



A FÍSICA  
NO BRASIL  
NA PRÓXIMA  
DÉCADA

FÍSICA ATÔMICA, MOLECULAR E ÓPTICA  
FÍSICA BIOLÓGICA, QUÍMICA E MÉDICA  
ENSINO DE FÍSICA  
FÍSICA DE PLASMA

**A FÍSICA NO BRASIL  
NA PRÓXIMA DÉCADA**

**FÍSICA ATÔMICA, MOLECULAR E ÓPTICA  
FÍSICA BIOLÓGICA, QUÍMICA E MÉDICA  
ENSINO DE FÍSICA  
FÍSICA DE PLASMA**

**Sociedade Brasileira de Física  
1990**

530.0981

Sociedade Brasileira de Física.

s678f

A Física no Brasil na Próxima Década.  
São Paulo, Sociedade Brasileira de Física,  
Instituto de Física da USP, 1990.  
pt. ilustr.

Conteúdo: pt.1-Física da Matéria Condensada; pt.2-Física Nuclear, Física de Partículas e Campos e Projetos Interdisciplinares; pt.3-Física Atômica, Molecular e Óptica, Física Biológica, Química e Médica, Ensino de Física e Física de Plasma.

Física - História - Brasil

Física - Investigações

t

## PUBLICAÇÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

### Diretoria 1987/1989

Gil da Costa Marques  
Nelson Studart Filho  
Henrique Lins de Barros  
Adalberto Fazzio  
Wido H. Scheiner  
Suzana de Souza Barros

### Diretoria 1989/1991

Gil da Costa Marques  
Nelson Studart Filho  
José D'Albuquerque e Castro  
Adalberto Fazzio  
Wido H. Schreiner  
Ana Ma. Pessoa de Carvalho

Presidente  
Vice-Presidente  
Secretário Geral  
Secretário  
Tesoureiro  
Secretária para Assuntos de Ensino

### COMISSÃO COORDENADORA

Gil da Costa Marques (Coordenador Geral)

Sergio M. Rezende

Oscar Sala

Carlos O. Escobar

Iberé L. Caldas

Cid B. Araujo

Paulo M. Bisch

Suzana de Souza Barros

Fernando C. Zawislak

Subvencionada por

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico



Financiadora de Estudos e Projetos



### REVISÃO E DIAGRAMAÇÃO

Fernando Luiz C. S. Braga

Laura Junqueira Caldas

### CAPA

Marcelo R. Gussoni

### DATILOGRAFIA

Maria da Graça Braga

## **COMISSÃO DE FÍSICA ATÔMICA, MOLECULAR E ÓPTICA**

**Cid B. de Araújo (Coordenador)**

**C. H. Brito Cruz**

**Jarbas C. de Castro**

**Jason Gallas**

**Sylvio Canuto**

**Vanderley S. Bagnato**

## **COMISSÃO DE FÍSICA BIOLÓGICA, QUÍMICA E MÉDICA**

**Paulo M. Bisch (Coordenador)**

**Amando Ito**

**Cecil Chow Robilotta**

**José Nelson Onuchic**

## **COMISSÃO DE ENSINO DE FÍSICA**

**Susana de Souza Barros (Coordenadora)**

**Arden Zylberztajn**

**Celia Dibar Ure**

**Luiz Carlos de Menezes**

**Rolando Axt**

## **COMISSÃO DE FÍSICA DE PLASMA**

**Iberê Luiz Caldas (Coordenador)**

**Darcy Dillemburg**

**Gerson Ludwig**

**Paulo Hirochi Sakanaka**

## ÍNDICE

### FÍSICA ATÔMICA, MOLECULAR E ÓPTICA

1.Introdução .....	1
2.Física Atômica e Molecular .....	2
3.Óptica.....	15
4.Recomendações.....	59

### FÍSICA BIOLÓGICA, QUÍMICA E MÉDICA

1.Descrição da Área.....	63
2.Situação da Área no País .....	66
3.Perspectivas para a Próxima Década.....	74
4.Recomendações.....	76

### ENSINO DE FÍSICA

1.Introdução .....	93
2.Campo de Estudos .....	93
3.Descrição dos Ensinos Gerais do Ensino de Física.....	94
4.Aspectos Relevantes do Ensino de Física.....	94
5.Notas Sobre os Dados Coletados nas Tabelas .....	96
6.Perspectivas e Problemas da Pesquisa em Ensino de Física como Área Acadêmica.....	114
7.Recomendações.....	115
8.Conclusões.....	118

### FÍSICA DE PLASMAS

1.Descrição.....	121
2.Situação da Área no País .....	124
3.Perspectivas para a Próxima Década.....	141

## APRESENTAÇÃO

O projeto "A Física no Brasil na Próxima Década", cujo resultado é agora tornado público, foi concebido pela Diretoria da Sociedade Brasileira de Física em 1987. Ao longo de quase três anos promovemos amplas discussões com a comunidade científica tendo obtido, de uma parte apreciável da mesma, amplo apoio. Recebemos, de um grupo de mais de 50 físicos atuantes nas suas áreas de pesquisa, não só apoio, mas eficiente colaboração na elaboração dos textos depois de executarem o árduo trabalho de coligir e analisar os dados referentes à Física Brasileira.

O documento contém um quadro atualizado da situação da Física no Brasil hoje, completando assim, o documento anterior da SBF "A Física no Brasil", publicado em 1987, e se propõe a encerrar, acima de tudo, uma orientação prospectiva. Procura apresentar a Física que projetamos para o Brasil amanhã. Pretendeu-se assim, que a comunidade científica e a sociedade em geral tomasse conhecimento e refletisse a respeito dos seguintes tópicos:

- . As direções que as diversas áreas da Física deverão tomar no Brasil e as justificativas para um tal direcionamento.
  - . Os projetos de cada área, independentemente do custo, e que tenhamos competência para realizar.
  - . As necessidades, em termos de recursos humanos, para a realização deste projetos.
  - . O levantamento dos equipamentos existentes em nossos laboratórios, sua adequação, necessidades para sua manutenção e aprimoramento dos mesmos.
  - . Os recursos financeiros para a execução de projetos novos, dos existentes e para aqueles em andamento.
- O levantamento dos recursos financeiros permite determinar quanto deveremos investir para o cumprimento das metas de desenvolvimento da Física no Brasil.

Ao fornecer esses dados, acreditamos que a SBF está adicionando elementos importantes para a formulação de uma política científica e tecnológica para o País. É também uma tentativa de buscar caminhos para a atuação da Comunidade Científica em uma sociedade democrática, e, antes de tudo, um esforço coletivo no sentido de balizarmos o futuro da Física brasileira.

É importante ressaltar que o documento não pretende cercar o surgimento de novos projetos na próxima década. A natureza dinâmica da ciência fará, inevitavelmente, com que surjam novas propostas. Estas, como todas aqui apresentadas, deverão ser analisadas no mérito e em igualdade de condições com as oferecidas neste documento. Alertamos ainda, e de forma mui especial aos órgãos de fomento, para eventuais omissões, apesar do nosso esforço e do esforço das diversas comissões, pois o presente documento pode não conter todos os projetos relevantes da comunidade dos físicos no Brasil.

Finalmente, a Diretoria da SBF agradece aos diversos colaboradores que trabalharam na elaboração do documento e, de uma maneira especial, aos coordenadores das áreas cujo trabalho e dedicação queremos ressaltar e registrar. Agradecemos, também, o apoio financeiro obtido da Finep e do CNPq sem os quais o documento não teria se tornado viável.

Gil da Costa Marques  
São Paulo, 24 de agosto de 1990

# **FÍSICA ATÔMICA, MOLECULAR E ÓPTICA**



## I. INTRODUÇÃO

As últimas décadas presenciaram um desenvolvimento sem precedentes na Física Atômica, Molecular e na Óptica em escala internacional. Graças a descoberta do Laser, ao aprimoramento das técnicas de produção de feixes atômicos e moleculares, assim como à preparação de uma larga variedade de materiais sólidos foi possível a identificação e estudo de uma grande variedade de novos efeitos. Novas técnicas espectroscópicas foram introduzidas possibilitando assim medidas muito precisas de várias grandezas fundamentais e conseqüentemente foram colocados novos desafios do ponto de vista teórico. Uma lista não exaustiva dos novos fenômenos e linhas de pesquisa que têm merecido muita atenção nos últimos anos inclui o estudo da espectroscopia sub-Doppler de átomos e moléculas; o aprimoramento e a manipulação de um pequeno número de átomos e íons; efeitos de fotodissociação molecular e fotoionização atômica; produção e manipulação de átomos gigantes; múltiplos efeitos de interação da luz com a matéria condensada, destacando-se em particular o estudo dos fenômenos ultra-rápidos; observação de efeitos de interação fraca em Física Atômica; produção de estados quânticos do campo eletromagnético; espectroscopia e dinâmica de superfícies; eletrodinâmica quântica de cavidades; estudos básicos de propagação de pulsos eletromagnéticos em sistemas atômicos e em sólidos; produção de íons pesados e estudos de colisões atômicas entre outros efeitos.

Em conseqüência destes estudos básicos e da tecnologia que eles permitiram gerar, ocorreram grandes avanços em diversas áreas tais como a metrologia (estabelecimento de padrões), a optoeletrônica (incluindo aplicações de computação óptica), processamento de imagens, comunicações ópticas entre outras áreas.

Por outro lado, como não poderia deixar de ser, o desenvolvimento científico ocorrido neste período foi fortemente dependente dos avanços tecnológicos ocorridos por exemplo nas áreas de computação eletrônica, criogenia e vácuo que também foram beneficiárias dos estudos básicos mencionados anteriormente.

Para ilustrar melhor a importância destes avanços científicos é conveniente assinalar que o prêmio Nobel foi destinado a vários pesquisadores desta área nas três últimas décadas: C.H. Townes, N.G. Basov e A.M. Prokhorov (invenção do Laser); A. Kastler (métodos ópticos em Física Atômica); D. Gabor (descobrimto da holografia); Y.T. Lee (fotodissociação molecular); N. Bloembergen e A. Schawlow (Óptica Não-Linear, MASER e Espectroscopia a Laser); K. Siegbahn (Espectroscopia fotoeletrônica de átomos e moléculas); N. Ramsey (espectroscopia atômica de alta precisão); B. Dehmelt e W. Paul (confinamento de íons).

No Brasil o período de 1970-1990 também refletiu de certo modo os grandes avanços ocorridos em escala internacional. Durante este período os grupos existentes foram capazes de estabelecer uma infraestrutura mínima e desenvolveram pesquisas básicas e aplicadas em alguns dos principais temas de fronteira. Ocorreu também uma certa descentralização geográfica tendo surgido grupos ativos e competitivos fora do eixo Rio-São Paulo. O número de físicos atuando nas áreas de Física Atômica, Molecular e Óptica cresceu na última década em mais de 300%.

Atualmente pode-se dizer que vários grupos atingiram um nível de maturidade científica que os coloca em posição de destaque na Física Brasileira. De um modo geral todos os grupos existentes têm mantido uma produtividade científica de boa qualidade. Cerca de 200 estudantes estão sendo formados em cursos de Mestrado e Doutorado sendo que a maioria destes programas envolvem projetos de Física Experimental.

Por outro lado, as atividades de pesquisa desenvolvidas em alguns centros estão de certo modo relacionadas com algumas das necessidades da indústria nacional. Existem inclusive alguns exemplos de empresas de alta tecnologia surgidas de dentro da Universidade.

Entretanto, a fase atual é preocupante devido à insuficiência de recursos para a substituição de equipamentos já obsoletos, pela necessidade de um nível mais adequado de financiamento para custeio de laboratórios e pela necessidade de investimento em recursos computacionais.

Esta situação está bem caracterizada no texto a seguir que foi dividido em duas partes: FÍSICA ATÔMICA E MOLECULAR; e ÓPTICA. A situação atual das áreas, os planos e perspectivas para os próximos 5 anos e o montante do investimento necessário estão especificados pelos vários grupos num conjunto de tabelas. A partir da análise da situação são apresentadas recomendações aos órgãos de fomento visando estimular e consolidar a pesquisa nas áreas de Física Atômica, Molecular e Óptica nos próximos anos.

## **2. FÍSICA ATÔMICA E MOLECULAR**

### **2.1. Descrição da Área**

A Física Atômica e Molecular (FAM) tem como objetivo básico estudar as leis fundamentais da física que regem o comportamento da matéria ao nível atômico e

molecular e suas interações com agentes externos tais como o campo eletromagnético e os efeitos de solventes. Evidentemente ao estudar as leis fundamentais de física é necessário o desenvolvimento de equipamentos de alta precisão e métodos sofisticados. Por exemplo, o uso crescente de técnicas ópticas e instrumentação associada ilustra bem este fato. Pela própria natureza a Fam tem grande interface com outras áreas de ciência e tecnologia tais como Astrofísica, Biofísica, Química e Ciência dos Materiais, incluindo aí a área de Polímeros.

Recentemente foi publicada pela "National Academy of Sciences" uma análise das perspectivas da física nos EUA na próxima década. Na área de FAM foi elaborado um levantamento detalhado, com recomendações específicas de apoio para certos programas durante os próximos anos. Uma descrição sucinta das áreas de pesquisas consideradas neste trabalho como meritórias de apoio e com perspectivas de desdobramentos importantes é apresentada a seguir, pois poderá servir de referência aos interessados bem como o balizar uma análise da situação da FAM no País.

No Brasil é grande o número de físicos teóricos em FAM que também pesquisam em Matéria Condensada, em particular na área de semicondutores. Os físicos que trabalham somente em FAM são em número relativamente reduzido mas cresce bastante a interação com fortes grupos de química teórica com sólida formação básica em física quântica.

Algumas áreas ativas no País estão comentadas a seguir.

### **2.1.1. Física Atômica Fundamental**

Problemas incluem os limites da eletrodinâmica quântica (medidas extremamente precisas do momento magnético anômalo do elétron, do pósitron e do deslocamento Lamb do hidrogênio), a natureza das simetrias fundamentais e dos princípios de invariância (CP violado; portanto, existe uma violação de simetria sobre inversão temporal; busca de momento de dipolo elétrico em neurônios); interações fracas e violação da paridade (experiências bem sucedidas em várias espécies atômicas); os fundamentos da mecânica quântica (experiências sobre as desigualdades de Bell mostram que a mecânica quântica é completa); efeitos da gravidade no tempo (desenvolvimento de "relógios" de grande precisão que poderão ser construídos a partir de fons que são aprisionados em armadilhas formadas por campos externos).

### 2.1.2. Estrutura Atômica

Alguns problemas de interesse são: estados atômicos francamente ligados (estados de Rydberg têm uma descrição precisa e uma física extremamente rica, porém dois elétrons francamente ligados têm um movimento altamente correlacionado que sugere modos vibracionais e rotacionais do tipo molecular); átomos em campos intensos (o comportamento de átomos na presença de campos elétricos ou magnéticos tem aberto novos horizontes no que diz respeito ao papel da simetria na estrutura e na dinâmica de sistemas de dois e três corpos, na natureza do contínuo, na compreensão do movimento regular e caótico), estados atômicos coletivos (abandonando a descrição monoelétrica da estrutura atômica adequada para excitações de uma partícula, novos estados altamente correlacionados são necessários para descrever algumas experiências envolvendo absorção multifotônica onde dois ou mais elétrons dividem a energia absorvida); efeitos relativísticos em átomos pesados.

### 2.1.3. Colisões Atômicas

Estrutura do contínuo eletrônico (estudo de ressonâncias complexas e seus papéis nos processos colisionais, papel dos efeitos de correlação em ressonâncias do tipo "Wannier-ridge"); colisões ultra-lentas (movimento adiabático de dois elétrons próximos de um íon); colisões com átomos de Rydberg; leis de conservação aproximadas ("promotion model" a estados de Rydberg em presença de campos elétricos); comparação do espalhamento de elétrons e de pósitrons (efeitos de polarização de longo alcance).

### 2.1.4. Estrutura de Moléculas

Novos tipos de estruturas eletrônicas em moléculas: moléculas de Rydberg (estados excitados de moléculas), moléculas de longo alcance (são moléculas em estados vibracionais altamente excitados para as quais os núcleos estão quase que separados. Suas propriedades podem ser compreendidas a partir dos átomos isolados); cálculos "ab initio". Estrutura vibracional de moléculas poliatômicas (substituição da descrição de modos vibracionais através de modos normais por uma estrutura de modos locais, onde a vibração surge como um movimento de grande amplitude associado a uma única ligação).

### **2.1.5. FAM com Radiação de Síncrotron**

A possibilidade de gerar luz de alta intensidade em pulsos de pico segundos abre grandes possibilidades para o estudo do movimento correlacionado dos elétrons. O acesso a praticamente qualquer camada atômica de átomos pesados pode ser obtido com a produção de raios-X. Testes para a eletrodinâmica quântica em regimes onde esses efeitos são significativos poderão ser propostos. Juntamente com o uso de lasers o uso de radiação de síncrotron abre acesso à espectroscopia fotoeletrônica a um conjunto enorme de níveis atômicos e moleculares inacessíveis à espectroscopia por outras técnicas. O desenvolvimento do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron do CNPq contará com a participação de fortes grupos experimentais da área de FAM, com envolvimento do grupo do Instituto de Química da UFRJ. Isto salienta a forte relação entre a Física e Química nesta área.

## 2.2. Breve Histórico

A história das atividades de pesquisa em FAM é relativamente recente. Datam do início da década de 50 os primeiros estudos da Física Molecular na FFCL-USP. Cerca de 20 anos após se registra o começo das atividades teóricas em colisões atômicas na PUC/RJ e na UNICAMP, e experimentais em espectroscopia de raios- $\gamma$  na PUC/RJ. A concentração no estudo de colisões atômicas e moleculares não foi resultante de qualquer planejamento, mas de circunstâncias específicas envolvendo pesquisadores ou grupos.

Hoje nessa sub-área da FAM existem pelo menos três grupos experimentais em atividade e pelo menos dois fortes grupos teóricos, basicamente concentrados em São Paulo e no Rio de Janeiro.

Por volta de 1972 começaram os estudos teóricos das atividades estruturais de átomos e moléculas utilizando-se de diferentes abordagens e métodos, desde métodos semi-empíricos a técnicas adequadas para cálculo de aglomerados. Nesse sentido foram pioneiros os grupos dos Departamentos de Física da PUC/RJ, da UFMG, da UnB e do Departamento de Química da UFSCar. Houve uma evolução de interesse acoplando justamente esta subárea (a) com outras áreas da física como Semicondutores, Óptica e com Química Quântica no País.

Por volta de 1974 na UFPE e na PUC/RJ começava-se alguma atividade no campo da interação de átomos e moléculas com a radiação que aqui separamos do grupo de atividades em Óptica, uma vez que o estudo de propriedades atômicas e moleculares na presença da radiação intensa era objetivo básico destas linhas de pesquisas.

Algum desenvolvimento em instrumentação tem sido feito por grupos experimentais.

Em anos mais recentes, já no final desta década de 80 nota-se o aparecimento de esforços realizados por pesquisadores da área de FAM em duas novas sub-áreas:

- 1) estudo do estado líquido da matéria e
- 2) desenvolvimento de arquitetura molecular.

É interessante notar que estas duas sub-áreas são decorrentes dos avanços tecnológicos conseguidos na área de computadores e, obviamente, são fortemente dependentes de recursos computacionais. Na área de estado líquido usa-se simulação

computacional, como técnicas de Monte Carlo e Dinâmica Molecular para se estudar as propriedades físicas de líquidos e a importância de efeitos de solventes. Já em arquitetura molecular são utilizados recursos computacionais e métodos de química quântica para a produção de novas moléculas que atendam a uma aplicação específica, podendo ter portanto interesse na produção de fármacos, por exemplo.

Estima-se cerca de 80 doutores em física e química em plena atividade na área de FAM no Brasil.

As atividades de pesquisa em FAM no Brasil podem ser enquadradas em um dos seguintes tópicos:

- a) Propriedades estruturais de átomos e moléculas
- b) Colisões atômicas e moleculares
- c) Interação de átomos e moléculas com a radiação
- d) Técnicas de instrumentação
- e) Interface com outras áreas da ciência e tecnologia

Os dados obtidos para a elaboração deste documento mostram que esta área tem se tornado efervescente e que tem crescido bastante no últimos anos, com maior abrangência de interesses científicos, tentativas de aproximação com a física aplicada e grande taxa de formação de pessoal científico. A área ainda apresenta, no entanto, uma superioridade no número de teóricos para cada experimental. Esta situação não é desejável mas talvez seja um reflexo do pouco investimento financeiro que a área tem recebido. Grande parte das atividades de FAM se concentra em teoria de estruturas eletrônicas de átomos, moléculas e semicondutores. No passado havia um domínio de cálculos mono-eletrônicos mas esta situação tende a se reverter com um grande número de teóricos se envolvendo cada vez mais no estudo detalhado de efeitos de correlação eletrônica. Novas sub-áreas, com ênfase para simulação computacional, tem surgido e tendem a se firmar. Na parte experimental há um domínio dos grupos de espalhamento e o aparecimento de fortes grupos de Óptica trabalhando em Física Atômica.

Os grupos da sub-área de FAM se ressentem de problemas comuns a toda a Física brasileira: bibliotecas deficientes, intercâmbio deficiente e absoluta necessidade de melhores recursos computacionais. A carência de recursos computacionais é particularmente séria em FAM.

Vários grupos apontam a urgência de definições de política científica para FAM no Brasil, incluindo a sugestão de elaboração de um plano decenal de desenvolvimento.

A importância da área de Física Atômica e Molecular pode ser medida pela sua grande potencialidade de aplicações em áreas de física, química, biofísica, computação. No Brasil, ao contrário dos países desenvolvidos, seu reconhecimento apenas principia e os financiamentos são ainda pequenos, comparados com outros da Física. A década de 80 testemunhou um aumento do número de pesquisadores com sólida formação, afirmação de grupos competentes e grande formação de pessoal. A necessidade, por excelência, de se trabalhar em áreas de fronteiras impõe a necessidade de projetos de colaboração entre os grupos nacionais com os grupos internacionais. Do ponto de vista experimental, carece-se de equipamentos modernos e investimentos na formação de pessoal. Nota-se um número de pesquisadores experimentais ainda muito reduzido, possivelmente, pelo custo de manutenção de grupos experimentais ser bem maior que para os teóricos. Esta situação deve ser revertida. Do lado teórico ainda se presencia o insistente problema de carência de recursos computacionais. A sugestão da comunidade científica, verificada em encontros de física, tais como o Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, e de química, como o Simpósio Brasileiro de Química Teórica, tem sido na direção de equipar os grupos teóricos com minicomputadores dedicados e exclusivos. A inexistência de uma política agressiva para equipar os grupos de pesquisa com recursos computacionais tem sido severa na Física no Brasil e é particularmente grave na área de Física Atômica e Molecular.



**TABELA 2.1: Pessoal Científico e Produtividade em Física Atômica e Molecular**

INSTITUIÇÃO/GRUPO	DOUTORES		MESTRES		ESTUDANTES			ESTUDANTES FORMADOS N D	ARTIGOS EM REVISTAS C/ARBITRO	CONFERÊNCIAS INTERNACIONAIS		
	T	E	T	E	I	C	N D			78-82	83-87	
<b>REGIÃO NOROESTE</b>												
UFPE												
Grupo de Física Atômica e Molecular	1	-	-	-	-	2	2		42*	4	4	
UF Sergipe	-	-	2	-	-	-	-		1			
UF Ceará	1	-										
UF Bahia	Não informado											
<b>CENTRO OESTE</b>												
UF Goiás												
Grupo de Estrutura Eletrônica de Moléculas	1	-	3	-	1	-	-		6	-	-	
UnB	Não informado											
Grupo de Física Atômica e Molecular	5*	-	3	-	3	2	3		4	-	1	
<b>SUDESTE</b>												
ITA												
Grupo de Física Atômica e Molecular	Não informado											
UF São Carlos	Não informado											
Grupo de Colisões	3	3			2	2	4	6	3	43	9	21
UF Espírito Santo	2	-	-									
UF Rio de Janeiro	0	1	-	-	-	-	1					
CBPF	Não informado											
UFMG	Não informado											
USP	5	-	2	-	-	-	-	6	2		9	10
UFICAMP	Não informado											
FDCC-RJ	Não informado											

\* período: 1982-1989

\*\* até 1983 houve apenas 1 doutor T.

TABELA 2.2: Grupos de Pesquisa em Física Atômica e Molecular

INSTITUIÇÃO	LINHAS DE PESQUISA	ESTÁGIO	TECNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO US\$
UnB	.Dinâmica Molecular	I		
	.Estudo de estruturas eletrônicas de sistemas atômicos dentro da teoria do funcional da densidade	C		
	.Transição intra $d$ de metais de transição em semicondutores	C		
	.Espectroscopia molecular	C		
	.Interação de átomos, moléculas e plasmas com campo de laser intenso	C		
	.Estrutura hiperfina em átomos	I		
	.Estrutura eletrônica de sistemas moleculares	C		
	UFSCar	.Espalhamento de elétrons (E)	I	.Espectros de perda de energia por impacto de elétrons em átomos em fase gasosa
.Seções de choque vibracionais		I	.Detecção de elétrons	
.Dissociação iônica			.Medida absoluta de pressão (ata e $10^{-4}$ Torr)	
.Espalhamento elástico e inelástico de elétrons (T)		C	.Programas para cálculos de estrutura eletrônica e espectro contínuo	
.Fotoionização (T)				
- Processos de 1 fóton		C		
- Processos de múltiplos fótons		I		
.Ionização por impacto eletrônico (T)		I		
.Estruturas eletrônicas de átomos e moléculas		C		300.000,00
UFES		.Estrutura de orbitais moleculares (T)		
	.Teoria de ligação de valência (aplicações e estados de energia moleculares)			
	.Espalhamento inelástico de elétrons por átomos de camada fechada			
CFEJ	.Medição Compton na camada K de elementos pesados			
	.Efeito fotoelétrico na camada K de elementos de Z médio			
	.Simulação do transporte de íons atômicos e moleculares em sólidos			
	.Colisão elétron átomo-molécula			

Estágio: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa em implantação

**TABELA 2.2: Grupos de Pesquisa em Física Atômica e Molecular  
(Continuação)**

INSTITUIÇÃO	LINHAS DE PESQUISA	ESTÁGIO	TÉCNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO US\$
CBPF	Não informado			
PUC-RJ	Não informado			
UFPA	Não informado			
UFSC	Não informado			
USP	Estrutura eletrônica de átomos e moléculas dentro do formalismo do funcional da densidade			
UNICAMP	Não informado			

Estágio: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa em implantação

**TABELA 2.3: Perspectivas Para os Próximos 5 Anos**

INSTITUIÇÃO/GRUPO	CAPACIDADE DE FORMAÇÃO				EXPANSÃO DO GRUPO			
	CONDIÇÕES ATUAIS		CONDIÇÕES IDEAIS		CONDIÇÕES ATUAIS		CONDIÇÕES IDEAIS	
	N	D	N	D	N	D	N	D
<b>NORTE-NORDESTE</b>								
UFPE								
Grupo de Física At. e Mol.	2	2	4	4	-	1	-	3
<b>CENTRO-OESTE</b>								
UFGO								
Grupo Estrutura Eletrônica de Molécula	-	-	2	-	-	-	2	2
UnB								
Grupo de Física At. e Mol.	15	5	25	10	3	5	-	15
<b>SUDESTE</b>								
ITA								
Grupo Física At. e Mol.	10	4	10	4	1	1	-	4
UFScar	8	7	12	12	-	1	-	3
CBPF	Não informado							
UFEC	Não informado							
UFRJ	Não informado							
USP								
UNICAMP	Não informado							
PUC/RJ	Não informado							

**TABELA 2.4: Perspectivas para os Próximos 5 Anos em Física Atômica e Molecular**

INSTITUIÇÃO/GRUPO	BOVAS LIBRAIS DE TRABALHO		INVESTIMENTO US\$	
	CONDIÇÕES ATUAIS	CONDIÇÕES IDEAIS	CONDIÇÕES ATUAIS	CONDIÇÕES IDEAIS
<b>NORTE-NORDESTE</b>				
UFPE Grupo de Fís. Atômica e Molecular			120.000,00	1.000.000,00*
<b>CENTRO OESTE</b>				
UnB Grupo de Est. Elet. de Moléculas	.Espalhamento de elétrons por moléculas (T)			100.000,00
	.Espectroscopia de foto-elétrons (E)			
		.Princípio variacional de Schwinger		
		.Espectroscopia de massa, espectroscopia de foto-elétrons, espectroscopia laser		
<b>SUDESTE</b>				
UFSCar	.Espalhamento de elétrons por moléculas(T)			
	.Espalhamento inelástico de elétrons por átomos e moléculas distônicas(T)			
	.Fotoionização Molecular(T)			
	.Efeitos de solvente na reatividade química de moléculas solvatadas(T)			
	.Seções de choques vibracionais (E)			
	.Ionização dissociativa de moléculas por impacto de elétrons (E)		110.000,00	

\*Aquisição de um computador CONVEX C220 com 2 processadores

**TABELA 2.4: Perspectivas para os Próximos 5 Anos em Física Atômica e Molecular (Continuação)**

INSTITUIÇÃO/GRUPO	HORAS LÍNEAS DE TRABALHO		HORAS TÉCNICAS	INVESTIMENTO US\$	
	CONDIÇÕES ATUAIS	CONDIÇÕES IDEAIS		CONDIÇÕES ATUAIS	CONDIÇÕES IDEAIS
UFES	.Espalhamento inelástico de elétrons por átomos na região de energias intermediárias	.Estrutura e estados eletrônicos de macromoléculas .Espalhamento em estados altamente excitados		70.000,00	
UFUJ		.Feixes iônicos de íons e elétrons ( $E_{\text{ion}} < 10^6$ ) .Colisões atômicas de íons com alvos gasosos ( $E \sim 10 \text{keV}$ )			
CBFF	Não informado				
UFMG	Não informado				
USP	Não informado				
UNICAMP	Não informado				
PUC/RJ	Não informado				

### 3. ÓPTICA

#### 3.1. Descrição da Área

Atualmente a Óptica é entendida como abrangendo uma grande variedade de fenômenos relacionados com a radiação eletromagnética, desde os raios X e radiação ultra-violeta, passando pela região do espectro visível, indo até a região do infravermelho distante e submicro. Algumas vezes estes limites são ampliados para incluir a óptica de raios X, microondas e rádio.

Ao longo dos anos o campo da Óptica se desdobrou em vários subcampos. Por exemplo, o estudo da visão e da fisiologia do olho deu origem à optometria ou oftalmologia. O grande uso das técnicas ópticas possibilitou a evolução da Astronomia e da Astrofísica. Mais recentemente, a espectroscopia, a fotografia e diversos tipos de eletro-óptica contribuíram para a evolução de vários ramos da Física fundamental e para o surgimento de novas áreas da Engenharia.

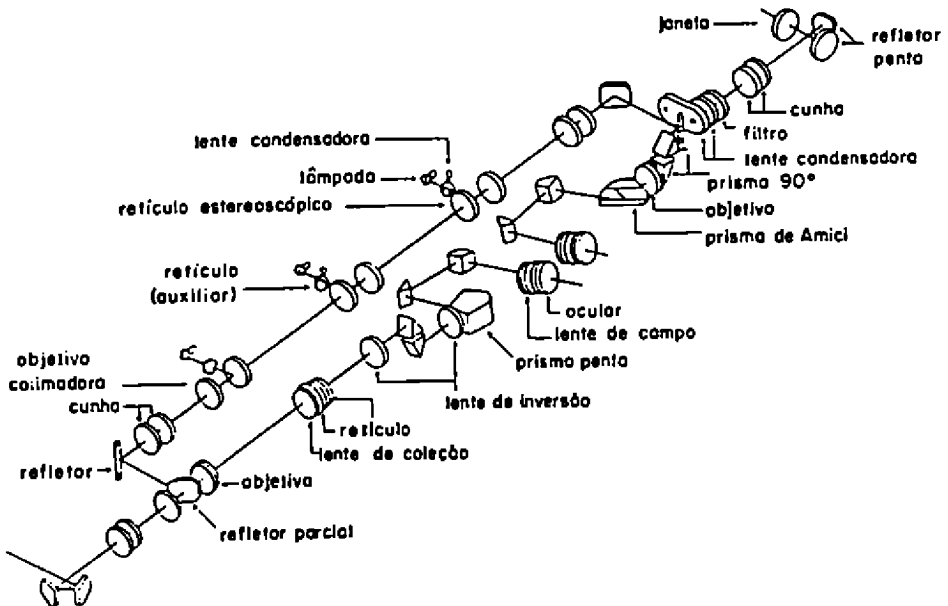
Para destacar alguns avanços de grande impacto na vida diária e na tecnologia, é bastante lembrar, por exemplo, que fibras ópticas já deixaram há muito tempo de ser apenas uma curiosidade, sendo largamente utilizadas em sistemas de comunicação telefônica em vários países. A fotolitografia chegou às dimensões de submicron e em consequência os lasers de excímeros passaram a ser uma ferramenta importante para a microeletrônica. Uma grande variedade de materiais ópticos tem sido desenvolvida nos últimos anos possibilitando assim o uso de novos dispositivos baseados em efeitos não-lineares, filmes de grande resistência mecânica e excelente transmissividade óptica, detectores e emissores de luz extremamente sensíveis entre outros avanços.

Evidentemente o estágio de desenvolvimento tecnológico da área foi atingido mediante um grande esforço de pesquisa em áreas de fenomenologia básica e a evolução do conhecimento não pode prescindir da pesquisa fundamental principalmente no que se refere às aplicações na Matéria Condensada e em sistemas atômicos e moleculares. Nestas áreas de pesquisa básica a Óptica pode ser caracterizada como um dos campos mais dinâmicos e inovativos da Física, caracterizado pela descoberta de novas fontes de luz, novos métodos e técnicas de espectroscopia e uma enorme variedade de aplicações.

Uma descrição representativa de algumas das áreas de pesquisa mais importantes está apresentada a seguir.

### 3.1.1. Óptica Clássica

O estudo da formação de imagens em sistemas ópticos simples abriu caminho para a criação de uma das mais tradicionais e abrangentes áreas da Física, a Óptica. Hoje a especialidade da Óptica que estuda sistemas ópticos é referida como a Óptica clássica. Os sistemas ópticos podem ser simples lupas até complexos sistemas como um teodolito estereoscópico mostrado na figura abaixo, que pode ter até uma centena de lentes, prismas, espelhos, polarizadores, etc..



Os sistemas simples como uma lupa ou composição de poucas lentes podem ser calculados analiticamente de forma bastante simples. Infelizmente sistemas ópticos simples apresentam um desempenho limitado devido a aberrações sempre presentes nas imagens já que os componentes ópticos não são ideais.

As aberrações em sistemas ópticos estão presentes devido às formas esféricas, não ideais, das superfícies ópticas e da dispersão presente nos vidros ópticos. Com o objetivo de eliminar as aberrações, principalmente quando se trata de instrumentos de alto grau de magnificação, os instrumentos são construídos como uma composição de diversas lentes de formas e materiais diferentes.

A técnica do cálculo de sistemas ópticos complexos, no jargão chamado de desenho óptico, é uma especialidade bastante tradicional. Apesar da existência de



complexos programas numéricos, o grande número de variáveis do problema torna impossível de ser tratado mecanicamente, e a performance de sistemas ópticos projetados é bastante dependente da tradição óptica local. As técnicas de fabricação de instrumentos ópticos desenvolvem-se paralelamente ao desenho óptico. Aqui enfrenta-se a dificuldade de construção de componentes com precisões dimensionais de décimos de microns e superfícies com rugosidade de Angstroms. Essa técnica é também uma tradição que poucos têm controle. O domínio das técnicas de desenho óptico e fabricação óptica reflete-se na qualidade dos instrumentos ópticos hoje construídos que têm performance limitada apenas por difração. Instrumentos assim são fundamentais em diversas áreas do conhecimento, desde a microscopia até a fabricação de máscara de circuitos integrados.

