

# Projeto Acadêmico do Departamento de Física Nuclear do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

## Quinquênio 2019-2023

### 1. Missão, Visão e Valores

**Missão:** Promover a geração de conhecimento, a formação de pessoal qualificado e a extensão de serviços à sociedade, com ênfase nas áreas de física nuclear básica, bem como em suas ramificações interdisciplinares e em suas aplicações.

**Visão:** Ser reconhecido nacional e internacionalmente pela qualidade e relevância do conhecimento que produz e pela excelência na formação de profissionais e líderes.

**Valores:** Realizar suas atividades buscando a excelência, com dedicação e respeito a princípios éticos, tais como: zelo com os bens públicos, integridade, transparência, liberdade de pensamento e de expressão, respeito e espírito colaborativo nas relações interpessoais.

### 2. Panorama do Departamento: Pesquisa, Ensino e Extensão

A física nuclear é uma área de pesquisa com grande relevância para a compreensão das leis da natureza. Desde sua origem, ela tem como objetivos estudar a estrutura dos núcleos atômicos, bem como os mecanismos de reações nucleares e de geração de energia. Nos últimos 50 anos, seu alcance foi muito ampliado e atualmente estende-se desde o estudo de partículas elementares, até questões de caráter macroscópico como a evolução do próprio universo.

A física nuclear também está inserida em outras áreas da física, como, por exemplo, na cosmologia e astrofísica, onde as reações nucleares têm papel fundamental para a compreensão dos fenômenos cósmicos. Ademais, os conhecimentos de física nuclear também são utilizados em uma grande variedade de pesquisas interdisciplinares. Um exemplo disso é a arqueometria, onde a caracterização de objetos arqueológicos, de arte e do patrimônio cultural, pode ser realizada por métodos nucleares. Outra área é a engenharia dos materiais, identificando a composição de materiais por irradiação ou modificando suas propriedades por implantação de íons. Várias outras áreas de pesquisa em que a física nuclear é importante podem ser citadas, como em: poluição do ar, química, fármacos, odontologia, entre outras.

Os conhecimentos adquiridos em física nuclear e as técnicas desenvolvidas para o estudo do núcleo também resultam em uma grande variedade de aplicações práticas com grande impacto na sociedade. Por exemplo, técnicas nucleares vêm sendo largamente aplicadas em medicina, tanto para diagnóstico como em tratamento de doenças, com imagens com raios X ou técnicas de ressonância magnética, tomografia por emissão de pósitrons, uso de radiotraçadores para obtenção de imagens funcionais e para tratamento de diversas doenças, terapia de câncer com prótons e outros. De fato, muitas outras aplicações podem ser citadas, como: esterilização de alimentos ou embalagens (por irradiação), agricultura (novas variedades de plantas são criadas por mutação induzida pela radiação), entre outras.

A importância da física nuclear para o conhecimento básico da natureza e a ampla gama de aplicações práticas, a torna uma área de grande relevância estratégica para o país. Assim, a formação de recursos humanos em física nuclear é crucial para que o Brasil continue a dominar a respectiva tecnologia.

Neste contexto, o Departamento de Física Nuclear (DFN) do IFUSP tem realizado pesquisas na fronteira do conhecimento científico, no campo de física nuclear básica bem como em física aplicada, tanto em aspectos experimentais como em teóricos. O DFN também tem contribuído significativamente para a disseminação do conhecimento, para a formação de estudantes e para a extensão de serviços à comunidade.

As linhas de pesquisa do DFN são essencialmente as seguintes:

- Física Nuclear de Baixas Energias,
- Física Nuclear de Altas Energias e Física de Partículas,
- Física Aplicada com Partículas e Radiações.

Dentro dessas áreas, o DFN tem se caracterizado por ser um centro de pesquisa de alto nível, abrigando 6 laboratórios de relevância nacional e internacional:

1. Laboratório Aberto de Física Nuclear (LAFN),
2. *High Energy Physics and Instrumentation Center* (HEPIC),
3. Laboratório de Dosimetria das Radiações e Física Médica,
4. Laboratório de Arqueometria e Ciências Aplicadas ao Patrimônio Cultural (LACAPC),
5. Laboratório de Implantação Iônica,
6. Laboratório de Cristais Iônicos, Filmes Finos e Datação (LACIFID).

### **2.1. Física Nuclear de Baixas Energias**

As atividades de Física Nuclear de Baixas Energias do DFN tiveram início na década de 1950, quando o Prof. Oscar Sala liderou a instalação de um acelerador eletrostático do tipo Van der

Graaf. Nos anos 70, a física de íons pesados foi introduzida no departamento de forma pioneira, com a instalação do acelerador Pelletron-8UD, acompanhando de perto o avanço da Física Nuclear no mundo. O foco da atuação dos pesquisadores do DFN, na área experimental, foi então direcionado ao estudo da estrutura dos núcleos atômicos (Estrutura Nuclear) e dos mecanismos de reação envolvidos numa colisão entre dois núcleos (Reações Nucleares). Grande avanço já foi obtido na compreensão dos fenômenos nucleares na área de baixas energias, mas muito ainda existe para ser estudado. Atualmente, o departamento mantém o Laboratório Aberto de Física Nuclear (LAFN), um laboratório multiusuário que tem o acelerador Pelletron como principal equipamento e que permite o estudo experimental do núcleo atômico em diversos aspectos.

