

# RELATÓRIO DE ATIVIDADES

## 2015 | 2020



# RELATÓRIO DE ATIVIDADES

## 2015 | 2020

O Instituto de Engenharia Nuclear está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na Ilha do Fundão, na Cidade Universitária. Ocupa uma área de 145,825 m<sup>2</sup>, sobre uma colina próxima ao acesso à Ponte do Saber.

Os jardins do IEN se estendem por uma área de quase 52mil m<sup>2</sup> e possuem centenas de espécies, incluindo 24 tipos de árvores frutíferas, tais como amora, abiu, fruta do conde, jamelão e tamarindo. Logo na entrada do Instituto há um imenso jardim que abriga espécies de pau-brasil, abricó de macaco, pau formiga e uma grande amendoeira.

Ao longo dos últimos 30 anos, os próprios servidores têm plantado espécies e colaborado com a manutenção dos jardins, que hoje são considerados patrimônio da instituição.

Este relatório ilustra alguns detalhes do paisagismo deste espaço.



# ÍNDICE

6	INTRODUÇÃO	7	INFRAESTRUTURA PRINCIPAL	9	PROCESSOS FINALÍSTICOS E PROJETOS ESTRUTURANTES	11	ATIVIDADES DE PESQUISA	33	PROTEÇÃO RADIOLÓGICA
37	PRODUTOS E SERVIÇOS	45	FORMAÇÃO ESPECIALIZADA E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E INSTITUCIONAL	51	PROGRAMAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA/ TECNOLÓGICA E CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL	54	AÇÕES DE MELHORIA DA GESTÃO E INFRAESTRUTURA FÍSICA	58	PROJETOS ESTRUTURANTES

## INTRODUÇÃO

O Instituto de Engenharia Nuclear foi criado como produto do contexto desenvolvimentista vivido pelo Brasil durante o governo Kubitschek, a partir de um convênio firmado entre a Universidade do Brasil (atual UFRJ) e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). O ano era 1962 e o objetivo, abrigar o Reator Argonauta: terceiro reator a ser instalado no país, tendo sido considerado um marco da engenharia nuclear brasileira, na medida em que foi inteiramente construído por engenheiros e técnicos da CNEN e das empresas nacionais CBV Mecânica e Microlab.

Desde o início de sua história o Instituto simboliza pesquisa, desenvolvimento e inovação; já no próprio termo de criação do IEN/CNEN há a determinação de sua responsabilidade pela produção de radioisótopos para pesquisas e usos industriais, médicos, agrícolas e biológicos no Rio de Janeiro. Seu nascimento, portanto, impulsionou a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico no estado e, ao longo dos anos, em decorrência do gradual aumento das demandas do setor nuclear e correlatos, foram criados outros laboratórios e instalações de pesquisa, o que levou o IEN/CNEN a ter hoje uma área construída de quase 19.000 m<sup>2</sup> em seu terreno.

Obedecendo à sua vocação, o Instituto tem atuação orientada para a geração e transferência de conhecimento e tecnologia para os setores produtivos público e privado, tendo a sociedade como beneficiária final. O slogan "Tecnologia nuclear e qualidade de vida", vencedor de concurso interno, sintetiza sua predestinação.

### Missão do IEN/CNEN

"Contribuir para o bem-estar da sociedade e seu desenvolvimento sustentável por meio de inovações tecnológicas e formação de recursos humanos para os setores nuclear e correlatos."

### Visão do IEN/CNEN 2025

"Ser um centro de excelência de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, reconhecido no país por suas contribuições efetivas à melhoria da qualidade de vida da sociedade."

O Instituto de Engenharia Nuclear está localizado na Ilha do Fundão, ocupando 146 mil m<sup>2</sup> no campus da UFRJ. Integra a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), estando subordinado diretamente à Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD) da CNEN.

A força de trabalho do IEN/CNEN hoje é composta por cerca de 145 servidores e aproximadamente 108 terceirizados e 50 bolsistas.



INFRAESTRUTURA  
PRINCIPAL

AS PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E LABORATÓRIOS  
EM FUNCIONAMENTO HOJE NO INSTITUTO

REATOR ARGONAUTA

ACELERADORES DE PARTÍCULAS  
CÍCLOTRON CV-28 E RDS-111

LABORATÓRIOS COM CÉLULAS DE  
PROCESSAMENTO DE RADIOFÁRMACOS

LABORATÓRIO DE TERMO-HIDRÁULICA EXPERIMENTAL

LABORATÓRIO DE RADIOTRAÇADORES

DEPÓSITO DE REJEITOS RADIOATIVOS

LABORATÓRIO DE INTERFACES HUMANO-SISTEMA

LABORATÓRIO DE REALIDADE VIRTUAL

LABORATÓRIOS DE DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO  
E MANUTENÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR

LABORATÓRIOS E INSTALAÇÕES VINCULADOS  
A PROJETOS ESPECÍFICOS NAS ÁREAS DE QUÍMICA,  
MATERIAIS E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA



PROCESSOS  
FINALÍSTICOS  
E PROJETOS  
PRIORITÁRIOS

As principais competências do Instituto estão distribuídas em 109 atividades de P&D, em andamento, registradas na publicação IEN/CNEN Progress Report 2015-2017, nº 3, no link <http://revistas.ien/index.php/ienprogressreport/issue/view/5/showToc>.

Além das atividades de P&D, paralelamente outras entregas são realizadas pelo IEN/CNEN no âmbito dos seguintes processos finalísticos:

- Produção de radiofármacos para exames e diagnósticos;
- Técnicas de ensaios não destrutivos, como tomografia e neutrongrafia;
- Aplicação de traçadores radioativos, produzidos no Reator Argonauta e no cíclotron, para otimização de processos industriais;
- Proteção radiológica;
- Divulgação científica;
- Recebimento e armazenamento de rejeitos radioativos;
- Formação especializada para o setor nuclear, com o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Nucleares, oferecido no próprio IEN/CNEN, além da colaboração em cursos de graduação e pós-graduação externos (tais como IME, UFRJ, Coppe/UFRJ).

Os projetos considerados prioritários pela gestão do IEN/CNEN, caracterizados como estruturantes e alocados em seus processos finalísticos, são:

- Modernização e adequação das instalações do Reator Argonauta e dos laboratórios associados, com o objetivo de ampliar o potencial multiusuário das instalações do reator;
- Implantação do Centro de Capacitação e Treinamento de Recursos Humanos para o Setor Nuclear, com o uso da já existente infraestrutura laboratorial do IEN/CNEN, bem como da competência técnica de seus profissionais e colaboradores de outras instituições;
- Criação do Centro Permanente de Divulgação da Tecnologia Nuclear, com a Exposição Nuclear, em parceria com a Casa da Ciência;
- Adequação das instalações de produção de radiofármacos do IEN/CNEN;
- Participação no projeto do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB);
- Fortalecimento e modernização do Laboratório de Termo-Hidráulica Experimental (LTE);
- Desenvolvimento de tecnologia para Pequenos Reactores Nucleares Modulares, envolvendo pesquisas voltadas ao desenvolvimento de tecnologia para reatores que atendam aos requisitos da Geração III e pós-Fukushima.



## ATIVIDADES DE PESQUISA

APLICAÇÕES DE RADIOTRAÇADORES NA INDÚSTRIA E NO MEIO AMBIENTE

ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE REATORES NUCLEARES

ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPLEXOS

INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR

TÉCNICAS NUCLEARES NA SAÚDE

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS PARA O SETOR NUCLEAR

IRADIOQUÍMICA E QUÍMICA NUCLEAR

TERMO-HIDRÁULICA EXPERIMENTAL DE REATORES NUCLEARES

REALIDADE VIRTUAL APLICADA À ÁREA NUCLEAR

GESTÃO DO CONHECIMENTO EM CIÊNCIAS NUCLEARES

APLICAÇÕES NUCLEARES NA INDÚSTRIA E NO MEIO AMBIENTE

TÉCNICAS NUCLEARES UTILIZANDO O REATOR ARGONAUTA

TÉCNICAS NUCLEARES COM O USO DE FEIXES DE PRÓTONS

## APLICAÇÕES DE RADIOTRAÇADORES NA INDÚSTRIA E NO MEIO AMBIENTE

As aplicações de radiotraçadores têm sua ênfase no uso para otimização de processos nas indústrias de petróleo, gás natural, mineração e tratamento de esgotos, e para medição de vazão em dutos e localização de pontos de fuga e obstrução em trocadores de calor.

As pesquisas no uso de radiotraçadores na indústria e no meio ambiente tiveram grande evolução no período de 2015-2019, culminando com a instalação e o credenciamento, em 2018, do Laboratório de Aplicações de Radiotraçadores na Indústria e Meio Ambiente e do Laboratório de Síntese de Radiotraçadores e Nanomateriais junto à Agência Nacional de Petróleo (ANP), o que habilitou o IEN/CNEN para financiamento de projetos com recursos desta agência.

Ao longo de 2019 a parceria entre o IEN/CNEN e a Atomum Serviços Tecnológicos Ltda. para a realização de projetos de pesquisa sobre o uso de radiotraçadores na medição de vazão em dutos de petróleo foi viabilizada no formato da Lei da Inovação. Deste modo, abre-se um caminho juridicamente seguro para futuras parcerias com a Petrobras para realização de projetos de pesquisa e inovação.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratório de Aplicações de Radiotraçadores na Indústria e Meio Ambiente;
- Laboratório de Síntese de Radiotraçadores e Nanomateriais;

**Fontes de Recursos:** CNEN, AIEA, Finep  
**Parcerias:** Coppe/UFRJ, Atomum Serviços Tecnológicos Ltda., Petrobras.

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

Em 2015/16 foram realizadas pesquisas que culminaram com o desenvolvimento de técnica de medição de vazão, empregando traçador radioativo iodo-123, para ser usado em dutos de petróleo, com ênfase em sua aplicação em sistemas bifásicos tipo água-gás;

Em 2017 foi feita a reforma no Laboratório de Radiotraçadores visando aplicação em

medidas de vazão de petróleo e seus derivados. Esta reforma teve como principal objetivo possibilitar o desenvolvimento dos projetos de pesquisa no biênio 2018/2019, com a Arcal (projeto RLA2016011) e com a empresa Atomum Serviços Tecnológicos Ltda.;

Em 2018 houve a implementação do Projeto Arcal RLA 1016 "Certificación de métodos de medidas de flujo y técnicas de calibración de medidores de flujo utilizados en las industrias de petróleo y gas por radiotrazadores", com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e com a empresa Atomum Serviços Tecnológicos Ltda., numa parceria inédita entre CNEN, AIEA e uma empresa privada. Ainda em 2018, os laboratórios do setor foram habilitados para financiamento de projetos com recursos da Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP). Além disso, foi iniciado o projeto de pesquisa para o "Desenvolvimento de metodologia para medição de vazão em dutos de petróleo pela técnica da contagem total e análise de coincidência", visando uma futura parceria envolvendo IEN/CNEN, Atomum e Petrobras em um projeto de inovação tecnológica.