A procura do limite da performance de instrumentos também gerou outra área de Óptica clássica, os filmes finos ópticos. O objetivo inicial era eliminar as reflexões espúrias em sistemas ópticos, através de deposição de um filme anti-refletor nas faces de cada lente do sistema óptico. O aperfeiçoamento das técnicas de cálculo e de evaporação de filmes finos evoluiu e as aplicações extravasaram da Óptica. Hoje, a sofisticação dessa área da Óptica clássica permite a produção de filmes finos bastante complexos, por exemplo, espelhos dielétricos para lasers com refletividade de até 99.99%, em que até quarenta camadas de materiais dielétricos com espessuras de centenas de Angstroms são evaporadas.

A exploração da coerência da luz é também outra especialidade da Óptica clássica. Diversos tipos de interferômetros têm distintas aplicações como filtros de luz, padrões de comprimento, cavidades ópticas, etc. Uma aplicação da Óptica coerente que se torna cada vez mais popular é a holografia, a arte de fazer imagens tridimensionais. Aplicações de holografia vão desde propaganda, segurança, até aplicações tecnológicas de memória óptica holográfica.

A conjugação das diversas técnicas da Óptica clássica permite a construção de uma grande variedade de instrumentos ópticos com utilização tão popular como a câmara fotográfica até instrumentos altamente especializados como espectrofotômetros. Mais recentemente o desenvolvimento da microeletrônica e do laser ampliou sensivelmente a aplicabilidade das técnicas de Óptica clássica. Instrumentos modernos como impressoras laser, largamente utilizadas hoje, associam as técnicas de Óptica clássica, eletrônica e os lasers.

### 3.1.2. Lasers

A partir de sua invenção em 1960 o Laser transformou-se rapidamente numa ferramenta de uso generalizado para pesquisa científica e, posteriormente, para aplicações industriais. Lasers são dispositivos emissores de luz cujo funcionamento se baseia no processo de emissão estimulada de radiação por um sistema quântico excitado previamente a uma situação fora do equilíbrio. A descoberta do Laser abriu um campo de atividades que levou a uma grande interação entre pesquisadores da área de Engenharia Eletrônica e da área de Física, denominado genericamente Eletrônica Quântica. Esta área de pesquisa tem trazido importantes desenvolvimentos tanto para a Ciência Aplicada (Comunicações Ópticas, Processamento de Materiais, Novos Materiais, etc.)

O número de linhas de pesquisa associadas a Lasers hoje em dia é muito mais extenso do que seria possível descrever aqui. Anualmente acontecem pelo menos três conferências internacionais (Internacional Quantum Electronics Conference, Quantum Electronics and Laser Science, Conference on Laser, Electro Optics and Lasers) que reúnem mais de cinco mil pesquisadores de todo o mundo, ativos na área de Lasers e temas correlatos.

Hoje em dia há lasers que emitem luz cobrindo praticamente todo o espectro visível e largas porções do infravermelho e ultravioleta. Os materiais usados para ação laser são sólidos, líquidos ou gasosos, segundo as características desejadas. Algumas das áreas de atividade de pesquisa em laser são:

**A. Lasers de semicondutor:** com aplicações em comunicações ópticas, aparelhos eletrônicos e instrumentos científicos. São construídos principalmente com Arseneto de Gálio e suas ligas com Al, P, In. O tempo de vida e a confiabilidade destes dispositivos tem sido uma área de intenso desenvolvimento, proporcionando importantes avanços no estudo de propriedades eletrônicas de materiais;

**B. Lasers de alta potência:** aparelhos com potência de saída acima de 1 KW, destinados a aplicações em processamento de materiais (furação, corte, solda, tratamento de superfícies, etc.). Estes dispositivos são construídos principalmente tendo como meio ativo cristais de Nd:YAG ou misturas gasosas de  $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ . Hoje em dia há lasers capazes de gerar potência de saída acima de 20 KW de forma contínua;

**C. Lasers com frequência de emissão muito bem definida (largura de linha estreita):** são aplicados a estudos em espectroscopia de alta resolução, metrologia, física atômica e molecular, química. Geralmente são lasers de corante bombeados com lasers

de Argônio, lasers a semicondutor ou lasers de  $\text{CO}_2$ . Importantes avanços no estudo de moléculas, características de materiais, tem sido realizados utilizando lasers de linha estreita.

**D. Lasers de pulsos ultracurtos:** estes têm trazido um grande desenvolvimento nos últimos 10 anos ao estudo de propriedades de materiais, reações químicas e outras aplicações. São geralmente lasers de Argônio ou com lasers de estado sólido (Nd:YAG). A combinação destes lasers com avanços recentes em eletrônica de alta velocidade permite a produção e medição de transientes elétricos mais rápidos do que 1 picosegundo. Com lasers é possível produzir e estudar hoje os fenômenos controlados mais rápidos jamais vistos, em escala de tempo de alguns femtosegundos.

Alguns dos principais avanços recentes a nível de lasers comerciais foram:

- lasers de diodo de alta potência (até 5 W cw);
- lasers de diodo no visível;
- lasers de estado sólido bombeados com lasers de diodo;
- sistemas de lasers de pulsos ultracurtos (sub ps);
- lasers iônicos de alta confiabilidade;
- lasers de estado sólido sintonizáveis ( $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$ );
- lasers de Argônio resfriados a ar;
- lasers de excímeros de alta potência média;
- lasers de vapor de cobre;
- lasers de  $\text{CO}_2$  selados de média potência (100W).

Desde sua invenção o interesse do uso do laser em aplicações industriais ou comerciais foi evidente. Atesta isso o fato de que alguns dos principais avanços na pesquisa sobre e com lasers foram obtidos a partir de investimentos massivos realizados em laboratórios industriais como os da Hughes, IBM, AT&T, Bell Laboratórios e AVCO para citar alguns. Todos estes avanços obtidos em áreas fundamentais possibilitaram mais cedo ou mais tarde realizações de importância comercial apreciável. Hoje em dia parece haver um deslocamento do interesse em direção a aplicações do laser em oposição ao desenvolvimento de novos dispositivos laser, demonstrando que a área já atingiu uma certa maturidade tecnológica. Uma enorme variedade de lasers é hoje disponível comercialmente, produzida por um grande número de companhias especializadas. Muitas destas companhias surgiram em função do domínio sobre a tecnologia de algum tipo de laser em particular, mantendo-se especializada neste particular tipo. Outras se tornaram grandes empresas, atuando inclusive em outras áreas correlatas, como óptica e sistemas. Uma característica importante destas empresas é a agilidade tecnológica, demonstrada pela introdução freqüente de inovações tecnológicas nos dispositivos fabricados.

Em levantamento realizado por publicação especializada (Laser Focus, Jan. 1989) as vendas mundiais de lasers comerciais atingiram em 1988 um total de US\$ 633,500,000.00 (seiscentos e trinta e três milhões e quinhentos mil dólares), com uma estimativa para 1989 de US\$ 720,000,000.00 (setecentos e vinte milhões de dólares). Os maiores setores em 1988 foram lasers para processamento de materiais (US\$ 146,700,000.00), lasers para pesquisa e desenvolvimento (US\$ 141,700,000.00) e lasers em medicina (US\$ 102.800.000,00). Laser de diodo semiconductor correspondem a quase 30% do total de vendas. Em praticamente todas as áreas de aplicação o mercado está em expansão, o que se reflete na expansão da demanda pelos principais tipos de lasers: CO<sub>2</sub> +11%, estado sólido +9%, iônicos +13%, diodos +17%, He-Ne +10%, corante +10%, excímeros +13% e He-Cd +54% (este correspondendo à menor fatia de mercado). Em número total de unidades, em 1988 foram vendidos 18.933.100 equipamentos de laser de todos os tipos, e o crescimento em vendas projetado para 1989 é de 14% salvo ocorrência de recessão nos países desenvolvidos.

### 3.1.3. Óptica Não-Linear

Com o desenvolvimento do Laser, a resposta não-linear da matéria nas frequências ópticas passou a ser estudada em diferentes sistemas: desde gases monoatômicos e vapores moleculares até líquidos e sólidos, incluindo efeitos que ocorrem no interior da matéria e também nas interfaces entre diferentes sistemas.

A maior parte dos efeitos não-lineares conhecidos pode ser descrita em termos da teoria eletromagnética clássica com susceptibilidades não-lineares incluídas nas relações que conectam a polarização elétrica com as amplitudes de campo eletromagnético. O tratamento teórico semi-clássico destes efeitos foi desenvolvido há cerca de 25 anos atrás motivado principalmente pelas experiências pioneiras de geração do segundo harmônico e efeito Raman estimulado. Uma rápida sucessão de efeitos de Óptica não linear foi evidenciada em experiências realizadas na década de 60 por diversos pesquisadores. Dentre estes foram observados efeitos de "absorção de dois fótons", efeitos de casamento de fase ("phase-matching") em processos paramétricos, geração de harmônicos e mistura de ondas ("wave-mixing").

Como consequência natural, a Física através da espectroscopia óptica se beneficiou da descoberta dos efeitos não-lineares. A Física Atômica, por exemplo, sofreu uma revolução sem precedentes. Surgiu a nova área da espectroscopia de alta resolução em gases que utiliza efeitos de óptica não-linear (por exemplo: a absorção

saturada e a absorção de dois fótons) para eliminar a influência do alargamento Doppler em linhas espectrais.

O aparecimento das fontes de luz sintonizáveis (lasers de corantes, lasers de centro de cor, sintonizadores Raman, lasers de semicondutores, etc.) permitiu utilizar os efeitos não-lineares mencionados acima para investigar características microscópicas da matéria desde o infravermelho até o ultra-violeta.

Uma nova área - Espectroscopia Óptica Não-Linear resolvida no tempo - surgiu com o aparecimento dos Lasers de cavidade chaveada ("Q-switched") e está atualmente extremamente ativa mediante o emprego dos Lasers de pulsos ultra-curtos (pico e femtossegundos). Neste caso, desde que a energia do pulso é concentrada em um curto intervalo de tempo as intensidades podem ser muito altas possibilitando assim a identificação de novos e variados efeitos não-lineares da matéria.

O comportamento da matéria submetida simultaneamente a Lasers de diferentes frequências permitiu o desenvolvimento de várias técnicas espectroscópicas baseadas no fenômeno de mistura de ondas. Inúmeras aplicações destas técnicas são conhecidas atualmente para o estudo da matéria nos seus vários estados e novas aplicações continuam surgindo. Em particular, efeitos de eco de fótons, decaimento livre da polarização ("free induction decay"), biestabilidade óptica, comportamento caótico de sistemas atômicos, conjugação de fase óptica, efeitos de misturas com várias ondas, processos de absorção multifônica e efeitos relacionados com a propagação não-linear de pulsos ópticos são alguns dos temas que têm atraído um grande interesse nos últimos anos nesta área. Além do interesse no estudo dos fenômenos básicos existe um grande potencial de utilização destes efeitos em Optoeletrônica Ultra-rápida.

### 3.1.4. Óptica Quântica

A Óptica Quântica estuda as propriedades quânticas da luz, bem como a interação da radiação luminosa com a matéria, com ênfase nos efeitos devidos aos aspectos corpusculares da luz. Os últimos anos têm presenciado um fantástico desenvolvimento desse campo, propiciado sem dúvida pela invenção do laser. Essa fonte de luz produz radiação com características bem diferentes das lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, no que se refere à monocromaticidade, direcionalidade, intensidade, duração e propriedades estatísticas. Por isso mesmo, seu aparecimento estimulou não só o estudo mais aprofundado das propriedades estatísticas da luz, como também deu ensejo a vários desenvolvimentos importantes em pesquisa básica, para os quais contribuiu também o aprimoramento das técnicas de detecção.

As repercussões de caráter básico vão desde os fundamentos da mecânica quântica (em particular, a teoria da medida quântica) à eletrodinâmica quântica, da mecânica estatística à teoria das bifurcações e fenômenos caóticos.

Atualmente a Óptica Quântica está relacionada com diversos tópicos de pesquisa fundamental, como por exemplo a espectroscopia não-linear, o estudo do comportamento da matéria interagindo com radiação de alta intensidade (processos multifotônicos), a geração de radiação com baixo ruído quântico (estados comprimidos).

Trata-se de fato de um campo privilegiado da física, com uma interação muito forte entre as áreas teórica, experimental e aplicada. Além disso, apresenta interfaces com outras áreas da física, como a Física Atômica e Molecular e a Física de Semicondutores. Desenvolvimentos recentes nesse último campo, em particular, têm sido motivados pela busca de novos tipos de laser (ressalte-se, por exemplo, a pesquisa sobre poços quânticos).

### 3.1.5. Optoeletrônica

O mundo vive hoje um período de desenvolvimento de uma nova tecnologia que terá enorme importância nas décadas vindouras - a optoeletrônica. Por ainda estar numa fase de expansão seu impacto comercial e tecnológico apenas começa a se fazer sentir na sociedade atual. Aos poucos, exemplos como os discos laser, as leitoras de barra de supermercado e as telecomunicações ópticas vão se tornando mais comuns, e ilustram a enorme transformação que esta nova tecnologia há de trazer em todos os ramos de atividades nos próximos anos. A Optoeletrônica, portanto, difere bastante de várias outras linhas de pesquisa em física por ter consequências materiais imediatas de fundamental importância na nossa vida cotidiana.

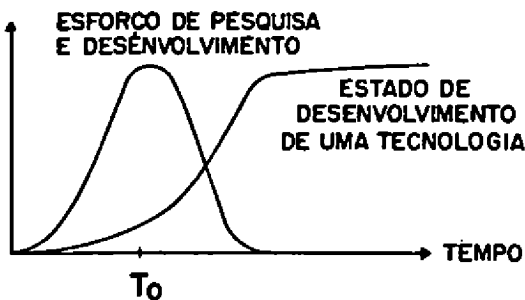
De certo modo a Optoeletrônica pode ser considerada como uma extensão da eletrônica convencional, com o uso de lasers e outras fontes de luz, para a realização de tarefas diversas como controle, transmissão, detecção e processamento de informação, sensoramento, gravação de dados, e muitos outros campos normalmente cobertos pela eletrônica. A junção da Óptica com a Eletrônica tem duas raízes - em primeiro lugar processos ópticos têm uma série de vantagens sobre os eletrônicos, em particular a maior velocidade. A segunda razão para o casamento crescente destas duas áreas é a convergência das tecnologias de fabricação e dos materiais usados, que é ilustrada com o fato da manufatura de um laser para telecomunicações ópticas e a de um transmissor

ou circuito integrado ser muito parecida, envolvendo as mesmas máquinas de epitaxia e técnicas de processamento.

As indústrias motoras do desenvolvimento da optoeletrônica são as de telecomunicações (comunicações ópticas), computação (PC, sistemas complexos, memórias, etc.), eletrônica (equipamentos de controle, atividades diversas de lazer, etc.), e combinações destas.

Pode-se ilustrar o estágio de desenvolvimento de uma tecnologia genérica ao longo do tempo como na figura abaixo, onde também se mostra uma curva típica do esforço de pesquisa e desenvolvimento realizado nesta área da ciência. Quando o estágio de maturidade da tecnologia atinge um certo nível, o interesse na pesquisa e no desenvolvimento da tecnologia começa a cair e praticamente desaparece com a entrada no mercado de produtos comerciais de qualidade. Neste caso, é muito tarde para procurar investir na pesquisa básica, buscando competir comercialmente, pois os frutos serão pequenos. Pode-se na melhor das hipóteses acompanhar os outros países que já têm um "Know-how" de longa data. Atualmente estamos nesta fase de saturação no que diz respeito à eletrônica convencional.

O envolvimento de físicos em institutos, laboratórios e universidades no mundo todo na área de optoeletrônica é muito grande e a atividade de pesquisa é febril. Atualmente começamos a nos aproximar do tempo  $T_0$  (vide gráfico) para a optoeletrônica e portanto é imperativo que se procure investir nesta área agora, antes que seja tarde demais.



Algumas áreas de pesquisa atualmente com grande destaque e diretamente relacionadas com a Optoeletrônica são:

1. Desenvolvimento de materiais;
2. Fontes de luz (lasers, LED's)
3. Fotodetetores

4. Guias de onda (fibras ópticas, cristais iônicos, semicondutores)
5. Dispositivos ópticos de comutação e para operações lógicas de computação
6. Memórias ópticas (discos, fitas, cartões)
7. Sensores
8. Óptica não-linear
9. Circuitos optoeletrônicos integrados

A Optoeletrônica é fortemente baseada na possibilidade de se fabricar artificialmente materiais novos não encontrados na natureza. Entre eles, destacam-se semicondutores de altíssima pureza crescidos em máquinas de epitaxia com capacidade de depositar uma camada de átomos de cada vez, cristais inorgânicos e orgânicos, materiais amorfos diversos dopados com moléculas de interesse (sólidos ou líquidos) e outros. Estes materiais são então processados em estruturas geométricas muitas vezes sofisticadas e os dispositivos fabricados frequentemente com dimensões micrométricas.

Como exemplo, examinemos o laser de diodo típico usado em telecomunicações ópticas ou disco-laser. Ele é composto por várias camadas de semicondutores com composição diferente e espessura controlada, emitindo luz por uma área de  $0.2 \mu\text{m}$  por  $5\mu\text{m}$  tendo o laser todo como maior dimensão  $0.20\text{mm}$  antes de ser encapsulado.

Como mencionado acima, a semelhança de fabricação com componentes microeletrônicos é grande. Depois do "design" e planejamento utilizam-se máquinas caras e sofisticadas (de LPE, MQCVD, MBE, etc. com preço típico US\$ 1,000,000.00 (hum milhão de dólares) para o crescimento de estruturas. Depois da caracterização e controle de qualidade, realiza-se o processamento dos materiais preparados para a fabricação de dispositivos. As técnicas são altamente sofisticadas, envolvendo implantação de íons, dopagem, evaporação, litografia micrométrica, ataque seletivo, etc.. Finalmente segue-se a montagem final e o controle de qualidade. Apesar de cada parte do processo ser bastante elaborada, a fabricação em massa levou o preço dos lasers de diodo a valores inferiores a US\$ 5.00 (cinco dólares).

Este exemplo ilustra ser possível atualmente se manufacturar dispositivos sofisticados mas baratos se produzidos em massa, e com retorno financeiro para a elaboração de novos dispositivos mais complexos. Torna-se também aparente a dificuldade de competir neste campo sem uma grande dose de profissionalismo, uma vez que a improvisação não tem vez na fabricação de dispositivos optoeletrônicos.



A variedade das aplicações de dispositivos optoeletrônicos é extremamente ampla. Pesquisa em dispositivos ópticos e eletroópticos para comutação e controle se concentra no uso da interação entre a luz e o material para alterar as propriedades da luz. A substituição de sinais elétricos dos sistemas convencionais por luminosos têm como motivação central a possibilidade de se aumentar tremendamente a velocidade dos componentes, e conseqüentemente a capacidade de processamento de informação. Ainda que computadores ópticos só venham a ser demonstrados na próxima década, o papel da óptica como ferramenta de auxílio à computação é inquestionável. Também na área de memórias a óptica virá ocupar um espaço cada vez maior como alternativa para memórias magnéticas. O potencial do armazenamento de informações pode ser ilustrado com o número que chega a milhões de pontos que compõem 1 cm<sup>2</sup> de uma fotografia. Também o campo de sensores optoeletrônicos começa atualmente a se expandir, e promete ser fertilíssimo, envolvendo sensores convencionais de grandezas físicas (pressão, temperatura, posição, estado, campo elétrico e magnético, etc.) e mais sofisticados como telemetria, sistemas mecânicos de precisão, etc. A área da óptica não-linear se encontra ainda num estágio não-comercial, mas promete abrir tremendas possibilidades para manipulação das propriedades da luz, sendo alvo de grande interesse da comunidade científica internacional. Finalmente, ainda num estágio embrionário, mas demonstrado em laboratório, a possibilidade de se realizar circuitos ópticos complexos de emissão de luz, processamento, detecção, amplificação, etc., usando apenas eletrodos de controle é muito promissora, e será alvo de grande desenvolvimento à medida que os processos de fabricação e integração sejam dominados.

### 3.1.6. Métodos Ópticos em Física da Matéria Condensada

Nos dias atuais, o estudo do comportamento de átomos constituintes de um sólido bem como as propriedades provenientes da existência de interação com os demais átomos vizinhos, tem proporcionado um grande desenvolvimento tanto na ciência básica quanto aplicada. O conhecimento de mecanismos de transferências de energia entre átomos presentes em um cristal é o principal fator que permitiu o aparecimento de lasers de estado sólido como laser de Rubi, que além de ser um importante instrumento foi o progenitor dos demais lasers de estado sólido que tem culminado nos dias atuais com o laser Ti: safira que desponta, sem dúvida nenhuma, como um dispositivo de ampla aplicabilidade. Este é somente um exemplo, dentre muitos, onde o estudo de efeitos e mecanismos em sólidos envolvendo óptica tem levado com sucesso a um grande número de aplicações.

O entendimento sobre o comportamento dos sólidos através da óptica pode ser obtido por intermédio de várias técnicas, muitas das quais já mencionadas anteriormente e algumas que serão descritas brevemente a seguir.

#### **A. Absorção Linear e Fluorescência**

São técnicas de extrema importância no estudo das propriedades dos sólidos. Normalmente o processo de radiação nos sólidos ocorre através de excitação de estados eletrônicos, excitônicos ou mesmo seguidos de emissão de uma excitação na rede do sólido (como um fônon). No caso de ocorrência de transições eletrônicas, estas normalmente seguem as regras de seleção que dependem da simetria da rede e da natureza de transição. Este tipo de medida é bastante importante no estudo do comportamento de fons em redes cristalinas, onde estudos como transferência de energia ou de campo cristalino podem ser efetuados. Análise do efeito do campo cristalino sobre as transições eletrônicas do material pode ser uma excelente maneira para a verificação de transições de fase no sólido, etc..

A absorção de fótons no infravermelho normalmente revela importantes propriedades do espectro vibracional de sólidos servindo como método de análise para identificação de constituintes ou mesmo para exame da existência de defeitos na rede do sólido.

Da mesma forma que a absorção, a fluorescência, que consiste na observação da luz emitida pelo sólido após absorção, revela de forma clara a estrutura de níveis tanto ao nível eletrônico quanto ao nível de formação de excitações. O espectro de fluorescência normalmente é bastante rico porque mostra além de estruturas intrínsecas do material, mecanismos de interações entre várias excitações. Esta é uma importante técnica na pesquisa de novos meios ativos para laser por exemplo.

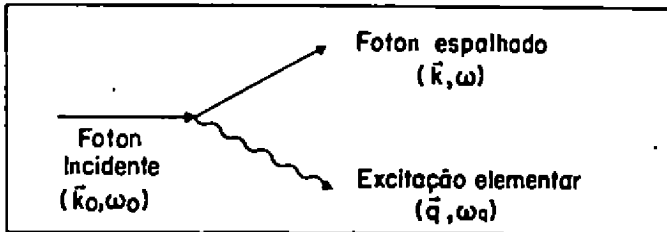
#### **B. Absorção de Dois Fótons**

Em várias situações é possível realizar a transição entre dois níveis eletrônicos através da absorção de dois fótons de modo que  $2h\nu = E_2 - E_1$ . Este tipo de técnica normalmente permite o estudo de transições ópticas que são proibidas pela absorção de um único fóton. De um modo geral este tipo de transição apresenta largura de linha bastante estreita permitindo a obtenção de boa resolução nas medidas de absorção. Esta técnica tem ainda a vantagem de permitir o acesso à transições de alta energia, mesmo utilizando fontes convencionais. Em algumas situações pode-se tirar também proveito do estudo de absorção envolvendo simultaneamente a absorção de vários fótons.

### C. Espalhamento de Luz

Técnicas envolvendo o espalhamento de luz são excelentes para o estudo de excitações elementares em sólidos como por exemplo fônons, magnons, polaritons, etc., devido ao fato que a luz pode ser espalhada inelasticamente pelo sólido, fazendo com que o fóton incidente e o fóton espalhado tenham frequências diferentes. Esta técnica tornou-se bastante poderosa ao redor de 1960, com o advento do laser, cujas propriedades tornam a observação dos fótons espalhados facilitadas, mesmo que esta seja uma fração (em geral da ordem de  $10^{-7}$ ) muito pequena do fluxo de fótons incidentes.

Um diagrama representativo do espalhamento da luz de 1a. ordem por um sólido é mostrado na figura.



A conservação de energia no processo requer que tenhamos  $w = w_0 \pm w_q$ , onde o sinal  $\pm$  pode representar a aniquilação ou a criação de uma excitação. Já a conservação do momentum requer que  $K = K_0 \pm q$ . Caso a excitação elementar envolvida esteja associada a um ramo acústico, o espalhamento da luz é chamado de Brillouin enquanto que o espalhamento por excitações elementares ópticas é chamado espalhamento Raman. Processos de espalhamento de luz envolvendo simultaneamente mais de uma excitação elementar também são estudados.

A observação da frequência da luz espalhada normalmente envolve três linhas. A linha central correspondendo a um espalhamento elástico é denominada de linha Rayleigh, enquanto as linhas que aparecem ao lado, com frequência  $w_0 \pm w_q$  resultantes do espalhamento inelástico são denominadas de linhas Anti-Stokes ( $w_0 + w_q$ ) e Stokes ( $w_0 - w_q$ ).

O espalhamento Raman realizado com luz polarizada permite a obtenção de informações a respeito da simetria das vibrações do sólido. Isto é um importante tipo de

medida que permite a identificação das frequências normais de vibrações da rede por exemplo.

Os exemplos acima destacam apenas uma pequena parcela das técnicas e métodos usados para o estudo de sólidos. São também bastante poderosas as técnicas de elipsometria, fototérmicas, acusto-ópticas, termoluminescência, além de diversas técnicas interferométricas.

De um modo geral a utilização de técnicas ópticas no estudo de sólidos tem sido de fundamental importância no desenvolvimento dos semicondutores e outros materiais de aplicação em dispositivos de alta tecnologia. Tanto as técnicas de absorção-fluorescência quanto espalhamento de luz, tem possibilitado estudos que envolvem determinação da estrutura de bandas, determinação de densidades de estado, concentração de portadores, estados de impureza, linhas excitônicas, polaritons, recombinações elétron-buraco numa grande variedade de sólidos.

Aliados a outros fatores como campos magnéticos e medidas de correntes elétricas ou condutividade, a interação da radiação com sólidos tem proporcionado o desenvolvimento de dispositivos que têm facilitado de forma marcante nossa vida do dia-a-dia.

### 3.1.7. Métodos Ópticos em Física Atômica e Molecular

Com o advento do laser sintonizável, a espectroscopia atômica sofreu uma considerável evolução. Experimentos que anteriormente só podiam ser realizados na região das frequências de rádio foram trazidos para a região do infravermelho e visível. O sistema atômico passou agora a ser examinado por uma poderosa ferramenta que, além da monocromaticidade, ainda apresenta direcionalidade. A pureza espectral e direcionalidade também podem ser obtidas utilizando-se fontes convencionais de luz, porém isto tem um custo bastante elevado, que é pago através da perda de intensidade, fator limitante numa série bastante grande de experimentos.

Com a utilização do laser, novas técnicas espectroscópicas têm atingido graus fantásticos de precisão e sensibilidade. Tais técnicas abriram novos campos na física. Por exemplo, a simples capacidade de poder excitar um elétron com números quânticos precisamente pré-determinados tornou possível a observação de espécies conhecidas como átomos de Rydberg, que correspondem a estados não convencionais com extraordinária riqueza de propriedades e revelações da natureza quântica do átomo.

A combinação da tecnologia com as ciências básicas criou o que hoje denominamos de espectroscopia a laser, possibilitando enormes inovações em ciência e tecnologia, tais como padrões de frequência, conjugadores de luz e melhor entendimento de reações químicas e processos de controle.

Vamos, a seguir, discutir algumas das técnicas mais utilizadas na espectroscopia atômica a laser e em seguida discutiremos as perspectivas mais diretas que estão sendo vislumbradas hoje.

### **A. Espectroscopia por Absorção Saturada**

Nesta técnica a amostra atômica deve ser iluminada por um feixe laser de alta intensidade (denominado de laser saturador) e um outro laser de baixa intensidade (denominado de laser de diagnóstico) e normalmente estes lasers são contra propagantes. Imagine este sistema de lasers interagindo com uma amostra gasosa. Se a frequência do laser é tal que um átomo, movendo-se com velocidade  $v_z$  na direção do laser fica ressonante, podendo desta forma, absorver a luz; o segundo laser, tendo a mesma frequência do primeiro, não poderá interagir com tal átomo, já que ele estará fora de ressonância por um fator de  $(1 + v_z/c)$ . Isto é equivalente a dizer que ambos os lasers interagirão com diferentes átomos da amostra, a menos que estejamos analisando aqueles átomos com componentes de velocidade  $v_z = 0$  (na direção dos lasers). Neste caso o mesmo grupo de átomos interage com ambos os lasers e ao observarmos a intensidade do laser fraco, vemos que na frequência exata, onde ambos lasers interagem com mesmos átomos, ocorre um aumento de intensidade devido ao fato que o primeiro laser (forte) saturou a transição e o segundo não é absorvido. A largura espectral na qual este fenômeno ocorre é, muitas vezes, menor do que a largura espectral da distribuição conhecida como largura Doppler. Assim, nesta técnica a saturação é utilizada para eliminar a largura Doppler.

### **B. Espectroscopia de Dois Fótons**

O arranjo experimental para esta técnica é semelhante ao anterior, porém o efeito Doppler é agora eliminado de tal forma a permitir que todos os átomos das amostras participem e não somente aqueles com uma determinada velocidade específica. Assim, consideremos uma amostra gasosa iluminada por dois lasers contrapropagantes e de mesma frequência. Para um átomo que apresenta componente de velocidade  $v_z$  na direção do laser, cada feixe parece defasado de sua frequência original pelo fator  $(1 \pm v_z/c)$  dependendo se a velocidade  $v_z$  é paralela ou anti-paralela ao laser. Caso o átomo consiga absorver um fóton de cada laser, a energia total

transferida ao átomo será  $hw(1 - \frac{v}{c}) + hw(1 + \frac{v}{c}) = 2hw$ , que é independente da velocidade

do átomo e só depende de termos a quantidade  $2hw$  ressonante com uma das transições permitidas por dois fótons no átomo. A absorção de dois fótons como descrito elimina totalmente a largura Doppler da amostra. Normalmente neste tipo de espectroscopia feixes de alta intensidade são utilizados e somente algumas transições específicas é que podem ser estudadas.

### C. Método de Ramsey

O alargamento Doppler apresentado anteriormente não é o único tipo de dificuldade encontrada na realização de espectroscopia de alta resolução. O fato que a radiação interage com o sistema atômico somente num intervalo finito de tempo introduz o chamado "alargamento por tempo de trânsito". Assim, quanto maior for o tempo de interação, mais precisa é a medida.

Para sobrepor este efeito, N.R. Ramsey idealizou uma técnica, inicialmente empregada na região de frequência de rádio, que emprega dois campos espacialmente separados, porém coerentes. Isto pode ser feito também com lasers quando duas regiões de transição de dois fótons é empregada. Enquanto átomos passam pela primeira região, uma superposição de estados oscilam entre os estados envolvidos na transição. Ao passar pela segunda região de interação, a probabilidade de absorção oscilará produzindo as chamadas franjas de Ramsey cujo espaçamento só depende da frequência de transição. Precisão incríveis de medida podem ser obtida com esta técnica.

### D. Espectroscopia por Fluorescência

Nesta técnica medimos a intensidade de luz proveniente da amostra após excitação pelo laser e não sua distribuição espectral. Variações na intensidade da fluorescência podem ocorrer devido a uma série bastante grande de efeitos que acontecem na amostra.

### E. Resfriamento com Laser

As técnicas que proporcionam realização de espectroscopia livre do efeito Doppler normalmente eliminam somente o efeito em primeira ordem. A contribuição em segunda ordem permanece presente. Apesar de ser desprezível em vários casos (uma parte em  $10^{10} - 10^{11}$ ) é o fator limitante de várias medidas de alta precisão. O efeito Doppler de segunda ordem é proporcional a energia das partículas e portanto a

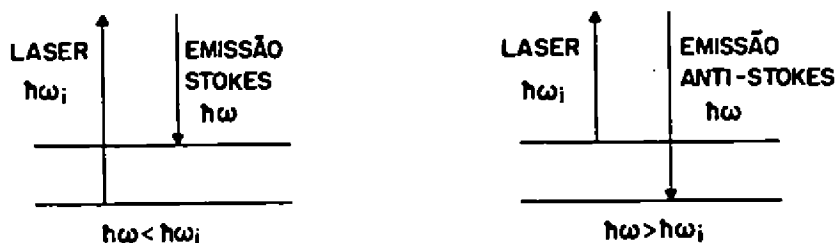
única forma de reduzi-lo é através da redução do movimento dos átomos. Isto tem sido feito através de técnicas modernas onde a força exercida pela radiação sobre o sistema atômico é utilizada para desacelerar e resfriar o sistema atômico.

Utilizando-se técnicas de desaceleração de átomos com laser, um feixe atômico oriundo de uma fonte efusiva pode ser trazido ao repouso numa distância relativamente pequena (da ordem de 1m para átomos de sódio). Não somente átomos neutros podem ser resfriados por laser, mas também íons aprisionados em armadilhas eletro-magnéticas podem ser trazidos a estados de mais baixa energia translacional.

Átomos resfriados e/ou desacelerados por laser constituem uma excelente amostra para utilização em padrões de frequência, tanto na região das microondas quanto na região do visível, tornando-se fortes candidatos para a próxima geração de relógios atômicos.

#### F. Espectroscopia Raman

Nesta técnica o processo pode ser visto como uma colisão inelástica de um fóton com uma molécula ou átomo. Sendo  $h\omega_i$  a energia do fóton incidente, o fóton emergente pode apresentar energia ( $h\omega$ ) maior ou menor do que o incidente, dependendo se a energia final da molécula for menor ou maior do que seu estado inicial. A figura abaixo representa bem o processo Raman.



Esta técnica é especialmente recomendada para estudo de estados vibracionais e rotacionais de espécies moleculares, onde cada nível eletrônico é sobreposto por uma série de outros níveis espaçados por um intervalo de energia muito menor.

A espectroscopia Raman e suas variações têm produzido dados a respeito da natureza atômica-molecular que dificilmente seriam obtidos por outros métodos. A técnica tem sido extensivamente utilizada em biologia, biofísica e medicina para investigação de estruturas moleculares e efeitos transientes em reações biológicas.

## G. Espectroscopia Heterodina

Nos métodos mais convencionais de espectroscopia de alta resolução normalmente a frequência do laser é variada através da linha de absorção do sistema e seu valor absoluto de frequência é determinado por interpolação ou através da medida direta do comprimento de onda. Em muitos casos, no entanto, é necessário a medida precisa do espaçamento de energia entre níveis ao invés de sua posição absoluta. Neste caso a técnica denominada de Heterodina é a mais recomendada. Aqui dois lasers independentes são sintonizados em duas frequências moleculares diferentes. Estes lasers são superpostos num detector cuja saída contém máximos em  $(w_1 - w_2)$  e  $(w_1 + w_2)$ . O termo  $(w_1 + w_2)$  pode ser filtrado e somente a diferença medida. A precisão na medida dependerá de quão bem os lasers estão estabilizados.

## H. Outras

As técnicas que foram descritas estão longe de compor uma lista completa, pelo contrário, são apenas alguns exemplos de uma vasta lista que incluem técnicas diversas, empregando maneiras distintas de sobrepor limitantes a alta resolução.