O núcleo é um sistema quântico de muitos corpos mediado por três das quatro interações básicas da natureza: as interações nucleares forte e fraca e interação eletromagnética. O estudo da Estrutura Nuclear consiste na investigação das diferentes maneiras pelas quais prótons e nêutrons interagem através destas forças para dar origem aos estados ligados do núcleo, bem como das propriedades desses estados. Por muitos anos, o conhecimento de estrutura nuclear foi baseado apenas nas propriedades dos núcleos estáveis e quase estáveis (núcleos de longa vida). Entre tais núcleos e as linhas de evaporação (*drip lines* — limites no número de núcleons, a partir dos quais o núcleo deixa de ser um sistema ligado) existe um território quase inexplorado, contendo 90% dos possíveis sistemas nucleares. Existem 283 núcleos estáveis e mais de 3500 núcleos fora da linha de estabilidade conhecidos até o presente. Os núcleos fora da linha de estabilidade são denominados instáveis ou radioativos pois decaem por emissão beta com meias-vidas que podem variar de horas, segundos até microssegundos. Alguns destes núcleos possuem propriedades bastante diferentes das usualmente encontradas no vale de estabilidade, como por exemplo enormes halos de nêutrons e diferentes números mágicos, e são por isso denominados núcleos exóticos. Um grande avanço nas investigações desses núcleos foi propiciado por laboratórios produzindo feixes de núcleos radioativos (exóticos). Esses estudos mostram que os modelos teóricos de estrutura desenvolvidos para núcleos estáveis não são adequados para os exóticos. No DFN, o sistema RIBRAS (*Radioactive Ion Beams in Brazil*) está instalado desde 2004 numa das linhas de feixe do acelerador Pelletron. O RIBRAS é um sistema que produz feixes secundários de núcleos fora da linha de estabilidade como o  $^6\text{He}$ ,  $^8\text{Li}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^8\text{B}$  e outros. O Pelletron-RIBRAS é o único equipamento na América do Sul capaz de produzir feixes secundários de núcleos exóticos e, atualmente, é um equipamento multiusuário utilizado em colaborações nacionais e internacionais.

O estudo da dinâmica de reações nucleares também progrediu significativamente nas últimas décadas. Dados experimentais relativos a seções de choque extremamente baixas vêm

sendo obtidos com precisão cada vez maior, devido ao aprimoramento das técnicas experimentais e de modelos teóricos. Vários processos podem resultar das colisões nucleares, como espalhamento elástico, transferência de núcleons, fusão nuclear e outros. No jargão da área, esses processos são denominados de canais. Já é bem conhecido que um particular processo pode ser bastante afetado pelos respectivos acoplamentos com os demais canais de reação. Dessa forma, na maioria dos trabalhos atuais, as reações nucleares são estudadas através do formalismo de canais acoplados, visando obter informações da dinâmica desses processos, bem como alcançar uma consistência desejável na descrição conjunta dos diversos canais de reação. Devido aos acoplamentos, existe uma grande influência das propriedades estruturais dos núcleos nos mecanismos associados às reações nucleares. Conseqüentemente, os estudos de Estrutura Nuclear e de Reações Nucleares estão fortemente relacionados. Isso é especialmente importante para valores de energia de colisão próximos à altura da barreira de potencial. É exatamente essa região de energia que é alcançada com o acelerador Pelletron do LAFN, de forma que os pesquisadores deste laboratório têm realizado importantes experimentos para a elucidação de vários aspectos da dinâmica de reações nucleares. Ademais, o advento de aceleradores que produzem feixes de núcleos exóticos, como os disponíveis no LAFN através do RIBRAS, permitiu explorar experimentalmente reações até então pouco estudadas.

A relação entre as áreas de física nuclear e astrofísica tem se mostrado cada vez mais estreita. A formação dos elementos nos vários cenários astrofísicos (universo primordial, meio intergaláctico, estrelas, explosões de novas e supernovas) se dá exatamente por meio de reações nucleares. O estudo dessas reações faz parte do que chamamos astrofísica nuclear. Como todos os elementos existentes no Universo foram produzidos por reações nucleares, a física nuclear é crucial para a caracterização da história química e da evolução de objetos cósmicos. O entendimento de tais fenômenos envolve a análise dos mais recentes dados de satélites e observatórios terrestres, e requerem, também, amplo conhecimento de fenômenos da física nuclear de baixas e altas energias.

A principal infraestrutura experimental para a realização desses estudos no Brasil é o LAFN, mantido pelo DFN. O LAFN tem um regimento nos moldes de um laboratório nacional, em que qualquer pesquisador (de qualquer instituição) pode propor experimentos, que são avaliados quanto ao mérito e viabilidade por um Comitê de Avaliação de Projetos (CAP). Tanto projetos na área de física nuclear básica como em física aplicada têm sido realizados no LAFN. O Pelletron, principal equipamento do laboratório, é uma máquina eletrostática que pode atingir tensões de até 8MV. O feixe proveniente do acelerador pode ser distribuído para sete canalizações, nas quais se encontram vários equipamentos de detecção de grande porte, como: o RIBRAS, que permite a

obtenção de feixes de núcleos exóticos; o espectrômetro SACI-PERERÊ, usado no estudo de espectroscopia gama; o sistema SATURN, para medidas de espalhamento elástico, inelástico e reações de transferência; e o espectrógrafo magnético ENGE, que permite a obtenção de excelente resolução em energia nas reações nucleares. Na verdade, o Pelletron é uma infraestrutura única no país, que demonstra a importância e liderança do DFN no contexto da física nuclear nacional.

