos; tipos de díodos e suas características. Circuitos com díodos: o díodo como elemento do circuito; circuitos rectificadores e filtragem; circuitos limitadores, comparadores e reguladores; portas lógicas com díodos (DL); dispositivos optoelectrónicos; circuitos SCR, TRIAC e díodos de quatro camadas. Transístor de junção bipolar e de efeito de campo (JFET, MISFET, MOSFET): processos de fabrico e características simplificadas; componentes de corrente e tensão; modelos equivalentes estáticos e dinâmicos; tipos de transístores e suas características.

### Pré-requisitos:

Física Aplicada à Electrónica/Introdução à Teoria de Circuitos.

Realizações:

**Placa de aquisição de sinal e controlo**  
baseada em microcontrolador PIC 16C876 com comunicação com PC via RS232



## Electrónica II

*Objectivos:*

Análise do desempenho de dispositivos semicondutores à luz da micro/macro-electrónica. Estudo do comportamento dos dispositivos enquanto componentes discretos de circuitos ou integrados em sistemas: digitais; amplificadores; de aquisição de dados e de processamento de sinais.

*Tópicos:*

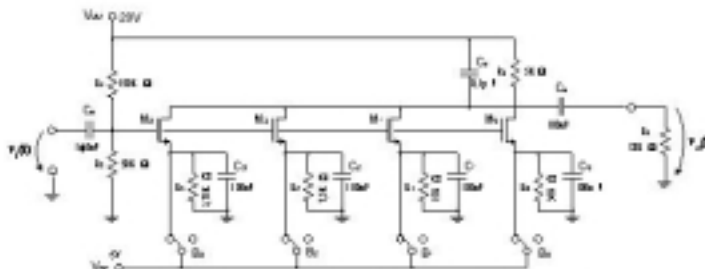
Circuitos com transístores: amplificador emissor comum, base comum e seguidor de emissor, amplificador fonte comum, dreno comum e porta comum, portas lógicas: RTL, DTL, TTL, ECL, NMOS, CMOS. Circuitos típicos: resistência controlada por tensão (VCR), circuitos comutadores, inversores, amplificadores de vários andares, configuração Darlington, polarização activa, fontes de corrente, par diferencial, outras configurações. Tecnologia de circuitos integrados: processos de fabrico e encapsulamento, transístores bipolar e de efeito de campo, tecnologia CMOS (contactos, resistências, condensadores, díodos, transístores), *layouts* de circuitos integrados.

*Pré-requisitos:*

Electrónica I, Análise de Circuitos I, Sistemas digitais.

*Realizações*

### **Amplificador c/ Controlo de Ganho Digital**



**Parâmetros dos dispositivos activos NMOS:**

Par. transcondutância:  $K' = 110 \times 10^{-6} \text{ AV}^2$

Tensão de *threshold*:  $V_t = 0.8 \text{ V}$

Comprimento de canal:  $L_0 = L_1 = L_2 = L_3 = 1 \mu\text{m}$

Largura de canal:  $W_0 = 10 \mu\text{m}$ ;  $W_1 = 20 \mu\text{m}$ ;  $W_2 = 40 \mu\text{m}$ ;  $W_3 = 80 \mu\text{m}$ ;  $W_k = 2^k \cdot W_0$

## Física Aplicada à Electrotecnia

### *Objectivos:*

Sistematizar e consolidar conhecimentos adquiridos direccionando-os para a análise e implementação de circuitos e sistemas electrónicos básicos, analógicos e digitais, Fornecer os conhecimentos associados ao desenvolvimento de sistemas de interface mais comuns para integração em sistemas dedicados baseados em processadores.

### *Tópicos:*

Técnicas de análise e aplicação dos dispositivos electrónicos de semicondutor: circuitos com transístores de junção bipolar e transístores de efeito de campo. Configurações básicas de andares de amplificação.