Em 2019, as principais realizações foram:

- Continuação do Projeto ARCAL RLA 1016 "Certificación de métodos de medidas de flujo y técnicas de calibración de medidores de flujo utilizados en las industrias de petróleo y gas por radiotrazadores", com a AIEA e com a empresa Atomum Serviços Tecnológicos Ltda.;
- Participação do servidor coordenador do projeto em duas Reuniões Técnicas na AIEA sobre o projeto ARCAL RLA1016 (Viena);
- Planejamento e organização, com participação da equipe do IEN/CNEN, do curso da AIEA "Regional Training Course in Flow Meter measurements in Conduits Using radiotracer and Transient Time Method", como parte das atividades do projeto ARCAL RLA1016 - 1807551: (Rio de Janeiro/Brasil - 05/2019);
- Iniciado em parceria com a Petrobras e a Atomum Serviços Tecnológicos Ltda. o projeto "Utilização da técnica de radiotraçadores para detecção e localização de vazamentos em

permutadores de calor do tipo circuito impresso operando em alta pressão", em 10/12/2019;

- Continuação do projeto de pesquisa "Desenvolvimento de Metodologia para a Produção de Nanotraçador de Au-198" para ser empregado como traçador de fase orgânica (petróleo e derivados), originado da parceria entre o IEN/CNEN e a Atomum Serviços Tecnológicos Ltda.;
- Continuação do projeto de pesquisa "Desenvolvimento de metodologia para medição de vazão em dutos de petróleo pela técnica da contagem total e análise de coincidência", originado da parceria entre o IEN e a Atomum Serviços Tecnológicos Ltda.;
- Conclusão da atividade de produção do radiotraçador Br-82 em fase orgânica, atendendo ao cronograma do projeto REATORIEN - FINEP-IEN/CNEN - 2016.

### ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Desenvolvimento de metodologia para medição de vazão em dutos de petróleo pela técnica da contagem total e análise de coincidência;
- Aplicação de radiotraçadores na otimização de unidades de secagem tipo *spray-dryer*;
- Desenvolvimento de radiotraçador gasoso marcado com iodo-123 para medição de vazão em dutos de gás natural.

## ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE REATORES NUCLEARES

Pesquisa e desenvolvimento em engenharia de reatores nucleares nas áreas de termo-hidráulica, neutrônica e segurança nuclear.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratório de Termo-Hidráulica Experimental (LTE);
- Laboratório de Computação Paralela (LCP).

**Fontes de recursos:** CNEN, CNPq, Faperj e Finep  
**Parcerias:** Cefet, LNCC, Marinha do Brasil, PEN/Coppe/UFRJ, PEC/Coppe/UFRJ, UFF, IRD/CNEN, CBPF, IME, PBMAC/UFF, AquaRio, Embrapa, HUCFF/UFRJ

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

Em 2015 e 2016 foi desenvolvido o programa para transientes térmicos em 3D, visando a análise de segurança de varetas combustíveis de reatores nucleares, em condições de acidente de falta de refrigeração até o *dryout*.

Em 2017 foram iniciados estudos visando o acoplamento de uma planta de dessalinização por membranas ao circuito secundário de um pequeno PWR nacional. Foi feito o levantamento de Indicadores para "Elaboração de modelo conceitual da radiovulnerabilidade de solos para apoio às ações de gestão de resíduos e remediação de áreas contaminadas". Ainda em 2017 e 2018 foram realizados estudos de "Dispersão atmosférica de radionuclídeos em acidentes em instalações nucleares ou radioativas e em eventos rdd/ind e os riscos associados".

Em 2018, 2019 e 2020 foram realizados estudos de reatores inovadores com segurança intrínseca, visando a segurança de novos reatores para produção de energia elétrica. Foi desenvolvido o projeto de uma unidade subcrítica a ser instalada no reator Argonauta do IEN/CNEN. Houve ainda o desenvolvimento de nova formulação de elementos finitos inerentemente estáveis, a partir da aplicação de um filtro temporal às variáveis primitivas (pressão e velocidade), para simulação computacional transiente das equações de *Navier-Stokes* com transferência de calor em 2D e 3D. Em 2020, foi concluída a análise de risco potencial do reator Argonauta.

## ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Estudo do novo combustível para o Reator Argonauta - Devido à crescente demanda de sua utilização em atividades de P&D e na formação de mão de obra especializada, impulsionadas pela retomada do Programa Nuclear Brasileiro (PNB), identificou-se a fundamental necessidade do incremento do fluxo neutrônico do reator, assim como o aumento de sua confiabilidade e segurança;
- Desenvolvimento do projeto de uma unidade subcrítica a ser instalada no IEN/CNEN para dar suporte a pesquisas e ensino com maior segurança e versatilidade;
- Implementação computacional utilizando OpenACC (aceleração em GPU) de programas para simulação computacional transiente das equações de Navier-Stokes com transferência de calor em 2D e 3D;
- Desenvolvimento de programa para simulação computacional da transferência de calor e massa em processos de destilação por membrana, visando o dimensionamento de uma unidade de dessalinização;
- Estudo da estabilidade de escoamento descendente por canais aquecidos empregando CFD, modelo simplificado e resultados experimentais, visando a segurança da operação de reatores nucleares do tipo piscina;
- Análise termo-hidráulica de reatores nucleares - Nesta linha de pesquisa está sendo aprimorada a metodologia para análise termo-hidráulica de varetas combustíveis de reatores do tipo PWR;
- Desenvolvimento e aperfeiçoamento de plataforma computacional integrada Fuzzy-PSA para análise de sistemas nucleares e correlato;
- Análise de segurança e avaliação de risco em centrais nucleares (Árvore de Falhas, Hazop, FMEA e RiskRanking). Utilização dos softwares Saphire, Netica, Matlab e Delphi;
- Segurança de Reatores (análise de transientes neutrônicos com realimentação termo-hidráulica, utilizando cinética pontual/cinética espacial na formulação multigrupo);
- Reatores Inovadores (sistemas acionados por fonte externa de nêutrons - ADS, na formulação da cinética pontual/cinética es-

pacial 1D) - pesquisa desenvolvida em conjunto com grupo de estudos nessa área da Universidade do ABC;

- Proposta do uso do tório em reatores de terceira geração do tipo PWR;
- Cálculos de transientes para o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), cinético e termo-hidráulico, utilizando a cinética espacial multigrupo;
- Desenvolvimento de sistemas computacionais embarcados em processadores ARM de alto desempenho e baixo consumo de energia na ampliação da instrumentação nuclear de reatores nucleares e em particular do Reator Argonauta;
- Desenvolvimento de um código de recarga do combustível para reatores PWR em parceria com o PEN/Coppe/UFRJ.

## ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPLEXOS

A engenharia de sistemas complexos procura estudar como pessoas e tecnologia, inseridas numa organização, podem trabalhar em conjunto de modo a melhorar o desempenho do sistema sociotécnico e otimizar a segurança das instalações industriais.

Os objetivos do Serviço de Engenharia de Sistemas Complexos (Seesc) são desenvolver salas de controle e interfaces humano-sistema; avaliar a usabilidade de sistemas e equipamentos nucleares; realizar estudos em engenharia de fatores humanos, confiabilidade humana e resiliência; proporcionar competência tecnológica na construção de ambientes virtuais, e resolver problemas da engenharia através de técnicas de inteligência artificial.

Nos últimos anos a excelência do setor na área de ergonomia e fatores humanos vem sendo reconhecida, como indicam as parcerias com a DRS/CNEN a respeito da confiabilidade humana em usinas nucleares, com diversos programas de pós-graduação da UFRJ, e com organizações como Fiocruz, além de artigos publicados, orientações e valores recebidos de órgão de fomento.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratório de Interfaces Homem/Sistema (Labihs);
- Laboratório de Usabilidade e Confiabilidade Humana (Labuch);
- Laboratório de Inteligência Artificial e Aplicada (Liaa);
- Laboratório de Realidade Virtual (LabRV).



Labihs (UFRN) e Fiocruz.

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

No período de 2015-2019 houve um expressivo número de publicações nas áreas de ergonomia, engenharia de fatores humanos e engenharia de resiliência aplicada a situações de emergência e desastres, que foram resultado de diversas teses e dissertações orientadas por servidores do Serviço de Engenharia de Sistemas Complexos (Seesc).

Desde 2015 o setor participa no projeto conceitual e básico do sistema de Instrumentação e Controle do RMB. Ainda em 2015 houve o desenvolvimento de um método para identificação dos requisitos de posicionamento das salas de controle principal e de emergência de um reator produtor de radioisótopos e foi desenvolvido e aplicado método *fuzzy* na avaliação da usabilidade de equipamentos médicos nucleares.

Em 2016, além da continuação da participação no projeto básico do RMB, foi desenvolvido e aplicado um método para identificação e análise de fatores sociotécnicos que afetam o desempenho humano durante a manutenção da instrumentação nuclear de um reator de pesquisa e a aplicação de Método de Análise de Ressonância Funcional (FRAM),

através de lógica nebulosa, para avaliação de riscos na produção de radioisótopos. Iniciou-se formalmente uma cooperação com a DRS/CNEN no desenvolvimento de procedimentos para análise de eventos ocorridos em instalações nucleares, com ênfase na engenharia de fatores humanos.

Em 2017 o novo painel de alarmes do reator Argonauta foi instalado e testado. Desenvolveu-se um ambiente virtual colaborativo para treinamento de agentes de segurança durante emergência nuclear e uma modelagem 3D da sala de controle principal e da sala de emergência de um reator produtor de radioisótopos (fig 1).

Em 2018 foi finalizado um novo design do Telemididor de Radiação (fig 2).

Em 2019 foram desenvolvidas uma interface de comunicação para a interação entre o LabView e o Labihs e a modelagem da mesa de controle e de um novo sistema de monitoração de alarmes-eventos para o ciclotron (CV-28), com o objetivo de atender exigências de segurança formuladas pela DRS/CNEN (figs 3 e 4).



Fig 1  
Modelagem 3D de um reator produtor de radioisótopos.