Diversas colaborações internacionais em física nuclear de baixas energias também são mantidas e lideradas por membros do DFN, como por exemplo a participação no projeto NUMEN do *Laboratori Nazionali del Sud* – INFN, Catania, Itália. Neste projeto, planejam-se medidas de reações de dupla troca de carga a energias de 15-60 AMeV com utilização do espectrômetro MAGNEX, de grande interesse para a física de neutrinos. Com estas medidas, será possível inferir elementos de matriz de transição nucleares análogos aos do duplo decaimento beta sem neutrinos, o que poderá trazer informações essenciais para a determinação da massa efetiva do Neutrino de Majorana. Para estes experimentos, será necessário desenvolver um espectrômetro de radiação gama na forma de um calorímetro de cintiladores inorgânicos, sob responsabilidade de docentes do DFN.

O departamento também se coloca em posição privilegiada na formação de recursos humanos na área de física nuclear, que tem importância estratégica para que o Brasil continue a dominar a respectiva tecnologia. Por ser um laboratório de médio porte (comparado aos laboratórios de altas energias), os estudantes no LAFN têm oportunidade de se envolverem fortemente no projeto, desenvolvimento, construção e manutenção de equipamentos sofisticados, incluindo sistemas de detecção e treinamento no controle do feixe do Pelletron. A excelente formação adquirida com essas atividades garante a geração dos futuros líderes das ciências nucleares, que na maioria das vezes se espalham por outros centros científicos ou tecnológicos do Brasil e do exterior. Apesar deste contexto, o departamento tem tido dificuldade em atrair novos alunos em nível de pós-graduação. Por conta disso, o plano de gestão do DFN prevê iniciativas que busquem divulgar amplamente as atividades desenvolvidas no departamento a fim de minimizar esse problema.

Uma ampliação da capacidade do laboratório está prevista com o acelerador LINAC, que permitirá elevar a região de energia disponível para os experimentos. Parte significativa do projeto já foi realizada, como a construção do prédio que abriga o acelerador e a aquisição/desenvolvimento de boa parte dos equipamentos que o compõem. Recursos significativos e muito esforço já foram investidos nos últimos 30 anos, porém o projeto ainda não foi finalizado, provocando um sério atraso na expansão e atualização da infraestrutura

experimental dessa área de atuação do departamento. Portanto, também o planejamento de gestão do DFN inclui iniciativas que busquem solucionar as indefinições do projeto LINAC.

## **2.2. Física Nuclear de Altas Energias e Física de Partículas**

Em anos recentes, o DFN promoveu a instalação de uma nova linha de pesquisa em Física de Altas Energias, cujos docentes têm atualmente se dedicado a importantes aspectos da Física Nuclear com íons pesados relativísticos e Física de Partículas. A Física de Altas Energias visa o entendimento da estrutura e da dinâmica dos constituintes mais elementares do Universo. A teoria mais fundamental que descreve o mundo microscópico é o Modelo Padrão (MP), que é constituído por um conjunto de teorias quânticas de campo com importantes propriedades de simetria. Essa teoria tem obtido enorme sucesso na descrição dos mais variados observáveis, porém muitos aspectos da natureza mais elementar do Universo continuam em aberto. Medidas precisas de observáveis gerados por colisões entre prótons a altíssimas energias, quando comparados com previsões teóricas, podem comprovar ou desafiar o MP, demonstrando a necessidade de um entendimento mais fundamental da natureza. O estudo de colisões entre núcleos pesados, também a altas energias, permite o estudo de um novo estado da matéria, o Plasma de Quarks e Glúons (QGP), que teria povoado o Universo primordial. Por outro lado, a Cosmologia indica que o Modelo Padrão descreve apenas 4% da matéria existente no Universo. O restante deve ser composto de formas ainda desconhecidas de matéria ou energia, as chamadas matéria e energia escura. Portanto, estudos experimentais que permitam identificar toda essa matéria desconhecida são de extrema relevância para o conhecimento do Universo.

O DFN conta com o *High Energy Physics and Instrumentation Center* (HEPIC), um centro cujo principal objetivo é desenvolver pesquisas na área de Física de Altas Energias, o que neste caso inclui o estudo de colisões entre prótons e entre núcleos a altíssimas energias (na escala de *TeV*), assim como o estudo da matéria escura. O HEPIC também se dedica ao desenvolvimento da instrumentação necessária para a realização desses estudos, procurando sempre explorar possíveis aplicações interdisciplinares dessa instrumentação.

Estudos experimentais de colisões entre prótons e entre núcleos a altas energias são realizados em grandes aceleradores localizados em laboratórios internacionais, a partir de colaborações com milhares de pesquisadores. O HEPIC integra atualmente três grandes colaborações em dois laboratórios internacionais: a colaboração STAR (*Solenoidal Tracker At Rhic*), que é o único experimento remanescente do acelerador de íons pesados RHIC (*Relativistic Heavy Ion Collider*), localizado no Laboratório Nacional de Brookhaven (BNL), nos EUA; as colaborações ALICE e ATLAS, que envolvem experimentos no acelerador de partículas LHC (*Large Hadron*

*Collider*) localizado no laboratório europeu CERN (*Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*). O centro também integra a colaboração COSINE-100, que é um experimento para a medida direta de matéria escura localizado na Coreia do Sul. O grupo também está constantemente procurando por novas oportunidades para expandir suas pesquisas. Recentemente, o HEPIC foi convidado para integrar duas colaborações: o experimento sPHENIX em BNL e o experimento TDIS, no *Jefferson Laboratory* (JLab), localizado no estado da Virgínia, EUA. O primeiro experimento tem por objetivo a realização de medidas mais precisas das propriedades do QGP nas energias do RHIC, enquanto o segundo irá explorar a estrutura de hádrons, estudo imprescindível para o entendimento da força forte do MP.