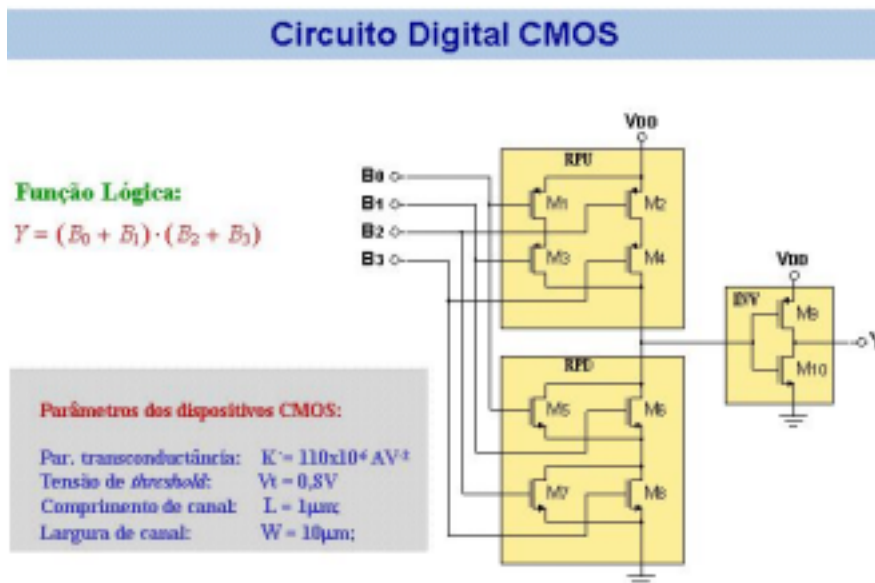
Introdução às tecnologias de microelectrónica. Tecnologias e passos de fabricação de circuito integrado monolítico. Regras básicas de projecto e parâmetros de processo.

Circuitos de aquisição e processamento de dados, seu desempenho e especificações dos fabricantes: amostragem com retenção, conversão analógico-digital e digital-analógico. Transdutores, circuitos de interface, condicionamento de sinal e seus aspectos específicos. Osciladores. Comparadores. Reguladores de tensão, conversores AC-DC e DC-DC. Circuitos de interface para controlo de motores DC e passo a passo, sistemas de potência, linhas telefónicas, etc. Aplicações com demonstração experimental em laboratório.

### *Pré-requisitos:*

Física dos Semicondutores, Introdução à Teoria dos Circuitos e Sistemas Digitais.

### *Realizações*



### **3.4.2 Disciplinas de opção**

As disciplinas de opção complementam a formação em electrónica básica e são direccionadas para a tecnologia de circuitos integrados, sensores e transdutores, processamento de materiais e dispositivos e energia fotovoltaica.

## Circuitos Integrados (CI)

### Objectivos

Familiarização com os circuitos integrados de aplicação específica (ASIC) e com as tecnologias associadas ao projecto de circuitos integrados.

### Tópicos:

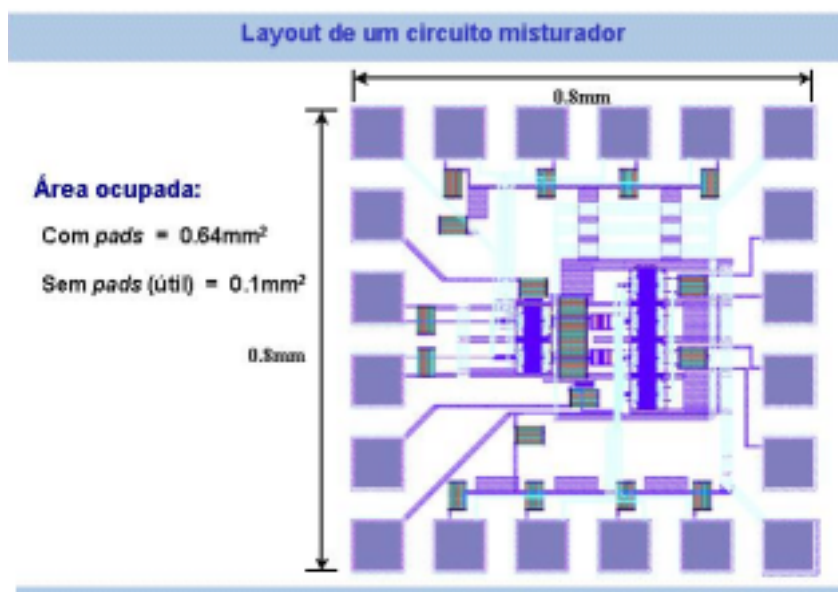
Projecto assistido por computador de circuitos digitais. Ferramentas de apoio às várias fases do projecto: especificação do sistema a diferentes níveis de abstracção e domínios de representação.