Fig 2  
Telemididor de Radiação

Em 2020 foram publicadas pesquisas relacionadas a:

- gestão de conhecimento aplicada à Indústria Naval;
- um método Fuzzy para tomada de decisão para prevenção contra perda de conhecimento em organizações nucleares;
- modelos fuzzy para análise de resiliência de organizações de proteção e defesa civil;
- Rede Neural Retificadora Profunda para previsão de dose em emergências nucleares com liberação de material radioativo;
- dimensionamento automático de blocos em programas acelerados por GPU por meio da Otimização de Enxame de Partículas;
- sistema especialista em tempo real para suporte à tomadas de decisões baseadas na pluma radioativa estimada pelo SCA da CNAAA.

Além disso, iniciou-se uma frente de cooperação com a DRS/CNEN para elaboração da norma NN 2.07 - Segurança Cibernética de Instalações Nucleares. Por fim, atuou-se na formação de recursos humanos especializados por meio de atuações como docentes e como orientadores no Programa de Mestrado do IEN/CNEN e publicação de artigos internacionais.

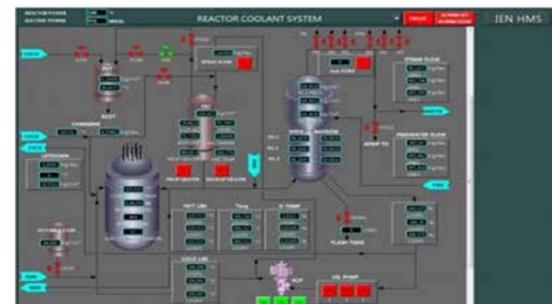


Fig 3  
Tela do Labihs



Fig 4  
Mesa virtual do ciclotron.

## ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Participação no desenvolvimento e verificação do projeto detalhado dos seguintes sistemas do reator RMB: salas de controle, monitoração de pós-acidente, protótipo do sistema de controle e monitoração do reator;
  - Pesquisa em confiabilidade humana em cooperação com o Serviço de Avaliação de Segurança (SEASE) da Diretoria de Radioproteção e Segurança (DRS) da CNEN;
  - Desenvolvimento e testes de um novo canal neutrônico de partida (Sistema Campbell) de um reator produtor de radioisótopos;
  - Desenvolvimento de um novo painel digital de monitoração e alarmes de um reator de pesquisa;
  - Desenvolvimento de um sistema para monitoração de alarmes e eventos para a mesa de controle do ciclotron CV-28 do IEN/CNEN;
  - Simulações e treinamentos no simulador de planta nuclear de potência do LABIHS para melhoria do projeto das interfaces humano-sistema e otimização do desempenho dos operadores;
  - Participação no projeto internacional ligado à National Science Foundation (NSF/USA) com estudos sobre cibersegurança, e usando ferramental de Machine Learning. O objetivo é aprofundar conhecimentos nos regulamentos IAEA e NRC sobre cibersegurança e licenciamento de instalações nucleares;
  - Avaliação da usabilidade do novo sistema de monitoração e alarmes do ciclotron CV-28 do IEN/CNEN;
- W• Utilização de um modelo fuzzy na avaliação e implementação de estratégias de gestão do conhecimento nuclear.

## INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR

Neste período de 2015 a 2019, o Setor de Instrumentação do IEN/CNEN continuou focado no desenvolvimento de equipamentos para reatores de pesquisa, monitoração de radiação e radioproteção, espectrometria e medicina nuclear. Atualmente o setor desenvolve todos os circuitos analógicos e digitais de sua linha de equipamentos, em especial módulos de fontes de alta-tensão, eletrômetros, pré-amplificadores e amplificadores, bem como circuitos com microcontroladores e FPGA. A figura 1 mostra um resumo das principais competências do SEINS, integrando as tecnologias de hardware, software, interfaces de comunicação e interfaces gráficas com a aquisição de dados de detectores de radiação diversos.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratório de Desenvolvimento de Instrumentação Nuclear;
  - Laboratório de Manutenção de Instrumentação Nuclear;
  - Oficina Mecânica.
- Fontes de Recursos: CNEN, Finep

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

Em 2015 foi iniciado o desenvolvimento de técnicas para criação de circuitos digitais triplamente redundantes (TMR) usando Field Programmable Gate Arrays (FPGA) para sistemas de alta confiabilidade em instrumentação nuclear, viabilizando sua utilização em reatores nucleares de pesquisa e potência. Também em 2015 foi desenvolvido um software para aquisição e processamento de dados de osciloscópios, adaptável a diversos modelos.

Em 2016 foram finalizados o projeto e o protótipo mecânico de telemididor de radiação com sonda extensora e foi desenvolvido um novo método para análise da manutenção de um reator nuclear de pesquisa, utilizando uma abordagem sociotécnica, como resultado de uma tese de doutorado.

Em 2017 foi desenvolvido um sistema de posicionamento em ambientes internos com dispositivos WiFi de baixo custo, que pode ser usado

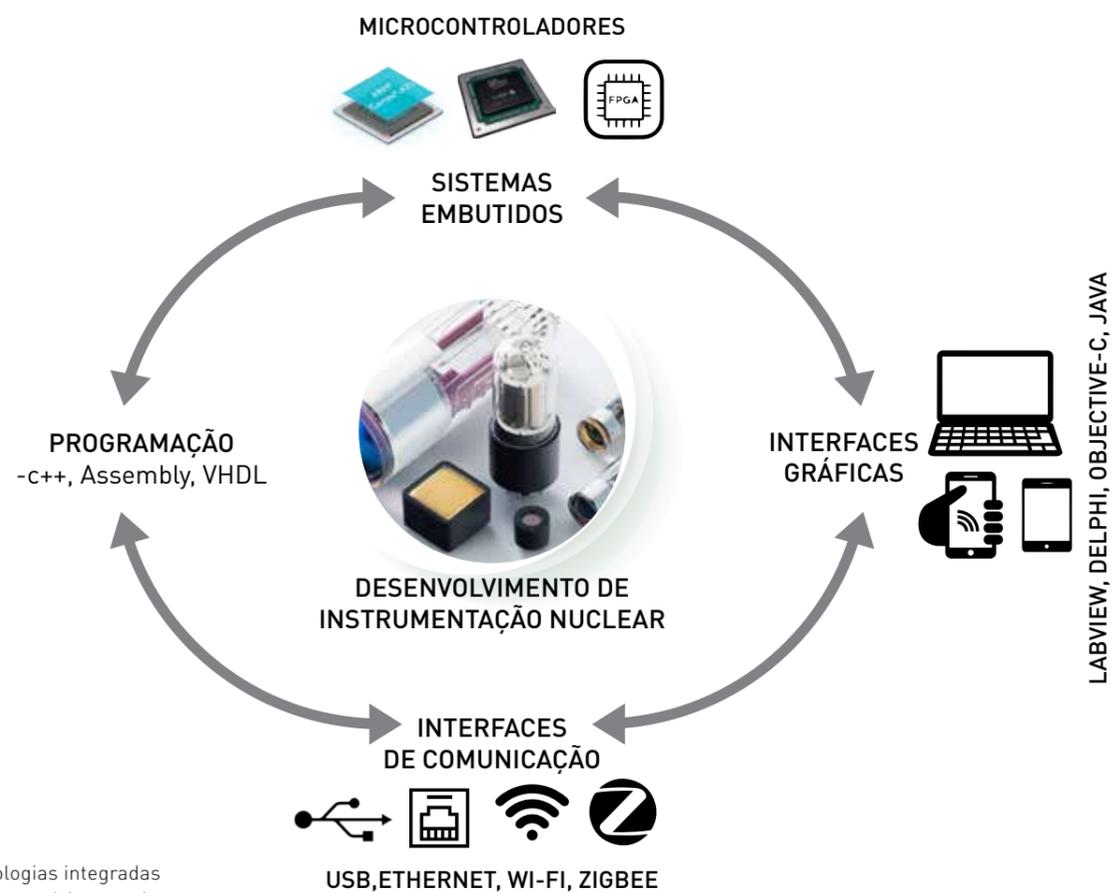


Fig 1  
Tecnologias integradas no desenvolvimento de instrumentação nuclear

para transportar de forma automática detectores de radiação e assim monitorar a radiação sem a necessidade de operadores em locais perigosos. Também em 2017, como resultado de uma tese de doutorado no Programa de Engenharia Elétrica da Coppe/UFRJ, foi desenvolvido um conversor DSB-SSB a capacitores chaveados por transformador de Hilbert em tecnologia CMOS de 180 nm.

Em 2018 os principais equipamentos desenvolvidos foram um analisador multicanal baseado em placa de aquisição de dados e um simulador de estruturas de hardware digital com alta confiabilidade para sistemas críticos. Além disso, foi feita a integração de Monitor de Radiação MMRR7032 à computação em nuvem para possibilitar a leitura remota dos dados.

Em 2019 foi finalizado o desenvolvimento de arquitetura baseada em FPGA para sistemas de proteção de reatores nucleares. Também foram desenvolvidos o sistema de monitoração da

transferência de material irradiado no Cíclotron CV-128, o sistema de monitoração da atividade de Na<sup>123</sup>I ultrapuro do sistema Kipros e o sistema para monitoração de funcionamento dos exaustores do cíclotron.

Em 2020 foram desenvolvidos os circuitos de aquisição de dados e detecção de picos para analisador multicanal baseado em microcontrolador ARM e FPGA. Este analisador de alto desempenho será integrado ao sistema de Monitoração de Radiação Ambiental de Áreas Externas, permitindo a identificação do material radioativo detectado. Também para ser integrado a este sistema, foi desenvolvida a comunicação via radiofrequência das estações de medidas de radiação nuclear. Ainda em 2020 foi apresentada a pesquisa para Modelagem de Arquitetura Resiliente para Aplicações Críticas e definido um acordo com pesquisadores do reator IEA-R1, do IPEN/CNEN, para testes destas arquiteturas de hardware.

## ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Participação no projeto detalhado de Instrumentação e Controle do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), junto com o IPEN/CNEN e as empresas Amazul e a argentina Invap (Investigación Aplicada). Sistemas de proteção, controle e monitoração, monitoração de radiação e instrumentação neutrônica;
- Desenvolvimento de equipamentos de radioproteção em andamento: Telemedidor de Radiação, Monitor de Radiação Ambiental de Áreas Externas (Fig. 2), sistemas para treinamento em radioproteção sem a utilização de fontes radioativas e dosímetro com detector semiconductor (diodo PIN), wi-fi e bluetooth (Fig. 3);
- Desenvolvimento para reatores nucleares: desenvolvimento de técnicas de construção de circuitos tolerantes a falhas com tecnologia digital FPGA (Field Programmable Gate Array) para sistemas de alta confiabilidade em instrumentação nuclear. Estes servem de base para as discussões sobre a utilização desta tecnologia (FPGA) no Sistema de Proteção de Reatores. Estudos para modernização da instrumentação do Reator Argonauta, dentro do Projeto Finep REATORIEN;
- Desenvolvimento de sistema de posicionamento em ambientes internos com dispositivos WiFi de baixo custo (ESP8266), para aplicação em retiradas de emergência, sistemas para atendimento à operação do cíclotron, monitoração e alarmes para: botões de ronda, intertravamento por taxa de radiação, funcionamento da exaustão, deslocamento de material irradiado. Desenvolvimento e teste de interfaces para PC com esses sistemas para informação na sala de controle do cíclotron. Desenvolvimento de um sistema de monitoração de radiação para a caverna do cíclotron com transmissão de pulsos por longa distância.



Fig 2  
Estudo para Monitor de Radiação Ambiental de Áreas Externas.



Fig 3  
Dosímetro com detector semiconductor.

## TÉCNICAS NUCLEARES NA SAÚDE

Essa atividade de pesquisa tem ênfase na produção de novos radiofármacos emissores de pósitrons, aplicação de técnicas nucleares para pesquisa e desenvolvimento na área da saúde e utilização de radiotraçadores para estudos em biodistribuição e comportamento metabólico e na composição e desgaste de materiais.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Acelerador de partículas Cíclotron CV-28;
- Acelerador de partículas Cíclotron RDS;
- Laboratórios de Produção de Radiofármacos;
- Laboratórios de controle de qualidade físico-química e microbiológica;
- Células quentes da Comcer, módulo de síntese TADDEO, Cromatógrafo Líquido de alta pressão-HPLC, detector Ge/Li;
- Laboratório de Nanorradiofármacos e Síntese de Novos Radiofármacos;
- Contador gama, ultrassonicador, capela de fluxo laminar, rotaevaporador.

**Fontes de recursos:** IEN/CNEN, CNPq (bolsas), FAPERJ (Rede NanoSaúde), CNPq (Bolsa de Produtividade), CAPES (CAPES-COFECUB).

**Parcerias:** IRD/CNEN, Departamento de Radiologia da Escola de Medicina da UFRJ, Texas Medical Center Innovation Institute/Texas University, Instituto de Química da UFRJ, Centro Brasileiro de Pesquisa Física (CBPF), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Faculdade de Farmácia da UFRJ, Instituto de Biologia Roberto de Alcantara Gomes (IBRAG) UERJ, Departamento de Física da Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Química da Universidade Federal do Ceará, Laboratório de Materiais do Instituto Federal de Tecnologia do Estado de Pernambuco, COPPE -UFRJ, IPEN/CNEN, Paul Scherrer Institute, Texas A&M University (TAMU), Far Eastern University (Russia), Mephi (Russia), Shenzeng University (China), Yachay Tech University (Equador).



Detector de Germânio Hiperpuro (HPGe) com blindagem.

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

- “Garantia da qualidade na medição de atividade de radionuclídeos nas doses expedidas pelos centros produtores de radiofármacos”: Padronização de metodologia de calibração de calibradores de dose com a elaboração de Procedimentos Operacionais Padrão, Metodologias Analíticas e Relatórios de Validação de Metodologias Analíticas, que integraram os Relatórios de Registro enviados à ANVISA em junho de 2015 dos radiofármacos Fluordesoxiglicose (F-18), Iodeto de Sódio (I-123) e Iobengano (I-123);
- Participação na pesquisa “Administração intravenosa de células estromais mesenquimais derivadas de cordão umbilical humano em modelos de moderada e severa hemorragia intracerebral”, realizada em parceria com a Faculdade de Farmácia da UFRJ;
- Participação na série de webconferências em parceria com a Fiocruz sobre aplicações da radiação e saúde pública - Programa de webconferências mensais, iniciado em 2014, sobre temas relevantes da área radiológica para profissionais que trabalham com aplicações da radiação ionizante na saúde pública;

• Atividades desenvolvidas no Laboratório de Nanorradiofármacos e Síntese de Novos Radiofármacos:

1. Desenvolvimento de nanopartículas diagnósticas e terapêuticas para aplicação em medicina, farmácia e ciências biomédicas:

- Desenvolvimento de grafeno radiomarcado com tecnécio-99m e lutécio-177;
- Desenvolvimento de nanopartículas poliméricas para o diagnóstico e terapia do câncer de mama;
- Desenvolvimento de nanopartículas poliméricas para o diagnóstico e terapia do melanoma metastático;
- Desenvolvimento de nanoclusters de ouro radioativo ( $^{198}\text{Au-NCS}$ ) para terapia localizada do câncer de pulmão;
- Desenvolvimento de grafeno decorado com imatinib e radiomarcado com tecnécio-99m para diagnóstico da leucemia mielóide aguda;
- Desenvolvimento de nanopartículas para terapia da artrite reumatoide e radiosinovectomia;
- Desenvolvimento de kit radiofármaco para diagnóstico e terapia do câncer ósseo.

2. Nanopartículas para soluções em problemas nucleares:

- Uso de grafeno no tratamento de rejeitos radioativos líquidos.

### ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Produção de novos radiofármacos:
  - Desenvolvimento de método automático de marcação de  $^{68}\text{Ga-EC-DG}$ ;
  - Avaliação de moléculas para possíveis radiofármacos;
  - Produção e padronização do iodo-124;
  - Marcação de derivados de ureia com I-123;
  - Otimização de parâmetros flúor-18 FLT e flúor-18 Colina;
  - Identificação de radionuclídeos contaminantes de baixo nível (menor que 0,01%) presentes nas amostras de radiofármacos

produzidos no IEN, e que são gerados na irradiação da câmara e janela de contenção do gás xenônio-124.

• Laboratório de Nanorradiofármacos e Síntese de Novos Radiofármacos:

- Desenvolvimento de grafenouro para terapia do câncer;
- Desenvolvimento de pontos quânticos carbônicos para a agroindústria;
- Desenvolvimento de novos materiais para o tratamento de rejeitos radioativos líquidos;
- Projeto em parceria com o Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia da EPM/UNIFESP (que conta com infraestrutura laboratorial nível 3 de biossegurança).

## DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS PARA O SETOR NUCLEAR

Esta área teve, no período, três linhas de atividades: desenvolvimento, caracterização e aplicação de membranas cerâmicas e poliméricas para o tratamento de rejeitos líquidos de baixa e média radioatividade; caracterização do combustível nuclear por técnica ultrassônica, e avaliação do estado de tensão em materiais por técnicas ultrassônicas.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratório de Membranas Cerâmicas.;
- Laboratório de Membranas Poliméricas;
- Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Laboratório de Preparação de Amostras;
- Laboratório de Ultrassom.

#### Equipamentos:

- Aparelho de ultrassom Panametrics EPOCH 4;
- Aparelho de ultrassom Panametrics EPOCH 1000;
- Microscópio Eletrônico de Varredura Hitachi TM3000;
- Osciloscópios (2);
- Prensa automática Herzog para fabricação de pastilhas;
- Sistema ultrassônico por transdutores eletromagnéticos EMAT/EMAR;
- Tanque de imersão para uso com sistema ultrassônico.

**Fontes de recursos:** CNEN, AIEA e Finep.  
**Parcerias:** IRD/CNEN, CDTN/CNEN, Lasal/CNEN, AIEA, INB, UFPE, Coope/UFRJ, IMA/UFRJ, IQ/UFRJ, IGQ/UFF, Uerj, Uezo, CTMSP, Nuclep, IPqM e IME.

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

Em 2015 foram desenvolvidas membranas cerâmicas para o tratamento de rejeitos líquidos aquosos de baixo e médio nível de radiação, foi iniciado projeto de fomento CNEN/Finep relativo à caracterização do combustível do RMB por técnica ultrassônica de imersão e concluída dissertação

de mestrado (em parceria com a UERJ) aplicando técnica ultrassônica para determinação das constantes elásticas em pastilhas cerâmicas fabricadas pelo CTMSP.

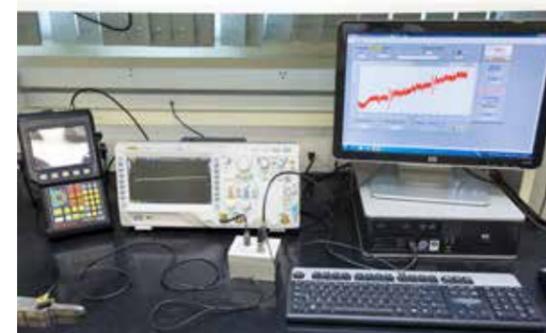
Em 2016 foram realizadas diversas análises no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) em apoio a pesquisas internas do IEN/CNEN, ao Programa de Pós-Graduação do IEN/CNEN e em parcerias com IPqM e Coppe/UFRJ. Foi iniciado o estudo de caracterização do elemento combustível do Reator Argonauta do IEN/CNEN em parceria com a UFF (tese de doutorado em andamento), para atender ao projeto REATORIEN – FINEP - IEN/CNEN -2016. Neste mesmo ano foi emitida Carta-Patente, em maio, intitulada “Processo e sistema de medida de tensão por ultrassom através da refração de ondas com incidência oblíqua”.

Ainda no ano de 2016 foram registradas mais duas patentes de softwares aplicados a técnicas ultrassônicas: (1) MEDEATRASSO, programa que emprega técnicas de processamento de sinais para calcular, com elevada resolução, o atraso entre dois ecos de uma onda ultrassônica digitalizada. O conhecimento do tempo de percurso, ou seja, o tempo que a onda ultrassônica leva para percorrer um determinado meio é de fundamental importância, por exemplo, na avaliação da porosidade em materiais cerâmicos; (2) e o ATRASSO, programa que substituiu o MEDEATRASSO, por conter algumas funções adicionais e, sobretudo, uma melhor interface com o usuário.

Em 2017 foram realizados estudos de preparação de suportes para membranas cerâmicas à base de óxidos de titânio e alumínio visando aplicação no tratamento de rejeitos gerados na indústria nuclear, além do projeto de fomento CNEN/Finep relativo à caracterização do combustível do RMB por técnica ultrassônica de imersão. Foram também realizados testes experimentais do sistema ultrassônico EMAT, adquirido pelo projeto CNEN/Finep.