Em termos de instrumentação, o HEPIC conta com uma infraestrutura onde se desenvolvem diversos projetos. Em colaboração com o Laboratório de Sistema Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da USP, o HEPIC foi responsável pelo desenvolvimento do chip de *front-end* SAMPA, que será usado em detectores nos experimentos ALICE, STAR, sPHENIX e TDIS. O chip SAMPA foi desenvolvido para a utilização em detectores a gás, o que motivou diversos projetos de desenvolvimento de detectores do tipo MPGD (*Multi-Pattern Gaseous Detector*). O centro também faz parte do experimento RD51, que é uma colaboração de pesquisa e desenvolvimento desse tipo de detectores do laboratório CERN. Além dessas linhas, o HEPIC está envolvido no desenvolvimento de sistemas de *trigger* e reconstrução de sinais em calorimetria e no estudo de novos métodos e tecnologias em detectores semicondutores ultrarrápidos, para as fases futuras de operação do experimento ATLAS. São também desenvolvidas atividades experimentais relativas à melhoria de técnicas para seleção de eventos no experimento COSINE-100.

Como todos esses estudos são realizados em grandes colaborações globais, as pesquisas realizadas pelo HEPIC apresentam um elevado nível de internacionalização, trazendo todos os benefícios conhecidos que uma intensa interação com grupos estrangeiros pode trazer, tanto para a pesquisa como para o ensino, principalmente na formação de novos mestres e doutores. O trabalho em grandes colaborações internacionais, por outro lado, exige um grande esforço para obter uma contribuição significativa e protagonista, exigindo um forte comprometimento de todas as partes envolvidas. Esse é um ponto bastante crítico neste tipo de atividade, visto que desembolsos financeiros e prazos para a realização de tarefas acabam se tornando um componente vital para o bom funcionamento desses experimentos, o que exige estabilidade e comprometimento das fontes financiadoras e da infraestrutura necessária para o desenvolvimento das pesquisas, como mão-de-obra técnica e administrativa.

Esta atividade de pesquisa do DFN também se beneficiaria enormemente com o fortalecimento do grupo de fenomenologia, o Grupo de Hádrons e Física Teórica (GRHAFITE), que atualmente conta com apenas dois membros no DFN.

### **2.3. Física Aplicada com Partículas e Radiação**

O DFN foi pioneiro no IFUSP na implantação de um grupo de pesquisa em Física Aplicada na década de 70. Esse grupo introduziu no país a Dosimetria Termoluminescente, e continua liderando nacionalmente essa área. As aplicações na área de Física Médica no Brasil tiveram início em 1969, através do curso de Física das Radiações na graduação do Bacharelado em Física do IFUSP. Durante as últimas quatro décadas, essa área se desenvolveu e modernizou, com a aquisição de instrumentação de última geração e incorporação de novas competências, através de colaborações, parcerias e especialização de docentes e corpo técnico. Mais recentemente, o DFN abriu novas áreas de pesquisa em Física Aplicada com o uso de fontes iônicas e aceleradores de partículas, que têm aplicação em várias áreas interdisciplinares, como a arqueometria e ciências aplicadas ao patrimônio cultural, estudo dos efeitos da radiação ionizante em dispositivos eletrônicos, e na caracterização, modificação e produção de novos materiais. Também é importante destacar que o desenvolvimento de instrumentação para a medida de partículas e radiação, bastante consolidado no departamento, permeia quase todas as atividades de pesquisa do DFN e estabelece uma desejada unidade entre os seus membros.

#### **2.3.1 Física Médica e Dosimetria das Radiações**

O Grupo de Dosimetria das Radiações e Física Médica (GDRFM) do DFN atua em diferentes áreas de pesquisa na fronteira da Física Médica:

- Desenvolvimento de materiais dosimétricos;
- Técnicas de dosimetria aplicadas à tomografia computadorizada e à mamografia;
- Espectrometria de raios X aplicada ao diagnóstico por imagens;
- Desenvolvimento de materiais radiologicamente equivalentes para aplicações em proteção radiológica;
- Técnicas de controle de qualidade e dosimetria aplicadas em modalidades de diagnóstico por imagens.

Além das atividades de pesquisa do grupo, destacam-se duas importantes contribuições de extensão universitária: o Serviço de Monitoração Individual Externa (SMIE) e o Programa de Garantia da Qualidade (PGQ). O SMIE realiza monitoramento da radiação ionizante, individual e de área, desde 1981. Atualmente, cerca de 500 monitores de tronco e 50 de pulso são rotineiramente



processados. Eles consistem em detectores baseados na dosimetria termoluminescente (TL) para radiação externa que, pelo monitoramento individual, representam a dose total do corpo recebida pelos trabalhadores. Os principais usuários pertencem aos Institutos de Química, de Física e de Biomedicina, o Hospital Veterinário e o Hospital Universitário da USP. O Serviço é credenciado pelo Comitê de Avaliação de Serviços de Pesquisa e Calibração do Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaio e Calibração (CASEC), especialmente designados para este fim pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Já o Programa de Garantia da Qualidade consiste na aplicação de metodologias de avaliação de qualidade de imagens e de medição de doses, que permitem identificar se os equipamentos de diagnóstico por imagem estão sendo utilizados de forma adequada e segura por clínicas e hospitais. Essa metodologia foi desenvolvida e aperfeiçoada pelo GDRFM e serve de modelo para outros programas semelhantes distribuídos em todo o país. Atualmente, a metodologia é aplicada no Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas (INRAD) e no Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (ICESP), ambos vinculados à Faculdade de Medicina da USP. Essas instituições também têm sido parceiras em diversos projetos de pesquisa do GDRFM.