Circuitos integrados de aplicação específica: principais tecnologias e caracterização do fluxo de projecto. ASIC programável do tipo FPGA: utilização, estrutura e produtos disponíveis. Ambiente de trabalho. Breve abordagem aos aspectos económicos dos ASIC e à sua importância na protecção ao investimento em projecto de *hardware*. Processos no fluxo de projecto de circuitos integrados: especificação, síntese lógica, simulação, colocação e interligação, verificação e teste. Exemplos. Linguagem de descrição de *hardware* VHDL (norma IEEE). Implementação sobre FPGA de um circuito utilizando VHDL.

### Pré-requisitos:

Física Aplicada à Electrotecnia, Electrónica Digital e de Interfaces, Programação.

### Realizações



## Processos Tecnológicos da Microelectrónica

### Objectivos:

Familiarização com os sistemas produtivos e as tecnologias associados à indústria da microelectrónica visando a produção de dispositivos vocacionados.

### Tópicos:

Sistemas de produção de dispositivos semicondutores: câmara limpa, limpeza e manuseamento em tecnologias na ordem do micrón, tecnologias de vácuo e técnicas de deposição. Tecnologias e processos de fabrico de circuitos integrados: Tipos de circuitos integrados: *full-custom*, *standard-cell* e *gate-array*.

Ferramentas e fluxo de projecto: editores de implantação física (*layout*); verificação geométrica e critérios de projecto; parâmetros eléctricos; espaço/tempo; escalonamento. Colocação e interligação automática: interligações; árvores de distribuição de relógio e de *reset*; simulação eléctrica e teste. Projecto de circuitos mistos e bolachas multi-projecto.

Projecto de um circuito integrado personalizado. Desenho, caracterização e modelação de células básicas para *standard-cell*. Modelos de atraso. Metodologia de projecto *meet-in-the-middle*.

*Pré-requisitos:*

Física Aplicada à Electrotecnia, Electrónica Digital e de Interfaces, Programação.

*Realizações*



## *Sensores e Transdutores*

*Objectivos:*

Dotar os alunos com os conhecimentos associados aos sistemas de detecção e medida utilizados no controlo de fenómenos físicos, químicos e outros.

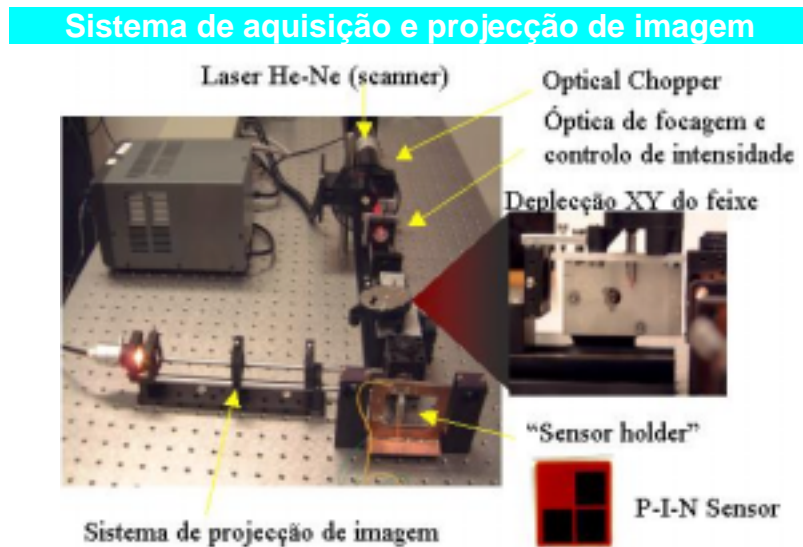
*Tópicos:*

Tecnologias associadas aos sensores. Sensores mais comuns de temperatura, pressão, força, nível, caudal, distância, velocidade, luminosidade e ambiente. Características dos sensores e sua calibração. Especificações ambientais e métodos de ensaio. Aspectos específicos de interface e de condicionamento de sinal: excitação, interferência, blindagem e protecção, filtragem, amplificação, linearização, translação e transmissão. Aplicações.

*Pré-requisitos:*

Física Aplicada à Electrotecnia, Electrónica Digital e de Interfaces, Programação.