Em 2018 foram feitos testes experimentais com transdutor EMAT montado em laboratório usando o sistema ultrassônico por transdutores eletromagnéticos EMAT/EMAR, visando o futuro desenvolvimento de projeto para tese de doutorado (parceria Coppe/UFRJ), e concluídos os testes experimentais do sistema ultrassônico por imersão adquirido pelo projeto CNEN/Finep, para o controle de inspeção de qualidade e medidas de porosidade aplicáveis ao combustível nuclear (UO<sub>2</sub>), além do desenvolvimento de metodologia de síntese de suspensões coloidais de hidróxido de titânio pelo

processo sol-gel para recobrimento de suportes cerâmicos visando a obtenção de membranas seletivas ao urânio, que teve continuidade em 2019.



Sistema ultrassônico.

Em 2019, as principais realizações foram:

- Iniciado o estudo de obtenção de pastilhas de TiO<sub>2</sub> empregando a técnica de colagem em moldes de gesso;
- Análises de imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) em apoio ao Reator Argonauta e as nossas atividades de pesquisa (57 amostras e 232 imagens);
- “Estudo da Caracterização Ultrassônica do Elemento Combustível do Reator Argonauta do IEN”, para atender ao projeto REATORIEN – FINEP- IEN/CNEN - 2016;
- Continuação do projeto “Caracterização de uma unidade de craqueamento catalítico de fluidos (FCC) combinando as técnicas de rastreamento de partícula radioativa (RPT) e tomografia gama” (Cooperação Técnica CNEN/IEA, COPPE/UFRJ e UFPE).

### ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Desenvolvimento da síntese de suspensões coloidais de hidróxido de titânio pelo processo sol-gel para recobrimento de suportes cerâmicos;
- Estudo de análise da porosidade de membranas cerâmicas usando a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura associada ao tratamento de imagens com o software de código aberto Image J;
- Ensaios usando a técnica de tomografia por emissão chamada Rastreamento de Partícula Radioativa (RPT) para caracteriza-

ção da unidade-piloto de craqueamento de petróleo localizada na UFPE;

- Modelagem do sistema FCC em escala reduzida (Acordo CORERJ), em MCNP-X e OCTAVE, para posterior aplicação da técnica RPT;
- Atividades de vários laboratórios do setor junto ao projeto “Modernização e adequação das instalações do reator Argonauta IEN/CNEN”.

## RADIOQUÍMICA E QUÍMICA NUCLEAR

Utilização de técnicas de química, radioquímica e química nuclear no estudo e desenvolvimento de processos hidrometalúrgicos, metodologias analíticas e monitoração e manejo ambiental

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratórios de Cromatografia de Íons e Líquida;
- Laboratório de Análises por Raios-X;
- Laboratório de Espectrofotometria UV/VIS.

#### Equipamentos:

- Cromatógrafo a líquido;
- Difratômetro de Raios-X (DRX);
- Espectrofotômetro UV/VIS;
- Espectrômetro de Absorção Atômica;
- Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDFRX);
- Sistema de purificação de água Milli-Q.

**Fontes de recursos:** CNEN

**Parcerias:** IRD/CNEN, CDTN/CNEN, INB, IQ/UFRJ, IPqM, IGQ/UFF, Coppe/UFRJ, IMA/UFRJ e AIEA

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

Em 2015 foram realizados estudos com o objetivo de adaptar e aperfeiçoar o Processo para Obtenção de Tântalo, Nióbio e Urânio de alta pureza por extração líquido-líquido desenvolvido no IEN/CNEN, e patentado (PI 0303472-0A) pela CNEN. As condições de produção do processo foram revistas de modo a ser obtido o máximo de aproveitamento do minério e dos insumos, observando-se sempre as condições de economicidade e de mercado, além de estudos para avaliação do transporte e/ou dispersão no meio ambiente de radionuclídeos provenientes de atividades de mineração. As demandas analíticas de pesquisas internas e externas foram atendidas, com emprego das técnicas de fluorescência de raios X, difração de raios X, ICP-OES, cromatografia líquida e gasosa, absorção atômica, espectrometria UV-Vis., potenciometria e FIA.

Em 2016 consolidou-se a participação em projeto nacional de cooperação técnica com a Agência

Internacional de Energia Atômica (AIEA), Projeto BRA7010 ("Sustainable Water Resources Management in an Uranium Production Site") e foram realizados estudos da dinâmica e recarga das águas subterrâneas em aquífero fraturado localizado em centro de produção de urânio do Brasil (Caetité/BA), empregando isótopos estáveis (deutério e oxigênio-18) e radioativos (trítio e carbono-14).

Em 2017 houve a participação na elaboração do relatório final de projeto nacional de cooperação técnica com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Projeto BRA7010 ("Sustainable Water Resources Management in an Uranium Production Site") e a conclusão do banco de dados contendo os resultados das cinco campanhas de coleta de amostras de água de chuva, água superficial e água subterrânea.

Em 2018 foi realizada a determinação de teor de urânio e isótopos estáveis (oxigênio-18 e deutério) em amostras ambientais de águas subterrâneas (40 poços) e águas superficiais (16 pontos) provenientes da mineração de urânio de Caetité e iniciada a reestruturação dos laboratórios que compõem a área de metalurgia extrativa visando atender às novas necessidades de segurança e ao licenciamento das instalações.

As principais atividades no ano de 2019 foram:

- Participação em projeto nacional de cooperação técnica com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Projeto Nacional BRA0023 (ciclo 2018-2019): "Developing Human Resources in Nuclear Technology";
- Determinação de teor de urânio e isótopos estáveis (oxigênio 18 e deutério) em amostras ambientais de águas subterrâneas (poços) e águas superficiais provenientes da mineração de urânio de Caetité (BA);
- Participação no primeiro exercício de comparação promovido pela AIEA entre laboratórios da América Latina e do Caribe envolvidos na análise de isótopos estáveis em amostras ambientais de água;
- Executada movimentação de rejeitos do Prédio 34 (antigo Depósito de Fósforo) para o Depósito de Rejeitos;
- Atendimento às demandas de pesquisas internas e externas (nove experimentos), com emprego da técnica de secagem usando o equipamento *Spray Dryer*;

- Atendimento às demandas analíticas de pesquisas internas e externas (259 amostras analisadas), com emprego das técnicas de difração e fluorescência de raios X.



Técnica de fluorescência de raios X.

### ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Avaliação das interações entre as águas superficiais, água subterrânea e precipitação na área da mina de urânio de Caetité (parceria com o grupo de pesquisa da Dirad/IRD-CNEN);
- Investigação dos mecanismos de recarga no aquífero fraturado localizado na região de influência da mina de urânio de Caetité (parceria com o grupo de pesquisa da Dirad/IRD-CNEN);
- Avaliação da concentração de radionuclídeos naturais nos solos e das taxas de dose gama na área de mineração de Caetité (parceria com o grupo de pesquisa da Dirad/IRD-CNEN).

## TERMO-HIDRÁULICA EXPERIMENTAL DE REATORES NUCLEARES

Essa área tem priorizado a formação de recursos humanos para o setor nuclear e o desenvolvimento de técnicas avançadas para estudo e caracterização de escoamentos bifásicos gás-líquido, o que acaba fornecendo suporte experimental ao desenvolvimento de programas computacionais para a simulação de termo-hidráulica. Além disso, o Laboratório de Termo-Hidráulica Experimental do IEN (LTE) vem promovendo a modernização de suas instalações, ampliando a capacidade de desenvolvimento de estudos e pesquisas e melhorando as condições de trabalho de seu grupo técnico. Novos equipamentos vêm sendo adquiridos e novos aparatos experimentais vêm sendo montados para consolidar o processo de modernização do laboratório.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Coluna vertical e inclinável de líquido estagnado;
- Circuito de água com medidores de vazão, pressão e temperatura, contando com um sistema supervisorio dessa instrumentação;
- Seção horizontal de 2" para estudos de escoamentos bifásicos água-ar;
- Seção horizontal e levemente inclinável de 1" para estudos de escoamentos bifásicos água-ar;
- Circuito de Circulação Natural (CCN);
- Simulador experimental de circulação natural em um reator tipo piscina (em fase inicial de instrumentalização);
- Seção vertical e inclinável para escoamentos bifásicos água-ar (em fase de montagem);
- Sistema ultrassônico para até quatro (4) transdutores para caracterização de escoamentos;
- Sistema ultrassônico para até dezesseis (16) transdutores para caracterização de escoamentos (em fase inicial de montagem);
- Câmera de vídeo de alta velocidade colorida Olympus I-Speed 2 para caracterização de escoamentos;
- Medidores de vazão Coriolis;

- Medidores de vazão por efeito doppler;
- Viscosímetro Brookfield;
- Compressores rotativos e bombas centrífugas;
- Osciloscópio, gerador de funções e outros equipamentos.

**Fontes de recursos:** CNEN, CNPq, FAPERJ, FINEP.  
**Parcerias:** Laboratório de Simulação e Métodos em Engenharia (Lasme/PEN/Coppe/UFRJ); Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC); Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet – campi Nova Iguaçu e Petrópolis).

#### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

- Estudos computacionais e experimentais de termo-hidráulica de reatores nucleares e transporte de radionuclídeos
- O grupo de trabalho do LTE ministra, desde 2001, aulas teóricas e práticas para alunos de graduação e pós-graduação da Politécnica/UFRJ, Coppe/UFRJ e IEN/CNEN, o que acabou por revelar a formação de recursos humanos como uma vocação natural deste laboratório. Entre 2015 e 2020, pesquisadores do LTE orientaram ou coorientaram diversos trabalhos de iniciação científica, mestrado e doutorado.
- Nos anos de 2017 e 2019, o LTE recebeu oficiais da Marinha do Brasil para um estágio oferecido pelo IEN, que visava fornecer aos participantes uma visão geral das atividades do setor nuclear, em especial aquelas relacionadas com reatores.

#### ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Desenvolvimento de técnicas experimentais avançadas para caracterização de escoamentos bifásicos gás-líquido: nucleares, capacitivas, de visualização com câmera de vídeo de alta velocidade e ultrassônicas;
- Estudo experimental e por simulação computacional do movimento de bolhas de Taylor em tubos cilíndricos verticais e inclinados;
- Caracterização de escoamentos bifásicos água-ar em seções de testes horizontais e levemente inclinadas;
- Estudo de circulação natural em um reator de pesquisa do tipo piscina, em escala reduzida;
- Estudo de sistemas passivos de remoção de

calor residual em reatores PWR, por circulação natural;

- Tratamento e análise de dados experimentais usando metodologia de DMD (Dynamic Mode Decomposition) e Deep Learning, para caracterização e visualização de escoamentos;
- Simulação computacional de escoamentos multifásicos com a metodologia SPH (Smooth Particle Dynamics).