### 3.1.8. Óptica e Lasers em Medicina

O uso da Óptica na Medicina iniciou-se usando lâmpadas e conjuntos de lentes, os sistemas ópticos utilizáveis em medicina rapidamente se estenderam a outras áreas, e instrumentos de inspeção visual como otoscópios, endoscópios, etc. que datam dos anos 1800. Com o advento do laser ficou claro sua grande potencialidade de aplicação na área médica, tanto para diagnóstico quanto para cirurgia. Existem várias razões pelas quais lasers encontram inúmeras aplicações em medicina, entre elas a alta brilhância, monocromaticidade e facilidade de focalização em diâmetros muito pequenos ( $\sim 10^{-6}$  m). Especialistas em oftalmologia, ginecologia, gastroenterologia, dermatologia, urologia e outras áreas encontram usos para os diferentes tipos de laser existentes, tanto pulsados como contínuos,

Fibras ópticas aumentaram consideravelmente o número de aplicações de lasers em medicina. O campo de endoscopia avançou bastante, e endoscópios modernos empregam fibras ópticas como forma de transmissão da radiação laser, além de permitir a visualização simultânea (por outro conjunto de fibras acoplado no mesmo endoscópio). Desta forma, cirurgias e tratamentos podem ser realizados usando



métodos não invasivos com precisão microcirúrgica. Os tipos de laser mais comumente empregados em medicina são o laser de Argônio, Nd:YAG e CO<sub>2</sub>. Outros lasers, operando no ultravioleta ou lasers de corantes também são utilizados em menor escala. Dentre as vantagens da utilização do laser, está a habilidade em coagular e selar vasos sanguíneos à medida que cortam, reduzindo perdas de sangue. Quando associado a fibras ópticas, o sistema laser-fibra tem acesso a áreas onde seria necessário cirurgias mais delicadas, particularmente no tratamento de câncer no sistema urinário. Uma outra vantagem, do ponto de vista econômico e da recuperação do paciente, é a redução no tempo de estada no hospital, quando o tratamento é feito com lasers. Este fato é resumido na Tabela I. Também na Tabela I pode ser encontrados os tipos de lasers mais comumente empregados para os diversos tipos de especialidades médicas. A utilização do laser gera ainda a possibilidade de tratamentos em clínicas, sem a necessidade de utilizar hospitais, principalmente devido ao curto tempo da cirurgia ou tratamento.

O que se espera da próxima geração de lasers para medicina? Além da continuidade da pesquisa, incluindo compactação e informatização (para controle) dos sistemas utilizando lasers, novos tipos de lasers estão sendo testados em laboratório. Lasers gerando pulsos ultracurtos ( $10^{-12}$ s) estão sendo testados em oftalmologia. Sistemas baseados em lasers de titânio-safira estão sendo desenvolvidos, utilizando técnicas não lineares, para gerar luz com comprimentos de onda sintonizáveis na região de 325 a 3000 nm. Lasers de Er:YAG (operando 2.9  $\mu$ m) já são comercializados. O laser de elétrons livres também já encontra aplicações em medicina. Do ponto de vista de novos tratamentos, vários tipos de câncer e doenças do olho estão sendo tratadas em caráter experimental.

Estes são alguns desenvolvimentos recentes na área de óptica e lasers na medicina. Talvez tão importante quanto a pesquisa em andamento, é a parte educacional a ser feita devido a resistência de grande setor da área médica à nova tecnologia, a qual muitas vezes não é entendida. Uma vez que a comunidade médica aprenda o que o laser pode fazer, juntamente com a habilidade manual, poderão abandonar sua desconfiança e utilizar este método que se expande rapidamente nos países mais desenvolvidos.

**Tabela I**

Redução na estadia em hospital com cirurgia laser (Fonte: A D Little, Cambridge, em Laser Focus, Abril 1987).

Especialidade	Dias		Laser mais comu- mente empregado
	Cirurgia Convencional	Cirurgia Laser	
<b>Oftalmologia</b>			
Glaucoma	2-4	0-1	Argônio, Nd:YAG
Retina	4-5	0-1	Argônio
Capsulotomia	3	0	Argônio
<b>Otorrinolaringologia</b>			
Remoção de tumor	4-8	0-2	Nd:YAG, CO <sub>2</sub>
<b>Gastroenterologia</b>			
Tratam. de úlcera	5-10	2-5	Nd:YAG
<b>Ginecologia</b>			
Histeractomia	3-8	0-2	Nd:YAG
<b>Neurocirurgia</b>			
Tumor no cérebro	7-10	3-5	CO <sub>2</sub>
<b>Urologia</b>			
Pedras nos rins	14	1-2	Nd:YAG
<b>Cardiovascular</b>			
Angioplastia	21-35	2-3	Excímeros, CO <sub>2</sub> (pulsado)

## 3.2. Situação da Área no País

### 3.2.1. Breve Histórico

O início das atividades de Óptica no País confunde-se com o início das atividades em Física Atômica e Molecular pois estas últimas se valiam da primeira no uso do instrumental adequado e até mesmo no desenvolvimento de instrumentos conforme a arquitetura experimental exigia. Datam do início da década de 50, por exemplo, os primeiros estudos do efeito Raman em São Paulo, no antigo Departamento de Física da FFCL-USP, quando foram observadas novas raias Raman em Br, halogenetos e compostos orgânicos e quando foi desenvolvida uma lâmpada especial de descarga em He. Esta atividade "pré-laser" foi seguida de atividades em óptica teórica no CBPF e na USP, quando foram estudadas a teoria quântica do processo de emissão espontânea, a teoria da difração e as teorias quânticas da coerência e do efeito Cerenkov. Paralelamente a estes desenvolvimentos, foi fundada em São Paulo a Associação de Amadores em Astronomia, quando então foram construídos instrumentos ópticos, lunetas, lentes e um telescópio para o ITA. No CBPF, foram, naquela época, projetados e construídos sistemas ópticos, lentes e interferômetros. Na área educacional foi estabelecido no IBEC (hoje FUNBEC), na década de 60, um projeto piloto para o ensino de ciências no curso secundário sendo, então, desenvolvido um kit de óptica. Em 1966, iniciou-se um grupo de lasers na UFRGS desenvolvendo já naquela época alguns lasers de gás e iniciando estudos de espectroscopia não-linear.

A época pós-laser no País foi marcada pelo início das atividades dos grupos de estado sólido e de dispositivos semicondutores em Campinas, em 1971, que levou, em 1973 à criação do grupo LPD com apoio da TELEBRÁS. Como consequência dos trabalhos desenvolvidos na UNICAMP foram introduzidas no País as tecnologias de produção de fibras ópticas e de lasers de semicondutores. Também em 1971 a UFPE recebeu o apoio do CNPq para a implantação de um núcleo de óptica, o mesmo acontecendo em 1975, na UFCE. Ambos os grupos concentraram-se inicialmente no estudo de propriedades ópticas da Matéria Condensada tendo entretanto diversificado sua atuação ao longo dos anos. Em 1974, na UNICAMP houve a implantação de vários grupos após o retorno ao Brasil de Sergio P.S. Porto, um dos pioneiros mundiais em Espectroscopia Raman com lasers. Porto também estimulou outros grupos de pesquisa em Óptica no País, como o IEAV no CTA e no IPEN-SP. Também na década de 70 foram implantados laboratórios de Óptica na UFMG, UFF e PUC-RJ. Em 1979 a USP-São Carlos iniciou suas atividades em Óptica através da implantação de um grupo e da consolidação das atividades em crescimento de cristais. Mais recentemente nesta instituição foi implantada uma importante Oficina de Óptica que dispõe de facilidades para construção de diversos tipos de componentes ópticos e filmes finos. Na PUC-RJ a

partir da década de 80 foi estruturado um forte grupo teórico de Óptica Quântica. Também na década de 80 foi iniciado um grupo teórico de Óptica Quântica na UFPB. Em 1982, foi criada a comissão de Óptica da SBF e, em 1984, houve o ingresso do Brasil na Comissão Internacional de Óptica da IUPAP. Em 1986 foi organizada a I Escola J.A. Swieca de Óptica Quântica e Não-Linear que reuniu cerca de 80 participantes de vários Estados. Mais recentemente foi iniciada a implantação de dois novos grupos na UFAL e UF de Santa Catarina. Em janeiro de 1990 a II Escola Swieca foi conduzida com grande sucesso demonstrando de certo modo a maturidade atingida pelos grupos que atuam na área. A Escola contou mais uma vez com cerca de 80 participantes embora este número tenha sido limitado devido as dificuldades financeiras.

### 3.2.2. Situação Atual

Os grupos de Óptica têm assumido uma posição de vanguarda no País, quer por sua agilidade, quer por uma mentalidade voltada para atuação em áreas científicas de fronteira, para o desenvolvimento de instrumentação e aplicações tecnológicas. Em geral eles contam com uma proporção maior de físicos experimentais do que teóricos e têm demonstrado uma preocupação constante com a formação de recursos humanos para atuação dentro e fora da Universidade. A Tabela 2.1 mostra que a distribuição geográfica dos grupos de pesquisa em Óptica no País está relativamente bem equilibrada, existindo já há alguns anos, grupos ativos nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Pernambuco e Ceará; grupos mais novos estão em implantação na Paraíba, Alagoas e Santa Catarina. Entretanto, o número total de pesquisadores na área é muito pequeno num contexto internacional e estão concentrados principalmente na região sudeste.

Os grupos de pesquisa contam com cerca de 66 pesquisadores Doutores, 22 Mestres, sendo que 83% do total são experimentais. Nas Universidades estão sendo formados atualmente 58 estudantes de Doutorado, 67 estudantes de Mestrado, além de 90 estudantes de Iniciação Científica.

De um modo geral os grupos têm uma boa produtividade como pode ser evidenciado pelo nível dos trabalhos realizados, pelas publicações dos grupos e pelo nível médio dos estudantes formados. Até o presente foram formados nesta área cerca de 119 Mestres e 37 Doutores.

Uma das características de vários laboratórios existentes é a ausência de instrumentação adequada à realização de pesquisas mais sofisticadas em condições de competir internacionalmente. Entretanto um grande esforço tem sido feito para

desenvolvimento de instrumentação dentro dos grupos. Com relação à pesquisa e desenvolvimento em lasers existem atualmente trabalhos em andamento sobre lasers de semicondutores, lasers de CO<sub>2</sub>, lasers moleculares no infravermelho distante bombeados opticamente por CO<sub>2</sub>, lasers de N<sub>2</sub> no ultra-violeta, lasers de Nd na região de 1 µm, lasers de corantes de pulsos ultra-curtos, laser de vapor de cobre e laser de Argônio.

Apesar disso, na tecnologia de lasers poucos tipos de dispositivos podem ser construídos no País, principalmente devido às dificuldades relacionadas ao domínio das tecnologias e de obtenção de matérias primas e componentes eletroópticos. Mesmo assim há algumas indústrias que se originaram em função de desenvolvimentos realizados em Universidades e Instituições de Pesquisa Governamentais. Há atualmente quatro indústrias ativas na fabricação de lasers no Brasil, atuando na área de lasers de Hélio-Neônio e Óptica (Optoeletrônica São Carlos), lasers de CO<sub>2</sub> para medicina (Tecnolaser), lasers de CO<sub>2</sub> para aplicações industriais (Lasertech) e manutenção de lasers de Argônio (Unilaser). Destas, três se situam na região de Campinas, tendo ligações fortes com a UNICAMP e uma está na região de São Carlos, tendo ligação com o Instituto de Física e Química da USP, em São Carlos. Uma das dificuldades que estas empresas têm enfrentado diz respeito ao relacionamento com as Instituições de Pesquisa, onde muitas vezes há restrições à interação com indústrias. No entanto tem se verificado ao longo dos últimos anos uma melhora neste tipo de relacionamento, derivada do tempo de aprendizado vivido por ambas as partes e da necessidade objetiva de interação.

Outra empresa que tem tido forte atuação na área de lasers é a TELEBRAS, através do CPqD em Campinas onde existem desenvolvimentos na área de lasers a semicondutor e fibras ópticas (além de atividades de desenvolvimento em várias outras áreas voltadas às telecomunicações). Este é provavelmente o setor relacionado a lasers onde há maior maturidade tecnológica no País, com o desenvolvimento de partes e sistemas integrados voltados a uma particular aplicação e com vários exemplos de sistemas instalados e operacionais. Estima-se em 100.000 km a extensão de fibra óptica instalada atualmente no país em sistemas de comunicações. Também este setor se baseou (e ainda se baseia) intensivamente na interação com Instituições Universitárias onde há realização de pesquisas na área.

Nas outras sub-áreas também se nota um considerável esforço de pesquisa e algumas instituições realizam trabalhos de nível reconhecido internacionalmente.

Em Óptica clássica o País tem uma pequena tradição. Fora da Universidade o desenvolvimento nessa área iniciou-se através da criação da empresa D.F. de

Vasconcellos, que tinha como objetivo a construção de instrumentos ópticos militares. Esse desenvolvimento foi realizado através da importação de especialistas, principalmente da Alemanha. A falta de escolas fez com que poucos especialistas fossem formados nessa área no País. Somente bem mais recentemente algumas iniciativas acadêmicas apareceram principalmente na UNICAMP, no CTA e no IFQSC/USP. Atualmente o controle dos processos produtivos de óptica clássica, isto é, a fabricação de componentes ópticos e filmes finos, é bem maior no País que o domínio das técnicas de desenho óptico. Além das instituições mencionadas também atuam na área de filmes finos a UFRGS e o IPEN.

A pesquisa em Óptica coerente no País é desenvolvida principalmente na UNICAMP. As aplicações das técnicas holográficas na área tecnológica (interferência holográfica e desenvolvimento de redes de difração holográficas) e na área de imagens estão sendo particularmente exploradas naquela instituição.

A área de espectroscopia não-linear com lasers ainda está incipiente e apenas tem sido explorada em poucos laboratórios. Nestes, a ênfase tem sido nas aplicações à Matéria Condensada com estudos de processos multifotônicos, misturas de ondas e outros efeitos paramétricos em materiais isolantes e semicondutores. Há trabalhos sobre mistura de ondas e conjugação de fase em cristais, processos de absorção de dois fótons por impurezas em sólidos, efeitos de conversão ascendente e transferência de energia entre impurezas, além de alguns resultados com corantes orgânicos. As instituições que têm colocado um maior esforço nestas áreas são a UFPE, UNICAMP, e USP-São Carlos. Também incipientes são as aplicações à Física Atômica e Molecular. Além dos trabalhos com laser a gás, tem sido feitas pesquisas em áreas de espectroscopia sub-Doppler, resfriamento de feixes atômicos, geração de harmônicos ópticos, efeitos de biestabilidade óptica e caos. As pesquisas nesta área estão principalmente concentradas na UFPE, USP-São Carlos, UNICAMP, UFRGS e UFF.

Na área de lasers e espectroscopia de pulsos ultra-curtos existem atualmente apenas quatro laboratórios no país (UNICAMP, UFPE, PUC-RJ e UFAL). Este é um dado preocupante se considerarmos que esta é uma das fronteiras mais ativas no cenário internacional. Felizmente cerca de duas dezenas de estudantes estão sendo treinados no País e no exterior. Esta área desponta atualmente como uma das mais importantes fronteiras com conseqüências revolucionárias na Optoeletrônica e Computação Óptica.

Alguns temas de grande interesse atual estão sendo abordados pelos grupos teóricos de Óptica Quântica tais como: fenômenos de biestabilidade óptica, instabilidades e turbulências ópticas, estados quânticos do campo eletromagnético, entre

outros temas. O grupo teórico mais numeroso está concentrado na PUC-RJ, mas também existem trabalhos teóricos sendo realizados na UFPB, UFSC, UFRN, UFMG e UFPE. Lamentavelmente a atividade experimental na área óptica quântica ainda é muito pequena.

Com relação a Optoeletrônica são poucos os grupos trabalhando nesta área como objetivo central da pesquisa. Apenas o CPqD da TELEBRÁS atua em um número considerável de temas e sub-áreas, tendo seus esforços concentrados em aplicações a telecomunicações ópticas. Os esforços das Universidades e Institutos isolados são em geral esparsos. Alguns grupos trabalham na parte de Ciência dos Materiais (por exemplo: IPEN, UFCE, UNICAMP) e outros estudam aspectos de óptica não-linear e sensores (UFPE, UNICAMP, PUC-RJ, USP-São Carlos). A parte de processamento de materiais e fabricação de dispositivos é muito incipiente no País, incluindo lasers, fotodetectores, guias de onda, memórias e circuitos. Existem entretanto alguns trabalhos sendo realizados pelo CPqD TELEBRÁS, IEAv e UNICAMP.

Em áreas mais convencionais, tais como espalhamento de luz, absorção linear e luminescência existem vários grupos em atividade na UFPE, UFMG, PUC-RJ, UNICAMP, IFQSC, UFCE e UFRJ. Nestas áreas existem laboratórios dedicados ao estudo das propriedades de semicondutores, materiais magnéticos, vidros, cristais líquidos, cerâmicas e materiais biológicos. Algumas das pesquisas desenvolvidas por estes grupos também estão comentadas no texto da Física da Matéria Condensada.

A descrição detalhada das linhas de pesquisa, técnicas disponíveis e o investimento realizado até o presente na área de Óptica estão indicados na Tabela 2.2. De acordo com as informações fornecidas pelos grupos o investimento feito até o presente correspondeu a cerca de US\$ 11,716,000.00 (onze milhões, setecentos e dezesseis mil dólares) no período de aproximadamente 15 anos. Considerando o número de Doutores em atividade na área, chega-se a um valor médio de investimento/Dr./ano de cerca de US\$ 11,900.00. Este número deve sofrer uma pequena correção quando considerarmos os investimentos nos grupos que não responderam aos questionários. Entretanto, é possível afirmar com segurança que este valor médio não ultrapassa US\$ 13,000.00.

**TABELA 3.1: Pessoal Científico e Produtividade em Óptica**

INSTITUIÇÃO/GRUPO	DOCTORES		MESTRES		ESTUDANTES			ESTUDANTES FORMADOS		ARTIGOS EM REVISTAS C/ARBITRO	CONFERENCIAS INTERNACIONAIS	
	T	E	T	E	I	C	A	D	A		D	78-82
<b>NORTE-NORDESTE</b>												
UFPE	-	6	-	-	15	3	4	17	4	38AA	5	11
UFAL	1	-	4	-	2	-	-	-	-	30	-	3
UFPB	2	0	0	1	-	2	0	-	-	14A	-	2
UFRB	1	-	-	-	-	-	-	-	-			
UFCE	ver documento da Física da Matéria Condensada											
<b>SUDESTE</b>												
IPEN (Div. Opt. Apl.)	-	7	-	5	8	12	4			32	19	18
ITA (óptica)	-	4	-	-	7	4	4	14	5	114	8	16
UFF	-	2	-	1	3	2	-			17AA	-	23
UFMG					2	2	2	12	1	58	5	22
UNICAMP (Grupo de óptica)	-	4			1	2	2	5	3	26	3	4
UNICAMP (Grupo de óptica BSO-Linear	-	2	-	-	-	-	2	2	1	40	4	12

\* Apenas nos últimos 6 anos

AA Apenas nos últimos 5 anos



**TABELA 3.1: Pessoal Científico e Produtividade em Óptica  
(Continuação)**

INSTITUIÇÃO/GRUPO	DOCTORES		MESTRES		ESTUDANTES		ESTUDANTES FORMADOS		ARTIGOS EM REVISTAS C/ ARBITRARI	CONFERENCIAS INTERNACIONAIS	
										78-82	83-87
PUC-RJ	5	5	-	-	17	9	9	10	9	72*	31
IFQSC-USP (Gr. de óptica)	-	6	-	-	18	14	10	15	3	125	15 31
UFES	1	-	1	1							
UNICAMP (Grupo de Laser e aplicações)	-	5	-	-	1	3	5	13	2	33	6 17
UNICAMP (Grupo de Fibras ópticas)	-	3	-	-	1	2	4	12	1	35	11 10
UNICAMP (Grupo de Fenômenos Ultra-rápidos)	-	2	-	-	-	2	2	3	2	36	4 16
UNICAMP (Grupo Lasers no Infravermelho e aplicações à Espectroscopia)	0	1	0	1	4	2	1	1	0	17	3 6
UNICAMP (Grupo Espectroscopia)	-	2	-	1	-	2	2	6	5	105	11 7
TELEBRAS (Grupo Fibras ópticas)	-	2	-	7	-	-	3	2	-	1	- 8
SUL											
UFERS (Grupo Laser)	-	5	-	-	11	6	4	7	1	17	
UFSC	NÃO informado										

\* Apenas nos últimos 6 anos

TABELA 3.2: Grupos de Pesquisa em Óptica

INSTITUIÇÃO	LINHAS DE PESQUISA	ESTÁGIO	TÉCNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO US\$
<b>ORTE-RORDESTE</b>				
UFPE Grupo de óptica	.Processos ópticos não-lineares envolvendo conjugação de fase, efeitos cooperativos entre fons em cristais iônicos e vidros, e mistura de ondas transientes em semicondutores.	C	Absorção saturada e absorção de dois fótons com eliminação de efeito Doppler	
	.Espectroscopia sub Doppler de absorção Saturada e Mistura de Ondas em Gases Moleculares.	C	.Absorção multifotônica	
	.Desenvolvimento de lasers estabilizados para espectroscopia de alta resolução e metrologia.	C	.Misturas-de-ondas (incluindo conjugação de fase, CARS, geração de harmônicos, birrefringência não-linear)	
	.Espectroscopia não-linear (conjugação de fase e geração de harmônicos em vapores atômicos).	C	."Eede-locking"	
	.Efeitos magneto-ópticos. Espalhamento de luz em estruturas magnéticas e semicondutores.	C	.Compressão óptica	
	.Espectroscopia em "átomos de Rydberg" utilizando feixes atômicos (laboratório em preparação).	I	.Lasers $CU-CD_2$ (alta estabilidade)	
	.Não-linearidades em matéria condensada (cristais, vidros e fibras ópticas) com pulsos ultra-curtos.	C	.Lasers pulsados Nd:YAG e corantes (nanossegundos a femtossegundos)	450.000,00
	.Espectroscopia em fons de terras raras dopados em fibras ópticas.	C		
UFPA Grupo de óptica	.Teoria do laser	C	.Métodos de Física Matemática	
	.Sistemas Dissipativos	C		
	.Estados Comprimitos do Campo Eletromagnético	C		

ESTÁGIO: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa em implantação

**TABELA 3.2: Grupos de Pesquisa em Óptica (Continuação)**

INSTITUIÇÃO	LINHAS DE PESQUISA	ESTÁGIO	TÉCNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO (R\$)
UFAL Grupo de óptica	.Geração e Detecção de pulsos ultracurtos	I	. "Mode-Locking" .Compensação óptica	
	.Efeitos não-lineares em semicondutores	I	.Mistura-de-ondas . "Pump and Probe"	225,000.00
UFRRH	. "Squeezing" na emissão de uma cavidade com átomos acoplados e um oscilador paramétrico.	I		
	. "Squeezing" em bi-estabilidade óptica			
	.Saltos quânticos coletivos	I		
UFCE	(ver documento da Física da Matéria Condensada)			
SUDESTE				
IPEN	.Crescimento de cristais e filmes finos	I	.Refino por zona, sistema de crescimento Czochralsky, crescimento por Bridgman, Coloração Aditiva e desenvolvimento de filmes finos	400,000.00
	.Espectroscopia óptica de Defeitos Pontuais em Sólidos	I	.Absorção óptica, Emissão, Excitação, Absorção de Estado Excitado, eficiência quântica, técnicas de baixa temperatura	150,000.00
	.Estudo de Lasers - Construção, Caracterização, Geração de Pulsos curtos e ultracurtos.	I	.Construção de cavidades, lasers Q-switching e mode-locking	200,000.00
UFEG Grupo de óptica	.Estatística de fótons ( $10^{-7}$ S)	C	.Correlação de fótons: contagem de fótons	
	.Feixe de luz de baixo ruído	I		150,000.00
	.Eletretos naturais	C	.Correlação de fótons	
	.Difusão molecular			
	.Espectroscopia de Fluorperovskitas	C	.Espalhamento Raman	80,000.00

ESTÁGIO: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa em implantação

TABELA 3.2: Grupos de Pesquisa em Óptica (Continuação)

INSTITUIÇÃO	LINHAS DE PESQUISA	ESTÁGIO	TÉCNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO R\$M
UFBC (Cont.) Grupo de Óptica	.Dinâmica de interfaces fora do equilíbrio; Crescimento de cristais e instabilidades morfológicas em cristais líquidos	C	.Videomicroscopia	10,000.00
	.Dinâmica de colóides concentrados	C	.Correlação de fótons	
	.Transições de fase estruturais			
	.Cristais ferroelétricos	C	.Raman	
	.Polímeros ferroelétricos	I	.Brillouin	
	.Sistemas incommensuráveis	I	.Birrefringência	
	.Condutores superiônicos	C	.Correlação de fótons	
	.Instrumentação			
	.Detectores e radiômetros piroelétricos	C		13,000.00
	.Correlacionadores de fótons	C		20,000.00
.Colóides de origem biológica	I	.Correlação de fótons		
.Agregação e efeitos magneto-ópticos em ferrofluidos	I	.Birrefringência e correlação de fótons		
UF7 Lab. de Espectroscopia e Laser	.Estudo estendido no UV (Zr, Hf)	C	.Pulsos curtos .Correlações temporais	70,000.00
	.Estudo estendido no IV (CO <sub>2</sub> , CO)	C	.Análise temporal da radiação .Estados "glove" positivo e glove negativo	180,000.00
	.Estudo estendido em vapores (Hg, Se)	I	.Estudo de processos de excitação "Pumping", transferência de carga, etc.	250,000.00
CPES	.Propagação não-linear de feixe intenso em meios ópticos (I)			
	.Lasers de raios gama (I)			

ESTÁGIO: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa consolidada

TABELA 3.2: Grupos de Pesquisa em Óptica (Continuação)

INSTITUIÇÃO	LINHAS DE PESQUISA	ESTÁGIO	TÉCNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO D\$*
ITA	.Espectroscopia molecular e propriedades ópticas de fibras finas	C	.Espectroscopia infravermelho, visível, ultravioleta, Raman e difração de raios-X; refratometria; deposição de filmes finos por evaporação e polimerização em descargas elétricas	200.000,00
TELEBRAS	Grupo de Fibras Ópticas	C	.Altas Temperaturas .Medida Área/Superfície .Porosimetria .Microscopia Eletrônica de Varredura .Absorção Atômica .Espectroscopia U.V. .Espectroscopia I.V. .Medida Espalhamento de Luz	50.000,00 30.000,00 40.000,00 Colaboração 50.000,00 Colaboração 40.000,00 10.000,00
UNICAMP	Grupo de Lasers no Infravermelho			
	.Obtenção de novos lasers no infravermelho longo/curto	C	.Bombeamento óptico de moléculas com laser de CO <sub>2</sub>	150.000,00
	.Espectroscopia molecular	I	.Absorção e emissão	
	.Geração de bandas laterais em linhas de laser	I	.Mistura de frequências	2.000,00
	.Medidas de frequências de linhas de laser	I	.Mistura de frequências	1.000,00
UNICAMP	Grupo de óptica não-linear			
	.Grades de difração induzidas por lasers	C	.Lasers pulsados sintonizáveis	
	.Moléculas orgânicas	C	.Espectroscopia  .Eletrônica de alta velocidade (gigaHertz) óptica	250.000,00

ESTÁGIO: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa em implantação

TABELA 3.2: Grupos de Pesquisa em Óptica (Continuação)

INSTITUIÇÃO	LINHAS DE PESQUISA	ESTAGIO	TÉCNICAS BÁSIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO US\$
ORICAMP Grupo de Lasers e Aplicações	.Lasers no infravermelho	C	.Lasers CW, QW, TEA	160,000.00
	.Lasers no infravermelho longo/infravermelho	C	.Cavidades Fabry-Perot .Medidas de polarização	40,000.00
	.Espectroscopia molecular no IVL	C	.Espectroscopia fotoacústica "Assignment" de transições lasers IVL .Espectroscopia a transformada de Fourier .Espectroscopia de saturação .Espectroscopia Stark	50,000.00
	.Espectroscopia atômica	I	.Espectroscopia optogalvânica	200,000.00
	.Retrológia	I	.Resfriamento de átomos .Espectroscopia em feixes atômicos .Medidas de frequência	50,000.00
	ORICAMP Fibras ópticas	.Óptica não-linear com fibras ópticas	C	.Compreensão de pulsos; espalhamento Raman estimulado; modulação de fase
.Lasers de fibra óptica		C	.Fibras dopadas; mode-locking	80,000.00
.Espectroscopia dinâmica em ligas InGa, As, Al, P		I	.Espalhamento de portadores	80,000.00
ORICAMP Grupo de fenômenos ultrarrápidos	.Geração de pulsos laser ultracurtos	C	.Laser corante; compressão com fibra óptica; "mode locking"	200,000.00
	.Aplicações de pulsos laser ultracurtos em espectroscopia	C	."pump and probe"; mistura de quatro ondas	100,000.00
	.Aplicações de pulsos laser ultracurtos	I	.Amostragem eletroóptica; circuito em GaAs	

ESTAGIO: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa em implantação

TABELA 3.2: Grupos de Pesquisa em Óptica (Continuação)

INSTITUIÇÃO	LINHAS DE PESQUISA	ESTÁGIO	TÉCNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO US\$
UNICAMP Grupo de Óptica	.Redes holográficas	C	.Holografia	
	.Cristais fotorefrativos	I	.Registro holográfico estabilizado	
	.Fotolitografia	I	.Fabricação de redes de difração	
	.Holografia	I	.Síntese de Fourier . .Fotolitografia . .Diversas técnicas de metrologia óptica (medidas de distâncias, espessuras e movimentos)	3,835,000.00
UNICAMP Grupo de Espectroscopia	.Espectroscopia Raman e infra-vermelho em semicondutores amorfos	C	.Raman e infravermelho	500,000.00
	.Raman ressonante em semicondutores III-IV	C	.Raman	100,000.00
	.Raman em grafites intercalados e luminescência de terras raras em moléculas intercaladas em grafites	I	.Raman e luminescência	50,000.00
TELEBRAS Grupo Fibras Ópticas	.Polímeros com propriedades ópticas não-lineares	I	.Espectroscopia IV .Colorimetria de varredura .Cromatografia líquida .Medida esp. luz .Medida coeficiente eletroóptica .Raios X	Colaboração 60,000.00 80,000.00 30,000.00 Colaboração

ESTÁGIO: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa consolidada

TABELA 3.2: Grupos de Pesquisa em Óptica (Continuação)

INSTITUIÇÃO	LINHA DE PESQUISA	ESTAGIO	TECNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO R\$
<b>TELERIAS</b>				
Grupo de Fibras ópticas	.Dispositivos para linhas de comunicações ópticas	I	. "Polimento" ."Spin Coating" .Litografia .Disposição filmes fino .Medida campo próximo .Medida atenuação	30,000.00 10,000.00 80,000.00 150,000.00 10,000.00 10,000.00
POC-RJ	.Lasers, Rãsers e Microssers. Processos excitifônicos. Espalhamento de luz por partículas esféricas (Teoria)	C		
	.óptica não-linear (experimental)	I	.Laser, fibras	
	.óptica quântica (experimental)	I	.Espectroscopia atômica	
	.Optoeletrônica (experimental)	I	.Laser, filmes, guias	
IFQSC	.óptica não-linear	C	.Espectroscopia de dois fótons .Conjugação de fase	500,000.00
	.Física Atômica	C	.Desaceleração de-íonsos	700,000.00
	.Espectroscopia de defeitos	C	.Lasers de centro de cor	400,000.00
	.Instrumentação óptica	C	.Oficina óptica	1,000,000.00
	.Espectroscopia atômica com laser semiconductor	C	.Saturação, batimento quântica	100,000.00
	.Espectroscopia de filmes amorfos de semiconductor	C	.Infravermelho e Raman	150,000.00

ESTAGIO: (C) linha de pesquisa consolidada  
(I) linha de pesquisa em implantação



**TABELA 3.2: Grupos de Pesquisa em Óptica (Continuação)**

INSTITUIÇÃO	LINEAS DE PESQUISA	ESTAGIO	TÉCNICAS MAIS RELEVANTES	CUSTO ESTIMADO US\$
SDL				
UFCS				
Grupo Laser	.Descargas elétricas	C		
	.Espectroscopia	C		
	.Fibras Finas	I		
	.Instrumentação	C		
UFSC	Itô informado			

ESTAGIO: (C) linha de pesquisa consolidada  
 (I) linha de pesquisa em implantação

### 3.3. Análise e Perspectivas

Temos atualmente no País cerca de 20 grupos atuando na área de Óptica. As atividades de pesquisa são quase que integralmente desenvolvidas nas Universidades. O mercado de trabalho fora das Universidades ainda é muito limitado embora já exista um pequeno número de empresas atuando em algumas faixas de tecnologia.

Embora as atividades nesta área tenham atingido uma posição de destaque na física do País, elas ainda representam muito pouco em nível internacional.

De modo geral os vários grupos estão conscientes da necessidade da formação de mais pesquisadores. Isto certamente irá requerer um maior investimento do que tem sido feito até o presente. Os planos e projeções dos grupos (Tabela 2.3 e 2.4) refletem a preocupação com a escolha de novos temas de pesquisa, absorção de novos pesquisadores e com capacidade de formação de recursos humanos.

De um modo geral os grupos se ressentem da inexistência de uma boa infraestrutura de apoio técnico. Isto é decorrente da falta de continuidade no financiamento dos grupos de pesquisa que não têm condições de substituir equipamentos e máquinas já obsoletos. Outro fator importante para ser destacado é a necessidade de criação de escolas para a preparação de técnicos ópticos (2o. grau e nível superior) e de uma política de valorização dos técnicos de apoio à pesquisa.

Outro sério entrave ao desenvolvimento dos grupos é a falta de agilidade nos procedimentos burocráticos para importação de equipamentos e insumos básicos.

Como em outras áreas da Física sente-se a necessidade de um sistema diferenciado e justo quanto a cargos e salários dos pesquisadores de Universidades e Institutos de Pesquisa, a fim de fixá-los em suas respectivas Instituições. Faz-se também necessário um aumento substancial dos valores das bolsas de P.G. em nível de mestrado, doutorado e pós-doutorado. Além disso, o setor produtivo, ao invés de adquirir simplesmente pacotes tecnológicos no exterior, deve facilitar e apoiar o desenvolvimento da Óptica no País, incrementando o intercâmbio com as Universidades e centros de pesquisa, aproveitando, dessa forma, a capacidade já instalada e abrindo novos campos para a pesquisa e desenvolvimento.

Apesar do pequeno apoio que tem sido historicamente destinado à área, os grupos estão prevendo a formação de cerca de 150 Mestres e 80 Doutores nos próximos 5 anos, caso sejam mantidas as condições de financiamento dos últimos anos (Tabela 1.3). Este número poderá crescer substancialmente caso haja um maior nível de

investimento conforme indicado na Tabela 1.3. Neste caso está prevista a formação de 215 Mestres e 133 Doutores.

De um modo geral, os grupos existentes estão prevendo uma expansão para os próximos 5 anos de modo que poderiam ser absorvidos cerca de 30 Mestres e 60 Doutores caso se mantenham as condições de financiamento dos anos anteriores (Tabela 1.3). Em condições ideais este número deverá crescer para atingir cerca de 50 Mestres e 100 Doutores nos próximos 5 anos considerando apenas os grupos já existentes. Estes números corresponderão a um crescimento de cerca de 150% com relação ao número atual de pesquisadores.

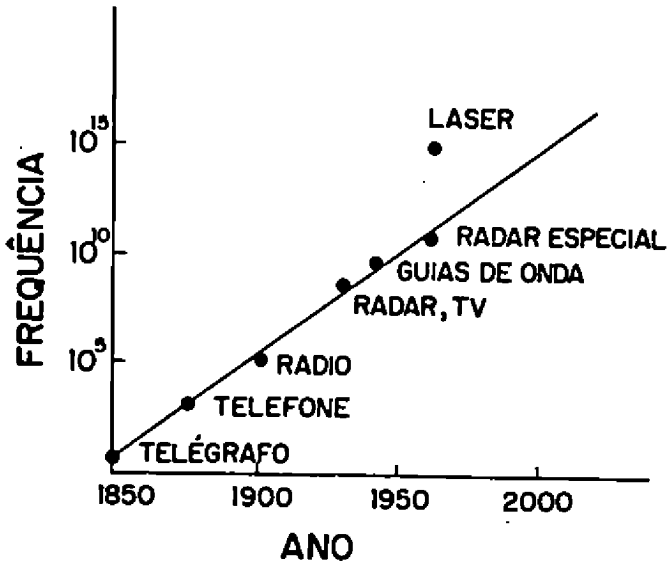
Para atingir as condições ideais qualificadas pelos grupos será necessário investir cerca de US\$ 21,000,000.0 (vinte e um milhões de dólares) nos próximos 5 anos. Cerca de 70% deste total deveriam ser destinados a despesas de capital.