Em termos de infraestrutura, o GDRFM mantém duas instalações: o Laboratório de Dosimetria, onde se encontram parte das instalações experimentais do grupo, como leitores de dosímetros termoluminescentes e opticamente estimulados; e o Prédio das Fontes, onde fica, também, parte da infraestrutura de guarda e conservação da instrumentação do grupo. Nesse prédio encontram-se várias fontes radioativas que são utilizadas, principalmente, na calibração dos dosímetros utilizados no SMI e dos equipamentos de raios X em projetos de pesquisa de materiais equivalentes a tecidos e materiais dosimétricos.

Por fim, a formação de pessoal de nível superior nas áreas associadas à Física Médica é bastante ativa no GDRFM, com a formação de dezenas de mestres e doutores em áreas correlatas. Docentes do GDRFM ministram disciplinas que fomentam a formação de profissionais, como Física das Radiações, Física do Corpo Humano, Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes e Não Ionizantes, entre outras. Ainda na área de formação de recursos humanos, o GDRFM é corresponsável pelo Programa de Residência em Física Médica na modalidade de diagnóstico por imagem, que oferece duas vagas anuais de treinamento teórico-prático, de acordo com a regulamentação do Ministério da Saúde para a formação de pessoal especializado para trabalhar como Físicos Médicos em hospitais.

### **2.3.2. Física Aplicada com Aceleradores de Partículas**

Os aceleradores de partículas e fontes iônicas de DFN têm sido extensivamente utilizados na caracterização, modificação e desenvolvimento de materiais, assim como no estudo de peças arqueológicas e artísticas e no estudo de circuitos eletrônicos quanto a sua tolerância à radiação ionizante. Para o desenvolvimento dos métodos analíticos, assim como sua aplicação na análise de materiais, o Grupo de Física Aplicada com Aceleradores (GFAA) utiliza a extensa infraestrutura experimental instalada no IFUSP. O acelerador Pelletron do LAFN é utilizado frequentemente pelo GFAA para análises e modificações de materiais, bem como na irradiação de dispositivos eletrônicos. O grupo também utiliza frequentemente o LAMFI (Laboratório de Análises de Materiais por Feixes Iônicos), estrutura interdepartamental do IFUSP, cuja linha de feixe externo foi construída pelo grupo, com o objetivo de analisar e estudar materiais de grandes dimensões e diferentes formas, principalmente na área de patrimônio cultural. Recentemente, o grupo ampliou suas atividades através do uso de equipamentos portáteis para caracterização elementar e composicional de materiais e montou o Laboratório de Arqueometria e Ciências Aplicadas ao Patrimônio Cultural (LACAPC). O GFAA também utiliza os dois implantadores, localizados no Laboratório de Implantação Iônica do DFN, onde se realizam implantações de diversos íons em materiais, o que permite o estudo de modificação das características de diversas superfícies ou propriedades físicas das amostras irradiadas. As implantações iônicas modificam a superfícies de polímeros e permitem alterações destes para torna-los biocompatíveis, por exemplo.

As atividades de irradiação de dispositivos eletrônicos contam com colaborações com diversas instituições externas à universidade, para investigar danos provocados por radiação nesses dispositivos. Dentre elas, pode-se destacar o Projeto CITAR (Circuitos Integrados Tolerantes à Radiação), apoiado pelo MCTIC, que se dedica a projetar e produzir circuitos integrados tolerantes à radiação. Nesse projeto, o FNC é responsável pela investigação dos danos relacionados por dose total, como variações no funcionamento ou operação desses dispositivos devido à interação com uma única partícula. O Projeto CITAR realiza experimentos em todos os aceleradores de íons do IFUSP, e tem especial interesse na finalização da instalação do acelerador LINAC, que permitirá uma independência em relação à caracterização completa de novos projetos de dispositivos eletrônicos.

As atividades de pesquisa na área de Arqueometria e Ciências Aplicadas ao Patrimônio Cultural tiveram início em 2003, através de uma parceria entre o IFUSP e o Museu de Arqueologia e Etnologia da USP, e tem crescido muito nos últimos anos, principalmente devido a novas metodologias de caracterização de materiais com a utilização de equipamentos portáteis que permitem ser utilizados para medidas in situ. Atualmente, estas atividades são desenvolvidas em

colaboração com diversas instituições internas e externas à universidade, como os museus da USP e do estado de São Paulo e universidades do país, além de colaborações científicas internacionais, principalmente com a Itália.

O grupo de física aplicada com aceleradores tem mostrado, nos últimos anos, uma liderança nacional, principalmente de infraestrutura e instrumentação na área de estudos do patrimônio cultural, tanto na pesquisa como na formação de pessoal e nas atividades de extensão universitária. Docentes desse grupo ministram, rotineiramente, seminários de divulgação científica e cursos de extensão, com enfoque interdisciplinar, para a formação de novos profissionais nas áreas de história, arqueologia, conservação e restauro. Essa grande demanda de trabalhos interdisciplinares e transdisciplinares exige do grupo um grande comprometimento e uma necessidade de profissionais especializados nessas metodologias e com este olhar interdisciplinar, revelando assim a carência de mão de obra técnica nesta área. Os recursos aportados nesta área de pesquisa têm permitido a ampliação da instrumentação específica. No entanto, é vital para o desenvolvimento desta área que haja uma ampliação de recursos para a infraestrutura e recursos humanos.