#### REALIDADE VIRTUAL APLICADA À ÁREA NUCLEAR

A área de realidade virtual do IEN/CNEN teve grande avanço no período, tendo desenvolvido diversos modelos virtuais, simuladores 3D e jogos visando treinamento em proteção física e física-médica e divulgação científica da área nuclear.

#### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratório de Realidade Virtual (LabRV).

**Fontes de recursos:** CNEN, AIEA, CNPq e Faperj  
**Parcerias:** Colaboração para estudo e levantamento das especificações para construção de simuladores baseados em realidade virtual, para treinamento dos profissionais de radiofarmácia e para dessensibilização dos pacientes quanto aos procedimentos relacionados ao tratamento.

- Os principais parceiros no período foram:** Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (UFRJ)
- Hospital Universitário Antônio Pedro (UFF)
  - Hospital Pró-Cardíaco • Hospital Rede D'Or

#### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

Em 2015/16 foram desenvolvidos o Simulador Virtual das Instalações do Reator Argonauta para fins de divulgação científica e o modelo virtual do IEN/CNEN para estudos e simulações de ações de proteção física contra tentativas de invasão, roubo ou sabotagem.

Em 2016, foi concedido pelo INPI, o registro da patente do software "Simulação da operação de uma usina nuclear com realidade virtual", cujo objetivo é o treinamento de operadores obedecendo as rígidas normas de segurança de operação de uma usina nuclear.

Em 2017/18 foi desenvolvido um modelo virtual de uma clínica de radioterapia, incluindo funcionalidades como a medição do campo de radiação produzido pelo equipamento, efeitos da blindagem à radiação, sistema de monitoramento da instalação por circuito interno de câmeras de televisão, intertravamento da porta de acesso ao bunker e botoeiras de desligamento de emergência do equipamento.

As funcionalidades do modelo foram implementadas para uso como ferramenta de treinamento de inspetores dessas instalações.

Entre 2019 e 2020 foram construídos simuladores em realidade virtual para treinamento de profissionais nas áreas de medicina nuclear, proteção radiológica, proteção física, bem como para apoio ao licenciamento de instalações radioativas e nucleares e para dessensibilização dos pacientes quanto aos procedimentos relacionados ao tratamento.

O projeto teve como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta que pudesse simular os principais procedimentos operacionais de profissionais da medicina nuclear, utilizando técnicas de realidade virtual para obter um resultado interativo útil e interessante. A elaboração do simulador apresenta vantagens relevantes ao apresentar uma solução de treinamento sem a utilização de am-



Modelo virtual de clínica de radioterapia.

bientes reais e produtos radioativos. Assim, leva em consideração a proteção física dos profissionais que possam atuar na área, promove um treinamento seguro, imersivo e reativo às manipulações dos usuários e reduz expressivamente os custos relacionados a um ambiente de treinamento.



Endereço para acesso ao simulador de realidade virtual:  
<https://labrvien.wixsite.com/labien>



Endereço para acesso ao simulador de radiofarmácia:  
<https://labrvien.wixsite.com/labien/radiofarmacia2>



Usuário com óculos 3D.

## GESTÃO DO CONHECIMENTO EM CIÊNCIAS NUCLEARES

O grupo de pesquisa Gestão do Conhecimento Nuclear estuda soluções estratégicas para a preservação, compartilhamento e difusão do conhecimento produzido no IEN/CNEN, tendo como elemento norteador o desenvolvimento científico e tecnológico do país na área nuclear. Suas pesquisas visam promover uma maior aproximação entre Ciência, Tecnologia e Inovação na área nuclear e a sociedade, de forma precisa e transparente.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratórios do Setor de Engenharia de Sistemas Complexos (SEESC).

**Fontes de Recursos:** CNEN, Capes

**Parcerias:** Coppe/UFRJ

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

**2015/2019:** Implementação e atualização da plataforma CarpedIEN, uma aplicação web baseada no software Dspace. Ela serve como um repositório para documentos técnicos e científicos (artigos).

**2015/2019:** Implementação e atualização do wikilEN, uma aplicação web baseada no software MediaWiki. Esta aplicação permite que o usuário edite e modifique artigos, fórmulas matemáticas, imagens, vídeos e faça link com outros artigos.

### ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Desenvolvimento de modelo fuzzy para avaliação e implementação de estratégias de gestão do conhecimento
- Integração das ferramentas de gestão de conhecimento disponíveis ao planejamento dos setores do IEN/CNEN.

## ATIVIDADES REALIZADAS PELA BIBLIOTECA

- Serviços de referência: Empréstimos e atendimentos aos usuários;

- Serviços de tratamento técnico de material bibliográfico;

• Plataforma CarpedIEN - repositório institucional do Instituto de Engenharia Nuclear: Repositório voltado para o arquivamento, gestão, preservação e disseminação, em formatos digitais, de dados e informações gerados em decorrência das atividades de ensino e pesquisa do IEN/CNEN. Organizado em comunidades e coleções a partir das áreas temáticas de pesquisa do IEN/CNEN, é formado por publicações técnico-científicas, material didático, documentos de gestão, documentos históricos e dados de pesquisa.

### OUTRAS ATIVIDADES

- Levantamento da produção bibliográfica dos pesquisadores do IEN/CNEN para ser inserida no repositório institucional;
- Organização e inclusão na CarpedIEN da coleção de separatas de artigos de periódicos;
- Levantamento, análise e inclusão na CarpedIEN da coleção de teses e dissertações dos servidores;
- Inclusão na CarpedIEN da coleção de Relatórios Técnicos (RTs);
- Inclusão na CarpedIEN dos trabalhos do INAC;
- Preparação dos 112 trabalhos para a edição nº 3 do Progress Report, lançada em maio de 2018.

## APLICAÇÕES NUCLEARES NA INDÚSTRIA E NO MEIO AMBIENTE

As ações empreendidas nesta área têm como objetivo a pesquisa e desenvolvimento em processos industriais utilizando aplicações de técnicas nucleares teóricas e experimentais. Investigações com modelagem matemática usando método de Monte Carlo (códigos de simulação de transporte de radiação) para desenvolvimento de modelos de detectores e geometrias de medição com análise de dados realizada por redes neurais artificiais são realizadas nas mais diversas áreas da indústria. Tem aplicações, com fontes de radiação seladas, em medidas de escoamentos multifásicos (óleo-água-gás), predição de incrustações inorgânicas e trincas em tubos utilizados na indústria de petróleo e gás, ativação neutrônica, técnicas de rastreamento de partículas em misturadores.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

As linhas de pesquisa são desenvolvidas no Laboratório de Medidas Nucleares (LMN) da Divisão de Radiofármacos (Dira) e no Serviço do Reator Argonauta (Serea), pertencentes ao Instituto de Engenharia Nuclear, tendo como apoio os laboratórios de Análises Ambientais e Simulação Computacional (Laasc) e de Monitoração e Processos (LMP) do PEN-COPPE-UFRJ, que contam com a infraestrutura necessária para o desenvolvimento dos projetos alinhados com esta linha de pesquisa:

- LMN/Dira: sistema de espectrometria baseado em detectores semicondutores HpGe e cintiladores NaI(Tl), fontes calibradas, tais como:  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{241}\text{Am}$ , para calibração de detectores, equipamentos de monitoração ambiental e pessoal, dois computadores i7-Intel com código matemático MCNPX e MCNP6, programa Visual Editor, código Saturne (software de distribuição livre) e demais programas necessários para processamento de dados;
- Laboratório do Serea: reator nuclear de pesquisa, arranjo neutrongráfico operacional que se encontra instalado junto ao canal de irradiação J-9. Detectores de análise de ativação neutrônica:  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{1115}\text{Ni}$  e  $^{27}\text{Al}$ .

**Fontes de recursos:** Projeto REATOR IEN/CNEN (Modernização e Adequação das Instalações do Reator Argonauta do IEN/CNEN e Laboratórios Associados) - MCTI/Finep/FNDCT e PROJETO FAPERJ 2019.  
**Parcerias:** UERJ, UFRJ, IRD/CNEN.

## PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

- Formação de recursos humanos especializados por meio de orientações no Programa de Mestrado do IEN/CNEN e publicação de artigos internacionais.

## ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Desenvolvimento de uma ferramenta de diagnóstico em misturadores industriais para avaliação do processo de mistura de materiais. O método investigado baseia-se nos princípios da técnica de Rastreamento de Partícula Radioativa;
- Predição de incrustação em tubulações: estudos sobre predição de incrustação concêntricas e excêntricas, em tubulações utilizadas na indústria de petróleo off-shore. A metodologia baseia-se nos princípios da densitometria gama e redes neurais artificiais;
- Identificação de regimes de fluxo e predição de frações de volume: estudos sobre predições de frações de volume e identificação de regimes de fluxo em sistemas multifásicos tipo gás-água-óleo encontrados na indústria petrolífera off-shore. A metodologia baseia-se nos princípios de atenuação de raios gama por meio de simulações de Monte Carlo e redes neurais artificiais;
- Análise por ativação neutrônica para quantificação de materiais: estudos sobre análises em amostras heterogêneas usando ativação neutrônica com fluxo de nêutrons térmicos no reator Argonauta. Investigações são realizadas para determinar e identificar elementos em diferentes amostras, tais como: cimento (Ca, Si, Fe e Al) para analisar sua qualidade e de feijão preto, para quantificar a presença de ferro;
- Determinação de salinidade em água de produção: estudos sobre o teor de sais em água de produção encontrada em extração de petróleo visando fornecer ao medidor multifásico de predição de frações de volume mais robustez e independência em relação à variação da quantidade de sal;
- Desenvolvimento de metodologias para determinar características de materiais utilizados na indústria: estudos sobre fissuras, perda de material em tubulações de

gás, integridade estrutural dos dutos e determinação de espessuras de chapas metálicas usadas na indústria;

- Desenvolvimento de metodologias e técnicas para a modelagem de um sistema de monitoração de interface de subprodutos de petróleo no transporte em polidutos, a investigação é baseada na atenuação da radiação gama por meio de simulações de Monte Carlo, testes experimentais e redes neurais artificiais;
- Aplicação de radioisótopos em estudos sobre o impacto da acidificação dos oceanos em frutos do mar. A preocupação mundial com os impactos da acidificação dos oceanos sobre espécies marinhas é parte integrante da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável. O IEN participa de um projeto colaborativo para avaliar os impactos da acidificação dos oceanos nas principais espécies marinhas (ostras, mexilhões, camarões, lagostas, peixes) em nível global, coordenado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Iniciado em agosto de 2019, o estudo segue até 2023. Os impactos serão avaliados usando técnicas convencionais, nucleares e isotópicas. O IEN conta com a parceria do Aquário Marinho do Rio de Janeiro (AquaRio) e do Programa de Biologia Marinha e Ambientes Costeiros da Universidade Federal Fluminense (PBMAC/UFF).