Será importante que neste processo de crescimento possam ser preservadas algumas das atuais características dos grupos. Por exemplo, é importante observar que cientistas brasileiros atuando nesta área interagem bastante entre si buscando ajuda mútua e colaborando em seu trabalho científico. Este esforço espontâneo é resultante do fato da comunidade ser pequena. No futuro seria interessante a existência de mecanismos que favoreçam a continuidade desta prática. Convênios de intercâmbio científico entre grupos deveriam ser apoiados pelos órgãos de financiamento.

Será também necessária a criação de novos mecanismos que estimulem a interação entre os grupos de pesquisa e a indústria visando a realização de trabalhos de interesse comum.

Para encerrar esta seção é importante destacar mais uma vez que a realização de pesquisas na área de Óptica não tem resultado somente na importante função de proporcionar melhor entendimento das leis básicas da Física, da estrutura e do comportamento da matéria e sua interação com a radiação, mas também propicia o desenvolvimento de novos instrumentos e técnicas que poderão fornecer informações vitais para outras áreas do conhecimento permitindo assim um maior desenvolvimento tecnológico e científico da Nação. Este é um ponto que deverá ser sempre considerado na elaboração de planos de desenvolvimento.

Outro ponto a ser considerado diz respeito à assimilação das tecnologias ópticas pela sociedade. A figura a seguir ilustra de certo modo a capacidade que tem demonstrado a sociedade para assimilar avanços tecnológicos. Durante os últimos 150 anos, a cada 10 anos a sociedade assimilou um fator 10 na frequência.



Hoje dispomos de uma tecnologia bem estabelecida em frequências até alguns gigaHertz. Na região óptica ainda não dispomos, fora dos laboratórios, de fontes facilmente sintonizáveis, amplificadores e detetores rotineiramente controlados. Certamente nos próximos anos presenciaremos uma revolução tecnológica sem precedentes com conseqüências cada vez mais diretas na vida diária do cidadão comum.

A análise destes aspectos e dos vários outros assinalados neste documento mostra a importância e urgência de um investimento mais significativo na área de Óptica. A Universidade e os Institutos de Pesquisa Nacionais são capazes de formar pessoal capacitado a atuar profissionalmente desde que sejam criadas as condições para que isto aconteça. Ao contrário da ciência do século passado, a instalação de laboratórios competitivos requer investimentos consideráveis. Por outro lado não bastam os investimentos iniciais. É imprescindível a existência de uma política de apoio ininterrupto a médio e longo prazo para que seja possível assegurar um padrão de qualidade mínimo.

TABELA 3.3: Perspectivas para os Próximos 5 anos em Óptica

INSTITUIÇÃO/GRUPO	CAPACIDADE DE FORMAÇÃO				EXPANSÃO DO GRUPO			
	CONDIÇÕES ATUAIS		CONDIÇÕES IDEAIS		CONDIÇÕES ATUAIS		CONDIÇÕES IDEAIS	
	H	D	H	D	H	D	H	D
<b>NORTE-NORDESTE</b>								
UFPE	25	11	36	18	-	2	-	3
UFAL	-	-	-	-	4	1	-	6
UFPB	5	0	8	0	0	4*	0	7**
UFPEL	Não informado							
UFCE	ver documento de Física de Matéria Condensada							
<b>SUDESTE</b>								
IPEN (Div. Opt. Aplicada)	11	5	19	11	23	16	33	25
ITA	18	9	20	13	2	4	5	8
UFF	5	1	5	3	1	2	3	4
UFMG	10	3	18	8	0	6	0	10
PUC-RJ	30	15	40	20	-	2	-	6
IFQSC-USP Grupo de óptica	15	10	20	15	-	5	-	10
UNICAMP Grupo de óptica Não-Linear)	4	2	6	4	6	3	8	4
UNICAMP Grupo: Lasers no Infravermelho	2	1	3	2		1		1
UNICAMP Grupo de Espectroscopia	2	2	3	3				2
UNICAMP Grupo de óptica	5	4	5	4	-	2	-	2

\* 2 teóricos e 2 experimentais

\*\* 3 teóricos e 4 experimentais

**TABELA 3.3: Perspectivas para os Próximos 5 anos em Óptica**  
(Continuação)

INSTITUIÇÃO/GRUPO	CAPACIDADE DE FORMAÇÃO				EXPANSÃO DO GRUPO			
	CONDIÇÕES ATUAIS		CONDIÇÕES IDEAIS		CONDIÇÕES ATUAIS		CONDIÇÕES IDEAIS	
	R	D	R	D	R	D	R	D
UNICAMP								
Grupo de Fibras Ópticas	3	4	3	6	-	-	-	1
UNICAMP								
Grupo de Fen. Ultra-Rápidas	3	3	5	5	-	2	-	3
UNICAMP								
Grupo de Lasers e Aplicações	5	5	10	10	-	1	-	2
SUL								
UFMG	9	7	14	11	-	5	-	8
UFSC	Não informado							

TABELA 3.4: Perspectivas para os Próximos 5 anos em Óptica

INSTITUIÇÃO GRUPO	NOVAS LINHAS DE TRABALHO	NOVAS TÉCNICAS	INVESTIMENTO US\$
<b>NORTE-NORDESTE</b>			
<b>CONDIÇÕES ATUAIS</b>			
UFPE	. Fenômenos ultra-rápidos em semicondutores	. Técnicas de pulsos curtos baseadas em lasers de semicondutor e laser de CO <sub>2</sub>	700,000.00
	. Preparação de vidros ópticos	. Técnicas de caracterização óptica de vidros e polímeros	
	. Óptica Quântica (estados quânticos da luz)	. Geração e aplicações de estados comprimidos do campo eletromagnético	
	. Fenômenos não lineares em filmes de polímeros	. Espectroscopia com lasers ultra-es-lávete (CO <sub>2</sub> ; Ti:Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) no infra-vermelho e visível	
<b>CONDIÇÕES IDEAIS</b>			
	. Óptica Integrada	. Técnicas de preparação de estruturas de estruturas de guias de onda para opto-eletrônica ultra-rápida	1,000,000.00
<b>CONDIÇÕES ATUAIS</b>			
UFPB	. Iniciar a montagem do laboratório de óptica Quântica e Linear		500,000.00
<b>SUDESTE</b>			
<b>CONDIÇÕES ATUAIS</b>			
UFPE	. Iniciando atividades em novos materiais	. Filmes Finos . Crescimento de novos cristais . Espectroscopia de alta resolução e não-linear	600,000.00
<b>CONDIÇÕES IDEAIS</b>			
	. Necessários investimentos em equipamentos básicos		2,000,000.00

TABELA 3.4: Perspectivas para os Próximos 5 anos em Óptica  
(Continuação)

INSTITUIÇÃO GRUPO	NOVAS LINHAS DE TRABALHO	NOVAS TÉCNICAS	INVESTIMENTO US\$
ITA	.Planejas manter as linhas atuais pelo menos durante os próximos cinco anos		não informado
UFES	.Lasers de raios gasa (Teoria)		não informado
IFQSC Grupo de óptica	CONDIÇÕES ATUAIS		
	.Fenômenos ultra-rápidos: Estudo de clusters atômicos	.Lasers de Pulsos Curtos	1,500,000.00
	.Estudo de colisões com feixes atômicos	.Câmaras atômicas	
	.Aprisionamento de íons	.Campos magnéticos super intensos	
	.Espectroscopia de gases dissolvidos em matrizes amorfas	.Colisão assistida por fótons, Raman	700,000.00
		.Espectroscopia de ultra alta resolução	
		.Transições de fase	600,000.00
	CONDIÇÕES IDEAIS		
	.Átomos de Rydberg		5,000,000.00
	.Caos de átomos em campos intensos		
	.Moléculas de Van der Waals e moléculas fortemente ligadas		900,000.00
	.Resfriamento de íons com átomos lentos		900,000.00
UFAC	CONDIÇÕES ATUAIS		
	.Estatística de fótons	.Triplo monocromador com microscópio	150,000.00
	.Dinâmica de rede e superfícies	.Espectroscopia infravermelho	200,000.00
	.Propriedades estatísticas em transições de fase	.Espectroscopia V-UV	50,000.00
	.Eletroforese em meios líquidos	.Susceptibilidade dielétrica	15,000.00
	.Biopolímeros	.Microscopia de polarização	
	.Colóides concentrados	.Analisador de espectros	60,000.00
	.Dinâmica de interfaces	.Cromatografia líquida	30,000.00
		.Video microscopia de alta resolução	50,000.00
	CONDIÇÕES IDEAIS		
	.Chaves ópticas	.Conversor temporal digital	130,000.00
	.Ultra centrífuga		
	.Automação dos experimentos		
	.Filmes finos e componentes ópticos		1,500,000.00



**TABELA 3.4: Perspectivas para os Próximos 5 anos em Óptica  
(Continuação)**

INSTITUIÇÃO GRUPO	NOVAS LINHAS DE TRABALHO	NOVAS TÉCNICAS	INVESTIMENTO US\$
UNICAMP Grupo de Fibras Ópticas	CONDIÇÕES ATUAIS		
	.Lasers de centro de cor (1.3 a 1.7 $\mu$ )	.Lasers de C.C.; bombeamento síncrono; pulsos curtos; solitons; SPH	120,000.00
	CONDIÇÕES IDEAIS		
	.Coatulação óptica	.Solitons; efeito Kerr; semicondutores	550,000.00
UNICAMP Grupo: Lasers e Aplicações	CONDIÇÕES ATUAIS		
	.Espectroscopia Atômica (efeito opto- galvânico)	.Espectroscopia de Saturação .Resfriamento de átomos	500,000.00
	.Metrologia das frequências	.Batimentos heterodinos .Padrões de frequências	300,000.00
	.Espectroscopia Molecular		
	CONDIÇÕES IDEAIS		
	.Espectroscopia em feixes atômicos .Metrologia e síntese de frequências .Espectroscopia Molecular a alta resolução	.Espectroscopia Stark e de saturação .Novos lasers moleculares	200,000.00
UNICAMP Grupo laser no infra-vermelho	CONDIÇÕES ATUAIS		
	.Medida da concentração de componentes químicos de interesse atmosférico e astrofísico	.Mistura de frequências - geração de radiação sintonizável	500,000.00
UNICAMP Grupo de Espec- troscopia		.Fotocondutividade	200,000.00

**TABELA 3.4: Perspectivas para os Próximos 5 anos em óptica  
(Continuação)**

INSTITUIÇÃO GRUPO	NOVAS LINHAS DE TRABALHO	NOVAS TÉCNICAS	INVESTIMENTO R\$
<hr/>			
URICAMP	CONDIÇÕES ATUAIS		
Grupo de óptica não-linear	.Mistura de ondas em vidros e semicondutores		
	.Luminescência em semicondutores amorfos		
	.Eco de fótons incoerentes		
	CONDIÇÕES IDEAIS		
	.Memórias ópticas em moléculas orgânicas	.Técnicas criogênicas para esfriamento de materiais	133,000.00
<hr/>			
URICAMP	CONDIÇÕES ATUAIS		
Grupo de Fen. ultra-rápidas	.Amplificação de pulsos de femtossegundos	.Geração de contínuo/pulso em abaixo de 10fs	100,000.00
	CONDIÇÕES IDEAIS		
	.Amplificação de pulsos de fs e seleção de comprimento de onda (400nm até 1500nm)	.Sintonia em pulsos com 10fs/amplifi- cador duplo sintonizável/espectros- copia em semicondutores/química em fs	400,000.00
<hr/>			
SUL			
UFPR	CONDIÇÕES ATUAIS		
Grupo Laser	.Feixes atômicos para estudos de espectros- copia		300,000.00
	.Monitoração óptica, elétrica e térmica de filmes na preparação		100,000.00
	.Determinação de constantes ópticas de filmes		50,000.00
	."Design" de filmes ópticos multicamada		
	CONDIÇÕES IDEAIS		
	.Espectrofotometria de materiais		70,000.00
	.Medição e modelamento teórico de efeitos ópticos associados a aspectos de micro-estrutura		20,000.00
<hr/>			
UFSC	Não informado		

## **4. RECOMENDAÇÕES**

### **4.1. Às Agências de Fomento:**

#### **A. Recursos Financeiros:**

Os grupos de pesquisa em Óptica, Física Atômica e Molecular têm condições atualmente de dar uma importante contribuição para o desenvolvimento científico e tecnológico do País. Entretanto esta contribuição dependerá fortemente da disponibilidade de recursos financeiros para o custeio dos laboratórios, reposição e manutenção de equipamentos, implantação de novas técnicas e suporte computacional de grande porte. Os grupos têm planos concretos para aplicar nos próximos 5 anos cerca de US\$ 25,000,000.00 (vinte e cinco milhões de dólares) e portanto os vários órgãos de fomento devem assegurar recursos no mínimo desta ordem de grandeza.

#### **B. Pessoal Técnico:**

As agências de fomento devem estabelecer programas de formação e aperfeiçoamento de técnicos de apoio à pesquisa, assim como criar mecanismos que garantam salários adequados.

#### **C. Programas Especiais:**

Algumas das atividades de pesquisa nas áreas de Óptica, Física Atômica e Molecular formam base para o desenvolvimento de tecnologia de ponta. Este é o caso, por exemplo, das pesquisas em Optoeletrônica e preparação e caracterização de Materiais Optoeletrônicos assim como outras áreas destacadas neste documento.

Os órgãos de financiamento devem estimular o desenvolvimento destas áreas através da criação de programas especiais e priorizando a concessão de bolsas de pós-graduação no Brasil e no exterior.

### **4.2. À Comunidade de Físicos**

A. Os cursos de bacharelado em Física têm em geral uma estrutura rígida baseada na formação através de cursos de caráter teórico em geral. Seria interessante estudar uma diversificação dos currículos visando incorporar opções que orientem os estudantes para atividades profissionais fora da área acadêmica, inclusive com estágios em indústrias e centros de tecnologia.

**B.** É da maior importância aumentar a ênfase na formação experimental nos cursos de graduação e pós-graduação. É necessário dar maior ênfase a disciplinas tais como Eletrônica, Técnicas Ópticas, Tecnologia de Vácuo e Criogenia. É também recomendável a introdução de disciplinas de graduação que abordem temas básicos de Óptica Geométrica, princípios de fotodeteção, fotodetektres e "displays", Lasers, Óptica de Fourier, fibras ópticas e princípios de comunicações ópticas. Em nível de pós-graduação é recomendável que os programas incluam pelo menos uma disciplina que contenha tópicos sobre os princípios básicos de interação radiação-matéria, princípios de Óptica Não-Linear e Óptica Quântica.

**C.** Uma forma efetiva de estímulo à formação de técnicos de alto nível para apoio à pesquisa pode ser a criação de cursos de Engenharia Óptica no País. Tais cursos poderiam ser criados a partir de programas conjuntos entre Departamentos de Física, Engenharia Eletrônica e Mecânica.

**FÍSICA BIOLÓGICA, QUÍMICA E MÉDICA**

## 1. DESCRIÇÃO DA ÁREA

A pesquisa científica com características multidisciplinares tem tido um desenvolvimento substancial motivado por questões comuns a várias áreas do conhecimento e pela necessidade de integrar o saber científico dentro de um quadro mais unificado. Desde o início do Século existe uma grande expectativa de que a pesquisa interdisciplinar possa trazer à tona novos princípios fundamentais sobre a organização da natureza.

Nas últimas décadas, pesquisas fundamentais em áreas interdisciplinares têm também se mostrado capazes de produzir, em um intervalo relativamente pequeno de tempo, novas tecnologias de interesse industrial ou de introduzir aprimoramentos significativos em Farmacologia, Medicina e na preservação do meio ambiente.

A utilização comum de métodos, instrumentos e conhecimentos, gerados simultaneamente em Física, Química e Biologia, tem motivado o desenvolvimento de uma pesquisa integrada visando o estudo dos seres vivos. A área de Física Biológica, Química e Médica se ocupa desta questão partindo do ponto de vista da Física, estudando vários aspectos Físicos e Físico-químicos relacionados direta ou indiretamente com os seres vivos.

Esta área recorre desde os princípios da Física Moderna, através da Mecânica Quântica aplicada ao estudo de compostos químicos e moléculas biológicas, até fundamentos clássicos como Mecânica, Eletromagnetismo e Termodinâmica, nos estudos em Biomecânica, Biomagnetismo, Eletrofisiologia e Bioenergética, passando pela Mecânica Estatística no estudo da organização supra-molecular de sistemas Físico-Químicos e Biológicos. Os princípios quânticos da interação radiação-matéria são também aplicados no estudo do espalhamento e absorção de fótons por macromoléculas, especialmente em Foto-biologia. Certos métodos e princípios de Termodinâmica e Mecânica Estatística são utilizados no estudo da auto-organização de sistemas biológicos, do funcionamento da memória e inteligência, e da organização dinâmica dos eco-sistemas.

Do ponto de vista da pesquisa experimental, muitos métodos desenvolvidos na área da Física tem sido adaptados e aperfeiçoados visando a aplicação a sistemas biológicos, químicos e físico-químicos, ou mesmo transformados em métodos diagnósticos em Medicina e Agropecuária. Destacam-se os métodos espectroscópicos tradicionalmente utilizados em Física da Matéria Condensada, que identificam através da interação radiação-matéria a composição e organização molecular. O uso do raio-X

na identificação de macromoléculas biológicas representou e representa ainda, uma grande contribuição da Física ao desenvolvimento da Biologia moderna. Técnicas de ressonância (RMN, RPE, Raman) e de absorção e reemissão de fótons têm sido empregadas com sucesso no estudo de biomoléculas. Métodos físicos de detecção de correntes e campos elétricos e magnéticos são utilizados no estudo da atividade eletromagnética de seres vivos e de propriedades de materiais biológicos. Medidas de tensão superficial, transferência de calor, pressões e regimes de escoamento, são métodos clássicos da Física, utilizados e aperfeiçoados para a determinação de propriedades macroscópicas dos sistemas biológicos e físico-químicos complexos. A detecção de radiação, através da adequação de métodos desenvolvidos na Física Nuclear, permite pesquisas dirigidas a diagnósticos, terapia, radioproteção e controle do meio ambiente, assim como no estudo de processos fisiológicos.

O desenvolvimento de facilidades computacionais tem também contribuído para o progresso desta área. Por exemplo, o uso de computadores de grande porte tem sido decisivo no estudo de estruturas e da dinâmica molecular. O processamento de imagens através de estações gráficas tem permitido grandes avanços, especialmente em Física Médica e Biofísica Molecular.

Atualmente os países do primeiro mundo têm dado um apoio especial ao desenvolvimento desta área. Podemos destacar alguns dos temas que têm encontrado grande repercussão:

Cálculos de conformação de moléculas complexas, com grande impacto em Farmacologia através de propostas de arquitetura de novas drogas, e em Biotecnologia, no estudo e identificação de genes, necessário à manipulação genética.

- Estudos de estrutura de macromoléculas e de agregados moleculares através de novas técnicas como a utilização de raio-X produzido por Síncrotron, com coleta rápida de dados e da microscopia eletrônica de alta resolução, combinadas com digitalização e processamento de imagens.

- Estudo de dinâmica molecular de processos de regulação do transporte iônico através de membranas, relacionados com a neurotransmissão e processos bioenergéticos.

- Estudos de interação de fármacos com membranas naturais e reconstituídas, com especial interesse na ação localizada da droga através de receptores específicos e através do uso de vesículas de fotolipídeos como veículos transportadores do medicamento.

- Interação da luz com foto-receptores, com diversas aplicações, incluindo a concepção de uma eletrônica molecular.
- Tratamento e processamento de imagens obtidas por várias técnicas (raio-X, rádioisótopos, ressonância magnética nuclear, ultrassom), com aplicações principalmente em diagnóstico médico, destacando-se a tomografia por emissão de pósitron (PET-Positron Emission Tomography) e a espectroscopia por ressonância magnética nuclear (RMN), capazes de detectar o metabolismo a nível celular.
- Diversas aplicações do laser em Medicina, incluindo microcirurgias e o uso de fibras ópticas. Detecção de campos eletromagnéticos fracos, aplicado a diagnósticos médicos. Uso de ondas eletromagnéticas e laser em processos terapêuticos.
- Estudo de sistemas físico-químicos complexos, como emulsões, dispersões e colóides, com diversos interesses práticos como na tecnologia de alimentos, em Agricultura, em processos de catálise heterogênea, e mesmo nos processos físico-químicos de extração de petróleo.
  
- Estudo da catálise enzimática, utilizando a imobilização de enzimas e células, com grande repercussão em Biotecnologia.
- Estudo da influência do campo magnético sobre o comportamento de seres vivos no processo de adaptação e transformação da biosfera.
- Modelagem de processos dinâmicos cooperativos, no estudo da evolução, dinâmica de populações e organização dos eco-sistemas.
- Técnicas de radioproteção e dosimetria com desenvolvimentos voltados para a proteção ambiental. Desenvolvimento de novos métodos e técnicas aplicadas à microdosimetria.
- Formas alternativas de produção e uso de energia através da utilização de materiais biológicos.

Finalmente, é importante notar que uma das características marcantes desta é o fato das pesquisas desenvolvidas se prenderem muito mais a um objeto de investigação do que a uma técnica ou um método específico, envolvendo uma diversidade de conhecimentos conjuntos de várias áreas de pesquisa. O resultado deste conjunto de conhecimentos leva, em geral, ao estabelecimento de uma nova disciplina, não somente através da conjugação dos métodos ou assuntos, mas sobretudo através de uma nova atitude em relação ao conhecimento da natureza.



## 2. SITUAÇÃO DA ÁREA NO PAÍS

### 2.1. Breve Histórico

Existem registros de atividades em Física Médica no País desde os anos 50, predominantemente em Radioterapia nos hospitais. Nessa época, tem início a instalação de pesquisa instrumental em Medicina Nuclear na Faculdade de Medicina da USP, com a participação de pesquisadores do então Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP.

No início dos anos 60, registram-se iniciativas de pesquisa em Biofísica em institutos de Física, como o estudo da interação de micro-ondas com bacteriófagos no CBPF em 1963, que todavia não tiveram continuidade. Ao longo desses anos existem ainda pesquisas conduzidas por físicos junto a escolas de Medicina, principalmente em departamentos de Fisiologia.

No final da década de 60 e início dos anos 70 ocorreu o aparecimento de grupos trabalhando em Biofísica e Física Médica em três instituições de Física: PUC - Rio de Janeiro, USP - São Carlos e USP/IPEN - São Paulo. Estes trabalhos atenderam, de um lado, à necessidade de pesquisa relacionada à interação da radiação ionizante com material biológico e ao desenvolvimento de materiais de interesse médico e, de outro lado, resultaram do interesse na utilização de técnicas espectroscópicas da Física, principalmente da Física do Estado Sólido, em sistemas biológicos. Nos três grupos houve predominância da técnica de Ressonância Paramagnética Eletrônica. Essa fase que marca o início da pesquisa institucional em Biofísica e Física Médica contou com o estímulo de Professores Visitantes (1 na PUC-RJ e 2 em São Paulo) e serviu para uma primeira formação a nível de pós-graduação de estudantes interessados na área. A evolução dos três grupos todavia seguiu caminhos diferentes.

Ao longo da década de 70 a pesquisa na PUC-RJ, centralizada no estudo de hemoproteínas por RPE, prosseguiu na formação de pesquisadores em Biofísica que continuaram no grupo ou vieram, mais tarde, a integrar outros grupos. Além disso, o Laboratório de Dosimetria da PUC-RJ foi transferido para outro local no Rio de Janeiro, onde se tornou o Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, reconhecido a partir de 1976, pela IAEA e pela WHO como Laboratório de Padronização Secundária.

O grupo de São Carlos prosseguiu suas atividades de pesquisa em Biofísica e Física Médica, progressivamente equipando seu laboratório, absorvendo e formando

pessoal na área. Da interação existente entre este grupo e pesquisadores do Campus de Ribeirão Preto nucleou-se um grupo da FFCLRP/USP realizando trabalhos na área de Biofísica e Física Radiológica. O grupo de São Paulo, por sua vez, manteve apenas os trabalhos em Dosimetria e Proteção Radiológica, em dois laboratórios separados, no IFUSP e no IPEN. Os mestres formados em Biofísica acabaram dirigindo-se para pesquisas em outras áreas para o doutorado.

A partir do final dos anos 70, começou uma nova fase de expansão na área, marcada pelo retorno de pesquisadores que realizaram programas de formação no exterior, pela retomada de atividades em Biofísica e Física Médica de doutores de outras áreas da Física e pela vinda de alguns professores visitantes. No CBPF realizam-se trabalhos em Química Teórica e Física Molecular e experimentos com RPE e com microorganismos magnetotáticos. No IFUSP iniciaram-se pesquisas em Medicina Nuclear e em Biofísica de Pigmentos.

Em Ribeirão Preto, com a vinda de professores do exterior, a contratação de novos docentes e os auxílios recebidos para a montagem de laboratórios foram fundamentais para a consolidação do grupo de Física Médica, desenvolvendo pesquisa em linhas de dosimetria e instrumentação biomédica para controle de imagem radiológica e das radiações.

O grupo de São Carlos, com novas contratações, consolida sua posição na Instituição com pesquisas em RPE de sistemas biológicos e dosimetria de radiação, ao mesmo tempo que se inicia o estudo do uso de RMN em Medicina. Há uma crescente aproximação com pesquisadores de outras áreas da Física, tanto experimentais, como de Cristalografia, quanto teóricos, como de Mecânica Estatística e Física Molecular. O crescimento da área vem acompanhado também de maior interação com pesquisadores da Biologia e Medicina.

Na PUC-RJ, o trabalho em Biofísica Molecular evolui para o estudo de interação lipídios-proteína e do efeito de fármacos em membranas. No CBPF, novas contratações introduzem pesquisas em membranas biológicas naturais e artificiais e em fotodissociação. Em São Carlos, trabalhos experimentais em hemoproteínas, peptídeos e outras moléculas de interesse biológico combinam-se com estudos teóricos sobre eletrônica molecular e modelos em Biofísica Molecular e avança-se na tomografia por RMN. Paralelamente, foi criado em São Carlos um novo centro, na EMBRAPA, com aplicações de várias técnicas físicas na Agropecuária.

Em São Paulo, novos pesquisadores incorporam-se ao grupo, participando da montagem de um espectrofluorímetro com resolução temporal e usando espectroscopia

RPE no estudo sobre estrutura e ação de fármacos e investiga-se a tomografia por emissão de fótons.

Em 1986, cria-se o Curso de Pós-Graduação em Física Aplicada à Medicina e Biologia e o Centro de Instrumentação, Dosimetria e Radioproteção da FFCLRP - Campus de Ribeirão Preto, e dá-se continuidade ao seu crescimento, iniciando-se pesquisas em biomagnetismo, biofotoacústica e biomateriais. Em São José do Rio Preto-UNESP, estuda-se conformação de macromoléculas e a interação com ligantes. Em Recife, adensam-se pesquisas de caráter teórico em sistemas enzimáticos, transporte de elétrons e biogênese e pesquisas experimentais sobre biomembranas, assim como, na área nuclear, pesquisas voltadas para o desenvolvimento de detectores de radiação ionizantes. Pesquisas em sistemas biológicos são conduzidas de forma sistemática também em Goiânia e Brasília. Em Belo Horizonte, na década de 80, foi desenvolvida e consolidada na UFMG uma linha de pesquisa experimental, utilizando o espalhamento dinâmico de luz pela cera de carnaúba, um elemento natural. Tomografia por RMN é estudada também em Recife e por ultra-som é estudada na Coppe-RJ. Trabalha-se sobre o uso de laser e microondas em Medicina na UNICAMP e magnetocardiografia na PUC-RJ, enquanto prosseguem as atividades em dosimetria, radioproteção e instrumentação no IPEN, USP-SP e IRD. Em 1988, o IRD torna-se o Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes, por delegação do INMETRO.

A diversidade de linhas hoje existentes no país é grande, mas não cobre todas as possibilidades de trabalho na área, cujas características são inclusive difíceis de serem precisadas. Várias especializações da Física estão envolvidas. Pesquisadores com experiência em áreas mais bem estabelecidas têm interagido com os grupos citados e há uma interface ampla com pesquisas em Bioquímica, Biologia e Medicina. Nem tudo se pode precisar, mas a denominação Física Biológica, Química e Médica caracteriza adequadamente a situação atual.

## **2.2. Situação Atual**

O levantamento dos grupos de pesquisa trabalhando atualmente nesta área está resumido nas tabelas I e II, onde estão listados os grupos, os equipamentos instalados, as principais colaborações, assim como o número de pesquisadores efetivos e o pessoal em formação; está também indicada a produção científica de cada grupo.

Pode-se considerar que a área conheceu recentemente um processo de expansão nascido do interesse, cada vez maior, dos físicos em problemas relacionados com a Biologia, resultando no estabelecimento de grupos dedicados predominantemente ao estudo da matéria biológica.

Nas pesquisas da área estão envolvidos cerca de 70 doutores e 40 mestres em Física, contando ainda com pouco menos de 20 bacharéis. Em alguns locais, constituem-se em pessoal efetivo pesquisadores oriundos de outras áreas com Engenharia, Química, Biologia e Medicina. Nos últimos 10 anos, formaram-se nestes grupos 36 doutores e 103 mestres, dos quais um número significativo permaneceu trabalhando ativamente nesta área.

Para efeito de levantamento das linhas de pesquisa desenvolvidas atualmente é conveniente separarmos a área em quatro sub-áreas: Biofísica, Física Química e Molecular, Física Médica e Física na Agropecuária.

## **A - BIOFÍSICA**

Existem atualmente vários grupos bem estabelecidos em departamentos de Física trabalhando sistematicamente em Biofísica (IFQSC-USP, IFUSP-SP, CBPF, PUC-RJ, FFCL-RP-USP, IBILCE-UNESP-Rio Preto, DQF-UFPE), pode-se prever ainda a formação de grupos nesta área nos departamentos de Física da UFMG, UFGO, UFBA e UFES. Existem ainda outros grupos envolvendo físicos, químicos e biólogos, alocados em outros departamentos que têm colaborado, ou pretendem colaborar mais fortemente, com os departamentos de Física (IQ-USP, Depto. Química-UnB, Depto. Biofísica-UFPE), além de toda uma comunidade extremamente importante, originária da área de Ciências Biológicas, com grande potencialidade de interagir com os grupos citados acima (Inst. de Biofísica e Depto. Bioquímica da UFRJ, ICB-USP, FM-USP-Ribeirão Preto, entre outras). As atividades de pesquisa desenvolvidas por estes grupos, e seus colaboradores, estão concentradas principalmente nas seguintes linhas:

### **Biomoléculas:**

A linha mais tradicional desenvolvida em Biofísica nos institutos de Física do País é a pesquisa experimental de hemoproteínas, através de técnicas ópticas e de RPE, desenvolvida atualmente no IFQ-São Carlos, CBPF, FFCL-Ribeirão Preto e na UNESP-Rio Preto. O estudo teórico sobre hemoproteínas é também desenvolvido em São Carlos e no CBPF. Outras moléculas biológicas como o ADN e biopolímeros são estudadas através de técnicas ópticas, EPR e fluorescência (UNESP-Rio Preto, PUC-RJ). Estudos de pigmentos (melaninas) através de técnicas ópticas e ressonância paramagnética são desenvolvidos no IF-USP. Biopolímeros e proteínas são estudados, usando estas mesmas técnicas, nos IF e IQ-USP, devendo também ser estudados por técnicas de espalhamento de luz no DF-UFMG e na UNESP - Rio Preto. Estudos teóricos da estrutura do ADN e outros biopolímeros são desenvolvidos no

Departamento de Química da UnB, no DQF-UFPE e no CBPF, podendo também vir a ser desenvolvidas nos Departamentos de Física da UFBA e UFES.

#### **Biomembranas:**

O estudo da interação de fármacos com biomembranas e aspectos estruturais de membranas naturais e reconstituídas é realizado atualmente, através da técnica de marcadores de spin, tanto em São Paulo (IF-USP, IQ-USP, FFCL-RP-USP e IFQSC-USP) como no Rio de Janeiro (CBPF e PUC-RJ). A mesma técnica é empregada no estudo das interações lipídio-proteína pelos grupos de São Paulo. O estudo teórico da estabilidade mecânica, flutuações e transporte através de membranas é desenvolvido no CBPF. Pesquisas experimentais sobre o transporte através de canais iônicos são desenvolvidos no Departamento de Biofísica de UFPE, com colaborações com o ICB-USP, FM-Ribeirão Preto e Instituto Biofísica da UFRJ. Existe ainda a previsão de implantação de uma linha teórica sobre biomembranas na UFBA. Trabalhos experimentais em membranas estão também sendo implementados na UNESP-Rio Preto.

#### **Fotossíntese:**

Estudos teóricos sobre o transporte de elétrons em sistemas biológicos, e outras etapas de fotossíntese são efetuados no IFQ-São Carlos e no DQF-UFPE.

#### **Biogeomagnetismo:**

O estudo da interação de microorganismos com o campo geomagnético, as implicações a nível da adaptabilidade do ser vivo ao seu meio, suas características magnéticas, ou de seus sensores biológicos do campo magnético, são desenvolvidos pelo grupo do CBPF tanto sob o ponto de vista experimental (levantamento de populações de microorganismos, caracterização morfológica, padrões de comportamento, etc.) quanto teórico (modelos de movimento, limites de eficiência, dinâmica de populações, etc.). Além disso estuda-se a biomineralização de cristais magnéticos.

## **B - FÍSICA QUÍMICA E MOLECULAR**

A colaboração entre áreas de Físico-química e Biofísica tem sido intensificada nos últimos anos. A utilização das mesmas técnicas experimentais e a similaridade entre técnicas teóricas são os principais motivos de tal acoplamento. Junta-se ainda o fato de que a dificuldade em resolver certos problemas biológicos tem levado muitos pesquisadores a procurarem sistemas químicos modelos, para tentar responder questões de relevância biológica. Estes fatos fizeram com que grupos trabalhando em Biofísica se

dedicassem também a problemas físico-químicos e aumentassem naturalmente suas colaborações com grupos de origem puramente físico-química.

A sub-área que descrevemos a seguir, de nenhuma maneira pretende abranger toda a Físico-Química ou toda a Física Molecular, mas tende a cobrir a interface, ainda que nebulosa, entre estas áreas e a Biofísica.

As linhas de pesquisa atuais que se enquadram nesta descrição, incluídas neste levantamento, são as seguintes:

#### **Micelas e Membranas:**

Estudos dos sistemas micelares e membranas abrangem desde um enfoque essencialmente físico-químico (estruturas micelares nos estados isotrópicos e líquidos-cristalinos, interações inter-micelares e outras propriedades físicas) até a modelagem de sistemas biológicos (vesículas, filmes de lipídios) e ainda aplicações farmacológicas (ação de fármacos em membranas). Estudos de agregados micelares e multicamadas de fosfolipídios são desenvolvidos pelos grupos de cristalografia do IF-USP e IF-UNICAMP, propriedades eletroquímicas de interfaces em micelas e liposomas são estudadas por métodos espectroscópicos e físico-químicos no IQ-USP e CBPF.

#### **Biopolímeros:**

Nesta linha vários tipos de estudos físico-químicos podem ser desenvolvidos. O estudo de propriedades físico-químicas de ácidos nucleicos em solução, visando compreender a estabilidade termodinâmica de diferentes conformações destes polímeros, bem como suas interações com pequenos ligantes (fármacos e peptídeos), vem sendo desenvolvido pelo grupo do Departamento de Física da UNESP de Rio Preto. O mesmo grupo tem se dedicado também à obtenção e caracterização físico-química de polieletrólitos de origem biológica (polissacarídeos) que apresentam alta viscosidade e transições do tipo sol-gel, visando aplicações industriais destes polímeros. O grupo de Biofísica do IFQ-São Carlos tem também se dedicado à verificação do estudo de bioeletreto em polímeros biológicos, sendo esta uma das suas mais antigas linhas de pesquisa. O estudo teórico da biogênese, isto é, o crescimento de polímeros auto-replicantes, e as origens do código genético, tem sido abordado em uma colaboração entre o DQF-UFPE e CBPF. Estudos de biopolímeros vem sendo também desenvolvidos no laboratório de cristalografia do IF-USP.