Realizações:



### 3.5 As aulas laboratoriais

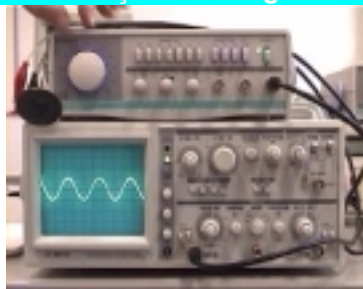
A *componente de experimentação* acompanha as fases de aprendizagem. Os trabalhos práticos são elaborados por forma a abranger os vários campos de estudo dos dispositivos electrónicos e sua aplicação. Desta forma num mesmo trabalho estão englobados a análise teórica e a comprovação prática recorrendo tanto a ferramentas de simulação como a técnicas de análise em laboratório.

O *método pedagógico* privilegia a realização de exercícios e de projectos, concretizados em laboratório (<http://www.deetc.isel.ipl.pt/>). Para tal, os laboratórios de suporte às várias disciplinas, funcionam em regime livre com apoio docente, *laboratórios abertos*, ou em regime assistido, no horário da disciplina, *aulas de laboratório*. Estes dois regimes permitem a consolidação dos conceitos apreendidos nas aulas teóricas e práticas.

As *aulas de laboratório assistidas* são direccionadas para a análise e implementação de circuitos e sistemas electrónicos básicos, usando dispositivos semicondutores discretos e/ou integrados. Apela-se para a compreensão dos fenómenos físicos subjacentes ao comportamento dos dispositivos estudados, durante as aulas teórico-práticas. São aulas de laboratório convencionais. Montam-se os diversos circuitos em placas de teste, analisa-se o seu comportamento com o auxílio de equipamento de teste e medida. Comparam-se os resultados experimentais com os expectáveis (análise numérica ou simulação). Esta abordagem fornece experiência na utilização de equipamento convencional (utilizado em laboratórios industriais e/ou de investigação), e consciencializa os alunos para o comportamento dos componentes reais (algumas vezes bastante diferentes do ideal).

A figura que se segue ilustra trabalhos experimentais realizados por alunos nas aulas laboratoriais.

Campo eléctrico existente na vizinhança da rede de distribuição de energia.

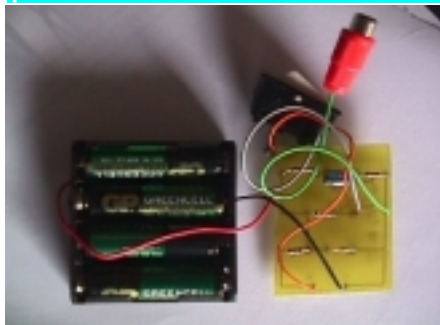


Curva de descarga de um condensador.



Nos *laboratórios abertos*, os alunos têm possibilidade de consolidar os ensinamentos das aulas teóricas e laboratoriais e desenvolver mini-projectos de aplicação específica. A figura que se segue ilustra trabalhos realizados por alunos em regime de laboratório aberto.

Acessório sensor de temperatura para multímetro .



Testador de níveis lógicos



Mais exemplos de realização de trabalhos, em regime laboratorial assistido e em regime aberto, podem ser encontrados na página da secção de electrónica em: [http://www.deetc.isel.ipl.pt/electronica/ITC/pratica/index\\_pratica.htm](http://www.deetc.isel.ipl.pt/electronica/ITC/pratica/index_pratica.htm).

Este regime apresenta vantagens para o aluno. Ele é o “gestor do seu próprio tempo” na medida em que gere o tempo de dedicação a cada um dos trabalhos e grau de profundidade de acordo com as suas necessidades (nível de conhecimentos e grau de profundidade pretendidos). Desenvolve a sua criatividade e é livre de confrontar os seus próprios problemas (e soluções) com os de outros colegas. Outra vantagem reside no facto do aluno ter acesso aos docentes de disciplinas afins, que o ajudam a encontrar a solução do problema e a fortalecer a sua auto-confiança.

### 3.6 A avaliação

A avaliação de conhecimentos é contínua e efectuada através de testes/exames e de trabalhos de índole experimental. A ponderação de cada componente de avaliação na classificação final depende da disciplina.

Nas disciplinas de pendor laboratorial (Física Aplicada à Electrónica e Introdução à Teoria de Circuitos), são realizados trabalhos (4-5), e elaborados relatórios que são analisados e discutidos (individualmente) ao longo do semestre. Cumulativamente, é

efectuado um exame teórico em que são testados os conceitos básicos (teoria) e o desempenho prático (problemas de aplicação numérica).