### ***2.3.3. Cristais Iônicos, Filmes Finos e Datação***

O Grupo de Cristais Iônicos atua ativamente na área de datação arqueológica e geológica, além de caracterização dos cristais e vidros envolvidos. Utiliza como técnicas: datação por termoluminescência, luminescência opticamente estimulada (LOI), ressonância paramagnética eletrônica (EPR) e radiofotoluminescência (RPL). O grupo também tem trabalhado ativamente na produção de filmes finos, inicialmente para aplicações mecânicas e melhor entendimento dos materiais de alta dureza (CN-BN-TiN, etc.), depois com filmes semicondutores (como o InNi), e mais recentemente trabalhando no desenvolvimento de filmes finos de óxidos multifuncionais, como os óxidos com alta constante dielétrica e o óxido de Gálio para desenvolvimento de sensores e emissores de luz.

## **3. Definição de Objetivos, Metas, Ações e Indicadores**

### **3.1. Pesquisa**

Em termos de pesquisa, o objetivo do departamento consiste em desenvolver estudos na fronteira do conhecimento, sendo referência no cenário nacional e internacional em suas áreas de atuação. Segue o detalhamento dos objetivos parciais, metas, ações e indicadores.

**Objetivo 01:** Realizar pesquisas na área de Física Nuclear de Baixas Energias, sob ambos os aspectos experimental e teórico, nas seguintes subáreas:

- estrutura nuclear;
- mecanismos de reações nucleares;
- propriedades de núcleos longe da linha de estabilidade;
- astrofísica nuclear.

**Metas:**

1. Concluir todos os experimentos aprovados pelo Comitê Avaliador de Projetos (CAP) do LAFN;
2. Realizar experimentos colaborativos em laboratórios do exterior;
3. Desenvolver modelos teóricos que contribuam para o conhecimento científico na área de Física Nuclear de Baixas Energias.

**Ações:**

1. Manter a infraestrutura do LAFN em boas condições de uso, de forma a viabilizar os experimentos científicos a serem realizados no laboratório;
2. Estudar possíveis atualizações para a infraestrutura experimental do LAFN.

**Objetivo 02:** Realizar pesquisas na área de Física Nuclear de Altas Energias e Física de Partículas a fim de:

- proporcionar avanços no entendimento do Modelo Padrão (MP);
- explorar observáveis que possam evidenciar a necessidade de teorias que extrapolam o MP;
- contribuir na busca pela matéria escura do Universo.

**Metas:**

1. No setor eletrofraco do MP, obter resultados precisos da produção de bósons vetoriais;
2. No setor forte do MP, explorar o diagrama de fase da matéria nuclear obtendo resultados sobre as propriedades do Plasma de Quarks e Glúons;
3. Aprofundar o estudo do bóson de Higgs;
4. Procurar por sinais de física além do Modelo Padrão;
5. Buscar por indícios da existência da matéria escura.

**Ações:**

1. Realizar a análise de dados dos experimentos ALICE, ATLAS, STAR e Cosine-100;
2. Desenvolver instrumentação e aprimorar técnicas na tomada de dados relacionada com esses experimentos.

**Objetivo 03:** Realizar pesquisas na área de Física Aplicada com Partículas e Radiação, nos seguintes temas:

- Física médica e dosimetria das radiações;

- Arqueometria e ciências aplicadas ao estudo do patrimônio cultural;
- Cristais iônicos e filmes finos;
- Efeitos da radiação ionizante em dispositivos eletrônicos;
- Instrumentação para a medida de partículas e radiação;
- Técnicas nucleares para caracterização de materiais e detectores.

**Metas:**

1. Desenvolvimento de materiais radiologicamente equivalentes a tecidos humanos;
2. Desenvolvimento de modelos para o cálculo de espectros e transmissão de raios X e para a determinação de doses em órgãos devido a procedimentos de tomografia computadorizada;
3. Caracterização de materiais dosimétricos para aplicações em Física Médica, monitoração individual e monitoração ambiental;
4. Identificação e caracterização a partir de técnicas analíticas não-destrutivas de materiais constituintes dos acervos dos museus e institutos da Universidade de São Paulo: Museu de Arte Contemporânea (MAC), Museu Paulista (MP), Instituto de Estudos Brasileiros (IEB) e Museu de Arqueologia e Etnologia (MAE);
5. Desenvolvimento de cristais iônicos e vidros, para aplicação em dosimetria das radiações ionizantes, datação arqueológica e geológica;
6. Caracterização de efeitos de radiação ionizante em componentes e sistemas eletrônicos;
7. Desenvolvimento de sistemas de aquisição de dados específicos para novos detectores;
8. Desenvolvimento e caracterização de detectores de partículas e radiação.

**Ações:**

1. Propor projeto de P&D em parceria com empresas para a produção de protótipos de materiais radiologicamente equivalentes a tecidos humanos;
2. Aprimorar cálculos e simulações computacionais relacionados aos modelos de espectros e transmissão de raios X e determinação de doses em órgãos;
3. Aprimorar métodos experimentais para a caracterização de materiais dosimétricos para aplicações em Física Médica, monitoração individual e monitoração ambiental.
4. Reunir pesquisadores de áreas complementares da USP para que, num trabalho interdisciplinar, desenvolvam estudos dos acervos da USP;
5. Gerar um conjunto de informações sobre os acervos de museus, a partir dos resultados das investigações técnico-científicas, e confrontar com o que já é conhecido sobre esses acervos;
6. Estabelecer parâmetros para estudos de acervos de outros museus;

7. Adequar o implantador de 340 kV, para utilização como espectrômetro de massa em aplicações de datação;
8. Desenvolver protótipos de detetores à gás, tanto para a medida de raios X como de nêutrons, para aplicações no estudo do patrimônio cultural e artístico e em reatores nucleares, respectivamente;
9. Dar continuidade ao estudo dos efeitos da radiação em dispositivos eletrônicos no contexto do projeto CITAR (Circuitos Integrados Tolerantes à Radiação), em colaboração com outras instituições, inclusive em âmbito internacional;
10. Realizar pesquisas em filmes finos produzidos com auxílio de feixes iônicos para aplicações mecânicas, óticas e eletrônicas.