#### **Eletrônica Molecular:**

Esta linha de pesquisa, que se encontra acoplada diretamente ao estudo de biopolímeros e ao estudo da fotossíntese, tenta entender como desenvolver componentes eletrônicos a nível molecular, isto é, através da gravação da informação

em apenas uma molécula. Isto reduziria os componentes eletrônicos de uma escala micrométrica (atual) a uma escala nanométrica, podendo vir a reduzir a energia consumida para transportar 1 bit de informação em até 10.000 vezes. Pesquisas teóricas nesta linha vem sendo desenvolvidas no IFQ-SC, sendo que uma linha experimental, englobando também polímeros condutores, deverá ser iniciada no IFQ-SC e na EMBRAPA-SC.

#### **Química Quântica de Macromoléculas:**

Cálculos estruturais de macromoléculas assim como a determinação de interações que serão utilizadas em dinâmica molecular, são as linhas mestras desta área de pesquisa. O interesse destas pesquisas não é o desenvolvimento de novas técnicas em química quântica, mas sim de adaptar as técnicas existentes ao estudo de sistemas complexos. Trabalhando nesta área existem grupos na UFSCar, IFQ-SC-USP, UnB e CBPF.

#### **Cinética Química:**

Estudos de dinâmica de reações químicas com possíveis aplicações aos sistemas biológicos caracterizam esta área. Técnicas teóricas de Termodinâmica de Não-Equilíbrio e modelos para reações em matéria condensada são utilizados. Reações com transferência de energia e com transferência de elétrons, assim como modelos de transporte ativo e passivo em membranas são estudados no CBPF, DQF-UFPE, IQ-USP e IFQ-SC-USP.

#### **Estrutura de Macromoléculas:**

Estudos da estrutura cristalina de macromoléculas através do espalhamento de raio-X e a utilização de técnicas de baixo ângulo, vem sendo realizada em várias instituições (IF-UNICAMP, IF-USP, IBILCE-Rio Preto, CBPF).

### **C - FÍSICA MÉDICA**

Após um início predominantemente dirigido ao atendimento clínico-hospitalar, a Física Médica hoje está se expandindo enquanto área de pesquisa, tanto a nível básico quanto aplicado (instrumental). Isto se deve principalmente à formação de grupos de pesquisa em universidades e centros especializados. Vários pesquisadores da área possuem experiência em atividades hospitalares, como consequência, parte significativa destas pesquisas são voltadas para o setor médico-hospitalar. Recentemente novas linhas têm sido desenvolvidas nesta direção, envolvendo aplicações de ultrassom, lasers, biomagnetismo, RMN, raio-X e radioisótopos. Por conveniência vamos agrupar as

pesquisas desenvolvidas atualmente em três sub-áreas: Imagens, Instrumentação e Básicas.

#### **Imagens:**

Os vários grupos que vem se dedicando a pesquisas em imagens médicas são: IFUSP em colaboração com o INCOR - os trabalhos concentram-se em processamento de imagens radioisotópicas, em particular imagens tomográficas por emissão de fótons e imagens funcionais; IFQSC-USP e Depto. Física da UFPE - estão empenhados em desenvolver a tomografia por RMN, desde a construção do próprio tomógrafo até a elaboração dos processamentos envolvidos na reconstrução tomográfica; FFCLRP-USP e IFQSC-USP estão desenvolvendo técnicas de processamento para melhoria da qualidade de imagens radiológicas convencionais.

#### **Instrumentação:**

A utilização de diferentes agentes físicos em Medicina requer um instrumental nem sempre disponível no mercado. Assim diversos grupos se dedicam ao desenvolvimento de instrumentação adequada para a realização de suas pesquisas e aplicações. São os seguintes grupos envolvidos: IFQSC-USP e Depto. Física UFPE, desenvolvimento e construção de tomógrafos por RMN; IPEN, IFUSP, IRD e Depto. Eng. Nuclear UFPE, estão desenvolvendo detectores de radiação ionizante a serem empregados em dosimetria clínica individual e de área; PUC-RJ desenvolve instrumentação para detecção de campos magnéticos fracos oriundos de processos biológicos, em conjunto com o INCOR-SP desenvolve um magnetocardiógrafo para estudos clínicos, incluindo processamento e análise de sinais; IFUSP, em colaboração com o INCOR-SP, está desenvolvendo sistemas de sondas nucleares externas microcomputadorizadas, para avaliação fisiológica e metabólica; IF-UNICAMP possui dois grupos trabalhando com laser e microondas, respectivamente, para cirurgia e terapia e produção de hipertermia com fins terapêuticos.

#### **Básicas:**

Quanto às pesquisas básicas, as principais linhas são: Estudos de propriedades de materiais, IF-USP, IPEN, IRD, IFO-SC-USP, Depto. Eng. Nuclear-UFPE, PUC-RJ e FFCL-RP-USP, desenvolvem pesquisas em diferentes materiais para fins dosimétricos; Biomagnetismo, pesquisas nesta área, envolvendo aspectos básicos, com preparação "in vitro" e experiências com animais, são realizadas na PUC-RJ, Instituto de Biofísica-UFRJ e FFCL-RP-USP; Efeitos de laser e rádio-frequências em tecidos biológicos, o grupo do IF-UNICAMP realiza estudos nesta área com a finalidade de avaliar a aplicação do laser em Medicina, pesquisadores da FFCL-RP-USP, estudam os possíveis efeitos biológicos da aplicação de rádio-frequências. Espalhamento dinâmico de luz na detecção de cataratas, pesquisa em desenvolvimento no Depto. de Física da UFMG;



Óptica do olho, medidas do coeficiente visco-elástico do humor vítreo tem sido realizadas na FFCL de Ribeirão Preto; Modelagem da interação de fótons e elétrons com simuladores de tecidos, realizada no IRD.

#### **D - FÍSICA NA AGROPECUÁRIA**

As aplicações de metodologias e técnicas físicas na Agropecuária brasileira eram muito restritas recentemente. Com o objetivo de desenvolver e ampliar tais aplicações, foi criada, em novembro de 1984, a Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (UAPDIA), vinculada à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (EMBRAPA), em São Carlos-SP. Atualmente esta unidade conta com 17 pesquisadores com formação, principalmente em Física Aplicada e Engenharia Eletrônica. Também o Instituto de Física da UNICAMP tem desenvolvido alguns projetos claramente direcionados para esta área.

As linhas de pesquisa em desenvolvimento na UAPDIA/EMBRAPA são: tomografia de raios-X aplicada ao estudo de solos e fisiologia de plantas; ressonância magnética nuclear em estudos de seleção genética de sementes oleaginosas; ressonância paramagnética eletrônica para caracterizar íons micronutrientes em solos e plantas; espectroscopia foto-acústica para análise de água em folhas e para a análise de água e óleo em sementes; desenvolvimento de equipamentos de ultra-som para detectar prenhez de bovinos, suínos, etc. No IF-UNICAMP estão em desenvolvimento: metodologia para classificação de café, utilizando ressonância paramagnética eletrônica e espectroscopia foto-acústica; efeitos da toxicidade do alumínio em plantas por espectroscopia foto-acústica, e outras.

### **3. PERSPECTIVAS PARA A PRÓXIMA DÉCADA**

A análise dos dados sobre os grupos, apresentados na tabela I e II, assim como as perspectivas reunidas na tabela III, mostram que a tendência na área é de crescimento, tanto das linhas teóricas como experimentais. A perspectiva dos grupos é de renovar seus equipamentos e diversificar suas linhas no sentido de aumentar o padrão de qualidade e competitividade a nível internacional.

A tabela III mostra que os grupos pretendem manter a capacidade de formação de pessoal, pelo menos nos mesmos níveis atuais, significando que o grau de capacitação deverá aumentar consideravelmente nos próximos anos. Adiciona-se ainda o grande interesse dos novos estudantes pela área, que certamente contribuirá para aumentar o número de novos pesquisadores desde que sejam oferecidas as condições necessárias. Estima-se que o número de pós-graduandos formados por ano aumentaria cerca de 50%

se fossem atendidas as expectativas de recursos almejados pelos grupos. Deve-se levar em conta que a capacidade de absorção dos grupos, apesar da grande potencialidade, se encontra limitada atualmente pela restrição de contratações em quase todas as instituições envolvidas. Talvez por esta razão as projeções de absorção de pessoal são mais cautelosas, em condições ideais os grupos emergentes, comparados aos grupos mais bem estabelecidos, mostram-se mais abertos à novas contratações. A ausência de perspectivas de emprego para os pesquisadores formados poderá ser um grande entrave para a expansão da área, merecendo o assunto uma apreciação cuidadosa.

De um modo geral o crescimento da área dependerá do estímulo que será dado aos grupos emergentes, possibilitando a instalação de seus laboratórios, e aos grupos já estabelecidos, possibilitando a renovação de seus equipamentos e implantação de novas técnicas. Para se tornar mais eficiente e desenvolvimento das pesquisas nesta área, caracterizada pelo uso simultâneo de várias técnicas, seria recomendável que os novos equipamentos fossem acessíveis a todos os grupos da área, aproveitando inclusive a tradição já existente de colaboração entre os diversos grupos.

Do levantamento apresentado na tabela III, no que diz respeito a novas linhas de pesquisa e novas técnicas, podemos destacar alguns pontos. Nas sub-áreas de Biofísica e Física Química, existe o interesse da utilização por diversos grupos, de novas técnicas espectroscópicas resolvidas no tempo, para o estudo de processos dinâmicos abrangendo várias linhas de pesquisas, tais como em eletrônica molecular, fotossíntese, interações intermoleculares e interações entre biomoléculas e estruturas supramoleculares como micelas e membranas. Estes estudos devem ser conduzidos também através de abordagens teóricas e de técnicas de ressonância magnética eletrônica e nuclear. Está previsto o desenvolvimento de novas pesquisas sobre estruturas moleculares e supramolecular através de difração de raio-X. Pretende-se estender ainda o estudo de sistemas biológicos, ao nível celular e de organismos, utilizando técnicas de espalhamento, SQUID, microscopia óptica e eletrônica.

Em Física Médica deverá se continuar investindo no desenvolvimento de detectores nucleares de semicondutores, os quais têm se revelado de baixo custo e alta sensibilidade. Espera-se ainda nesta área a expansão de pesquisas em processamento de imagens médicas, agrupando-se várias técnicas e tendo como objetivo a obtenção de imagens tridimensionais. Podemos prever também um crescente interesse em pesquisas relacionadas com o controle ambiental. Deverão ser implantadas também técnicas dosimétricas de rádio-proteção para baixas e médias energias, podendo-se prever ainda a consolidação das pesquisas sobre radiações não ionizantes.

A estimativa do custo de novos equipamentos a serem adquiridos pelos grupos leva à conclusão de que será necessário um investimento da ordem de US\$ 10.000.000,00 (dez milhões de dólares) em material permanente, para reposição dos antigos equipamentos e a implantação de novas técnicas. Este investimento garantirá a expansão da área, uma maior competitividade a nível internacional e uma maior capacidade de formação de recursos humanos.

## **4. RECOMENDAÇÕES**

### **4.1. Formação de Recursos Humanos**

Nesta área é importante intensificar o investimento em formação de recursos humanos divulgando seus objetivos e interesses entre os alunos em formação. Recomenda-se que sejam introduzidas nos currículos de graduação e pós-graduação de Física, disciplinas como Biofísica, Físico-Química e Bioquímica, ministradas por especialistas nos assuntos, mesmo que oriundos de fora dos institutos de Física. Sugere-se ainda a introdução de disciplinas que mostrem a interação da Física com outras áreas da Ciência (Biologia, Química, Matemática, Medicina, Ecologia). Sugere-se ainda que se estude a possibilidade de criação de habilitações especiais nos cursos de Física, nos moldes da "Habilitação em Física Médica" do Instituto de Física da USP.

### **4.2. Estímulo às Atividades Interdisciplinares**

Devido ao caráter interdisciplinar deve ser estimulada a interação dos pesquisadores trabalhando nesta área com pesquisadores de outras áreas do conhecimento. Recomendamos que sejam realizadas Escolas Anuais ou Cursos Especiais de curta duração sobre temas de interesse envolvendo especialistas de áreas correlatas. Recomendamos ainda que sejam destinados recursos especiais para realização de Congressos e Simpósios interdisciplinares.

### **4.3. Avaliação e Financiamento**

Devido a seu caráter interdisciplinar, existe uma dificuldade específica da área, quanto à localização de solicitações de auxílio e financiamento à pesquisa, dentro das divisões padronizadas atualmente existentes nos órgãos financiadores. O encaminhamento da solicitação é feito ora na área de Física, ora na área de Ciências Biológicas, resultando diversas vezes em recusa do pedido por dificuldade de seu enquadramento.

A solução desta questão estaria no estabelecimento oficial de uma sub-área de Física Biológica, Química e Médica, dentro dos Comitês de Física, ou, sem ser excludente, o estabelecimento de novos comitês para Ciências Interdisciplinares.

#### **4.4. Plano Nacional de Pesquisa**

Recomenda-se a formulação de um Plano Nacional de Pesquisa em Física Biológica, Química e Médica, com o objetivo de incentivar o desenvolvimento desta área interdisciplinar através da integração dos vários grupos, facilitando a canalização e aproveitamento de recursos. Este plano teria como finalidade consolidar os grupos existentes, estimular a formação de novos grupos, e proporcionar o uso racional e coerente dos equipamentos e técnicas disponíveis através da colaboração entre os diversos grupos, podendo levar no futuro a formação de um Centro Nacional ao Estudo da Vida.

TABELA I - GRUPOS E LINHAS DE PESQUISA EXISTENTES

INSTITUIÇÃO/GRUPO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS	COLABORAÇÃO
<b>GOIÁS</b>			
UFG - Depto. de Física	1. Propriedades elétricas de suspensões celulares 2. Adesão celular	- Ponte de impedância (relaxação dielétrica) - Citoferômetro (eletroforese)	ICB - USP
<b>MINAS GERAIS</b>			
UFMG - Depto. de Física Laboratório de Óptica	1. Colóides concentrados/ Cristalino Ocular 2. Biopolímeros/ADN 3. Instrumentação/Detecção de cataratas "in vivo" por espalhamento dinâmico de luz	- Correlacionador de fótons - Laser - Computador	ICM - UFMG ICB - UFMG
<b>PERNAMBUCO</b>			
UFPE Depto. Biofísica e Radiobiologia Lab. de Eletrobiologia	1. Transporte iônico em membranas	- Polígrafo - Osciloscópios digitais - Pulsadores DC - Conversores IV-UV - Sistema de Ultrassom	Dp. Fisiol. - UFPE Dp. Fisiol. - FRRP-USP Inst. Biofísica - UFRJ
Depto. Química Fundamental	1. Atividade óptica 2. Catálise enzimática 3. Alosteria 4. Transporte de elétrons em sistemas biológicos e modelos 5. Biogênese: crescimento de polímeros e origens do código genético	- Lab. síntese orgânica e inorgânica - Espectrofotômetros IV-UV - Instrumentação Eletroquímica - Raman e RMN 200 MHz em aquisição - Acesso a microscópio eletrônico, RMN 90 MHz e difratômetro de raios-X	UFSCar CBPF-RJ UFMG IFQSC-USP
Depto. Energia Nuclear Grupo de Instrumentação Nuclear e Dosimetria	1. Detetores proporcionais 2. Dosímetros semicondutores 3. Dosimetria ambiental 4. Dosimetria para altas doses	- Câmara de ionização - Detetores Ge(MP) e sistema eletrônico	IPEN-SP IRD - CIEN-RJ
<b>RIO DE JANEIRO</b>			
CBPF Grupo de Biofísica	1. Hexoproteínas, cromatinas, proteínas em membranas 2. Biomembranas 3. Campo geomagnético em seres vivos	- RPE - Espectrofotômetro - Espectrografo fotoacústico - Microscópios ópticos - Câmaras de vídeo - Lab. de Química	Univ. Libre Bruxelles (Bélgica) IFUSP IFQSC-USP PUC-RJ Inst. Biofísica - UFRJ
Grupo de Física Química	1. Conceito de ligação química 2. Conceitos de dureza/moleza em química		Univ. de Gerona (Espanha) Univ. de Palermo (Italia) Univ. North Carolina (EUA)

TABELA I - GRUPOS E LINHAS DE PESQUISA EXISTENTES

Continuação

INSTITUIÇÃO/GRUPO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS	COLABORAÇÃO
IRD - CHEN Depto de Monitoração Individual	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dosimetria interna               <ul style="list-style-type: none"> <li>- modelagem com Monte Carlo</li> <li>- medidas de atividade de amostras biológicas</li> </ul> </li> <li>2. Dosimetria externa               <ul style="list-style-type: none"> <li>- fotográfica</li> <li>- termoluminescente</li> </ul> </li> </ol>		
Depto. de Proteção Radiológica Ocupacional	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Radiodiagnóstico (Desenv. de "kits" de medidas)</li> <li>2. Medicina Nuclear (controle de qualidade)</li> </ol>		
Depto. de Metrologia Grupo de Padronização Primária	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Padrão primário - exposição e keras no ar para Co-60</li> <li>2. Medidas absolutas de fluxos de nêutrons</li> <li>3. Sistemas de aquisição e tratamento de dados do Laboratório Primário</li> <li>4. Câmara de ar livre como padrão primário</li> <li>5. Implantação de programa de Monte Carlo EGS IV</li> <li>6. Avaliação dos Protocolos de Dosimetria da IAEA</li> <li>7. Avaliação de estabilidade a longo prazo das câmaras de ionização padrão secundário</li> <li>8. Intercomparação e calibração dos padrões</li> <li>9. Padrões elétricos. temperatura, pressão e umidade</li> <li>10. Avaliação dosimétrica e clínica de paciente acidentado com radiação</li> </ol>		Inst. Nac. Câncer NRC (Canada) Univ. Córdoba (Argentina) UFSCar GFS

TABELA I - GRUPOS E LINHAS DE PESQUISA EXISTENTES

Continuação

INSTITUIÇÃO/GRUPO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS	COLABORAÇÃO
Grupo de Metrologia em Radioproteção, Radiodiagnóstico e Altas Dosagens	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoração individual</li> <li>2. Monitoração de áreas</li> <li>3. Metrologia em campos de nêutrons</li> <li>4. Metrologia em campos de radiação beta</li> <li>5. Dosimetria de altas doses</li> <li>6. Metrologia em radiodiagnóstico</li> <li>7. Metrologia de contaminação superficial</li> <li>8. Metrologia de feixes de raios-X de baixa energia</li> </ol>		Outros grupos no IRD Depto. Energia Nuclear - UFPE
Grupo de Dosimetria de Radiações	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Padronização primária</li> <li>2. Padronização secundária</li> <li>3. Transporte de radiações em tecidos biológicos</li> <li>4. Aplicações de Monte Carlo em dosimetria de elétrons e fótons</li> </ol>		NRC (Canadá) Bureau International des Poids et Mesures (França)
Grupo de Metrologia de Radionuclídeos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinação e padronização de atividades radioativas</li> </ol>		
PUC-RJ Grupo de Matéria Condensada Experimental	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Biofísica molecular</li> <li>2. Biomagnetismo e instrumentação biomédica</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espectrômetro RPE e acessórios</li> <li>- Espectrofotômetro UV, IV</li> <li>- Magnetocardiógrafo</li> <li>- Susceptibilidade magnética</li> <li>- Calor específico</li> <li>- Resistividade elétrica</li> </ul>	CBPF-RJ Univ. Oxford (Inglaterra) Inst. Biofísica - UNIC INCOR-RC-FRUSP IFQSC-USP Univ. Utah (EUA) Univ. Grenoble (França)
SÃO PAULO USP Campus São Paulo Instituto de Física Grupo Biofísica/Física Médica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Processamento de imagens médicas</li> <li>2. Microcomputadorização de sistemas de sondas nucleares externas</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espectrofluorímetro com resolução temporal</li> <li>- Acesso a RPE, Reson. giroscópica circular e Espectrofotômetro</li> </ul>	Depto. Bioquímica-IQUSP Univ. La Plata (Argent.) Univ. Tulane (EUA)

TABELA 1 - GRUPOS E LINHAS DE PESQUISAS EXISTENTES

Continuação

INSTITUIÇÃO/GRUPO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS	COLABORAÇÃO
Grupo Biofísica/Física Médica	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Controle de qualidade em tomografia computadorizada</li> <li>4. Agregação de anfotericina B - ciclas</li> <li>5. Interação lipídio-proteína</li> <li>6. Membranas de melanossomo</li> <li>7. Pigmentos de melanina</li> <li>8. Fluoresc. com resolução temporal em sistemas biológicos</li> </ol>	- Sistema cintilográfico de detecção de radiação gama	Univ. Parma (Itália) NRC (Canadá) INCOR-NC FRUSP IEE-USP Centro de Medicina Nuclear - FRUSP
Grupo de Difração de raios-X	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cristais líquidos e sistemas bicelulares</li> <li>2. Defeitos em semicondutores</li> <li>3. Ordens de curto alcance em amorfos</li> <li>4. Espalhamento em baixo ângulo</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geradores de Raios-X</li> <li>- Difrátômetros baixo ângulo, alto ângulo, duplo cristal</li> <li>- Microscópio óptico</li> <li>- Acesso a microscópios eletrônicos, espectrômetro IV, microeletrônica, análise térmica, medidas magnéticas</li> </ul>	Univ. Ancona (Itália) LURE (França) Inst. Phys. Solides Orsay (França) Siltec Silicon Co (EUA) Telebras Univ. Fed. Paraná Lab. Microeletrônica - EPOSF
Laboratório de Dosimetria	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dosimetria Termoluminescente</li> <li>2. Defeito em cristais isolantes e materiais amorfos</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitores termoluminescentes</li> <li>- Fornos/Estufas</li> <li>- Fontes radioativas</li> <li>- Detetores de radiação</li> <li>- Espectrofotômetro</li> <li>- Acesso a: RPE, acelerador linear, telecobaltoterapia, raio-X terapêutico</li> </ul>	IG-USP Museu Paulista-USP
Instituto de Química - Depto. Bioquímica-Grupo Superfícias	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estabilidade de vesículas de anfífilos sintéticos</li> <li>2. Agregados de anfífilos</li> <li>3. Vesículas de anfífilos e superfícias coloidais</li> </ol>		Depto. Patologia-FRUSP
<u>Grupo São Carlos</u> Instituto de Física e Química Grupo Biofísica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estudos de hemoproteínas</li> <li>2. Estudos de complexos peptídicos</li> <li>3. Modelos de porfirina</li> <li>4. Modelos tédricos em Biofísica molecular</li> <li>5. Eletrônica molecular</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RPE - banda X, Q, S</li> <li>- Fluorímetro</li> <li>- RNR 200 MHz</li> <li>- Espectrofotômetro UV e UV)</li> </ul>	CBPF-RJ PUC-RJ EMBRAPA - S. Carlos FFCLRP-USP D. Física UNESP R. Claro D. Química UNESP-Araçáq. D. Química UNICAMP



TABELA I - GRUPOS E LINHAS DE PESQUISA EXISTENTES

Continuação

INSTITUIÇÃO/GRUPO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS	COLABORAÇÃO
Grupo de Biofísica			Jet Propulsion Laboratory (EUA) CALTECH (EUA) INTEC (Argentina) Univ. La Plata (Argent.) Univ. Pavia (Itália)
Grupo de Ressonância Magnética, Espectroscopia e Magnetismo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tomografia por RMN</li> <li>2. Espectroscopia de alta resolução</li> <li>3. Condutores iônicos</li> <li>4. Isolantes magnéticos</li> <li>5. Impurezas em isolantes</li> <li>6. Magneto-óptica</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RMN pulsada</li> <li>- Tomógrafo RMN</li> <li>- RPE - banda X</li> <li>- Acesso a: RPE, eletrônica digital</li> </ul>	Univ. Grenoble (França) UNICAMP INTEC (Argentina)
<u>Campus Ribeirão Preto</u> FFCL - Depto. de Física Grupo de Física Aplicada a Biologia e Medicina	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dosimetria/Radioproteção</li> <li>2. Controle de qualidade imagem radiológica</li> <li>3. Instrumentação</li> <li>4. Física de biomateriais</li> <li>5. Física do corpo humano</li> <li>6. Simulação de sistemas biológicos</li> <li>7. Ressonância Magnética - dosimetria</li> <li>8. Biomagnetismo</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitores e Detectores TL</li> <li>- Espectrofotômetro</li> <li>- Espectrofotômetro de Fotoacústica</li> <li>- Instrumentação eletrônica</li> <li>- Fontes radioativas para calibração</li> <li>- Detectores de radiação</li> <li>- Acesso a Acelerador Linear, cobalto, Raios-X diagnóstico e terapêutico</li> </ul>	IRD - CNEN, RJ Univ. Wisconsin (EUA) Food Drug Adm. (EUA) IFQSC-USP CENA - ESAIQ-USP F.de Odont. UNICAMP
UNESP <u>Campus São José do Rio Preto</u> Inst. de Biociências, Letras e Ciências Exatas Grupo de Biofísica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conformação de macromoléculas em solução</li> <li>2. Interação de ligantes com proteínas e ácidos nucleicos</li> <li>3. Termodinâmica e conformação em solução de polissacarídeos</li> <li>4. Hidratação de biopolímeros</li> <li>5. Cinética de oxidação de hemoproteínas</li> <li>6. Espalhamento de raio-X - baixo ângulo</li> <li>7. Membranas</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espectroscopia óptica e</li> <li>- Difratômetro de raio-X</li> <li>- Ultracentrífuga refrigerada</li> </ul>	Univ. Trieste (Itália) Univ. Grenoble (França) IFQSC-USP

TABELA 1 - GRUPOS E LINHAS DE PESQUISA EXISTENTES

Continuação

INSTITUIÇÃO/GRUPO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTOS e TÉCNICAS	COLABORAÇÃO
UNICAMP Instituto de Física Grupo de Desenvolvimento e Aplicações de Lasers	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desenvolvimento de: Laser de CO<sub>2</sub> cirúrgico e Laser de Ar pulsedo</li> <li>2. Propriedades ópticas de derivados de hematoporfirina</li> <li>3. Efeitos não térmicos de radiação Laser</li> </ol>		
UFSCAR Depto. de Química Grupo de Química Quântica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cálculos conformacionais</li> <li>2. Farmacologia Quântica</li> <li>3. Catálise enzimática</li> <li>4. Cerâmicas e polímeros</li> <li>5. Processos químicos em solução</li> </ol>		Uppsala Biomedical Center (Suécia) Birkbeck Col. (Inglaterra) Univ. Washington (EUA) Depto Matemática e Eng. Materiais-UFSCAR IQ-Araraquara-UNESP FCF - USP-SP
EMBRAPA - São Carlos Unidade de Apoio à Pesquisa e Depto. de Instrumentação Agropecuária	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tomografia Computadorizada</li> <li>2. RMN</li> <li>3. RPE</li> <li>4. Fotoacústica</li> <li>5. Ultra-som</li> <li>6. Depto. Instrum. para agropecuária</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rintodógrafo de raio-X</li> <li>- RMN</li> <li>- Acesso ao tomógrafo RMN, RPE</li> </ul>	IFSC-USP ESALQ, CENA-USP IAA - Araras Univ. Fed. Viçosa
IPEN - CNEH - SÃO PAULO Depto. de Proteção Radiológica Grupo de Dosimetria das Radiações	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Campos padrões e dosimetria de radiação X, beta, alfa, gama, UV e altas exposições</li> <li>2. Metrologia Nuclear</li> <li>3. Materiais dosimétricos</li> <li>4. Detectores orgânicos sólidos à cintilação</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitores termoluminescentes</li> <li>- Espectrofotômetro visível</li> <li>- RPE</li> <li>- Medidas de corrente de ionização</li> <li>- Medidas absolutas de rádio-nuclídeos por coincidência</li> <li>- Cintilação por detectores orgânicos</li> </ul>	IRD, CNEH-RJ FCF - USP

TABELA II - COMPOSIÇÃO DOS GRUPOS E PUBLICAÇÕES

INSTITUIÇÃO GRUPO	DOCENTES	ESTUDANTES	ESTUDANTES FORMADOS	ARTIGOS EM REVISTAS C/ ARBITRO		RESUMOS EM CONGRESSOS INTERNACIONAIS		RESUMOS EM CONGRESSOS NACIONAIS		OUTROS	
				78-82	83-88	78-82	83-88	78-82	83-88	78-82	83-88
GOIAS UFG Depto. de Física	1D	2 IC (CNPq) 1 visit.		02	08		01		05		
MINAS GERAIS UFMG Depto de Física Lab. de óptica	2D 2R 1 visit.	2R 2 IC									
PERNAMBUCO UFPE Depto. Biofísica e Radiobiologia Lab. de Eletrobiologia	1D 3R 2 visit. (1983-3 meses)	1 Aperf. 2 Estag.			05		02		18		
Depto. Química Fundamental	4D	2 IC (CNPq) 1 PET (CAPES)	3D (81-89)								
Grupo de Instr. Nuclear e Dosimetria	1D 1R 2R (engenh)	3R 2D 1 IC	4R		02		02		05		
RIO DE JANEIRO CRPF Grupo de Biofísica	2D 2D 2D 1R	2D (1 CNPq) 1R (CNPq) 4 IC (CNPq)	1R (83-86) 1R (87-89) 1R (87-89) 1D (83-86)	04	24	04	06	18	17	08	07

TABELA 11 - COMPOSIÇÃO DOS GRUPOS E PUBLICAÇÕES

Continuação

INSTITUIÇÃO GRUPO	DOCENTES	ESTUDANTES	ESTUDANTES FORMADOS	ARTIGOS EM REVISTAS C/ ARBITRO		RESUMOS EM CONGRESSOS INTERNACIONAIS		RESUMOS EM CONGRESSOS NACIONAIS		OUTROS		
				78-82	83-88	78-82	83-88	78-82	83-88	78-82	83-88	
IRD - CNFM												
Depto. de Monitoração Individual	3D 6M 3B											
Depto. de Protecção Radiológ. Ocupacional	5M 3B											
Depto. de Metrologia: Grupo de Padronização Primária	2D 4M	1M				11		08				
Grupo de Metrologia	1D 3M 1 engh. 1B (quím.)	2M 1 IC				04		08				
Grupo de Dosimetria das Radiações	2D 5M 1 engh.	1M	5M		17		11	14		07		
Grupo de Metrologia de Radionuclídeos	1D 4M	3M										
PUC - RJ												
Grupo de Materia Condensada Experimental	2D 2M 3 visit.	2D 9 IC	4M (78-82) 3M (83-88) 1D (78-82) 1D (83-88)		06	20	05	12	14	20	13	76

TABELA II - COMPOSIÇÃO DOS GRUPOS E PUBLICAÇÕES

Continuação

INSTITUIÇÃO GRUPO	DOCENTES	ESTUDANTES	ESTUDANTES FORMADOS	ARTIGOS EM REVISTAS C/ ARBITRO		RESUMOS EM CONGRESSOS INTERNACIONAIS		RESUMOS EM CONGRESSOS NACIONAIS		OUTROS	
				78-82	83-88	78-82	83-88	78-82	83-88	78-82	83-88
<u>SÃO PAULO</u>											
USP											
<u>Campus São Paulo</u>											
Instituto de Física											
Grupo de Biofísica e Física Médica	3D 2 visit. (86 e 89)	2D (CNPq, FAPESP) 6M (CNPq) 3IC (CNPq)	1D (86) 3M (87-89)	05	16	04	23	07	28	03	09
Grupo de Difração de Raios-X	4D 9 visit.	4D 3M 5IC	5M (78-82) 1D (78-82) 1M (83-88)	11	30	13	34	31	73		
Lab. de Dosimetria	5D 2M	9D 7M 3IC	6M (78-82) 2D (78-82) 16M (83-88) 1D (83-88)	06	10	02	28	36	64		03
<u>Campus de São Carlos</u>											
Inst. Física e Química											
Grupo de Biofísica	9D	3D 1M 1IC	24M 11D	100							
Grupo de Ressonância Magnética, Espectroscopia e Magnetismo	6D 1M 4 visit.	3D 7M 9IC	8M (78-82) 6M (83-88) 4D (83-88)	24	34	05	23	28	83		
<u>Campus Ribeirão Preto</u>											
FFCI											
Depto. de Física											
Grupo Fis. Aplicada à Biologia e Medicina	6D 1M 2 visit.	5D (CAPES) 20M (CAPES) CNPq, FAPESP)	3M (78-82) 6M (87-88) 2D (87-88) 4M (89)	12	40	04	18	24	58	03	05

TABELA 11 - COMPOSIÇÃO DOS GRUPOS E PUBLICAÇÕES

Continuação

INSTITUIÇÃO GRUPO	DOCENTES	ESTUDANTES	ESTUDANTES FORMADOS	ARTIGOS EM REVISTAS C/ ARBITRO		RESUMOS EM CONGRESSOS INTERNACIONAIS		RESUMOS EM CONGRESSOS NACIONAIS		OUTROS	
				78-82	83-88	78-82	83-88	78-82	83-88	78-82	83-88
<b>UNESP - Campus S. José do Rio Preto</b>											
Inst. Biociências, Letras e Ciências Exatas											
Grupo de Biofísica											
	5D		31C (CNPq)								
	5N		2Ap (Fundunesp)								
			2D (CAPES)								
<b>URICAMP</b>											
Instituto de Física											
Grupo de Desenv. e Aplicações de Lasers											
	2D		5D								
	2N		2K								
	1B		21C								
	1D (medic.)										
	1N (medic.)										
<b>EMBRAPA - SÃO CARLOS</b>											
Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenv. de Instrumentação Agro- pecuária											
	5D		71C		27		13		61		07
	2N		5 estágio								
	9B										
	4 visit.										
<b>IPFN - CEM - SÃO PAULO</b>											
Depto. de Proteção Radiológica											
Grupo de Dosimetria das Radiações											
	4D		3D		28	78-82	12	37	03	15	16
	2N		6M			78-82					59
	1P		11C			83-88					09
	1N (quim.)					83-88					27
						83-88					

TABELA III - PERSPECTIVAS: NOVAS LINHAS E EQUIPAMENTOS

INSTITUIÇÃO/GRUPO	NOVAS LINHAS DE PESQUISA	NOVOS EQUIPAMENTOS
<p>MINAS GERAIS</p> <p>UFMG</p> <p>Depto. de Física</p> <p>Laboratório de Óptica</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicação médica do espalhamento dinâmico de luz na detecção de cataratas</li> <li>2. Estrutura e dinâmica de colóide de origem biológica</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 correlacionadores de fótons</li> </ul>
<p>PERNAMBUCO</p> <p>UFPE</p> <p>Depto. Biofísica e Radiologia</p> <p>Laboratório de Eletrobiologia</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transporte através de canais incorporados em bicamadas lipídicas planas</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Técnica de Patch-clamp</li> </ul>
<p>Depto de Química Fundamental</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transporte de elétrons e energia em sistemas biológicos e modelo (experimental)</li> <li>2. Sensores biológicos</li> </ol>	
<p>RIO DE JANEIRO</p> <p>CRPF</p> <p>Grupo de Biofísica</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Propriedades magnéticas de microorganismos por SQUID</li> <li>2. Hemoproteínas, membranas de hemácias em estados fisiopatológicos</li> <li>3. Membranas artificiais e fármacos</li> <li>4. Teoria de interação entre membranas e macromoléculas</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RPE - Brucker</li> <li>- SQUID</li> <li>- Fluorímetro</li> <li>- Microscópio Eletrônico</li> <li>- Imagens em microscopia óptica</li> </ul>
<p>IRD - CHEN</p> <p>Grupo de Metrologia em Radiação</p> <p>proteção, Radiodiagnóstico e Altas Doses</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metrologia de níveis ambientais de radiação</li> <li>2. Metrologia em prospecção de minérios radioativos e técnicas de perfilagem</li> <li>3. Radiações não ionizantes</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RPE</li> </ul>
<p>PUC - RJ</p> <p>Grupo de Matéria Condensada Experimental</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Multicanais para magneto-cardiografia</li> <li>- SQUID</li> <li>- Ultracentrífuga</li> </ul>

TABELA III - PERSPECTIVAS, NOVAS LINHAS E EQUIPAMENTOS

Continuação

INSTITUIÇÃO/GRUPO	NOVAS LINHAS DE PESQUISA	NOVOS EQUIPAMENTOS
SÃO PAULO USP <u>Campus São Paulo</u> Instituto de Física Grupo de Biofísica/Física Médica	1. Interação lipídeos-polipeptídicos 2. Microdomínios em membranas 3. Imagens 3-dimensionais	- Espectroscopia Raman - Correlator de fdtens - Ultracentrífuga - Centrífuga - Laser pulsado para fluorescência - Espectrofotômetro - Estação de trabalho
Grupo de Difração de raio-X	1. Física-Química de micelas e membranas	- Difratômetro automático - Gerador de anodo rotativo
Laboratório de Dosimetria	1. Dosimetria de nêutrons 2. Medidas de doses baixas 3. Medidas de doses altas 4. Dosimetria por EPR	- Espectrofotômetro IV - RPE - Aparelho de Raio-X industrial
<u>Campus São Carlos</u> Instituto de Física e Química Grupo de Biofísica	1. Implantes eletrônica molecular	- Microfoco circular - Espectroscopia óptica resolvida no tempo
Grupo de Ressonância Magnética, Espectroscopia e Magnetismo	1. Espectroscopia de alta resolução em sólidos 2. Polímeros condutores 3. Detecção óptica de RPE 4. "Fast imaging"	- RPE pulsado - Sistema de aquisição de dados
<u>Campus de Ribeirão Preto</u> Fac. Filosofia, Ciências e Letras Depto de Física Grupo de Física Aplicada à Biologia e Medicina		- Biogradômetro - RPE - Espectroscopia gasosa de alta resolução - Recursos computacionais



TABELA III - PERSPECTIVAS, NOVAS LINHAS E EQUIPAMENTOS

Continuação

INSTITUIÇÃO/GRUPO	NOVAS LINHAS DE PESQUISA	NOVOS EQUIPAMENTOS
UNESP Campus de S. José do Rio Preto Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas Grupo de Biofísica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simulação numérica de conformação de pequenos polipeptídeos a diferentes hidratações</li> <li>2. Dinâmica molecular</li> <li>3. Efeitos de sais nas características configuracionais de ácidos nucleicos e polissacarídeos em solução</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espectroscopias resolvidas no tempo</li> <li>- Fotoacústica e optoacústica</li> <li>- Espectroscopia a baixa temperatura</li> <li>- Espalhamento de raios-X a baixos ângulos</li> </ul>
UFSCar Depto de Química Grupo de Química Quântica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mecanismo de hidrólise de ésteres e sais</li> <li>2. Interação de óxidos com gases presentes na atmosfera</li> <li>3. Efeitos do solvente em diversos processos químicos</li> <li>4. Dinâmica Molecular</li> <li>5. Fenômenos de reatividade química em solução</li> </ol>	
EMBRAPA - SÃO CARLOS Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenvolv. de Instrumentação Agropecuária	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fotosíntese</li> <li>2. Eletrônica molecular</li> <li>3. Tomografia por fluorescência de raios-X</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RPE</li> <li>- RMN "in vivo" de H e P</li> </ul>
IPER - CNEN - SÃO PAULO Depto. de Proteção Radiológica Grupo de Dosimetria das Radiações	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Campos padrões de radiação de nêutrons</li> <li>2. Dosimetria de nêutrons</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espectrofotômetro visível UV</li> </ul>

## **ENSINO DE FÍSICA**

## 1. INTRODUÇÃO

A autonomia científica e tecnológica de um país se relaciona diretamente com o desenvolvimento da ciência em termos da sua pesquisa, ensino e recursos humanos.