Nas disciplinas básicas de Electrónica (Electrónica I e Física dos Semicondutores), são realizados testes (2) e mini-testes (2), e aferidos os conceitos teóricos subjacentes à física dos materiais e dispositivos e suas aplicações em circuitos elementares. A avaliação é complementada através de trabalhos abrangentes (2-3) que incluem simulação, técnicas laboratoriais e montagem e teste de uma aplicação baseada em componentes discretos.

A avaliação das disciplinas terminais (Electrónica II e Física Aplicada à Electrotecnia), envolve o conhecimento teórico do comportamento dos dispositivos e a sua aplicabilidade em sistemas discretos e integrados. Os trabalhos (1-2) desenvolvidos são avaliados tendo em conta o seu grau de complexidade, aplicação prática, carácter inovador e fusão de várias tecnologias.

As disciplinas de opção são dinâmicas e a sua avaliação faz-se com base em trabalhos parcelares e seminários. É tida em conta na aferição a capacidade demonstrada para a investigação e desenvolvimento dos temas propostos e sua aplicabilidade.

## 4 CONTRIBUTOS PARA A PROFISSÃO

Os tópicos desenvolvidos são fundamentais para a *formação* dos técnicos de microelectrónica a nível nacional ou internacional.

Estes *tópicos*, revestem-se de importância acrescida para a integração dos futuros engenheiros nas áreas relacionadas com a prestação de serviços, investigação e desenvolvimento e pós graduação a nível de electrónica de componentes discretos e integrados, equipamento de medida, materiais electrónicos, microelectrónica, sensores/transdutores e “displays”.

Na *secção de electrónica*, estudam-se dispositivos semicondutores e analisam-se os circuitos e sistemas digitais básicos bem como sistemas de amplificação elementares.

O *tipo de aprendizagem* adoptado fornece-lhes capacidade de experimentação, investigação e desenvolvimento permitindo a sua fácil integração em equipas multidisciplinares e de projecto.

O *brincar, sentir, viver, complementar e aplicar* a electrónica permite versatilidade de raciocínio face a novas situações. Formam-se profissionais com conhecimentos sólidos no desempenho e funcionamento dos dispositivos semicondutores que poderão ser integrados em equipas de engenheiros de empresas de microelectrónica, produção de materiais e dispositivos, telemática, ou PME de prestação de serviços em equipamentos electrónicos e instrumentação. A formação ministrada é também o ponto de partida para mestrados e doutoramentos na área de engenharia de materiais, microelectrónica, optoelectrónica, electrónica, telecomunicações e biométrica.

## 5 CONTRIBUTOS PARA INVESTIGAÇÃO DESENVOLVIMENTO

### 5.1 Grupo de Investigação Aplicada em Microelectrónica, Optoelectrónica e Sensores



As actividades de investigação e desenvolvimento associadas à secção de Electrónica desenvolvem-se no seio do GIAMOS, Grupo de Investigação Aplicada em Microelectrónica, Optoelectrónica e Sensores. O GIAMOS tem como vertentes de actuação: a realização de actividades de I&D e de apoio a projectos de licenciatura; orientação de mestrados; co-orientação de doutoramentos; e apoio a pós-doutoramentos e estágios.

O *trabalho* realizado foca os domínios dos materiais semicondutores, optoelectrónica, microelectrónica e conversão de energia. Apoia-se em projectos de I&D (nacionais, internacionais e comunitários) e em convénios e protocolos estabelecidos com universidades e instituições congéneres. São *objectivos* do GIAMOS:

Desenvolver e implementar

- sistemas tecnológicos de deposição;
- tecnologia de deposição de películas finas;
- fabrico de dispositivos semicondutores;
- produção de dispositivos da micro/macro-electrónica;
- caracterização e teste de materiais e dispositivos;
- sensores e transdutores;
- dispositivos da optoelectrónica monolíticos e integrados;
- projectos de I&D;
- formação adequada de investigadores para a indústria.

Apoiar

- estágios de fim de curso;
- mestrados, doutoramentos, pós-doutoramentos;
- cursos de formação e estágios de iniciação à investigação;
- a certificação de equipamentos e de sistemas electrónicos.

Uma parte substancial da sua *actividade científica* é desenvolvida no DEETC. É privilegiada a colaboração com secções e grupos afins ou com universidades ou institutos nacionais (IST/Departamento de Física, UNINOVA, FCT/UNL-Departamento de Ciências dos Materiais e Departamento de Electrotecnia, Centro de Física Molecular-UTL) ou estrangeiras (Universidade Técnica de Munique, Universidade de Estugarda, INTI, Universidade da Bahia, IPE).