**Indicadores:** Indicadores gerais para todas as áreas de pesquisa do FNC são:

1. Artigos publicados em revistas científicas com árbitro;
2. Palestras/trabalhos apresentados em eventos científicos;
3. Aprovação de projetos de pesquisa submetidos para agências financiadoras.

Nos últimos cinco anos, o corpo docente do DFN publicou em média **67** artigos por ano e apresentou em eventos científicos uma média de **21** trabalhos por ano. Esses números já são bastante expressivos na área de física. Portanto, a manutenção aproximada dessas médias constitui-se no indicador quantitativo que será utilizado pelo DFN para avaliar seu desempenho.

No caso particular da área de Física de Altas Energias e Partículas, que envolve grandes colaborações internacionais, é necessário avaliar a relevância da participação nesses experimentos através dos seguintes indicadores adicionais:

1. Participação em comitês responsáveis pela coordenação e gerenciamento dos experimentos;
2. Contribuição para a infraestrutura do experimento;
3. Participação em comitês de redação e avaliação de artigos;
4. Participação em conferências representando o experimento;
5. Produção de notas internas.

A área de Física Aplicada também apresenta particularidades que devem ser consideradas, através dos seguintes indicadores adicionais:

1. Registros dos trâmites para o estabelecimento de acordo entre o IFUSP e parceiros, para viabilidade de patente com apoio da AUSPIN.

2. Registros de submissão de, pelo menos, um novo projeto junto ao ICESP e um junto ao INRAD
3. Relatório de conclusão do projeto e publicações conjuntas coordenadas pela IAEA.

### **3.2. Ensino**

O ensino no Instituto de Física é organizado de forma supra departamental, sendo a coordenação da graduação e da pós-graduação uma incumbência das Comissões de Graduação (CG) e de Pós-Graduação (CPG), respectivamente. A grade de oferecimento de disciplinas, atribuições didáticas e controle de carga horária são realizados por essas comissões, de acordo com regras definidas em nível do Instituto. Com base nisso, nossos objetivos, metas e ações devem estar em consonância com aqueles estabelecidos pelo Instituto de Física. Neste projeto incluímos apenas tópicos de escopo mais específico do DFN.

**Objetivo 04:** Contribuir para a formação de alunos de graduação de diversos cursos e, em especial, na formação de bacharéis e licenciados em física.

#### **Metas:**

1. Disponibilizar à CG, de maneira regular, a oferta de disciplinas eletivas nas áreas de atuação do DFN;
2. Gerenciar a retomada da proposta de implementação do Bacharelado em Física Médica

#### **Ações:**

1. Estimular o corpo docente do DFN a se comprometer junto à CG com a oferta das seguintes disciplinas optativas de graduação: Física das Radiações I e II, Física do Corpo Humano, Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes e Não Ionizantes, Tecnologia do Vácuo e Técnicas Experimentais em Física de Partículas Elementares;
2. Estimular uma discussão constante para a criação e reformulação de disciplinas, principalmente aquelas relacionadas às áreas de atuação do DFN, incluindo novas metodologias de ensino;
3. Promover discussão ampla com a comunidade IF e com a FMUSP para a retomada da proposta de implementação do Bacharelado em Física Médica.

**Objetivo 05:** Contribuir para a formação de mestres e doutores nas áreas de atuação do DFN.

#### **Metas:**

1. Manter ou ampliar o número de orientações de mestres e doutores nas várias áreas de atuação do DFN;
2. Criar um laboratório e material didático voltado para experimentos com detectores de radiação e partículas.

**Ações:**

1. Estimular o corpo docente do DFN a se comprometer, junto à CPG, com a oferta das seguintes disciplinas optativas de pós-graduação: Física Nuclear, Métodos e Técnicas Experimentais em Física Nuclear e de Partículas, Reações Nucleares, Introdução à Física de Hádrons e Fundamentos de Processamento Digital de Imagens Médicas;
2. Estimular o corpo docente do DFN a oferecer minicursos associados à presença de professores visitantes no DFN;
3. Realizar atividades de atração de novos pós-graduandos para as áreas de atuação do DFN.

**Indicadores:**

1. Nos últimos 5 anos, **36** dissertações de mestrado e **19** teses de doutorado foram orientadas no DFN. Considerando o tempo de titulação de um mestrado (aproximadamente, 2 anos) e de um doutorado (aproximadamente, 4 anos), esses números já são significativos e, portanto, a manutenção desses valores constitui-se no indicador quantitativo que será utilizado pelo DFN para avaliar seu desempenho;
2. Efetivo oferecimento das disciplinas de graduação e pós-graduação de competência do DFN.

**3.3. Extensão**

**Objetivo 06:** Divulgar as atividades, áreas de pesquisa e conhecimento técnico desenvolvidos no departamento para estudantes e público em geral.

**Metas:**

1. Oferecer palestras de divulgação científica para o público leigo;
2. Manter ou ampliar o oferecimento de cursos de extensão do DFN;
3. Organizar visitas aos laboratórios do departamento;
4. Desenvolver material jornalístico sobre a pesquisa realizada no DFN;
5. Oferecer palestras, minicursos e oficinas nas edições anuais do Curso de Verão organizados pelo IFUSP;
6. Desenvolver material didático e atividades voltadas para o ensino de física nuclear e de partículas no ensino médio.