Nesse quadro a Física ocupa posição importante e conseqüentemente seu ensino deve ser considerado como prioritário nos planos de desenvolvimento nacional.

Os países hoje considerados desenvolvidos, como Inglaterra, Japão, USA, assim como aqueles que ocupam posição de destaque pela sua produção em tecnologias de ponta (sudeste asiático), têm se preocupado com a educação científica, considerando que esta é importante tanto para o futuro profissional quanto para o cidadão que irá usufruir, com custos e benefícios, das aplicações da ciência e a tecnologia no seu cotidiano.

No Brasil, teve início no final dos anos 60 a preocupação com novos materiais curriculares para o 2o. grau, e dessa época datam também as primeiras tentativas de pesquisa na área de ensino de física, associadas a Reforma Universitária, que exigiu uma mudança curricular e metodológica no sistema universitário.

## 2. CAMPO DE ESTUDOS

O campo de estudos do Ensino de Física tem uma latitude que dificilmente poderia ser abrangida neste estudo. Ensino implica em meio escolar e sistema de aprendizagem adequados aos diversos níveis de conhecimento. Isto requer o levantamento dos recursos envolvidos, nada desprezíveis, e que constituem de per si um trabalho estatístico de grande vulto. Por outro lado, a Pesquisa em Ensino de Física ora desenvolvida no Brasil fixa metas próprias e se encontra na atualidade num estágio de desenvolvimento sistemático, com um grau de integração direto e indireto em relação ao sistema de ensino, sendo este um dos seus objetivos fim de maior relevância e prioridade.

A Pesquisa em Ensino de Física que "possui metodologias e bases conceituais para prosseguir e progredir", segundo M.M. Moreira, tem ainda que resolver o difícil problema de sua aplicabilidade à sala de aula, onde é muitas vezes desenvolvida com pouquíssimo retorno, para a melhoria desse ensino, que sabemos hoje ser cada vez mais deficiente em todos os níveis de escolaridade.

### **3. DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS GERAIS DO ENSINO DE FÍSICA**

#### **i. Formação de Recursos Humanos**

- a. Profissionais da área: físicos, professores e tecnólogos.
- b. Profissionais de áreas afins: químicos, engenheiros, biofísicos, etc.
- c. Pesquisadores em Ensino de Física, com potencial de realizar pesquisa independente e formação pedagógica adequada para atuação nos três níveis de ensino.
- d. Educação do cidadão \* educação geral.
- e. Formação de quadros técnicos habilitados.

ii. Produção de materiais instrucionais adequados aos diversos níveis e tecnologias educacionais. Avaliação do efeito de utilização de novos materiais nos contextos escolares.

iii. A Pesquisa em Ensino de Física, surge inicialmente para suprir deficiências metodológicas e curriculares decorrentes da Reforma Universitária de 1968. Em 1979 realizou-se o Primeiro Simpósio Nacional de Ensino de Física, sob os auspícios da Sociedade Brasileira de Física, constituindo-se assim o primeiro núcleo de profissionais interessados no Ensino de Física, e dentro deste, configurando-se um subgrupo voltado também para o desenvolvimento sistematizado de estudos nessa área.

iv. A formação permanente do professor em serviço nos três graus de ensino é considerada uma das tarefas prioritárias. Isto se faz necessário quando se considera que a educação se dá em forma sistematizada através da escola. Como bem diz Moura e Castro "...quem vai continuar a educar nossa juventude é a escola que aí está, com seus professores e sua administração...Urge melhorar a escola..."

v. Transferência de resultados da pesquisa para a sala de aula: constitui-se numa das ações mais importantes e de mais difícil sucesso devido a dificuldade de generalização dos resultados da pesquisa educacional.

### **4. ASPECTOS RELEVANTES DO ENSINO DE FÍSICA**

Existe consenso quanto aos vários níveis de dificuldades a serem enfrentados para a melhoria sistemática do ensino de física no Brasil.

As necessidades podem ser equacionadas em três níveis:

i. A educação geral do cidadão realizada durante a etapa de escolaridade básica, 1o. grau, deve priorizar métodos e processos da Ciência, e a sua natureza, sem detrimento de trazer fatos e conteúdos que sejam de relevância para os indivíduos no seu mundo sócio-econômico real. Neste nível podemos apontar para um cenário muito deficiente, cujas origens estão centradas na infraestrutura escolar e na pouca formação do professor deste nível para o ensino de física, assim como nas condições de trabalho do professor. Uma primeira análise reconhece a necessidade de uma política educacional que considere esses aspectos, dando prioridade ao ensino de ciências como contribuição relevante à formação da cidadania.

ii. O 2o. grau é considerado como etapa de formação técnica, no sentido de preparação para o trabalho. Desta forma o ensino neste nível deveria ter um caráter terminal e não somente propedêutico (preparação para o vestibular) como acontece no sistema atual. Neste nível deve também ficar delimitado o papel da escola técnica, que prepara para a indústria e o mundo do trabalho operacional, e a escola de formação para o magistério da escola primária. O ensino das ciências, especialmente da física teria papel relevante nestes dois segmentos.

A situação atual está muito longe de atender as necessidades. Na prática as três modalidades do 2o. grau tem um ensino altamente acadêmico e formal, exigindo memorização de uma massa de informações muito grande e não preparando o estudante para a compreensão de conceitos e processos; a componente experimental é quase inexistente, fazendo com que a física seja uma das disciplinas mais temidas e de menor desempenho em qualquer tipo de avaliação realizada (vide resultados dos vestibulares).

iii. O 3o. grau prepara o bacharel, cuja opção no mercado de trabalho é a pós-graduação, e o licenciado para o magistério do 2o. grau.

Quanto ao bacharel, este se forma relativamente bem escolarizado após ter passado por vários filtros; a pós-graduação assegura a este número de alunos (20% dos ingressantes) um mercado de trabalho que ainda não está saturado, devido à baixa eficiência do sistema. Uma política nacional de desenvolvimento tecnológico exigirá do sistema universitário um maior aproveitamento dos estudantes, e isso só será possível com uma revisão criteriosa do atual sistema curricular e com a modernização das metodologias de ensino, que parecem ser os dois aspectos mais resistentes à mudança.

A eficiência das licenciaturas é ainda menor, formando-se, em média, apenas 10% dos vestibulandos. As universidades públicas têm se mostrado resistentes as mudanças necessárias e o problema das licenciaturas se arrasta sem uma solução aparente a curto prazo, apesar da responsabilidade que tem com o sistema educacional

básico, que depende deste setor mais do que qualquer outro para melhorar sua qualidade e cortar o círculo vicioso estabelecido.

## **5. NOTAS SOBRE OS DADOS COLETADOS NAS TABELAS**

i. Os grupos respondentes estão caracterizados por uma letra maiúscula, como indicado na tabela I.

ii. As linhas de pesquisa e campo de trabalho foram classificados pelos respondentes obedecendo as seguintes categorias:

a. Trabalhos voltados diretamente para o aprendizado do aluno, como livros, material para o laboratório didático, material instrucional utilizando novas tecnologias, divulgação científica, textos científico-pedagógicos, etc.

b. Trabalhos voltados para a melhoria do ensino através do professor e do sistema educacional, como formação do licenciado e do professor em serviço, cursos de extensão, textos para professores, política e estratégias educacionais, desenvolvimento curricular.

c. Trabalhos de investigação teórica e experimental voltados para a melhor compreensão do processo de ensino-aprendizagem, como: metodologias, teorias de aprendizagem, estudos de aplicação de teorias cognitivas, resolução de problemas, estudos de natureza psicodidática, técnicas de avaliação, etc.

d. Trabalhos de investigação histórica ou filosófica, como: estudos de evolução de conceitos, natureza da ciência, epistemologia, etc.

e. Outros trabalhos: descreva

É importante resalvar que pelas características do campo não foi possível utilizar o mesmo questionário preparado para as outras áreas do Projeto. Por esta razão fez-se necessário remontar tabelas de forma que tivessem coerência de leitura.

As tabelas apresentadas são as seguintes:

**TABELA I. CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS**

**TABELA II. LINHAS DE PESQUISA E TRABALHO**

**TABELA III. RECURSOS HUMANOS / CURSOS / PLANEJAMENTO**

**TABELA IV. COOPERAÇÃO**

**TABELA V. SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS**

**TABELA VI. DIFUSÃO DA FÍSICA / PLANOS EXPANSÃO**

**TABELA I. CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS**

D: doutor; M: mestre; E: especialização; L: licenciado;  
C: colaborador

GRUPO/ INSTITUIÇÃO	PESQUISADORES COLABORADORES	LINHAS PESQUISA	PUBLICAÇÕES REV.CONF.LIV.
A Grupo de Ensino Mestrado em Física (Ensino) UFRGS - 1987	2 D 3 M	1,2,3,4	36 76 12
B Grupo de Ensino de Física UFSC - 1986	1 D 4 M	1,2,3,4	24 24 1
C Grupo de Ensino de Física UFMS - 1988	3 M	1,3	- 4 -
D Grupo de Pesquisa e Ensino de Física UFMT - 1987	2 M 2 E	1,2,3	- 8 -
E Grupo de Pesquisa e Ensino de Física UNESP/Rio Claro	3 M 1 L	1,2,3,4	11 24 -
F Grupo de Pesquisa Ciências UNICAMP - 1985	2 D	1,2	NI

TABELA I. CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS

Continuação

GRUPO/ INSTITUIÇÃO	PESQUISADORES COLABORADORES	LINHAS PESQUISA	PUBLICAÇÕES REV.CONF.LIV.
G Grupo de Ensino de Física FE/USP 1973	2 D	3,4	20 23 6
H Grupo de Ensino de Física Mestrado Ensino de Física FE/USP			(2 anos) 190 200
H1 Renovação conteúdos e formação de professores	4 D 2 C	1,2,3,4	19 17 3
H2 Programa Ciência Educação	1 D 4 C	1,2	3 16 2
H3 Desenv. Material Instruc.	1 D	1,2	1 1 2
H4 Inst. para Ensino	1 D	1,3,4	9 22 -
H5 Tecnol. Educ. Apl. a Física	1 D	3	7 7 -
H6 Concepções Alternativas em Física	2 D	2,3,4	6 5 -
H7 Epistemologia e história da física para a formação do professor	1 M 1 C	1,4	6 10 -



**TABELA I. CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS**

Continuação

GRUPO/ INSTITUIÇÃO	PESQUISADORES COLABORADORES	LINHAS PESQUISAS	PUBLICAÇÕES REV.CONF.LIV.
I Grupo de Pesquisa Ensino de Física UFRJ - 1986	3 D 4 M	1,2,3,4,5*	15 50 2
* 5. Informática aplicada ao ensino de física			
J Grupo de Pesquisa em Ensino de Física Mestrado Física (Ensino) UFF - 1978	4 D 2 M	1,2,3,4	14 40 2
K Ensino de Física UEL - 1989	1 D 2 M 1 E 1 B	1,2,3,4	5 25 1

## **TABELA II. LINHAS DE TRABALHO / PESQUISA**

---

### **A. GRUPO DE ENSINO/UFRGS**

- A1. Ensino, aprendizagem e análise do currículo de física na perspectiva das teorias de Ausubel, Novak e Gowin.**
  - A2. Concepções alternativas em física e sua influência na aprendizagem.**
  - A3. Elaboração e validação de instrumentos para detecção de concepções alternativas.**
  - A4. O microcomputador como recurso instrucional no laboratório e na instrução personalizada.**
  - A5. Cursos de extensão para professores do 1o. e 2o. graus.**
  - A6. Produção de vídeos instrucionais.**
  - A7. A formação do professor e a estrutura curricular do curso de Física.**
  - A8. Implicações da história e da filosofia da ciência para o ensino da física.**
- 

### **B. GRUPO DE ENSINO DE FÍSICA, UFSC**

- B1. Concepção problematizadora do ensino de física e ciências.**
  - B2. Solução de problemas e conceitos intuitivos.**
  - B3. Abordagens construtivistas para o ensino da Dinâmica.**
  - B4. Análise crítica da licenciatura de Física da UFSC.**
- 

### **C. GRUPO DE ENSINO E PESQUISA, UFMS**

- C1. Cursos de treinamento em serviço para professores de física da rede pública.**
  - C2. Conceitos espontâneos e aprendizagem de física.**
- 

### **D. GRUPO DE PESQUISA E ENSINO DE FÍSICA, UFMT**

- D1. Concepções alternativas e o ensino de física.**
  - D2. Avaliação acadêmica dos cursos universitários.**
-

**E. GRUPO DE ENSINO DA UNESP, RIO CLARO**

- E1. Formação de professores secundários e bacharéis.
  - E2. Evolução dos conceitos da física: organização do curso e avaliação.
  - E3. Construção de materiais experimentais para o 2o. grau.
- 

**G. GRUPO DE ENSINO DE FÍSICA, FACULDADE DE EDUCAÇÃO, USP**

- G1. Construção dos conceitos de calor e temperatura.
  - G2. Psicogênese dos conceitos de física, estudo com alunos do 1o. e 2o. graus.
  - G3. O ensino de física nas primeiras séries do primário.
  - G4. Estudos da construção de conceitos através de um ensino fundamentado em teorias construtivistas.
- 

**H. GRUPO DE ENSINO/USP**

**H1. RENOVAÇÃO DE CONTEÚDOS E FORMAÇÃO DE PROFESSORES**

- H1.a A física no ensino elementar e a escola média, e a formação de professores.
  - H1.b Limitações para a formação do pensamento científico.
  - H1.c Os conceitos unificadores e a aprendizagem da física.
  - H1.d Formação específica e formação cultural do professor de física.
  - H1.e O laboratório de ensino de física: estrutura e função.
  - H1.f A evolução histórica do conceito de espaço.
  - H1.g Modelos de concepções espontâneas em estudantes do 1o. grau.
-

**TABELA II. LINHAS DE TRABALHO / PESQUISA** Continuação

---

**H2. PROGRAMA CIÊNCIA EDUCAÇÃO**

H2.a Elaboração de materiais instrucionais: audiovisual, experimentos e textos.

H2.b Organização de atividades de divulgação científica para a população leiga/escolar.

H2.c Organização de atividades de atualização/aperfeiçoamento dos professores da rede oficial de ensino.

H2.d Efeito da interação entre a divulgação científica e a educação científica formal.

---

**H3. DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL INSTRUCIONAL PARA O ENSINO DE FÍSICA**

H3.a Metodologia do ensino de física.

H3.b Utilização do computador no ensino de física.

H3.c Processos interativos criança/ciência.

H3.d Análise e produção de material instrucional para os três graus de ensino.

H3.e Papel dos Centros de Ciências.

---

**H4. PESQUISA EM INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO**

H4.a Estudo do uso de equipamento de baixo custo para o ensino no 2o. grau.

H4.b Ciências na pré-escola.

---

**H5. TECNOLOGIA DA EDUCAÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE ENSINO APRENDIZAGEM DE FÍSICA**

H5.a Construção de uma tecnologia de educação fundamentada em diferentes linhas psicológicas.

H5.b Educação formal, não formal e informal e o processo de ensino aprendizagem de física.

H5.c Educação contínua a nível pós-universitário.

---

**TABELA II. LINHAS DE TRABALHO / PESQUISA** Continuação

---

**H6. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS EM FÍSICA**

**H6.a** Elaboração de estratégias para mudança conceitual no conteúdo de colisões.

**H6.b** Estudo e análise crítica sobre a metodologia de análise de respostas nas pesquisas em concepções espontâneas.

**H6.c** Revisão da prática de ensino do professor do 2o. grau.

---

**H7. EPISTEMOLOGIA PARA A FORMAÇÃO DE PROFESSORES / HISTÓRIA DA FÍSICA NO BRASIL**

**H7.a** Estudos históricos usando textos originais e literatura pertinente sobre as origens e evolução dos conceitos de física.

**H7.b** Estudo das características e compreensão do conhecimento científico: axiomatização das teorias e situação de aprendizagem na sala de aula.

---

**I. GRUPO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, UFRJ**

**II. FORMAÇÃO PERMANENTE DO PROFESSOR EM SERVIÇO (2o. GRAU)**

**II.a** Transferência de resultados da pesquisa em ensino de física para a sala de aula.

**II.b** Desenvolvimento de materiais didáticos.

**II.c** Pesquisa de inventários conceituais (intuitivo/científico) para o ensino de energia.

**II.d** Estudo da interrelação ciência-tecnologia-sociedade (CTS) com enfoque a ser utilizado no ensino de física do 2o. grau.

---

**TABELA II. LINHAS DE TRABALHO / PESQUISA** Continuação

---

**12. INFORMÁTICA APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA**

- 12.a Desenvolvimento e avaliação de coursewares para o ensino de física no 2o. grau.
  - 12.b Inovação curricular no 2o. grau com auxílio do computador.
  - 12.c Interfaceamento de experiências do laboratório didático de física para o 2o. e 3o. graus.
  - 12.d Curso de informática aplicada ao ensino de ciências (licenciatura).
  - 12.e Escalas de atitudes para avaliar a opinião dos estudantes sobre o uso do microcomputador nos cursos de física do 2o.grau.
- 

**13. ASPECTOS SÓCIO-HISTÓRICOS E METODOLÓGICOS E A FORMAÇÃO DO PROFESSOR DO 2o. GRAU**

- 13.a Estudos das representações dos alunos do 2o. grau sobre as relações entre ciência e meios de produção.
  - 13.b Representações sobre a ciência e suas implicações para o ensino de Física no 2o. grau.
  - 13.c A relação teoria-prática no ensino de ciências.
  - 13.d A licenciatura em física.
- 

**14. O LABORATÓRIO DIDÁTICO INTRODUTÓRIO DE FÍSICA NO 3o. GRAU**

- 14.a Contribuição de metodologias abertas (Nedelski) para a aprendizagem de física conceitual no laboratório.
  - 14.b Construção de instrumentos de avaliação cognitiva para o laboratório universitário.
-

**TABELA II. LINHAS DE TRABALHO / PESQUISA** Continuação

---

**J. GRUPO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA/UEF**

- J1. Ensino ativo de ciências.
  - J2. Capacitação docente: curso de atualização.
  - J3. Noções espontâneas/ psicologia genética.
  - J4. Ensino de física introdutória universitária.
  - J5. Conceituação de tópicos da física moderna.
  - J6. Formação permanente do professor do 1o./2o. graus.
  - J7. Elaboração de material didático para os três graus de ensino.
- 

**K. GRUPO DE ENSINO DO DEPARTAMENTO DE FÍSICA/UFL**

- K1. Pesquisa Ensino-Aprendizagem.
  - K2. Pesquisa de aspectos psicodidáticos aplicados a sala de aula.
  - K3. Desenvolvimento de materiais didático-técnicos.
  - K4. Formação do professor em serviço: capacitação docente, curso de especialização.
-

### TABELA III. PROGRAMAS DE PÓSGRADUAÇÃO E EXTENSÃO

Notação utilizada: D; doutorado; M; mestrado; Aperfeiçoamento  
IC; iniciação científica; PG; pós-graduação  
(Os números utilizados nesta tabela indicam ordem de grandeza)

GRUPO	PROGRAMAS	No. ESTUDANTES			PLANOS PARA CRIAÇÃO DE CURSOS/CENTROS PESQUISA INTERDISCIPLINAR (CPI)
		atual	form.	expansão anual	
A	M	3	20	5	Integração do grupo de pesquisa ensino como pesquisa em física. Cursos de extensão.
	Ap	3	-	-	
	IC	3	-	-	
B	M Ed. Co	2	-	4	Não tem. Deseja discutir a nível local/nacional a criação de CPI.
	IC	2	-	-	
C	-	-	-	-	Criação Curso Especialização em ensino de Física
D	-	-	-	-	-----
E	IC	2	-	-	Não há planos.
F	-	-	-	-	Cursos de PG em Ensino de Física.
G	D	4	5	5	Curso de PG em Ensino de Ciências. Não é favorável à criação de CPI.
	M	2	12	5	
H	M	50	54	10	Criação de cursos de PG lato sensu. Doutorado em Ensino de Ciências. Criação CPI Ciências.
	IC	25	-	-	
I	Ap	5	-	5	Curso de PG lato sensu e Mestrado em ensino de física Formação CPI integrando os cursos de Lic. Ciências e Matemática.
	IC	4	-	5	
	M (F.Ed.)	-	2	3	
	D (F.Ed.)	1	-	2	
J	M	2	4	2	Curso de aperfeiçoamento Ciências (Física).
	IC	3	-	5	
	Ap.	2	-	5	
K	Exp.	3	-	15	Formação CPI Ensino Ciência na região de abrangência da UEL. Mestrado Ensino de Física.
	M	-	-	5	



**TABELA IV. PROGRAMAS DE COOPERAÇÃO**

GRUPO ADÊMICA	COLAB. SISTEMA EDUC. VISITANTES	COOP.AC (exemplos)
A <b>Secr.Estad./Munic. Universidades Rio Grande do Sul</b>	<b>Grupo Ensino de Ciências, Univ. Cornell</b>	<b>Diversos Instituições nacionais e exterior</b>
B <b>Interação com sistema Estad./Munic.</b>	<b>USP/UFRGS/UFRFN</b>	<b>D.M.Watts (UK) J.Gilbert (UK)</b>
C <b>Rede Estadual Ensino</b>	<b>UFF/UFRGS</b>	--
D <b>Secret.Ed.e Cultura Escolas particulares e técnicas</b>	<b>UFF/UFRJ</b>	<b>Diversas ins- tituições do país</b>
E <b>Assessoria Secr.Educ.</b>	<b>USP/USP (São Carlos)</b>	--
F <b>Curso de Especializ. profs. de Ciência</b>	--	--
G <b>Secretaria Educação/ Escolas SP</b>	<b>UFRJ/UFF</b>	<b>R.Garcia-Mex. D.G.Peres-Esp. C.Guelin-Can. F.Lemay-Can. E.Saltiel-Fran</b>
H <b>Convênio Secr.Munic/ Estadual, SP Exp. Científicas Cursos professores rede</b>	<b>Univ.Humboldt Univ.Bologna UFF Inst.Educ.Cs (Univ.Londres)</b>	<b>M.Paty-Fran. S.McDowell-USA J.Ogborn-UK J.Bliss-UK L.Tomasini-Ita D.G.Peres-Esp. R.Garcia-Mex.</b>

TABELA IV. PROGRAMAS DE COOPERAÇÃO Continuação

GRUPO ADÊMICA	COLAB. SISTEMA EDUC. VISITANTES	COOP.AC (exemplos)
I Colab.Escolas Rede públ./part./técnica Assessoria C.Ciências RJ.Projeto EDUCOM	GINAPE (NCE/UF RJ) USP/UFF/UF RGS Inst.Ed.Ciências (Univ.Londres)	D.M.Watts-UK J.Ogborn-UK J.Bliss-UK R.Driver-UK E.Reynoso-Mex.
J Colab. Secr.Educação/ Escolas	USP/UF RJ/UFMS/ UFMT	E.Reynoso-Mex. D.G.Peres-Esp.
K Secret.Municipais Núcleos de Ensino Paraná	FE/USP UNICAMP IF/USP	

**TABELA V. SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS**

Notação utilizada: LB: laboratórios básicos  
 O: oficinas mecânica/eletrônica  
 MC: microcomputadores  
 AV: facilidade audiovisual  
 B: biblioteca  
 MD: material didático

GRUPO	INFRAESTRUTURA		NOVAS LINHAS TRABALHO	DIFIC. ENCONTRADAS QUE PODEM IMPEDIR CONCRETIZ. PLANOS
	atual	desejada		
A	LB O MC B AV	produção software/ audiovis. contínuid. produção MD	- Atual professores - Ensino a distância - Alterações curriculares com acompanhamento acadêmico	- Precisa espaço institucional - Depende das tendências dos grupos de Ensino e Pesquisa
B	O MC AV B	expansão facil. bibliogr.	- Concepção problemat. Ensino Física - Desenvolvimento curricular licenciatura física - Reformulação curric. 2o. grau	- Necessidade Doutorado Ensino Física no país - Falta pessoal c/qualif. para área - Estabilidade dos financiamentos
C		criação LB/O B	- Raciocínio/cognição - Prod.. MD - Estudo concepções espontâneas	- Falta de financiamento - Dificuld. contratação pesquisad. - Afastamento dos grandes centros
D	O LB AV	criação Lab. Pesq. Ensino	- Avaliação acadêmica licenciatura - Instrumentação - Novas tecnologias educ.	- Falta de verbas/ inflação - Falta de apoio institucional - Falta de pessoal capacitado - Burocracia IES/MEC

TABELA V. SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS

(continuação)

Notação utilizada: LB: laboratórios básicos  
 O: oficinas mecânica/eletrônica  
 MC: microcomputadores  
 AV: facilidade audiovisual  
 B: biblioteca  
 MD: material didático

GRUPO	INFRAESTRUTURA		NOVAS LINHAS TRABALHO	DIFIC. ENCONTRADAS QUE PODEM IMPEDIR CONCRETIZ. PLANOS
	atual	desejada		
J	AV O B L	Lab. AV B Lab. MC Eq. Lab.	- Continuidade atuais linhas de estudo - Estudo mudança conceitual	- Financiamento/Bolsas - Contratação pessoal qualificado - Falta material consumo/biblio.
K	LI MC	Necess. Invest. US\$400,000 montagem laborat. material didático	- Consolidação das linhas iniciadas - Criação Curso Especial. Ensino de Ciências para 1o. grau	- Falta de financiamento

TABELA V. SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS

(continuação)

Notação utilizada: LB: laboratórios básicos  
 O: oficinas mecânica/eletrônica  
 MC: microcomputadores  
 AV: facilidade audiovisual  
 B: biblioteca  
 MD: material didático

GRUPO	INFRAESTRUTURA		NOVAS LINHAS TRABALHO	DIFIC. ENCONTRADAS QUE PODEM IMPEDIR CONCRETIZ. PLANOS
	atual	desejada		
E	OM	Biblio. específica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consolidar linhas já iniciadas</li> <li>- Evolução dos conceitos físicos</li> <li>- cursos de formação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contratação de pessoal c/titul.</li> <li>- Falta de apoio institucional</li> <li>- Dificuldades de financiamento</li> </ul>
F	--	--	--	--
G	LDE AV	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Continuidade das atuais linhas de estudo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldades de financiamento</li> <li>- Contratação novos pesquisadores</li> <li>- Bolsas para prof. Rede Estadual cursando PG</li> </ul>
H	O LD B	expansão facilid. PG lato sensu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formação do professor em serviço</li> <li>- Aplicação de resultados da pesquisa no sistema educacional (três graus)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absorção de pesquisadores área</li> <li>- Falta de recursos</li> <li>- Financiame./bolsas</li> <li>- Contratação tecn. video programador oficinas/admin.</li> </ul>
I	MC AV O LDE B	expansão facilid. ofic. técn./ administr.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Continuidade trabalhos</li> <li>- Investir na institucionalização do grupo através de cursos PG lato e e stricto sensu</li> <li>- Aprofundamento estudo relevância curricular física 2o. grau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concursos para contratação de pesquisadores</li> <li>- Bolsas para professores/entreg.</li> <li>- Assistência técn./administrativa</li> <li>- Criação de espaço institucional</li> <li>- Estabil. financ.</li> </ul>

**TABELA VI. DIFUSÃO DA FÍSICA**

GRUPO	PLANOS PARA DIFUSÃO DA FÍSICA
A	- Empréstimo "kits" Escolas do Estado
B	- Palestras físicas nas escolas - Abertura laboratório pesquisa e visitas estudantes 2o. grau - Divulgação "Ciência na praça" - Uso dos meios de comunicação
C	- Museus Ciência/Feiras - Meios de comunicação - Estágios na indústria
D	----
E	- Mostras permanentes nas universidades - Palestras - Feiras de Ciências
F/G	----
H	- Centro Interdisciplinar de Ciências - Abertura dos laboratórios de pesquisa para visitação pública
I	- Palestras em escolas - Colaboração com Centros de Ciência - Desenvolvimento de materiais para serem utilizados pelos meios de comunicação/professores - Livros de divulgação - Seminários interdisciplinares universitários
J	- Cursos de atualização - Palestras públicas - Seminários
K	----

**TABELA VII. PLANO DE EXPANSÃO DOCENTE NAS CONDIÇÕES DESEJADAS**

GRUPO	MESTRES	DOUTORES
A	-	-
B	-	2
C	1	1
D	3	3
E	2	2
F	-	-
G	-	1
H	*	
I	4	2
J	3	3
K	2	3

\*. Necessidade de alguns docentes por grupo.  
NÃO dimensiona necessidades.

## **6. PERSPECTIVAS E PROBLEMAS DA PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA COMO ÁREA ACADÊMICA**

Sendo área de caráter interdisciplinar aplicada, o "Ensino de Física" como especialização ainda que já tenha passado sua fase embrionária, certamente não atingiu a idade adulta.

Como exemplo, a centena de mestres formados nesta especialidade ainda não tem um programa de doutorado específico e há resistências acadêmicas para superar neste sentido.

De fato existem problemas gerados pela interdisciplinaridade e pelo caráter aplicado:

### **6.1. Da Interdisciplinaridade**

Falta a melhor caracterização do Ensino de Ciências como campo de estudos no Brasil, o que seria similar ao que se denomina "Science Education" nos países anglosaxônicos ou a "Winenschaftliche Erziehung" germânica.

Geralmente situado nos Institutos ou Departamentos de Física no Brasil, o "Ensino de Física" é tomado (com que dose de razão?) como um corpo estranho enquanto uma das especialidades da Física.

De resto, há aspectos gerais metodológicos e filosóficos (epistemológicos e ontológicos) de educação da Ciência que seriam melhor caracterizados como uma área do domínio do Ensino de Ciências e não especificamente de Ensino de Física.

Uma melhor definição e enquadramento são essenciais para o desenvolvimento destes trabalhos no plano acadêmico.

### **6.2. Do Caráter Aplicado**

Falta uma relação de interação mais clara entre pesquisa/desenvolvimento/ e política educacional.

Os refinamentos técnico/filosóficos são certamente essenciais à área, mas não se tem percebido (em um volume compatível com a crise educacional brasileira) uma linha consistente de atuação, com estratégias que apontem para a superação da presente situação, nos três níveis de escolaridade.

A propósito de conteúdos, propostas essenciais como o estímulo ao tratamento de aspectos da física moderna (quântica) no 2o. grau, encontram a barreira óbvia de que sequer o estudo da física clássica esteja sendo aprendida (ensinada??).

Falta ousadia à área hoje muito preocupada em "se justificar academicamente" e, algo "esquizofrenicamente", dando as costas a problemática educacional real.



### **6.3. Formação do Professor \* o compromisso da qualidade vs quantidade de formandos**

**a. Qualidade na Formação.** É responsabilidade primordial das universidades públicas a formação de lideranças.

**b. Compromisso da Qualidade vs Quantidade.** A ineficiência do sistema é muito alta; em média no país se formam da ordem de 10% dos ingressantes na Universidade. Existem casos aberrantes de manutenção de Cursos de Licenciatura que formam 1 ou 2 professores/ano. O total de professores formados anualmente nas licenciaturas é da ordem de 200 (sendo que 70% pelas faculdades partiuulares). Um estudo básico (S. Costa Ribeiro), que leve em consideração os parâmetros definidos pela Unesco, indica que seriam necessários aproximadamente 800 professores de física/ano para suprir essa demanda.

**c. Renovação dos Quadros.** A próxima década irá requerer a formação de maior número de professores e isto deve ser feito prioritariamente pela universidade pública. Deverá ser levada em consideração a tendência de formar maior número de futuros profissionais, direcionamento cada dia mais forte nas Universidades Públicas, em detrimento da formação do professor no sentido mais amplo. A própria formação dos estudantes de pós-graduação é no sentido de afastá-los cada vez mais dos compromissos com o ensino, que é visto como um pretexto para o contrato que assegura condições para atuar na pesquisa.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

### **Diagnósticos e Problemas a Serem Atacados**

Partindo-se da realidade atual, de um mundo cada vez mais influenciado pela ciência e a tecnologia (da qual nem todos usufruem, e alguns "usufruem" negativamente), é necessário fazer previsões estatísticas das necessidades de formação de professores para os diversos níveis que o país precisa.

Num mundo em transformação o ensino apresenta-se estagnado e sem modelos apropriados para guiar as ações necessárias.

A problemática da escola pública, da evasão e ineficiência, deve ser atacada pela raiz, através da revisão curricular, valorização da carreira do professor, etc. O professor formado prefere outro tipo de trabalho, utilizando-se apenas do diploma como comprovante de estudos de nível superior. Isto contribui para o desânimo daqueles professores universitários ainda interessados na melhoria das licenciaturas.

A formação continuada do Professor em serviço precisa ser institucionalizada. Dos professores atualmente em serviço, 50% ainda estarão em serviço no ano 2000. O que fazer para aproveitar este numeroso e importante grupo?

Listaremos a seguir alguns aspectos que por sua relevância devem ser considerados como invariantes no tempo:

#### 1o./2o. Graus

- Formação continuada do professor em serviço.
- Desenvolvimento de ensino experimental vs o atual academicismo escolar.
- Introdução de novas tecnologias meio: informática e audiovisuais.
- Introdução de tópicos trabalhados a nível de Ciência e Sociedade.
- Utilização de situações de aprendizagem não formal.
- Reconhecimento das diversidades regionais.
- Avaliação permanente das mudanças curriculares e metodológicas.
- Mecanismos para produção/melhoria de materiais didáticos.
- Modernização dos currículos.