No âmbito do GIAMOS têm sido desenvolvidas as seguintes actividades:

Produção e caracterização

- Películas produzidas por evaporação térmica. Caracterização eléctrica. Caracterização óptica.

- Películas e dispositivos produzidos por PECVD. Caracterização eléctrica. Caracterização electro-óptica.
- Películas e dispositivos baseados em diamante e NGa. Caracterização eléctrica. Caracterização óptica.
- Películas intrínsecas e dopadas baseadas em a-Si:H. Caracterização estrutural por espectroscopia de infravermelhos.
- Fotodetectores. Caracterização optoelectrónica. Resposta espectral. Características I-V e C-V. Eficiência. Linearidade. Sensibilidade.
- Sensores ópticos de silício de alta velocidade produzidos por crescimento epitaxial.
- Sensores de posição em multi-camada da grande área. Sensores funcionais.
- Dispositivos de escrita/leitura por endereçamento óptico.

#### Montagem e teste

- Equipamento de deposição de películas e sensores de estrutura p-i-n e MIS pela técnica de PECVD.
- Equipamento de caracterização de materiais e dispositivos.
- Equipamento análise e certificação de materiais e dispositivos.
- Sistemas de aquisição e processamento de imagem.

#### Desenvolvimento

- Sensores de imagem. Análise estrutural. Caracterização eléctrica. Caracterização óptica. Simulação e testes. Aquisição e processamento de imagem. Optimização e teste. Estabilidade. Linearidade. Sensibilidade. Responsividade. Relação Sinal/Ruído.
- Novos dispositivos optoelectrónicos.
- Detectores de UV e IV. Caracterização opto-electrónica.
- Sensores de cor. Análise estrutural. Caracterização eléctrica. Caracterização óptica. Simulação e teste.
- Aquisição e processamento de imagem. Optimização e teste. Estabilidade. Linearidade. Sensibilidade. Responsividade. Relação Sinal/Ruído.
- Modelação e simulação em materiais e dispositivos de estrutura p-i-n ou estrutura “tandem”.

## 5.2 Resumo de publicações em revistas e em actas de congressos

Para além na participação na redacção e elaboração dos relatórios técnicos e científicos dos projectos nacionais e internacionais o grupo produziu um conjunto de trabalhos científicos e técnicos publicados em revistas nacionais e internacionais, actas de conferências, simpósios e outros meios de comunicação e disseminação científica.

Sumariam-se as publicações (editadas ou aceites para publicação) elaboradas em revistas nacionais e internacionais, actas de conferências, simpósios e congressos:

- 138 publicações em revistas citadas no *Science Citation Index (SCI)* ou *Index to Scientific & Technical Proceedings (ISTP)*;
- 44 publicações em congressos internacionais com publicação em livro de actas;
- 90 publicações em congressos internacionais com publicação em livro de abstractos e seminários;

- 40 publicações em revistas e congressos nacionais com publicação em livro de actas.

Seguidamente listam-se as revistas, jornais e actas de conferências em que o grupo publica e referidas no *Science Citation Index* (SCI) ou no *Index to Scientific & Technical Proceedings* (ISTP)

- Journal of Non–Crystalline Solids
- IEEE Transactions on Electron Devices,
- Vacuum Tech. Applic. & Ion Phys.
- Journal of Vacuum
- Revue of Scientific Instruments
- Solar Energy Materials and Solar Cells
- Philosophical Magazine
- Thin Solid Films
- Applied Physics Letters
- Material Science Forum
- Química Analítica
- Solid State Electronics
- Mathematics and Computers in Simulation
- The International Society for Optical Engineering
- Material Science & Engineering (B)
- Sensors and Actuators (A)
- Physics of State Solid
- Applied Surface Science
- Vacuum
- Condensed Matter Physics
- Technical Physics Letters
- Physics E
- Journal of Superconductivity
- IEEE Sensor Journal
- Proceedings of Materials Research Society
- Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering
- Proceedings of 1<sup>st</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, WCPEC-IEEE
- Proceedings of SPIE's Photonic Conference
- Proceedings of the International Conf. on Defects in Semiconductors (ICDS)
- Proceedings of 1<sup>st</sup> IEEE International Conference on Sensors

Na tabela e gráfico que se seguem encontra-se a distribuição temporal das publicações em revistas e em actas de conferências ou livro de abstractos.