**Ações:**

1. Oferecer curso de extensão de Tecnologia de Vácuo;
2. Oferecer a disciplina de Física Aplicada ao Patrimônio Histórico e Cultural no programa de Pós Graduação Interunidades de Museologia;



3. Ofertar minicursos de extensão universitária associados à presença de professores visitantes no DFN;
4. Organizar e/ou coordenar eventos científicos;
5. Organização da atividade *Masterclasses Hands On Particle Physics* no IFUSP;
6. Criação de um curso a distância a ser oferecido para professores do ensino médio da rede estadual de ensino;
7. Desenvolver e implementar um projeto para equipar escolas de ensino médio em São Paulo com detectores de raios cósmicos, para a divulgação e ensino de física de partículas.

**Indicadores:** efetiva implementação das atividades e materiais mencionados nas metas, acompanhados de uma avaliação do público alvo sobre as atividades ministradas.

**Objetivo 07:** Oferecer serviços de competência do DFN para a sociedade em geral.

**Metas:**

1. Manter o programa de Residência Uniprofissional em Física Médica;
2. Manutenção do Serviço de Monitoração Individual de trabalhadores da USP ocupacionalmente expostos à radiação ionizante;
3. Manutenção da aplicação do Programa de Controle de Qualidade em equipamentos de Diagnóstico por Imagem do INRAD e do ICESP, ambos vinculados à Faculdade de Medicina da USP.

**Indicadores:**

1. Incorporação de dois novos residentes/ano na equipe do Programa de Residência em Física Médica: modalidade Diagnóstico por Imagens;
2. Relatórios com número de usuários atendidos pelo Serviço de Monitoração Individual;
3. Relatórios de atividades de controle de qualidade no ICESP e no INRAD.

## 4. Planejamento de Gestão

Os objetivos descritos na sessão anterior serão atingidos, majoritariamente, a partir dos esforços dos próprios docentes que compõem o DFN. Atualmente (2019), o departamento conta com 6 professores Titulares, 11 Associados e 10 Doutores, perfazendo um total de 27 docentes, além de 3 funcionários administrativos e 33 técnicos. O departamento conta, também, com a colaboração de 4 professores aposentados Seniores. Porém, **8 docentes** terão tempo de aposentadoria nos próximos 5 anos, e **3 docentes** se aposentarão compulsoriamente. Portanto, de **3 a 11 docentes** do DFN estarão aposentados nos próximos 5 anos. Caso esses professores não sejam substituídos, as metas propostas neste Projeto Acadêmico estarão certamente comprometidas.

Cabe ao departamento analisar, aprovar e verificar o andamento dos projetos acadêmicos individuais dos docentes, zelando para o cumprimento das metas estabelecidas em seu Projeto Acadêmico e, principalmente, provendo a infraestrutura básica para tanto. Adicionalmente, a chefia e o Conselho do DFN pretendem colocar em prática o seguinte plano de gestão:

1. Realizar anualmente um workshop, em que docentes e estudantes do departamento terão a oportunidade de apresentar os resultados que estão sendo obtidos em seus projetos de pesquisa. Estimular, com esses eventos, uma maior sinergia entre os membros do departamento e discussões a respeito dos rumos da produção científica do DFN. A organização desses eventos deverá ficar a cargo de uma comissão designada anualmente pelo Conselho do Departamento.
2. Realizar um evento bienal voltado a estudantes de graduação do IFUSP, a fim de divulgar as linhas de pesquisa desenvolvidas no departamento, visando à integração de estudantes em projetos de Iniciação Científica no DFN, procurando aumentar a participação de pós-graduandos na pesquisa desenvolvida no DFN. A organização desses eventos deverá ficar a cargo de uma comissão designada pelo Conselho do Departamento.
3. Dar apoio aos docentes e estudantes do departamento para o estabelecimento de colaborações científicas, teóricas e experimentais, com outras instituições do Brasil e do exterior, bem como em suas solicitações de recursos junto a agências de fomento à pesquisa, ao ensino e à extensão e cultura.
4. Fomentar os docentes do departamento a oferecerem disciplinas, novas ou consolidadas, nas áreas de atuação do DFN, para os cursos de graduação e no programa de pós-graduação do IFUSP, buscando uma aproximação da pesquisa com o ensino.
5. Envidar esforços para reivindicar junto ao IFUSP, espaço necessário para a instalação dos equipamentos do laboratório didático voltado para experimentos com detectores de radiação e partículas.
6. Fomentar os docentes do departamento a divulgar suas atividades, áreas de pesquisa e conhecimento técnico para o público externo, buscando uma aproximação da pesquisa desenvolvida no departamento com a sociedade.
7. Criar uma infraestrutura para facilitar visitas guiadas do público geral, principalmente estudantes, nas dependências do DFN.
8. Gerenciar a definição sobre a continuidade do projeto do acelerador LINAC de forma objetiva, como descrito a seguir:
  - a) Criar, através do Conselho do Departamento, uma comissão composta por todos os docentes que tenham comprometimento em trabalhar nesse projeto.

- b) Até o final de agosto de 2019, essa comissão deverá elaborar um planejamento das etapas e recursos necessários para a finalização do LINAC. Esse planejamento será analisado no âmbito do Conselho do Departamento para julgar sua viabilidade.
- c) A equipe responsável pela execução deverá apresentar informações acerca do andamento do projeto, conforme etapas e cronograma, de forma periódica ao Conselho do Departamento, que decidirá sobre a continuidade ou não do projeto.