## TÉCNICAS NUCLEARES UTILIZANDO O REATOR ARGONAUTA

Entre 2019 e 2020, implementação e prosseguimento do projeto Finep "Adequação e modernização do Reator Argonauta e Laboratórios Associados", com execução financeira de 80% da primeira parcela (R\$ 5 milhões) para a adequação e modernização da infraestrutura de diversos laboratórios do IEN, aquisição de equipamentos, sistemas e insumos utilizados em P&D.

Foram também aprovados o segundo relatório parcial à Finep e a liberação de 11 bolsas DTI junto ao CNPQ, atendendo a diversos laboratórios e atividades do IEN.

## PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Reator Argonauta;
- Laboratório de Medidas Nucleares;
- Laboratório de Desenvolvimento de Radioisótopos por Ativação Neutrônica;
- Laboratório de Neutronografia.

**Fontes de Recursos:** CNEN, Finep

**Parcerias:** IME, INB, IPEN/CNEN, UFF, UFRJ.

## PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

- Início da implementação do Projeto Finep: "Modernização e adequação das instalações do reator argonauta do IEN/CNEN e laboratórios associados";
- Acordo com a INB para fabricação de varetas combustíveis para o arranjo subcrítico;
- Especificação e encomenda ao IPEN/CNEN de uma nova carga de combustíveis de U3Si2 para o reator Argonauta;
- Capacitação de recursos humanos: colaboração em cursos de graduação da UFRJ de Física Médica e de Engenharia Nuclear (2015 a 2019);
- Capacitação de recursos humanos em nível de pós-graduação – curso de Mestrado do IME e curso de Mestrado do IEN/CNEN (2015 a 2020);

- Capacitação de recursos humanos em nível de especialização – Marinha do Brasil (2016 e 2019).

## ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Desenvolvimento da técnica de Equivalência & Similaridade de seções de choque para nêutrons;
- Estudo para obtenção de fluxo de nêutrons padrão aplicável a metrologia;
- Determinação de arsênio inorgânico em carne de peixe;
- Análise de íons remanescentes de processos de purificação;
- Representação de normas do Serviço de Medicina Nuclear por meio de Mapas Mentais;
- Obtenção de microesferas poliméricas marcadas com radioisótopos de meia-vida curta;
- Modernização do Controle de qualidade da água do reator Argonauta;
- Efeito da variação angular na ativação neutrônica de folhas metálica;s
- Validação de modelos de ativação neutrônica;
- Avaliação da interferência de matriz na medida de seção de choque de aminoácidos;
- Avaliação da presença de selênio em castanha do Pará;
- Desenvolvimento de protótipos, técnicas e métodos na área de imagens obtidas com nêutrons térmicos;
- Desenvolvimento de um *software* para gerenciar e acompanhar em tempo real a atividade de amostras submetidas à irradiação;
- Especificação de nova carga de combustível (U3Si2) do Reator Argonauta utilizando o código MCNP6;
- Análise por Ativação Neutrônica para quantificação de materiais utilizando o reator Argonauta.

## TÉCNICAS NUCLEARES COM O USO DE FEIXES DE PRÓTONS

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Cíclotron CV-28 e saída 2 do ímã de distribuição.

**Fontes de Recursos:** CNEN

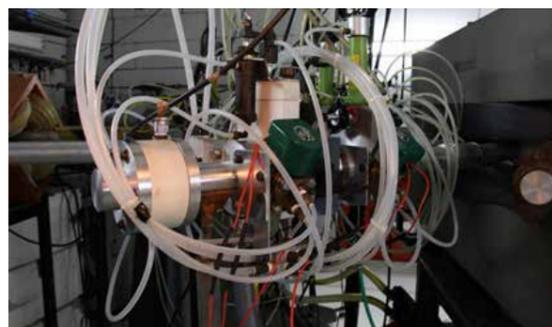
**Parcerias:** COPPE-UFRJ

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

Em 2016, o projeto e desenvolvimento de uma câmara de irradiação no Cíclotron CV-28 de alvos extensos e de geometria variável, para realização de estudos e desenvolvimento de aplicações de técnicas nucleares e análises de materiais por ativação, gerou duas dissertações de mestrado no Programa de Pós-graduação do IEN/CNEN:

- Construção de uma câmara de irradiação e linha de feixe própria instalada na saída dois do Cíclotron CV-28, que torna possível a realização de estudos e desenvolvimento de aplicações de técnicas nucleares;
- Projeto e construção de um sistema de uniformização da degradação do feixe de prótons ao longo da espessura da amostra a ser estudada. Essa degradação é feita por lâminas de alumínio de espessuras variadas que são posicionadas por rotação de seu suporte em frente ao feixe, degradando sua energia de forma controlada. O sistema funciona acoplado à câmara e linha de feixe;

A imagem abaixo mostra os componentes dessa linha de feixe, composta por válvula de isolamento de vácuo, fendas ajustáveis, parador de feixe para medida da corrente, colimador, acoplamento a bomba de vácuo e dutos para a água de refrigeração.



Linha de feixe de prótons instalada na saída número 2 do CV-28

### ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

Desde 2019 vem sendo desenvolvido, em parceria com o Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE, um dispositivo para estudos de desgaste de peças metálicas (tribologia), que utiliza a técnica de ativação em camada fina (Thin Layer Activation) com o emprego de feixes de prótons de 24 MeV gerados no cíclotron CV-28 do IEN. Tal dispositivo deverá promover o desgaste controlado de peças ativadas com a presença de cobalto-56 e cobalto-57, o que torna viável a realização de estudos e testes específicos para diferentes tipos de óleos lubrificantes.



PROTEÇÃO  
RADIOLÓGICA

## PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

A área de radioproteção do IEN/CNEN é o setor competente por planejar e executar as atividades de segurança e vigilância em saúde do trabalhador e de proteção e segurança radiológica para o público interno; executar inspecionar as condições de segurança física, proteção contra incêndio, higiene do trabalho e segurança radiológica nas instalações do Instituto; realizar a expedição dos radiofármacos produzidos no IEN/CNEN, e gerir o controle das áreas, do ambiente, das fontes de radiação e dos equipamentos de radioproteção.



Monitoramento do radiofármaco embalado para classificação de risco e despacho terrestre e aéreo.

O setor também realiza treinamentos em proteção radiológica e segurança e saúde do trabalhador, e presta serviços externos como análise de contaminação (teste de esfregaço), medidas de radônio e levantamentos radiométricos.

### PRINCIPAIS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

- Laboratório de Radiometria e Espectrometria;
- Laboratório de Medidas de Radônio;
- Laboratório de Dosimetria Termoluminescente.

**Fontes de recursos:** IEN/CNEN



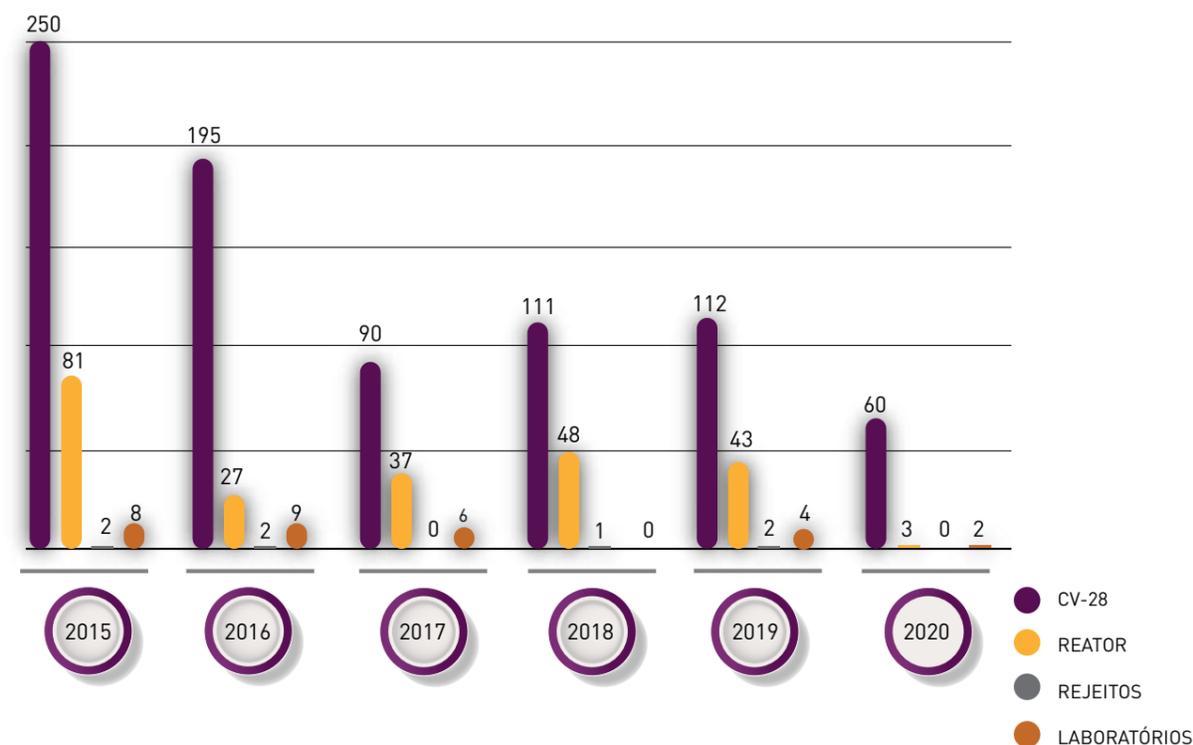
Medidas de radônio.