## 6 A ELECTRÓNICA, QUE FUTURO?

Na segunda metade dos anos 90, um novo desafio foi posto à Electrónica: “ser inteligente”. No século XXI, a Electrónica deveria ir ao encontro das necessidades mais básicas e comuns do dia a dia, transpondo os sectores tecnológicos convencionais em que anteriormente tinha penetrado. Assim, a falta de imaginação é o limite na previsão do que poderá ser o futuro desta área científica e tecnológica. As necessidades básicas são diversas. Podem ir desde o simples papel de escrita electrónico ou etiquetagem e identificação electrónica com carácter massivo, até aos sistemas de pele artificial para fabrico de robôs capazes de actuarem num ambiente não estruturado (lares, hospitais ou ruas). Pelo meio, situam-se aplicações macroelectrónicas tais como: o papel de parede digital; os têxteis inteligentes com aplicações na saúde, no desporto, ou na protecção pessoal; as telhas revestidas a célula solar; os ecrãs de telemóvel, de computador, ou mesmo inseridos no vestuário que se podem enrolar-desenrolar ou dobrar-desdobrar; ou o próprio computador desdobrável, totalmente fabricado sobre plástico.

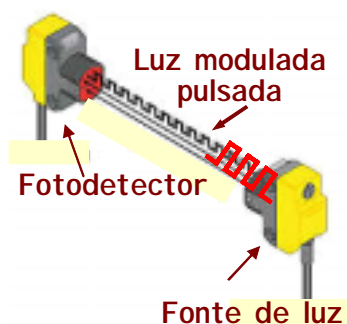
A crescente integração entre a biotecnologia e as tecnologias de informação prosseguirá o seu caminho tendo em vista o fabrico de dispositivos electrónicos para aplicações médicas evasivas, tais como a monitorização do estado de saúde ou a administração *in situ* de fármacos. Os implantes retiniais para sistemas artificiais de visão ou o enderessamento electrónico na separação do DNA para análise genómica, são outros tantos exemplos de projectos científicos e tecnológicos que se encontram numa fase bem mais avançada que a mera especulação.

Implementar as tecnologias já existentes ou desenvolver novas tecnologias deverá ser a preocupação da electrónica moderna. Ultimamente, tem-se apostado fortemente no desenvolvimento de MEMS (Micro Electro Mechanical Systems). Esta nova tecnologia é fundamental para o desenvolvimento da electrónica do século XXI, permitindo fabricar à escala micro e nanométrica os mais variados tipos de dispositivos (acelerómetros, giroscópios, microlentes e microespelhos para monitores digitais de imagem, “scanners”, projectores, etc.).

Tudo indica que a Electrónica continuará a fazer parte do nosso dia a dia. A nossa qualidade de vida e a forma como nos relacionamos com a sociedade depende da Electrónica, e da sua evolução e integração com tecnologias emergentes.

# 7 OPTOELECTRÓNICA/COMUNICAÇÕES ÓPTICAS

## 7.1 Introdução



Optoelectrónica pode ser definida como a ciência que analisa a interacção da luz (numa gama de comprimentos de onda compreendidos entre os 100 nm e os 20  $\mu$ m) com a matéria.

Nos finais do século passado as comunicações ópticas revolucionaram a optoelectrónica. A transmissão de informação através de sinais luminosos é hoje uma realidade.

Para transmitir informação é necessário uma fonte de luz para gerar e modular o sinal luminoso que é transmitido a longa distância através de fibras ópticas. A conversão do sinal luminoso em sinal eléctrico é efectuada através de um fotodetector. As denominadas auto-estradas das comunicações resultaram do desenvolvimento de fibras ópticas pouco dispersivas acopladas a fontes de luz de elevada largura de banda, os lasers, e a fotodetectores extremamente rápidos.

Cada vez mais a optoelectrónica se torna uma área de conhecimento transversal. Ela deve ser estruturada em termos dos desafios futuros. Diferentes áreas de conhecimentos terão de contribuir para a sua compreensão e desenvolvimento. São necessárias as contribuições de áreas de conhecimento diferentes (Matemática, Física, Materiais, Electrónica, Telecomunicações, Informática) embora complementares.