#### Recomendações

Dar continuidade ao financiamento de Projetos, de preferência com a institucionalização dos mesmos pelos órgãos competentes: Universidades, Secretarias de Educação, Agências de Financiamento, etc.

Modernização dos currículos, convocando especialistas das diversas áreas de Física Moderna, fazendo o entrosamento com os temas clássicos hoje componentes praticamente únicos dos currículos. Por exemplo, discutir as Leis de Newton introduzindo gravitação e cosmologia; tratar a cinemática e discutir a relatividade do movimento; etc.

#### 3o./4o. Graus

- Reconhecer que a mudança curricular passa pela mudança do professor universitário.
- Dar relevância ao ensino de graduação, especificamente ao Ciclo Básico que precisa de modificações fundamentais.
- Valorizar/respeitar a Pesquisa em Ensino de Física e as metodologias surgidas dos estudos interdisciplinares (Psicologia, Sociologia, Didática, Física).
- Procurar continuidade e avaliação nos currículos universitários de física, adequando-os aos objetivos fim dos cursos aos quais se destinam.
- Acrescentar uma componente pedagógica na formação do bacharel e dos pós-graduandos em Física, futuros professores do 3o. grau.
- Reconhecer que a interdisciplinaridade será o modo de trabalho no próximo milênio e implementar medidas apropriadas.
- Definir estratégias para atrair bons estudantes para os cursos de licenciatura.
- Aproveitar um número maior de estudantes ingressos nos vestibulares das universidades públicas.

### **Pesquisa em Ensino de Física**

- Valorizar a existência de grupos institucionalizados.
- Possibilitar a criação de novos grupos.
- Solicitar das agências de fomento, uma classificação específica para a área de Ensino e Pesquisa de Física, dentro do elenco das áreas de Física.
- Incentivar trabalhos de pesquisa cujos resultados sejam transferíveis para o sistema escolar dos três graus de ensino.

Caso haja probabilidade de mudança, os seguintes aspectos deveriam ser analisados:

- Reconhecer os parâmetros dinâmicos da sociedade atual e definir aqueles que dizem respeito a educação.
- Definição clara da contribuição da física para a educação generalista e especialista.
- Compreender a atual falência do sistema educacional e introduzir as condições de trabalho a  $t = 0$  (atual).
- Fazer planos bienal, quinquenal e década, com avaliação permanente através da SBF, Secretarias, MEC, etc.

Caso se considerasse que não existem possibilidades de mudança, dever-se-ia encontrar formas para dar continuidade aos pequenos esforços desenvolvidos pelos diversos grupos de Pesquisa em Ensino de Física, levando-se em conta o fato de que o alcance destes projetos é muito localizado.

Objetivos que poderiam ser implementados a curto e médio prazo:

- identificar o interesse das universidades na integração com o 1o./2o. graus, a partir dos projetos tipo SPEC, SESU, etc.
- analisar a contribuição efetiva destes projetos no sistema escolar, no treinamento do licenciado, e na formação continuada do professor do 2o. grau.
- comprometer a universidade com a formação do profissional competente para o 2o. grau.
- recomendar que o ensino de ciências na escola primária seja feito por especialistas.
- avaliar a saturação de ações realizadas pelos diversos componentes do sistema, Secretarias de Educação, Centros de Ciência, Projetos de Pesquisa nas Universidades.
- reconhecer que só através de decisões políticas que deem prioridade a educação como um todo, farão com que cheguemos a 1999 com um sistema escolar, na melhor das hipóteses, em vias de recuperação.

## 8. CONCLUSÕES

A maioria dos grupos de "Pesquisa em Ensino de Física" pertence aos Institutos de Física das Universidades Públicas. Mais de 90% dos pesquisadores possuem qualificação ao nível de mestrado ou doutorado. Os grupos são relativamente pequenos, e uma das necessidades mais frequentemente apontadas é a falta de recursos humanos.

Uma inspeção dos campos de pesquisa mostra o destaque das seguintes linhas de estudo (as quais são também áreas de concentração das pesquisas no nível internacional):

- Aprendizagem de conceitos (enfoques cognitivista, histórico, epistemológico)
- Referências teórico-metodológicos
- Contribuição da história e epistemologia no ensino de ciências
- Mudança conceitual
- Ensino informal
- Desenvolvimento curricular (2o. grau/licenciatura)
- Novas tecnologias
- Formação permanente do professor em serviço
- Enfoque social e construção do conhecimento
- Relação ciência-tecnologia e sociedade nos enfoques curriculares

A produção científica, em termos de artigos publicados e livros está aquém da esperada, consequência talvez dos financiamentos pequenos e assistemáticos que esta área vem recebendo das agências de fomento. Por outro lado, o sistema de comunicação através de Congressos e Conferências está muito desenvolvido e sua importância se revela nas estatísticas.

Na Tabela V pode ser observada a total ausência de quantificação nas projeções de recursos necessários para as atividades (a pergunta foi feita no questionário). Isto poderia ser interpretado como falta de experiência no dimensionamento material dos grupos, cujas necessidades materiais estão muito centradas na expansão de recursos humanos específicos, técnicos e administrativos, assim como também pelo fato de que a maioria dos grupos é relativamente recente, e tem poucas expectativas nesse sentido.

Espera-se que o baixo nível de financiamento seja revertido, existindo possibilidades de um real crescimento da área, através da conscientização das autoridades nacionais quanto a necessidade de uma política de investimentos crescente e criteriosamente distribuídos, coerente com as prioridades sociais da demanda educacional do país.

## **FÍSICA DE PLASMA**

## 1. DESCRIÇÃO

Física de Plasmas é uma disciplina que lida com movimentos coletivos de partículas carregadas, elétrons ou íons, ou estados de equilíbrio destas partículas, sujeitas à ação de campos elétricos e magnéticos externos e à ação de seus próprios campos. Este conjunto de partículas e campos representa um meio fluido chamado PLASMA. A Física de Plasmas é a ciência que estuda o estado e o movimento deste fluido. Em particular, são tratadas questões como confinamento de plasma, equilíbrio e sua estabilidade, aquecimento e propriedades de transporte, propagação de ondas, interação de partículas com onda, instabilidades, turbulência e caos.

Plasmas são encontrados na natureza, como em descargas elétricas (relâmpagos), na ionosfera, no espaço interplanetário e intersideral, na corona solar, nas estrelas, anãs brancas e pulsares, e também são produzidos nos laboratórios, como em descargas elétricas, em dispositivos para pesquisa de fusão nuclear, em lasers a gás, dispositivos de semicondutor e metais e equipamentos de plasmas industriais. Eles podem ser classificados como tênue ou denso, clássico ou quântico, havendo uma diversidade vasta de tipos de plasmas em termos de temperatura e densidade.

O plasma com temperatura alta tal que a energia cinética média por partícula é muito maior do que a energia de interação coulombiana média entre duas partículas vizinhas é CLÁSSICO e IDEAL. Pertencem a esta categoria, com uma variação enorme de densidades e temperaturas, plasmas naturais como corona solar e plasmas interplanetários, como também plasmas de laboratório, tais como, descargas gasosas e plasmas termonucleares. Neste relatório só serão tratados plasmas clássicos ideais e fracamente não ideais.

A Física de Plasmas é um dos ramos mais jovens da Física. Os seus fundamentos foram estabelecidos entre 1930 e 1950, porém a sua maturação só foi atingida após 1960 quando duas motivações poderosas estimularam o crescimento da Física de Plasmas. A pesquisa da fusão termonuclear controlada, que procura tornar acessível para a humanidade uma fonte praticamente inesgotável de energia, exige uma compreensão profunda da Física de Plasmas de altas temperaturas. A pesquisa espacial, que se desenvolveu com lançamentos de satélites artificiais e sondas interplanetárias, tornou acessível a mediação de características da natureza que envolve a Terra.

Os primeiros indícios de experimentos com plasma datam de 1830 quando M. Faraday criou descargas elétricas para estudar transformações químicas induzidas por correntes elétricas. Descargas exibiam brilhos estruturados, desconhecidos até então,

que eram manifestações de um novo estado da matéria. Porém a percepção clara de que o plasma é o quarto estado da matéria só foi atingida após ocorrer desenvolvimento mais acentuado do eletromagnetismo, da mecânica de fluidos, mecânica estatística e física atômica no início do século XX.

Avanços em entendimentos de plasmas no laboratório, no espaço e na atmosfera ocorreram, em paralelo, no decorrer do século XX. Nos anos de 1920, I. Langmuir descobriu oscilações coletivas de plasma no laboratório; e G. Breit e M. Tuve descobriram a reflexão de ondas de rádio pela ionosfera.

Entre 1930 e 1950 os fundamentos da Física de Plasmas foram estabelecidos, como produtos da pesquisa conjugada da ionosfera, do espaço terrestre/solar e da astrofísica, motivados por preocupações diversas como por exemplo, para entender como se propagam ondas eletromagnéticas na ionosfera; como é que as atividades solares causam o aparecimento de auroras boreais e tempestades magnéticas na terra; o papel do campo magnético no comportamento de estrelas, galáxias e meio interestelar. Contribuíram para esta pesquisa, entre muitos outros, H. Alfvén, E. Appleton, S. Chandrasekhar, S. Chapman, T. Cowling, M. Saha e L. Spitzer. Experimentos de descargas gasosas em laboratórios multiplicaram-se neste período. Em 1946, L. Landau desenvolveu a primeira teoria da interação entre ondas e partículas ressonantes, em um plasma sem colisões. Em 1950, já estava claro que a natureza não colisional de plasmas quentes era uma propriedade essencial que evidenciava as interações coletivas, interações estas fundamentais para plasmas.

Nos anos 50 houve dois eventos importantes que desencadearam um desenvolvimento rápido da Física de Plasmas. O lançamento de um satélite artificial iniciou a ERA ESPACIAL, abrindo um horizonte imenso e ilimitado para a curiosidade humana, evidenciando a necessidade de compreender aspectos novos de natureza até então desconhecidos e criando situações que exigem maior entendimento da física espacial. A revelação através da liberação de arquivos confidenciais pelos Estados Unidos e União Soviética de pesquisa secreta sobre FUSÃO TERMONUCLEAR CONTROLADA propiciou um grande intercâmbio nesse assunto. Os cientistas de ambas as partes concluíram que os obstáculos para a conquista da fusão termonuclear controlada estavam na ignorância da Física de Plasmas. Em 1958 realizou-se o I Conferência Internacional de Física de Plasmas e Fusão Nuclear Controlada, em Genebra, quando se iniciou uma nova era, uma era de intensa colaboração internacional sobre a pesquisa desta fonte de energia.

O esforço internacional para atingir a fusão termonuclear controlada estimulou o desenvolvimento da Física de Plasmas em laboratório. A configuração de theta-pinch

(construção azimutal) produziu plasmas de temperaturas e densidades termonucleares, porém, o tempo de confinamento era de algumas ordens de magnitude menores que aquele requerido para a produção de energia líquida. Para atingir condições de temperatura, densidade e tempo de confinamento necessários para a obtenção de energia útil eram exigidos melhoramentos significativos na compreensão de plasmas confinados por campos magnéticos ou por confinamento inercial (estes conceitos serão explicados mais adiante). Foram desenvolvidos vários esquemas diferentes de confinamento magnético, tais como, z pinch, stellarator, espelho magnético, tokamak, etc. Desenvolveram-se também esquemas de confinamento inercial com lasers de alta potência. As técnicas de diagnóstico de plasmas de fusão desenvolveram-se aos saltos, melhorando significativamente a precisão e a resolução de medidas como também a variedade de grandezas físicas medidas. Estas estimularam o desenvolvimento teórico da Física de Plasmas. Desenvolveram-se também intensamente as técnicas numéricas para a resolução das equações que descrevem um plasma. A simulação numérica de plasmas tornou-se um dos instrumentos mais importantes na pesquisa de fusão. A tecnologia necessária para criar condições de plasma de fusão no laboratório, tais como, alto campo magnético, descargas pulsadas de dezenas de megajoules de energia, magnetos supercondutores de grande volume, lasers de alta potência, técnica de alto vácuo e de superfícies limpas, fontes de alta potência para ondas eletromagnéticas (de quilowatts a megawatts com frequências de dezenas de megahertz até dezenas de gigahertz), foram desenvolvidas.

Concebidos na década de 50 na URSS os tokamaks emergiram no final dos anos 60 como um sistema de confinamento magnético considerado como forte candidato para reator de fusão, o que levou a um crescimento enorme da pesquisa nos anos 70. Os Estados Unidos, a União Soviética, a Comunidade Européia e o Japão estabeleceram programas de pesquisa com orçamentos de centenas de milhões de dólares anuais.

Programas de pesquisa para sistemas alternativos de confinamento magnético continuaram tendo apoio substancial em todos estes países. No confinamento inercial, dois tipos de impulsores, o laser de CO e o de Nd-vidro, competem passo a passo. A fusão inercial devido às suas evidentes aplicações militares a torna pesquisa classificada o que dificulta a colaboração internacional.

Nos fins da década de 70 e no início da de 80 surgiram dois conceitos de confinamento magnético bastante promissores. A Construção de Campo Reverso, RFP (Reversed-Field Pinch), e o Toróide Compacto, principalmente do tipo conhecido como Configuração de Campo Reverso, FRC (Field-Reversed Configuration). Estas configurações operam em alto beta (razão entre a pressão cinética e a pressão magnética), característica esta muito importante para um reator de fusão e que é



justamente a limitação mais séria dos tokamaks que são máquinas debaixo beta, uma limitação intrínseca. Por outro lado as máquinas do tipo Stellarator voltaram a despertar interesse e projetos importantes foram e estão sendo desenvolvidos. Contudo, estes sistemas apresentam um desenvolvimento ainda pequeno comparado aos Tokamaks que continuam sendo os mais fortes candidatos para reator de fusão.

A Física de Plasmas, como ciência e técnica experimental, tem outras aplicações importantes. Entre elas, pode-se citar o girotron (um gerador de ondas milimétricas com potências de centenas de quilowatts) e lasers de elétron livre (que pode gerar radiações coerentes a partir de microondas, passando pelo visível e chegando até o raio-X). Estes geradores têm potencial para muitas aplicações em muitos ramos da ciência, indústria e medicina. É possível também usar os efeitos coletivos de plasma para acelerar partículas a altíssimas energias nunca antes imaginadas, - acelerador de onda de batimento. A separação de isótopos estáveis e instáveis de uma substância por técnicas de plasma é uma aplicação atraente para usos diversos. O maçarico de plasma já tem demonstrado aplicações industriais variadas em metalurgia, siderurgia, cerâmica, agricultura e microeletrônica. Todas estas aplicações surgiram nas últimas décadas.

Os pesquisadores nesta área encontraram um grande desafio para compreender a natureza deste ramo emergente da Física. Dados experimentais e fenômenos novos foram aparecendo em quantidades nunca antes vistas. Os problemas foram resolvidos por técnicas até então existentes e foram encontradas técnicas novas para resoluções analíticas e numéricas. Modelamentos numéricos de plasmas em situações mais diversas foram desenvolvidos usando computadores ultra-rápidos, exigindo deles o limite de seu desempenho. Mas, muitos fenômenos físicos ainda ficaram sem explicações, sem soluções.

A Física de Plasmas está se tornando uma disciplina bem desenvolvida, prevendo-se, em decorrência, o surgimento de novas inovações tecnológicas.

## **2. SITUAÇÃO DA ÁREA NO PAÍS**

### **2.1. Breve Histórico**

A Física de Plasmas no Brasil iniciou-se nos anos 50. Os trabalhos teóricos pioneiros foram realizados na Universidade de São Paulo por D. Bohm e W. Schützer. Bohm produziu um importante trabalho sobre oscilações em plasmas e Schützer trabalhou na formulação quântica de fenômenos coletivos em plasmas. Os primeiros

experimentos foram realizados por B. Gross no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e L.Q. Orsini na Universidade de São Paulo.

Já nos anos 60, G. Freire iniciou suas pesquisas sobre a propagação de ondas eletromagnéticas em plasmas no Instituto da Aeronáutica (CTA). Também nos anos 60 e início dos anos 70 foram realizados na USP trabalhos teóricos sobre alargamento de linhas espectrais e condutividade térmica, destacando-se a participação de J. Osada, M.S.D. Cattani, N.C. Fernandes, entre outros. A partir dessa época, investigações sobre espectros de plasmas foram desenvolvidas por M.S.D. Cattani e N.C. Fernandes.

Pode-se dizer que as atividades mais sistematizadas em Física de Plasmas iniciaram-se nos anos 70 quando se formaram os primeiros grupos com interesses voltados a plasmas termonucleares. Em 1974 surgiram os grupos da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), que construiu um theta-pinch, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), um grupo teórico, o grupo do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA/CTA), também iniciando em teoria, e o grupo da Universidade de São Paulo (USP), que mais tarde construiu um tokamak. Em 1977 formou-se na Universidade Federal Fluminense (UFF) um grupo inicialmente teórico e mais tarde com uma máquina de espelho magnético. Em 1976 surgiu o grupo do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), com uma máquina de plasma duplo. Em 1982 apareceu o grupo do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), também do Centro Técnico Aeroespacial, voltado para o estudo de plasmas produzidos por laser.

Nos anos 80 surgiram grupos com interesses voltados a plasmas espaciais: em 1982 o grupo do Instituto de Astronomia e Geociências (IAG) da Universidade de São Paulo, com interesse na Física de Plasmas Astrofísicos, e um grupo do INPE, o grupo de Plasmas Espaciais (INPE-PE); e, em 1985, o grupo da Universidade de Brasília, também com interesse em plasmas espaciais.

A primeira iniciativa de coordenar as atividades de pesquisa na área de plasma, que surgiram independentemente, ocorreu em 1975, quando a FINEP se dispôs a criar um programa nacional de plasmas e fusão nuclear com uma dotação de recursos para a pesquisa. O programa não foi levado adiante na forma proposta e os projetos existentes passaram a ser examinados individualmente. Os primeiros financiamentos saíram em 1976 para o grupo da UNICAMP e em 1977 para o grupo da USP. Desde então, a FINEP tem mantido o financiamento nesta área de pesquisa, tornando-se o principal agente de desenvolvimento da Física de Plasmas no Brasil.

Em 1978, durante a realização da Escola de Verão sobre a Física de Plasmas, na UFF, os participantes se conscientizaram da necessidade de formular um programa

nacional para compatibilizar as atividades de pesquisa desenvolvidas por vários grupos de plasmas. Um documento foi elaborado no final de 1978, tornando-se um marco importante para a Física de Plasmas no Brasil.

Em 1981, o Ministério das Minas e Energia, através da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), criou um Grupo de Trabalho com o objetivo de elaborar um Programa de Física de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada, produzir um projeto de um tokamak para o Centro Nacional de Plasmas a ser criado pelo Ministério e incentivar o desenvolvimento de tecnologia de plasmas. Este Grupo de Trabalho produziu um documento final em 1982. A CNEN dotou recursos, de porte semelhante aos recursos dados pela FINEP, para o programa, dando assim um impulso importante para a Física de Plasmas no Brasil. Contudo, o Centro não chegou a ser criado e o financiamento da CNEN, que foi substancial em 1982 e 1983, foi se deteriorando rapidamente com a inflação. O programa, porém, teve um impacto grande em todas as atividades de pesquisa de plasmas. A CNEN manteve durante alguns anos o financiamento de bolsas de estudos para mestrado, colaborando, assim, no aumento do pessoal científico nesta área.

À época da formulação do programa de 1982 trabalhavam em Física de Plasmas 28 pesquisadores com nível de doutor, sendo 18 físicos teóricos e 10 experimentais, além de 15 físicos com mestrado, 22 estudantes de doutoramento e 30 de mestrado, perfazendo um total de 85 físicos.

Outro marco importante para o desenvolvimento das atividades de Física de Plasmas no Brasil foi a realização do I Encontro Latino-Americano de Física de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada em Cambuquira, em fevereiro de 1982. Este encontro demonstrou a existência de uma comunidade emergente e ativa em Física de Plasmas emergente no Brasil. É importante também notar a realização das Sessões de Fusão Nuclear durante os Simpósios Nipo-Brasileiros de Ciência e Tecnologia, realizados na USP, em 1984 e em 1988. Foi também muito importante a realização da conferência internacional da UPAP, Fusion Energy and Plasma Physics (SBF-COPE) em 1987 no Rio de Janeiro e os outros três encontros Latino-Americanos realizados em Medellín (1987), Santiago (1988) e Buenos Aires (1990).

Em 1986, em decorrência de sugestões de pesquisadores, o Ministério da Ciência e Tecnologia criou um primeiro Grupo de Trabalho para a formulação do Programa Nacional de Física de Plasma e Fusão Termonuclear Controlada. Porém este Grupo de Trabalho não chegou a tomar posse. Entretanto, o interesse do MCT em criar um Laboratório Nacional de Plasmas foi reafirmado tendo os grupos de plasmas elaborado uma proposta. Foram organizados dois seminários em Campinas, na UNICAMP, com o

objetivo de acessar o estado de desenvolvimento da pesquisa de plasmas no Brasil. O primeiro seminário foi sobre maçarico de plasmas, com o objetivo de levantar o estado da arte no desenvolvimento deste equipamento e a potencialidade de sua utilização na indústria brasileira, principalmente em metalurgia. O segundo foi sobre a pesquisa de Física de Plasmas em geral, junto com a pesquisa de física nuclear para formular uma política de pesquisa nestas áreas pelo MCT.

O desdobramento subsequente foi a criação do Grupo de Trabalho pelo MCT, em fevereiro de 1987, com o objetivo de elaborar o Programa Nacional de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada e estudar a criação do Laboratório Nacional de Plasmas. Esse grupo elaborou um Programa Nacional de Plasma, no âmbito do qual aprovou, para os grupos atuantes na área de Física de Plasmas e da Fusão Termonuclear Controlada, um programa coordenado de pesquisa. Foi sugerida a criação de um Laboratório Nacional de Plasmas (LNP), baseado na competência científica já existente no País, proposto o Laboratório Associado de Plasma do INPE como núcleo inicial do LNP, analisadas algumas áreas para a localização deste, elaboradas estimativas de orçamento para o período 1988/1991 (sugerindo recursos para o LNP e para os grupos atuantes na área), e recomendada a elaboração posterior de um cronograma físico-financeiro para compatibilização do programa do Laboratório Nacional com o das Universidades. Esse relatório foi aprovado pelo MCT.

Em julho de 1988 o MCT resolveu celebrar convênio com a Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro (SECTEC/RJ), visando à implantação nesse Estado do Laboratório Nacional de Plasma, e constituir um Sub-Grupo Executivo incumbido de estudar e propor, ao Grupo de Trabalho (GT) do MCT, uma área para a localização do LNP e outras medidas pertinentes a essa fase de pré-implantação. Esse GT elaborou, em setembro desse ano, um relatório com conclusões e recomendações. O GT considerou que as atividades do LNP deviam inserir-se no contexto do Programa Nacional de Plasma (proposto ao MCT em 1987) e que o MCT deveria criar um comitê diretor desse programa com representação adequada da comunidade de plasma, conforme recomendado no relatório anterior (de 1987). O GT recomendou, também, que as etapas iniciais do LNP deveriam ser orientadas para a tecnologia de fusão por confinamento magnético e que a implantação do LNP, devido a sua complexidade, deveria levar um tempo relativamente longo. O GT sugeriu ao MCT que apoiasse a construção de um novo tokamak na USP, e que estimulasse colaboração internacional nessa área, inclusive para a captação de recursos necessários ao desenvolvimento do Programa Nacional de Plasma.

Após essas discussões e planejamentos, o que prevaleceu foi o desenvolvimento contínuo dos grupos atuantes na área, principalmente na formação de pessoal, com

recursos contínuos provenientes principalmente da FINEP (para equipamentos, material de consumo e serviços técnicos) e CNPq, CAPES e FAPESP (principalmente para bolsas de estudo e para intercâmbio de pesquisadores).

## 2.2. Situação Atual

### Dados sobre os Grupos de Pesquisa

A seguir são apresentados breves históricos de cada grupo de plasmas, as linhas de pesquisa adotadas por estes grupos e a situação atual do grupo (dezembro de 1988).

#### 2.2.1. UFRGS

O Grupo de Física de Plasmas do Instituto de Física da UFRGS teve seu início em 1974, através de um seminário com vários meses de duração do qual participaram vários físicos teóricos de diferentes áreas. O Grupo foi criado com os objetivos de ampliar a formação acadêmica em áreas de física que possuem grande potencial de aplicações práticas (como teoria eletromagnética, mecânica estatística, termodinâmica e dinâmica de fluidos) e formar pesquisadores em Física de Plasmas Teórica, tanto básica como aplicada. Contou inicialmente com a colaboração de professores visitantes (Drs. Pieter Graeff, John D. Gaffey, J.P. Mondt) e formou seus três primeiros doutores em 1979.

São três as principais linhas de pesquisa do Grupo: (I) Emissão e Absorção de Radiação por Plasmas: Os trabalhos nessa linha abrangem emissão de radiação por plasmas confinados magneticamente, por lasers de elétrons livres e por plasmas espaciais; absorção de radiação por plasmas termonucleares para fins de aquecimento e de geração não indutiva de corrente. (II) Ondas e Instabilidades em Plasmas: Os trabalhos nessa linha consideram efeitos gerados por injeção de feixes de íons, por anisotropia em plasmas de alto beta, por gradientes e correntes em constritores de campo inverso. No momento essa linha está passando a incorporar a propagação de ondas não-lineares e/ou relativísticas em plasmas, não só de elétrons e íons, mas também elétrons e pósitrons. (III) Teoria de Grupos na Análise de Fenômenos Não-Lineares: Os trabalhos nessa linha são de caráter físico-matemático. Atualmente estão sendo investigados invariantes exatos algébricos para o Sistema de Lorenz e outros sistemas não-lineares de relevância para o sistema de Vlasov-Poisson.

O Grupo contou com dois doutores, Darcy Dillenburg e Bernardo Liberman, no início, além dos professores visitantes. Em 1979, formaram-se três doutores, em 1983 um e em 1988 mais um, totalizando presentemente 5 professores doutores em atividade.

Desde a sua criação, o Grupo publicou 35 artigos em revistas internacionais (com "referee") e 12 artigos em Anais de Conferências internacionais.

### **2.2.2.. UNICAMP**

O Grupo de Plasmas da UNICAMP iniciou suas atividades em 1974 e desenvolve pesquisas na área de Física de Plasmas abrangendo um espectro de atividades desde plasmas frios (temperaturas entre 1500 a  $100.000^{\circ}\text{C}$ ) com aplicações tecnológicas até plasmas quentes ( $10.000.000^{\circ}\text{C}$ ) com interesses para a fusão termonuclear controlada. O grupo vem desenvolvendo experimentos e teoria com plasmas pulsados rápidos (pulsos de micro-segundos em Theta-Piches e Configurações de Campo Reverso: Theta-Pinch I e II, Tupã, TC-I, TP-III), com plasmas quiescentes (sistema de plasma quiescente para estudos de fenômenos acústicos-iônicos não-lineares, espelhos magnéticos com aquecimento por ondas de rádio-frequência) e plasmas produzidos por laser. Em tecnologia o Grupo vem desenvolvendo o maçarico de plasmas com possíveis aplicações na siderurgia e metalurgia. Em teoria o Grupo vem pesquisando principalmente nos seguintes tópicos: equilíbrio e estabilidade magnetohidrodinâmicos (ideal e resistiva), aquecimento de plasmas e geração de corrente não-indutiva por ondas de rádio-frequência, interação de plasmas com ondas eletromagnéticas de altíssima intensidade e simulação de plasmas pulsados.

#### **Breve Análise das Atividades do Grupo e Perspectivas Futuras**

Desde a sua criação, o Grupo publicou 54 trabalhos em revistas especializadas e 109 trabalhos em anais de congressos (com "referee") e três capítulos em livros. Formou 8 (oito) doutores e 25 (vinte e cinco) mestres.

O Grupo de Plasmas participa de colaborações nacionais e internacionais. As atividades mais intensas de colaboração se dão com a Universidade Federal Fluminense. Tem também colaborado com a Universidade Federal do Paraná, Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Espaciais, Comissão Nacional de Energia Atômica (Argentina), FOM-Instituto de Física de Plasma (Holanda), Centro de Investigações Ópticas (Argentina), Universidade de Nihon (Japão), Universidade de Osaka (Japão), Laboratório Nacional de Los Alamos (Estados Unidos), Universidade de Columbia (Estados Unidos), Massachusetts Institute of Technology (Estados Unidos) e Universidade de Washington (Estados Unidos).

O Grupo de Plasmas da UNICAMP planeja continuar nas mesmas linhas de pesquisa nos próximos anos. Os principais equipamentos do Grupo são:

A. TUPÁ-I, um theta-pinch de campo reverso, uma máquina de plasma linear com campo magnético axial em ambos os sentidos, com 55 kJ de energia, 100 kV de tensão aplicada e o tempo de subida de 1 microssegundo. Esta máquina é usada para estudar a implosão e compressão do plasma denso em sistemas pulsados. Foi investigado o fenômeno de ruptura e reconexão das linhas de campo formando uma configuração toroidal de campo magnético dentro de uma máquina linear. Esta reconexão é devida a uma instabilidade de plasma, identificada como a de Kruskal-Schwarzschild. No futuro, planeja-se modificar esta máquina para poder alongar a vida do plasma estudando a estabilidade da configuração toroidal compacta criada dentro de um theta-pinch.

B. TORUS C-I, um toroide compacto do tipo FRC, configuração de campo reverso, construído no Laboratório, com início de operação em 1987. Tem energia de 6 kJ e tempo de subida de 5 microssegundos. É uma máquina complexa com 4 bancos de capacitores e 9 canais de diagnóstico, em operação, e mais dois que estão sendo implantados. Esta máquina permite estudar a formação da configuração de toroide compacto em uma máquina linear do tipo theta-pinch. Na fase inicial de operação foi feita a caracterização do plasma e o ajuste fino do ponto de operação. Ficou claramente demonstrada a existência da configuração toroidal compacta dentro de uma máquina essencialmente linear. Os próximos passos da pesquisa com esta máquina são o estudo da estabilidade do toroide compacto e a investigação de técnicas diferentes de estabilização, tais como a de octopolo ou de divertor. O sistema de aquisição de dados tem que ser melhorado muito, implantando-se um sistema de aquisição digitalizado.

C. TP-III, um theta-pinch para a espectroscopia de plasmas. É um theta-pinch que opera a 30 kV com até 4 kJ de energia, com um tempo de subida de 3 microssegundos e obtém uma temperatura do plasma da ordem de 30 a 200 eV. Este é um theta-pinch pequeno com alta taxa de repetição, projetado especialmente para a espectroscopia de átomos altamente ionizados, tais como, o argônio, o criptônio e o xenônio. Dispõe de um espectrômetro de vácuo, importado da Suécia. Este sistema será utilizado extensamente para a espectroscopia atômica e a pesquisa de fusão termonuclear controlada.

#### D. Experimentos de Pequeno Porte:

- Maçarico de Plasma de 40 kW;
- Plasma Produzido por Laser;
- Espelho Magnético.

## E. Teoria:

As linhas principais são equilíbrio, estabilidade e transporte de sistemas toroidais e interação de ondas eletromagnéticas de alta intensidade com plasma. Usa-se, basicamente, a teoria magnetohidrodinâmica para se estudar o equilíbrio e a estabilidade de configurações toroidais, tais como, a FRC e tokamaks. Os fenômenos de transporte, muito importantes para a determinação de tempo de confinamento de plasmas nestas configurações toroidais, são estudados com a teoria de fluido resistivo. Os fenômenos da interação de ondas eletromagnéticas intensas com o plasma são importantes para o aquecimento de plasmas e a geração não-indutiva de correntes no plasma, com aplicações a pesquisa de fusão nuclear e fenômenos astrofísicos e aqueles observados na coroa solar. Foi desenvolvida uma teoria autoconsistente de geração de corrente. Esta teoria foi aplicada a vários modos de propagação de ondas eletromagnéticas no plasma, tais como, Alfvén discreta, magnetosônica e "whistler".

O Grupo de Plasma da UNICAMP tem infraestrutura boa para continuar o seu papel importante na formação de pessoal técnico/científico na área de plasmas e manter a sua alta competência no desenvolvimento de técnicas de diagnóstico de plasmas e métodos numéricos aplicados a problemas de plasma.

### 2.2.3. ITA/EA<sub>v</sub>

O Grupo de Plasmas do Instituto Tecnológico da Aeronáutica do Centro Técnico Aeroespacial foi iniciado em 1974 por José Pantuso Sudano, que retornou da França nesta época. Os trabalhos iniciais no ITA foram teóricos, envolvendo, de um lado, cálculos em magnetohidrodinâmica tendo em vista confinamento magnético, e de outro lado, estudo de efeitos não-lineares em plasmas descritos pelas equações de Korteweg-de-Vries e de Schöedinger não-linear. Trabalhos experimentais foram iniciados em 1978 com a construção de tubos para descargas em arco e RF.

Em 1983 foram iniciados os trabalhos no IEAv. Foram experimentos de desenvolvimento de descargas de baixa taxa de ionização relevantes à construção de lasers a gás de alta potência, visando aplicação no estudo da interação laser-plasma.

No ITA foi criado um laboratório experimental de Física de Plasmas em 1980. Neste laboratório foram desenvolvidas descargas luminosas e descargas do tipo arco e RF sistemas de armazenamento de energia e fontes intensas de feixes de partículas. Dois professores do Departamento de Física completaram o doutoramento no exterior em Física de Plasma Experimental recentemente, e vieram a reforçar o seu grupo de plasma. No IEAv foram construídos lasers de CO<sub>2</sub> de até 5 Joules de energia com



pulsos de 80 nseg de duração. Estes lasers foram utilizados para produzir descargas no ar (estudos de ruptura em gases) e estudos da interação laser/alvo sólido. Foram também desenvolvidos um detector de partículas, diagnósticos ópticos e um sistema de medida de temperatura do plasma por emissão de raios-X. Em 1985, os programas do ITA e IEAv foram integrados com os pesquisadores do IEAv participando no programa de pós-graduação no ITA.

Os projetos de pesquisa desenvolvidos atualmente no grupo do CTA são: Câmara para experimentos de laser-plasma - para estudo da interação laser plasmas em gases e em alvos sólidos planos; Tubo de Descarga de Longo-arco - para estudo da coluna de arco de baixa pressão onde se podem produzir camadas duplas de turbulência, e diagnóstico de plasmas; Descargas de Plasmas por Rádio-Freqüência - para estudo da física de descarga rádio-freqüência e desenvolvimento de diagnósticos, desenvolve atualmente projeto para uma câmara de plasma quiescente acoplada a uma outra câmara onde o plasma será produzido por RF. Será estudada a interação dos dois plasmas. Um dos membros da equipe é professor colaborador da EPUSP e orienta pesquisas em processos assistidos por plasmas: corrosão e deposição. Dispositivos Orbitron - um dispositivo para confinamento de partículas carregadas; Espectrômetro de massa - para estudo físico-químico de plasmas de rádio-freqüência; e, Gerador Marx, volante, heteropolar, pulsado e assíncrono como desenvolvimento industrial e armazenamento de energia. O grupo visa desenvolver capacitação no desenvolvimento tecnológico de diagnósticos por lasers, em decorrência da experiência adquirida na pesquisa da interação laser plasma.

#### 2.2.4. USP

O grupo da USP começou a ser formado em maio de 1974 em virtude de entendimento entre os Profs. José Goldemberg e Ivan Cunha Nascimento e o Prof. J.L. Decroix, do Laboratoire de Physique des Plasmas da Université de Paris XI, Orsay, que estava em visita ao I.F. No segundo semestre de 1974 foi apresentado à FINEP um projeto envolvendo recursos para a montagem do laboratório e do curso de pós-graduação. O projeto seria desenvolvido com a colaboração do Laboratoire de Physique des Plasmas, incluindo a participação de professores franceses e seria executado em conjunto com o Instituto Astronômico e Geofísico. Entretanto, mesmo após ter realizado uma reunião de físicos e assessores em maio de 1975, a qual recomendou a realização de um plano integrado de pesquisas e aprovado a alocação de recursos, a FINEP só começou a financiar o grupo da USP em 1977.