Não basta encontrar a solução de um problema (saber fazer), é necessário compreender (porque se faz), conhecer a tecnologia a aplicar para o solucionar (como se faz), validar a solução (experimentar, testar) e implementá-la com base tecnologias disponíveis para que a solução encontrada possa resolver futuros problemas

Para transmitir a informação através de sinais luminosos há necessidade entender a natureza da luz, de desenvolver fontes de luz e dominar os processos de emissão de radiação (espontânea ou estimulada), sua modulação (analógica ou digital) e as tecnologias e características inerentes aos dispositivos que a emitem (Led's e Lasers). As fibras ópticas são indispensáveis à transmissão do sinal luminoso. São guias de onda em que é imprescindível conhecer as características dos materiais que as constituem, o tipo de fibras existentes (mono e multi-modais) ter noções de óptica (reflecção, atenuação, dispersão, largura de banda, frequência de corte, perdas) e entender a forma de interligar fibras entre si com minimização de perdas na transmissão.

Receber o sinal luminoso e transformá-lo num sinal eléctrico fica a cargo do fotodetector. É fundamental entender o funcionamento de um fotodíodo ou de um fototransistor, isolado ou agrupado numa matriz ("arrays" de fotodíodos), suas características e modos de funcionamento.

Os sistemas de comunicação óptica levam à necessidade de analisar circuitos ópticos capazes de fazerem a transmissão (fontes Laser e Led's, circuitos de modulação) e recepção (de alta e baixa impedância, transimpedância e ruído) do sinal. Entender os sistemas de comunicação através de fibras ópticas (comprimento de onda de funcionamento, acoplamento, multiplexagem, amplificadores e regeneradores ópticos) e ter noções de óptica integrada (dispositivos IO) são fundamentais.

Tendo por base o exposto anteriormente justifica-se a introdução no currículo dos cursos de uma disciplina optativa a Optoelectrónica, a ser oferecida aos alunos de licenciatura ou de mestrado.

## 7.2 Optoelectrónica-Disciplina de opção (L/M)

### *Objectivos:*

Consolidar os conhecimentos de optoelectrónica. Dotar os alunos com os conhecimentos básicos necessários ao entendimento das comunicações ópticas, vocacionando-os para o entendimento dos sistemas optoelectrónicos utilizados para transferência de informação através de sinais luminosos.

### *Tópicos:*

Guias e componentes ópticos: Fibras ópticas, lasers e led's, fotodíodos e elementos passivos.

Circuitos ópticos: Transmissores e receptores ópticos, amplificadores e regeneradores.

Sistemas de comunicação óptica: Modulação digital e analógica, sistemas de comunicação por fibra óptica, óptica integrada, dispositivos IO

### *Pré-requisitos:*

Electrónica II, Electromagnetismo, Fundamentos de Telecomunicações, Propagação I.

### *Bibliografia:*

Optoelectronics, an Introduction,

John Wilson, John Walkes, Prentice Hall, 3ª Ed., 1998.

Fiber Optics Communication and Other Applications

Zanger & Zanger, Merrill 1991.

Fiber Optic Communications

Palais J, Prentice Hall, 4ª ed. 1998.

### *Programa detalhado:*

#### **Guias e Componentes Ópticos**

##### **1 Fibras Ópticas**

- 1.1 Atenuação
- 1.2 Dispersão
- 1.3 Largura de Banda
- 1.4 Modos
- 1.5 Junções

##### **2 Laser**

- 2.1 Material
- 2.2 Emissão
- 2.3 Modos
- 2.4 Modulação
- 2.5 Ruído
- 2.6 Sintonia

### **3 Led**

- 3.1 Material
- 3.2 Emissão
- 3.3 Modulação
- 3.4 Ruído

### **4 Fotodíodo**

- 4.1 Material
- 4.2 Detecção
- 4.3 Ruído

### **5 Componentes Passivos**

- 5.1 Acoplador Direccional
- 5.2 Multiplexer

## **Circuitos Ópticos**

### **6 Transmissores Ópticos**

- 6.1 Fontes Laser
- 6.2 Fontes Led
- 6.3 Circuitos de Modulação

### **7 Receptores Ópticos**

- 7.1 Baixa Impedância
- 7.2 Alta Impedância
- 7.3 Transimpedância
- 7.4 Ruído

### **8 Amplificadores e Regeneradores Ópticos**

- 8.1 Fibra ou Semicondutor
- 8.2 Ganho
- 8.3 Largura de Banda
- 8.4 Ruído
- 8.5 Acoplamento de Fibra Óptica