No segundo semestre de 1976, o grupo da USP, coordenado pelo Prof. Ivan Cunha Nascimento e com a colaboração de Ricardo M.O. Galvão, decidiu projetar e

construir um tokamak pequeno. O projeto da máquina foi realizado no primeiro semestre de 1977 e a construção iniciada em 1978. A máquina funcionou em regime de limpeza por descarga em outubro de 1979 e em regime tokamak em julho de 1980. Desde então, sofreu vários aperfeiçoamentos e continua em funcionamento até hoje. Na construção desse tokamak participou também o Dr. Steve Simpson, atualmente na Universidade de Sydney, além de outros professores e bolsistas.

Em 1981, por reivindicação dos Profs. José Goldemberg e Ivan Cunha Nascimento, junto ao Ministério de Minas e Energia e a CNEN, foi formado um Grupo de Trabalho para elaborar o Programa Nacional de Física de Plasma e Fusão Termonuclear Controlada e propor medidas para a criação do Centro Nacional e a instalação de um tokamak de porte médio.

O programa elaborado e depois aprovado pela CNEN, incluía a construção de um tokamak de porte médio na USP e, mais tarde, um tokamak de maior porte no Centro a ser criado.

A partir de 1982, foram iniciados, com apoio da CNEN, no Laboratório de Física de Plasmas, os trabalhos de projeto do Tokamak Brasileiro 2, TBR2, os quais, devido à mudança na orientação da CNEN, foram interrompidos a partir de 1983 por falta de recursos.

O projeto TBR2 foi retomado em 1987 com recursos da FINEP e com a colaboração do Institute of Plasma Physics da Academia Chinesa de Ciências, em Hefei. Presentemente, está em desenvolvimento o projeto de engenharia do TBR-2, prevendo-se sua conclusão no 1o. semestre de 1991.

## ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

### Tokamak Brasileiro 1

O TBR-1 tem os seguintes parâmetros: raio maior 0,30 m, raio menor 0,08 m, raio do vaso de vácuo 0,11 m, campo magnético toroidal 0,50 T, corrente de plasma 12 kA, duração 8 ms, tempo de confinamento  $\sim 1$  ms, temperatura de elétrons 150 eV, temperatura de íons 60 eV. A duração da descarga elétrica é superior a 6 ms, tempo suficiente para o uso de vários sistemas de diagnóstico do plasma.

As principais linhas de pesquisa com o TBR-1 têm sido o estudo de fenômenos de transporte, instabilidades MHD e diagnósticos de plasma.

Os principais diagnósticos em operação incluem sondas magnéticas e eletrostáticas, espectroscopia de alta resolução, interferometria de microondas, sistema de detectores de raios-X de baixa e de alta energia, espectrômetro de massa. Estão sendo desenvolvidos diagnósticos baseados em lasers CO<sub>2</sub> e no infravermelho longínquo.

Para aquisição de dados o laboratório possui um moderno sistema CAMAC on line com 120 canais capaz de armazenar 400kbites a cada disparo.

Dentre os trabalhos realizados na área de diagnóstico encontra-se um poderoso sistema de sondas magnéticas para a detecção de oscilações MHD e de sondas eletrostáticas múltiplas com varredura. Foi desenvolvida uma sonda eletrostática para íons que obteve o prêmio IF-100 em 1987, concedido pela revista Research and Development Magazine como um dos 100 mais significativos novos equipamentos desenvolvidos no ano. Foi construído, também no laboratório um espectrômetro de alta resolução (0.04 Å).

Para a próxima etapa das pesquisas será necessária a construção de um tokamak de maior porte. Esta nova máquina, cujo projeto de engenharia está sendo feito, terá uma grande flexibilidade e permitirá a realização de uma enorme gama de trabalhos competitivos a nível internacional. Devido a estas características, serão criadas amplas oportunidades para toda a comunidade brasileira de plasmas e também para a colaboração científica internacional.

### Tokamak Brasileiro 2

Os parâmetros do Tokamak Brasileiro 2 são os seguintes: raio maior 0,56 m, raio menor 0,20 m (horizontal); 0,29 m (vertical); razão de aspecto 2,5; campo magnético toroidal 1,5 T, densidade  $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ , temperatura de elétrons 0,4 - 1 keV, temperatura de íons 0,2 - 0,8 keV, corrente de plasma 200 kA, duração de corrente 0,5s.

Dentre os objetivos científicos do projeto destacam-se o estudo da estabilidade e do confinamento do plasma em diversas configurações magnéticas, estudo de fenômenos de transporte em plasmas aquecidos ômicamente e com aquecimento adicional; estudos de aquecimento e criação de corrente por RF com ICRH, FCRH e LHRF e por feixes de partículas neutras, estudos de instabilidades MHD e disrupturas; desenvolvimento de novos sistemas de diagnósticos de plasma.

## Atividades Teóricas

Estas atividades tiveram início em 1976 com os Profs. Iberê L. Caldas e Ricardo M.O. Galvão (este último em tempo parcial). O primeiro trabalhou na Alemanha de 1977 a 1979, no Departamento de Teoria do Instituto Max-Planck de Física de Plasma (IPP) com o Dr. H. Tasso. Por sugestão deste, foi convidado o Dr. F. Karger, cuja vinda ao Laboratório deu início a uma série de trabalhos, experimentais e teóricos, sobre o efeito de campos helicoidais ressonantes no confinamento de plasmas em tokamaks e sobre disrupturas.

Desde essa época foram realizados também trabalhos sobre sistemas de diagnósticos, ondas em plasma, transporte, equilíbrio e instabilidades magnetohidrodinâmica. Alguns desses trabalhos teóricos foram motivados por investigações desenvolvidas no TBR-1. Nos últimos anos novos pesquisadores e bolsistas passaram a colaborar nessas atividades.

### 2.2.5. UFF

A pesquisa na área de Física de Plasma no Instituto de Física da UFF foi iniciada em 1977, com a contratação de quatro doutores teóricos na área, Michael F. Reusch, Abraham L. Chian, King-Hay Tsui e Asaharu Tomimura. Em 1978, já se realizava a primeira Escola de Verão de Física de Plasma na UFF. Posteriormente juntaram-se ao grupo, K. Jayaram e Igor Alexeff da Universidade de Tennessee (este por curto tempo). O primeiro mestre contratado foi Cândido C. Rapozo, um experimental, formado em 1980.

A parte experimental se apoiou, em grande parte, no início, nos equipamentos e acessórios do síncro-ciclotron do Instituto, há bastante tempo abandonados, pois periféricos como sistema de vácuo, medidores, fontes, etc., foram de grande utilidade para os seus trabalhos iniciais. Assim foram construídos um maçarico de plasma para corte e um conversor de corrente de plasma.

Ainda em 1980, foi iniciada, sob a liderança de Cândido, a montagem de uma máquina linear de plasma, LISA, máquina esta doada pelo Max-Planck Institut, Garching, RFA; a LISA possui um tubo de plasma com 255 cm de comprimento e 17 cm de diâmetro e um campo magnético máximo de 10 quilogauss na região central e 13 quilogauss nas extremidades. As bobinas são alimentadas por um grupo gerador de corrente contínua de 1000 amperes com 360 quilowatts de potência a 360 volts. Para fornecer a energia necessária foi montada uma subestação de 600 KVA.

Com o apoio do Laboratório de Plasmas da UNICAMP, com quem a UFF mantém convênio, e especialmente com o apoio de Shuko Aihara, foi possível colocar em funcionamento pleno todo o sistema LISA, permitindo assim à UFF participar no programa nacional de plasmas e fusão controlada.

As linhas de pesquisa experimental da UFF são todas baseadas na máquina LISA: aquecimento de plasmas por rádio-freqüência através da ressonância ciclotrônica dos elétrons, ressonância híbrida inferior, ressonância plasma-"sheath" e ressonância magneto-acústica; fenômenos de batimento de ondas ciclotron-eletrônica e geração de corrente não indutiva por onda híbrida inferior. Em teoria, as linhas principais são as instabilidades magnetohidrodinâmicas resistivas em tokamaks e theta-piches, instabilidades paramétricas, acoplamento de modos de guia de plasma e geração de corrente por rádio-freqüência. Como plano futuro, planeja-se utilizar uma outra máquina, também doada pela Max-Planck na mesma ocasião da doação da LISA, a DINAMARE, que é uma máquina toroidal, sem a indução de corrente de plasma; as dimensões são 10 cm de raio menor, 55 cm de raio maior e campo magnético máximo de 10 quilogauss.

O grupo da UFF é constituído de 4 professores doutores, 9 mestres e 2 bacharéis contratados e 6 alunos de mestrado.

O grupo da UFF formou 9 mestres, dos quais três experimentais e produziu 33 trabalhos publicados em revistas e anais de congressos.

## 2.2.6. INPE

O grupo de plasma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais foi estabelecido a partir de 1976 por iniciativa de Gerson Otto Ludwig, após seu retorno dos Estados Unidos. Em meados de 1977 iniciou-se o projeto de construção de uma máquina de plasma duplo, objetivando a realização de pesquisas experimentais básicas em Física de Plasmas em complementação às atividades teóricas já em andamento. Em 1978, considerado ano oficial de início das atividades do grupo, foi criada a Divisão de Plasma do Instituto e iniciada a construção da primeira máquina, que entraria em operação somente em 1980. Neste ano o grupo já contava com a participação dos doutores Abraham Chian-Long Chian, que, em 1985, deu início ao grupo de Plasmas Espaciais do INPE, Tetsuya Akitsu e Antonio Montes Filho. A partir daí ocorreu um grande incremento das atividades do grupo, que foram estruturadas segundo três linhas de pesquisa e desenvolvimento, a saber: Física de Plasmas, Tecnologia de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada. Uma descrição sucinta de objetivos e dos projetos dentro de cada linha é feita a seguir.

**A. Física de Plasmas** - realização de pesquisas experimentais e teóricas de caráter básico, procurando investigar novos fenômenos, elaborar e verificar modelos.

- O Projeto Plasma Quiescente (iniciado em 1979) tem por objetivo o estudo de processos básicos em descargas com confinamento magnético superficial, produzidas por processos termoiônicos ou por radiofrequência, visando, principalmente, a simulação em laboratório de processos em plasmas espaciais.

- O Projeto Plasma Magnetizado (iniciado em 1985) tem por objetivo geral o estudo da física de confinamento magnético de plasmas, e, em particular, do fenômeno de reconexão magnética em descargas toroidais.

**B. Tecnologia de Plasmas** - desenvolvimento de aplicações avançadas de plasmas, com ênfase em tecnologias espaciais.

- O Projeto Centrífuga de Plasma (iniciado em 1981) tem por objetivo a investigação de plasmas em rotação produzidos por descargas em arco no vácuo magnetizado, com possíveis aplicações na separação de isótopos e na deposição de materiais.

- O Projeto Plasma e Radiação (iniciado em 1983) tem por objetivo o desenvolvimento de geradores de radiação milimétrica de alta potência, iniciando pela construção de um girotron, com aplicação no aquecimento de plasmas e possíveis aplicações em sistemas avançados de radar e telecomunicação.

- O Projeto Propulsão Iônica (iniciado em 1983) tem por objetivo o desenvolvimento de fontes de plasma, com aplicação em micropropulsores eletrostáticos para controle de altitude de satélites e possíveis aplicações em processos de microeletrônica.

**C. Fusão Termonuclear Controlada** - investigação de sistemas toroidais de confinamento magnético de plasmas, visando participação no esforço nacional de pesquisa em reatores de fusão nuclear.

- O Projeto de Plasma Toroidal (iniciado em 1986) tem por objetivo a concepção, construção e operação de um tokamak de pequena razão de aspecto (tokamak esférico), visando elucidar as propriedades desta configuração e seu potencial como reator de fusão nuclear de geometria compacta, alto beta e operação contínua.

Os projetos experimentais acima encontram-se em fase operacional, exceto o girotron, que ainda está em construção, e o tokamak esférico, que está na fase de estudos conceituais. Além destas linhas de pesquisa e desenvolvimento, são desenvolvidos também projetos específicos, de duração limitada, para atender demandas do INPE, tais como equipamentos de medida do momento magnético do satélite brasileiro e de seus subsistemas.

A antiga Divisão de Plasma do INPE sofreu uma transformação em sua conceituação no ano de 1986, quando passou a constituir o Laboratório Associado de Plasma (LAP/INPE). Este foi o primeiro laboratório associado do Instituto, com vistas a desenvolver atividades de pesquisa de ponta e intensificar a interação com outros grupos de pesquisa e instituições de ensino. Dentro deste espírito, já em março de 1986 e por iniciativa do Diretor do Instituto foram organizadas reuniões preliminares no INPE, a convite do Ministério de Ciência e Tecnologia, envolvendo representantes de todos os grupos de plasma do País e objetivando organizar um grupo de trabalho para retomar a formulação de planos relativos ao Programa Nacional de Plasma e ao futuro Laboratório Nacional de Plasma. As considerações deste grupo de trabalho foram encaminhadas ao MCT em junho de 1986, resultando na organização, pelo Ministério, de um encontro, realizado em setembro desse ano na UNICAMP, para avaliar a situação das áreas de plasma, fusão nuclear e física nuclear no País. As atividades do Grupo de Trabalho nas áreas de plasma e fusão nuclear foram oficializadas através de Portaria do MCT em fevereiro de 1987.

O Programa Nacional de Plasma, elaborado durante grande parte do ano de 1987 e aprovado pelo Ministro da Ciência e Tecnologia em setembro, previa, como principal experimento do futuro Laboratório Nacional de Plasma (LNP) na área da fusão nuclear, a construção do Experimento Toroidal Avançado (ETA). Esta máquina seria um tokamak inovador, com pequena razão de aspecto e corrente de plasma da ordem de IMA totalmente gerada por métodos não-indutivos. Todavia, o Programa não chegou a ser implantado, passando o Laboratório Associado de Plasma a trabalhar no projeto conceitual de um tokamak de menor porte, que serviria de protótipo do experimento do LNP. Como a eficiência de geração de corrente por métodos não-indutivos é um parâmetro crucial para uma máquina de pequena razão de aspecto e de operação em regime permanente, decidiu-se incluir no protótipo (Proto-ETA) um solenóide para operação indutiva. Apesar das dificuldades técnicas adicionais introduzidas por esta escolha, ao final de 1988 já se havia concluído um projeto preliminar que demonstrava a factibilidade do experimento. Presentemente, o LAP/INPE continua a trabalhar neste conceito, esperando que o tokamak Proto-ETA possa vir a se tornar o projeto embrião capaz de definir a maior participação do Brasil no esforço de pesquisa na área de fusão.

A equipe científica do LAP é constituída, em dezembro de 1988, de dezoito pesquisadores, sendo sete doutores, dez mestres e um graduado. Além destes, a equipe conta com um engenheiro de carreira, dois técnicos de nível médio e três alunos bolsistas.

O LAP formou dois doutores, sendo um experimental e um teórico, quatro mestres, sendo um experimental e três teóricos, e produziu um livro, trinta e seis trabalhos publicados em revistas científicas internacionais e trinta e três trabalhos publicados em anais de conferências internacionais.

### 2.2.7. IAG

O Grupo de Plasma Astrofísico do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo foi iniciado essencialmente quando Reuven Opher foi contratado em 1982.

As linhas principais de pesquisa deste grupo são: perda de massa estelar pelas ondas Alfvén turbulentas; geração de correntes em "Flares" solares, jatos extragalácticos, supernovas e nuvens moleculares; instabilidade térmica em rádio fontes extragalácticas; física de plasma na formação das primeiras estrelas; mecanismos de aceleração das partículas em "flares" solares, supernovas e rádiosfontes extragalácticas; e, radiação girociclôtrônica nas colunas de acreção de anãs brancas.

O Grupo é constituído por Reuven Opher (Doutor/Harvard, 1958) e seis alunos de doutoramento, um dos quais com contrato provisório e já possui 6 trabalhos publicados em revistas científicas.

## 2.3. Análise e Perspectivas

Em 16 anos de existência da Física de Plasmas no Brasil, o seu avanço foi considerável, tanto do ponto de vista da formação de pessoal como da produtividade científica. Neste período formaram-se 22 doutores e 75 mestres.

Em dezembro de 1988 47 doutores e 60 alunos de pós-graduação estavam trabalhando nesta área. Entretanto este avanço em número de pesquisadores não está ocorrendo numa proporção satisfatória. Por exemplo, a razão entre os números de físicos experimentais por físicos teóricos deveria ser em torno de 2/1, na área de Física de Plasmas. Este valor é de 1/1, longe do valor mencionado. Embora este valor tenha melhorado nos últimos anos, e tenda a aumentar, esta tendência é demasiadamente



lenta. Em parte, a tendência de maior número de teóricos pode ser explicada pelas imensas dificuldades encontradas em desenvolver pesquisa experimental no Brasil, devido a falta de infraestrutura material, técnico/administrativa e de pessoal, como também verbas para pesquisa. É necessário estabelecer uma política de incentivar mais trabalhos experimentais, aumentando o número de alunos experimentais mais rapidamente do que o número dos teóricos. É também necessário que se envie para o exterior alunos de doutoramento experimental em maior número, pois, as alternativas oferecidas pelos projetos experimentais no Brasil ainda são limitadas.

Com relação a publicações de trabalhos (o número de publicações é uma das medidas da produtividade científica), o desempenho foi regular. São 165 trabalhos publicados em revistas especializadas, 192 em anais de congressos nacionais e internacionais com "referee". Uma verificação mais aprofundada mostra, porém, que as publicações científicas na área experimental são em número bem menor do que na teórica.

Há demonstrada competência, de nível internacional, nas pesquisas teóricas em certas linhas, como, interação eletromagnética com plasmas, estabilidade magnetohidrodinâmica ideal e resitiva, geração de corrente não indutiva em plasma por rádio-freqüência e física de confinamento magnético. Em se tratando de trabalhos experimentais, houve um grande avanço no desenvolvimento de técnicas de diagnóstico e sistemas de aquisição de dados, porém, ainda se nota muitas dificuldades em desenvolver técnicas importantes, devido à falta de pessoal especializado, como também a falta de material, verbas apropriadas e disponibilidade de tempo. Há também competência demonstrada nas pesquisas de tokamaks pequenos e sistemas pulsados de alto beta. Na Física de Plasma Experimental Básica, importantes trabalhos foram feitos com ondas acústicas não-lineares, potencial de plasmas na presença de rádio-freqüência e interação de rádio-freqüência com plasmas magnetizados. Na tecnologia, foram desenvolvidos maçaricos de plasma prevendo-se a sua introdução na indústria brasileira. É também de reconhecimento internacional o projeto girotron. Os laboratórios de pesquisa existentes nas Universidades devem ser ampliados para dar continuidade ao trabalho iniciado, aumentar a experiência nacional nessa área e garantir a formação dos novos especialistas necessários. Todos os dados sobre a situação da área aparecem nas tabelas em anexo.

Pode-se dizer que, no Brasil, já foi alcançada uma massa crítica de pesquisadores com uma certa maturidade e competência científica que permite a realização de experimentos de maior porte, do que daqueles que existem atualmente, tanto para pesquisa em fusão termonuclear controlada, como para aplicações tecnológicas. Para tais experimentos, há necessidade de maiores recursos. Por outro lado, há também a

necessidade de realização de experimentos maiores, para os quais a estrutura dos atuais grupos precisa ser ampliada e melhorada dentro de um programa coordenado entre os grupos existentes.

### **3. PERSPECTIVAS PARA A PRÓXIMA DÉCADA**

#### **3.1. Planos dos Grupos**

Os grupos atuantes na área pretendem continuar a desenvolver trabalhos cujas finalidades são descritas sucintamente a seguir:

**Física de Plasmas:** realização de pesquisa básica, investigação de novos fenômenos, elaboração e verificação de modelos.

**Tecnologia de Plasmas:** criação de capacitação na área, desenvolvimento de técnicas, dispositivos e instrumentação de interesse para a indústria e a pesquisa.

**Fusão Termonuclear Controlada:** capacitação científica e tecnológica e realização de trabalhos científicos relevantes para o progresso internacional da área.

Pretende-se incrementar a colaboração entre os vários grupos do País e do Exterior.

#### **3.2. Recursos Humanos**

A tabela 2 mostra a atual situação dos recursos humanos em Física de Plasmas. Há 47 doutores nessa área, sendo 27 teóricos e 20 experimentais. A predominância de físicos teóricos indica uma distorção típica de países menos desenvolvidos. Uma das principais causas desta distorção é a dificuldade com que se defrontam os laboratórios em termos de infraestrutura, equipamentos, etc. Há, ainda, 48 mestres nos diferentes programas, sendo 20 teóricos e 19 experimentais, todos fazendo doutoramento. Dos 25 bolsistas de mestrado, 12 são teóricos e 13 são experimentais. Dos 12 bolsistas de iniciação científica, 8 são experimentais e 4 são teóricos. Nota-se, assim, a tendência de nos próximos anos o número de experimentais contratados igualar o de teóricos (atualmente há 36 teóricos e 34 experimentais contratados), embora fosse desejável que o número de experimentais fosse o dobro do número de teóricos. Há ainda cerca de 10 bolsistas de doutoramento no exterior.

Para a realização de projetos de grande porte os recursos humanos ainda são insuficientes. Entretanto, já existe massa crítica para experimentos de médio porte. Mesmo assim ainda há falta de engenheiros, matemáticos e técnicos atuantes nessa área. Para o desenvolvimento dos programas atuais é necessário contratar nos próximos anos, um número elevado de doutores. As possibilidades de formação de novos mestres e doutores estão limitadas para os experimentais, pelas atuais condições de trabalho e pelo número de orientadores. Portanto, é necessário enviar parte desses estudantes para fazer doutoramento no exterior. Alguns teóricos devem também fazer doutoramento no exterior, pois há especializações importantes pouco desenvolvidas ou inexistentes no País.

Até agora os estudantes formados nessa área têm sido contratados principalmente pelos grupos de Física de Plasmas. Para manter essa situação será necessário manter a expansão desses grupos.

A formação de doutores e mestres deve continuar a ser feita, como até agora, principalmente nas universidades, com ênfase naquelas que podem oferecer melhores condições de formação, tanto pela sua infraestrutura como pelo seu nível de ensino.

### **3.3. Investimentos Necessários**

Um trabalho contínuo e competente tem sido desenvolvido, no Brasil, em Física de Plasmas, com ênfase na área de confinamento magnético de plasma de fusão. Os programas de pesquisa nesta área foram objeto de amplos debates, nos últimos 12 anos, na comunidade científica, brasileira e internacional. Áreas correlatas, como aplicações tecnológicas de plasma, sistemas de aquisição e análise de dados experimentais e controle vem sendo também desenvolvidas. Além dos projetos atuais em desenvolvimento, há, na área de fusão termonuclear controlada dois projetos de novos tokamaks: o TBR-2, na USP, e o PROTO-ETA no INPE.

Após projetar, construir e operar com sucesso o pequeno tokamak TBR-1, o grupo da USP está desenvolvendo o projeto de um novo tokamak, em colaboração com o Instituto de Física de Plasmas da Academia Chinesa de Ciências, que permita ao grupo continuar participando das pesquisas a nível internacional (com colaboração com outros grupos nacionais e internacionais) e formando pessoal qualificado.

O custo total do projeto ficará abaixo em US\$8,000,000.00, a serem gastos nos próximos cinco anos. O grupo conta com recursos do convênio BID/USP, para a construção do laboratório e aquisição de alguns diagnósticos e com recurso aprovados pela FINEP para a execução do projeto de engenharia durante o ano de 1990. A

máquina escolhida, de porte médio, é versátil o suficiente para permitir um trabalho de pesquisa competitivo na época em que entrar em funcionamento. Além do interesse científico, este projeto permitirá a capacitação tecnológica de construir sistemas de confinamento energético de porte médio, com a participação de companhias de engenharia nacionais.

No Laboratório Associado de Plasma do INPE está sendo desenvolvido, em colaboração com o Laboratório Nacional de Oak Ridge, o projeto do PROTO-ETA, um tokamak de razão de aspecto pequeno. O objetivo principal é o de caracterizar a performance desse tipo de máquina, e as propriedades do plasma ao atingir um equilíbrio com razão de aspecto baixa, com correntes de plasma e temperatura relevantes. O custo total do projeto ficará em US\$ 8,000,000.00.

### **3.4. Carências, Dificuldades e Recomendações**

Para os projetos de plasmas, a falta de continuidade nos financiamentos provenientes dos órgãos governamentais, e os atrasos na liberação dos recursos aprovados, têm limitado consideravelmente o desenvolvimento dos atuais grupos de pesquisa. Maiores verbas são necessárias para a formação de pessoal especializado, na área científica e técnica, aquisição de novos equipamentos, aumento das facilidades computacionais e construção de novas máquinas de confinamento magnético. Dessa forma seria aumentada a capacidade de produzir trabalhos experimentais originais de nível internacional.

É necessário estimular o desenvolvimento de projetos de plasma com aplicações tecnológicas.

Tem feito falta a não realização periódica de encontros nacionais de Física de Plasma.

Os intercâmbios internacionais têm se ressentido de verbas próprias para a sua intensificação.

É necessário fixar uma política de contratação para os atuais estudantes de pós-graduação no Brasil e no exterior.

TABELA 1  
GRUPOS DE PESQUISA EM FÍSICA DE PLASMA

INSTITUIÇÃO GRUPO	INÍCIO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTO PRINCIPAL	CUSTO ESTIMADO US\$
ITA (CTA)	1974	.Estudo de interação laser-plasma e diagnósticos correlatos.	.Laser CO <sub>2</sub> .Câmara e sistema de vácuo	100,000.00
		.Física de plasmas quiescentes e de descargas elétricas DC e RF.	.Câmara e sistema de vácuo Fontes de potência DC, RF, do sistema de diagnósticos.	
		.Processos de materiais assistidos por plasmas-corrosão, pulverização catódica e polimerização	.Câmara e sistema de vácuo; Fontes DC, RF e microondas Registrador XY	
		.Fonte de fons	.Câmara e sistema de vácuo, Fontes DC, RF e sistema de diagnósticos.	
		.Armazenamento de Energia	.Gerador Marx e volante 400 EJoules	
USP	1974	.Fusão Termonuclear controlada, confinamento magnético no tokamak TER-1	.Tokamak TER-1 (construção própria) .Diagnósticos: elétricos, magnéticos, raios-X, microondas, espectroscopia.	1,000,000.00
		.Projeto do tokamak TER-2	.Sistema de controle do campo magnético vertical .Sistema de aquisição de dados via CANAC	
		.Desenvolvimento de diagnósticos	.Microcomputadores .Fontes de tensão .Bombas de vácuo	
		.Espectroscopia		
		.Sistema de aquisição de dados rápidos		
		.Instabilidades HED		
		.Sistemas dinâmicos, caos		
		.Turbulência		

TABELA 1  
GRUPOS DE PESQUISA EM FÍSICA DE PLASMAS

Continuação

INSTITUIÇÃO GRUPO	INÍCIO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTO PRINCIPAL	CUSTO ESTIMADO US\$
UFF	1977	.Fusão termonuclear controlada .Aquecimento e geração de corrente por rádio-frequência .Instabilidades HRD .Lasers e elétrons livres .Transporte de arcos elétricos de alta pressão .Dinâmica de plasma limitado	.Grupo motor-gerador Máquina linear LISA	800,000.00
INPE	1976	.Tecnologia de plasma: Centrífuga de plasma Plasma e radiação/Girotron Propulsão iônica .Física de plasma: Plasma quiescente Plasma magnetizado .Fusão termonuclear controlada: Plasma toroidal	.Centrífuga de plasma .Sistema de teste de girotrons .Sistema de teste de propulsores iônicos .Máquina de plasma duplo Estricção a campo inverso .ETP .Computador Heco VAX 3600	1,650,000.00
IAC	1982	.Plasma astrofísico	(teoria)	
UFRCG	1974	.Fusão Termonuclear controlada: Ondas e instabilidades em plasmas - Radiação EM .Pesquisas básicas: Radiação eletromagnética Fenômenos não-lineares	(teoria) (teoria)	

TABELA 1  
GRUPOS DE PESQUISA EM FÍSICA DE PLASMAS

Continuação

INSTITUIÇÃO GRUPO	INÍCIO	LINHAS DE PESQUISA	EQUIPAMENTO PRINCIPAL	CUSTO ESTIMADO US\$
UFSC		.Descargas em gases  .Tratamento de superfícies por por plasmas	.Sistemas de contagem de fótons  .Sistemas de vácuo  .Microcomputadores, "plotter", impressoras  .Registadores, fontes  .Fotomultiplicadoras  .Medidor de pressão  .Gerador RF	100,000,00
UNICAMP	1974	.FRC - Configuração de Campo Reverso  .Magneto-hidrodinâmica  .Transportes em Plasmas  .Aquecimento de Plasmas e Geração de Corrente por RF	.Theta-Pinch de Campo Reverso .FRC - Torus C-1 .Theta-Pinch para Espectroscopia .Plasma produzido por Laser	1,000,000.00

TABELA 2  
 PESSOAL CIENTIFICO E PRODUTIVIDADE EM FISICA DE PLASMA

INSTITUICAO GRUPO	DOCTORES		MESTRES		ESTUDANTES			ESTUDANTES FORMADOS		ARTIGOS EM REVISTAS C/ARBITRO	CONF. INT.
	T	E	T	E	IC	H	D	H	D		
					T/E	T/E	T/E	T/E	T/E		
ITA (CTA)	2	3	-	-	- / -	2 / 4	1 / 1	6 / 1	1 / -	6	7
USP	5	7	-	5	- / 5	4 / 3	1 / -	- / 17	3 / 1	24	39
UFF	6	1	3	3	- / 2	1 / 2	- / -	9 / 3	- / -	18	15
INPE	4	3	4	6	- / -	- / -	1 / -	3 / 1	1 / 1	36	33
IAG	1	-	2	-	- / -	2 / -	3 / -	1 / -	- / -	9	
UPFOS	6	-	-	-	4 / -	3 / -	1 / -	5 / -	6 / -	35	12
UFSC	-	2	-	-	- / -	- / 2	- / -	0 / 6	- / -	7	6
UNICAMP	3	4	-	-	- / 1	- / 2	4 / 4	11 / 14	5 / 3	30	80
TOTAL	27	20	9	14	4 / 8	12 / 13	11 / 5	35 / 42	17 / 5	165	192



TABELA 3  
 PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS 5 ANOS: RECURSOS HUMANOS EM FÍSICA DE PLASMAS

INSTITUIÇÃO GRUPO	CAPACIDADE DE FORMAÇÃO				EXPANSÃO DO GRUPO			
	CONDIÇÕES ATUAIS		CONDIÇÕES IDEAIS		CONDIÇÕES ATUAIS		CONDIÇÕES IDEAIS	
	R	D	R	D	R	D	R	D
ITA-CTA	6	2	10	5	6	2	6	3
USP	15	6	25	12	1	2	10	15
UFF	10	-	20	5	2	1	-	-
INPE	-	6	14	11	-	-	15	14
IAC	2	5	5	7	-	2		
UFMG	10	4	15	6	-	2		
UFSC	2	-	4	1	-	1	-	3
UNICAMP	5	5	10	10	-	3	5	10

**TABELA 4**  
**PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS 5 ANOS: TÉCNICAS E INVESTIMENTOS EM FÍSICA DE PLASMAS**

Continuação

INSTITUIÇÃO GRUPO	NOVAS LINHAS DE TRABALHO	NOVOS EQUIPAMENTOS	INVESTIMENTOS US\$
IPEE	CONDIÇÕES ATUAIS:		
	.Desenvolvimento de técnicas de aquisição de dados em experimentos pulsados	.Módulos CARAC e interface com computador VAX	1,500,000.00
	.Teste de propulsores iônicos em condições especiais	.Complementação do sistema de bombeamento de alto vácuo	
	.Teste de dispositivo de ondas milimétricas (Girotron)	.Equipamentos de medidas de ondas milimétricas	
	.Estudos de excitação de ondas por feixe de partículas	.Instrumentação e equipamentos de RF	
	.Projeto de engenharia do tokamak de pequena razão de aspecto Proto-ETA	.Estações de trabalho e pagamento de serviços	
IAC	CONDIÇÕES DESEJADAS:		
	.Ampliação das instalações do Laboratório de Plasma em Cachoeira Paulista	.Construção civil	8,000,000.00
	.Fornecimento de energia elétrica do Laboratório de Plasma em Cachoeira Paulista	.Linha de transmissão e estação de força	
	.Construção do tokamak de pequena razão de aspecto Proto-ETA	.Equipamentos diversos e fabricação de componentes	
IAC	CONDIÇÕES DESEJADAS:		
.Ampliação da linha atual			

TABELA 4  
 PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS 5 ANOS: TÉCNICAS E INVESTIMENTOS EM FÍSICA DE PLASMAS

Continuação

INSTITUIÇÃO GRUPO	NOVAS LINHAS DE TRABALHO	NOVOS EQUIPAMENTOS	INVESTIMENTOS US\$
UFMG	CONDIÇÕES ATUAIS:		
	.Facilidades de computação (em conjunto com a UFRGS) ampliar as linhas atuais		
	CONDIÇÕES DESEJADAS:		
	.Computadores de porte médio	.Ampliar as linhas atuais	200,000.00
UFSC	CONDIÇÕES ATUAIS:		
	.Espectroscopia óptica de descargas brilhantes	.Monocromador, sistema de vácuo, fontes	35,000.00
	CONDIÇÕES DESEJADAS:		
	.Espectrometria de massa, fluorescência laser	.Laser, quadripolo	150,000.00
UNICAMP	CONDIÇÕES ATUAIS:		
	.Controle automático do TC-1, Sistema CARAC de Aquisição de Dados, Desenvolvimento de Diagnósticos ópticos		500,000.00
	CONDIÇÕES DESEJADAS:		
	.Feixe de partículas neutras para aquecimento e diagnóstico	.Injetor do feixe de partículas neutras	2,000,000.00*

\* Além disso está prevista participação do grupo no desenvolvimento de diagnósticos nas máquinas propostas pelo IEPÉ e pela USP

TABELA 4  
PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS 5 ANOS: TÉCNICAS E INVESTIMENTOS EM FÍSICA DE PLASMAS

INSTITUIÇÃO GRUPO	NOVAS LINHAS DE TRABALHO	NOVOS EQUIPAMENTOS	INVESTIMENTOS US\$
ITA (CTA)	CONDIÇÕES ATUAIS:		
	.Descargas em arco e baixa de vapor. Descargas luminosas RF e DC. Máquina de plasma quiescente. Descarga em vácuo. Gerador Marx. Fontes de Tensão de alta e baixa potência. Gerador RF. Amplificador linear de RF. Sistemas de vácuo. Volantes. Alto falante a plasma.		400,000.00
	CONDIÇÕES DESEJADAS:		
	.Sistemas de impulsores e lasers de CO <sub>2</sub> e Nd. Câmara de vácuo para estudos interação laser-plasma. Sistemas de aquisição de dados ultra rápidos 1 ns a 10 ns para estudo da interação laser plasma. Computadores para análise e processamento digital de sinais		400,000.00
USP	CONDIÇÕES ATUAIS:		
	.Diagnósticos ópticos e de feixes, aquecimento auxiliar de plasma	.Lasers, OMA, espectrômetro .Analisador de partículas neutras	1,500,000.00
	CONDIÇÕES DESEJADAS:		
	.Construção do tokamak TBR2 .Desenvolvimento de diagnóstico óptico e de partículas .Sistema de aquisição de dados rápidos com mais de 400 canais	.Tokamak TBR2 .Lasers, feixes de partículas neutras .Computador .Sistema de aquecimento auxiliar	8,000,000.00
UFF	CONDIÇÕES ATUAIS:		
	.Aplicações Tecnológicas:Orbitron, magnético de plasma, arcs elétricos de alta pressão	.Turbulência acústica-iônica .Ondas acústicas-magnéticas .Geração de corrente não-indutiva	800,000.00



Impressão e Acabamento

**GRÁFICA E EDITORA FCA**

*com limes fornecidos pelo editor.*

AV. HUMBERTO DE ALENCAR CASTELO BRANCO, 3872 - TEL.: 419-0200  
SÃO BERNARDO DO CAMPO - CEP 09700 - SP