### PRINCIPAIS REALIZAÇÕES

- Apoio ao licenciamento dos laboratórios de pesquisa do IEN/CNEN, com a elaboração da documentação necessária ao requerimento das licenças e a adequação das instalações;
- Medições de radiação direta nas instalações do IEN/CNEN com dosímetros termoluminescentes (TL), para verificação de possíveis contribuições de dose em áreas ocupacionais do IEN/CNEN, incluindo áreas classificadas como livres, devido às instalações radioativas existentes no Instituto;
- Atendimento à rotina de proteção radiológica, incluindo a realização de levantamentos radiométricos, verificação de contaminação em pessoas, vestimentas, superfícies e peças, e coleta e análise de ar e água nas instalações Ciclotron CV-28 e Radiofarmácia, do reator Argonauta, do Depósito de Rejeitos e dos laboratórios onde se utilizam fontes radioativas, em cumprimento ao previsto no Plano de Proteção Radiológica e nos procedimentos estabelecidos. No Gráfico 1, mostra-se o quantitativo de levantamentos radiométricos nas diversas instalações radiativas e nuclear do IEN/CNEN;
- Prestação de serviços de análise de contaminação pelo Laboratório de Radiometria e Espectrometria (Lare) e de medidas de radônio pelo Laboratório de Medidas de Radônio (Larad), para empresas detentoras de fontes radioativas e mineradoras sujeitas à ocorrência de radônio no ar, com a emissão dos respectivos relatórios técnicos;
- Reestruturação do Setor de Proteção Física, em 2018. Foi organizado um setor subordinado à Divisão de Segurança e Proteção Radiológica específico para desenvolver atividades de planejamento e execução das ações em proteção física e a gestão do contrato do serviço de vigilância;
- Realização de treinamentos sobre a temática segurança, incluindo radioproteção, segurança e saúde do trabalhador, implementação das equipes do plano de emergência, brigada de incêndio, ambientação de segurança para terceirizados e noções de proteção física e operação da Central de Monitoramento Eletrônico (CME)

### LEVANTAMENTOS RADIOMÉTRICOS

Gráfico 1

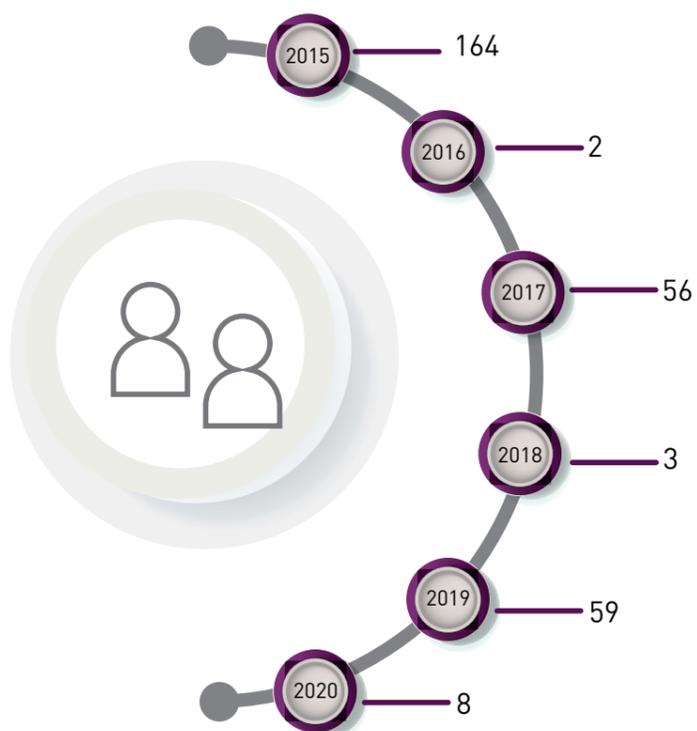


para vigilantes. No Gráfico 2, mostra-se o quantitativo de trabalhadores treinados nos diversos temas

- Realização de treinamento de servidores e agentes terceirizados no controle de acesso ao IEN em face à pandemia do coronavírus no ano de 2020.

## TRABALHADORES TREINADOS

Gráfico 2



Estão previstas a atualização a cada dois anos de treinamento em proteção radiológica e para atendimento às ações de emergência. Tal fato justifica, em parte, a variação do número de pessoas treinadas no período.



Treinamento de busca de fonte radioativa

## ESTUDOS E PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Estudo e avaliação da influência do gás radônio indoor e outdoor;
- Projeto "Medidas de radiação direta nas instalações do IEN/CNEN com dosímetros termoluminescentes", para avaliação de possíveis contribuições de dose de radiação ionizante em áreas ocupacionais do IEN/CNEN, incluindo áreas classificadas como livres, devido às instalações radioativas existentes no instituto;
- Projeto "Rede de Cooperação em Proteção Física – Centro de Formação em Proteção Física", de apoio à criação no IEN/CNEN de um centro com a participação do Laboratório de Realidade Virtual, do Setor de Capacitação, do Serviço do Reator Argonauta e outros;
- Projeto "Otimização da proteção radiológica ocupacional no depósito de rejeitos e laboratórios de pesquisa do IEN/CNEN", com a redefinição de áreas e tipos de monitoramento a serem implementados nas instalações do Depósito de Rejeitos e dos laboratórios que utilizam fontes radioativas em seus processos, com vistas à melhoria das condições de segurança radiológica dessas instalações, com a proposição das medidas de controle necessárias;
- Atualização do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) do IEN/CNEN, com a reestruturação do documento base e implementação das fases de avaliação e controle.

## PRODUTOS E SERVIÇOS

PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS

ARMAZENAMENTO E GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

REALIZAÇÃO DE LEVANTAMENTOS RADIOMÉTRICOS

ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO POR TESTE DE ESFREGAÇO

OUTROS PRODUTOS E SERVIÇOS OFERECIDOS EM MENOR ESCALA PELO IEN/CNEN (SOB DEMANDA)

## PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS

A produção e o fornecimento de radiofármacos estão sob responsabilidade da Divisão de Radiofármacos do IEN/CNEN (Dirad), que é composta pelos Serviços de Cíclotron (Secic) e de Radiofármacos (Serad). O Secic tem a responsabilidade de manter, operar e desenvolver os cíclotrons, sendo, por isso, responsável pelas irradiações para atender à produção de radiofármacos do IEN/CNEN e outras demandas. O Serad tem como finalidade principal a operação e manutenção dos laboratórios de processamento e controle de qualidade da produção de radiofármacos, assim como dos sistemas de alvos para sólidos, líquidos e gasosos, necessários à produção. Também cuida de toda a documentação exigida pela Anvisa para o licenciamento e operação de suas atividades.

O principal instrumento de trabalho dessa atividade é o acelerador de partículas do tipo cíclotron modelo CV-28, instalado no IEN/CNEN em 1974. Atualmente o CV-28 opera produzindo feixes de prótons de 24 MeV e corrente de 20 microampères. Ele possui sete saídas para feixes, sendo três

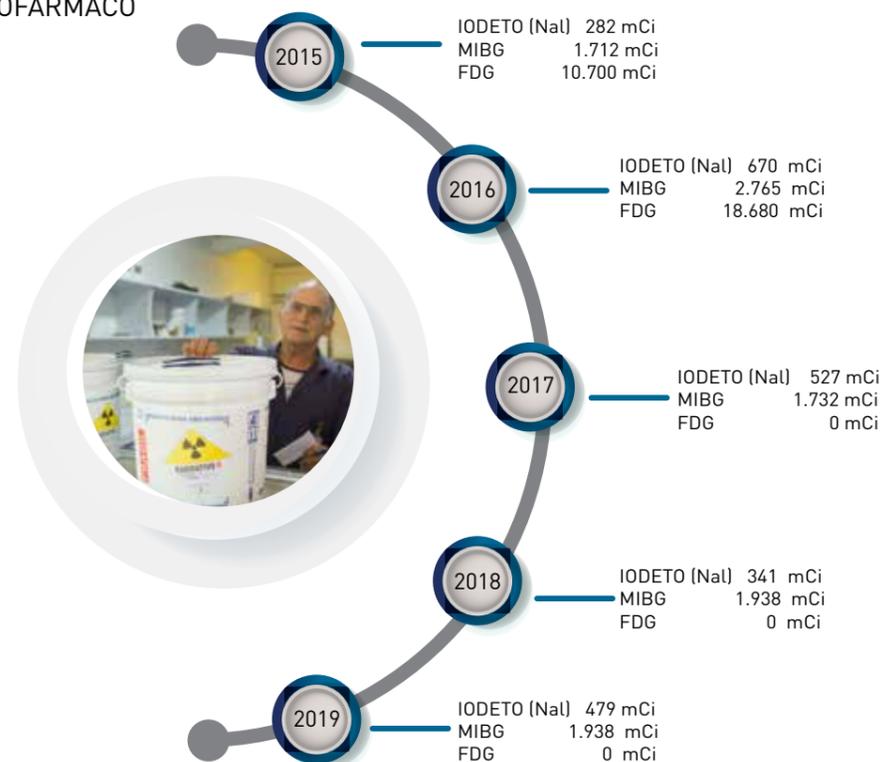
externas ao bunker principal. A primeira é dedicada à produção de iodo-123 por meio do Sistema KIPROS de irradiação de alvo de xenônio enriquecido no isótopo 124. A segunda está equipada com um Sistema IBA de irradiação de água enriquecida com oxigênio-18 para a produção de flúor-18. Todas as outras linhas são usadas para a pesquisa e desenvolvimento de técnicas de produção e aplicação de radioisótopos.

Os radiofármacos produzidos atualmente pelo IEN/CNEN são a metaiodobenzilguanidina (MIBG) e o iodeto de sódio (NaI) marcados com iodo-123, para diagnósticos médicos por tomografia SPECT. O IEN/CNEN também está apto a produzir fluorde-soxiglicose (FDG) para realização de diagnósticos médicos por tomografia PET.

No período de 2015 a 2019 o IEN/CNEN forneceu os radiofármacos NaI, MIBG e FDG a dezenas de clínicas e hospitais de todo o país. O gráfico abaixo apresenta as atividades fornecidas anualmente de cada radiofármaco.

Também foram fornecidas doses desses radiofármacos para o atendimento a pesquisas desenvolvidas em parceria com instituições como o Hospital Clementino Fraga Filho, da UFRJ, e o Antônio Pedro, da UFF.

## ATIVIDADES FORNECIDAS DE CADA RADIOFÁRMACO



## RESULTADOS DA PRODUÇÃO NO PERÍODO 2015 - 2020

As planilhas abaixo apresentam o desempenho da produção de radiofármacos do IEN/CNEN no período considerado, discriminado mês a mês.

### QUANTIDADE TOTAL (mCi) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2015

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	117	232	366	187	187	161	282	97	837	0	0	0	1.712
NaI	16	23	55	48	33	22	35	21	29	0	0	0	282
FDG	1.120	1.190	990	1.080	1.170	740	1.700	1.470	1.240	0	0	0	10.700
	1.253	1.445	1.411	1.315	1.390	923	2.017	1.588	1.352	0	0	0	12.694

### VALOR TOTAL (R\$1.000) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2015

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	9,489	18,880	29,857	15,18	15,259	13,187	32,248	11,125	9,607	n.d	n.d	n.d	154,836
NaI	0,853	1,244	2,821	2,473	1,688	1,132	2,500	1,524	2,107	n.d	n.d	n.d	16,347
FDG	93,49	99,337	82,642	90,15	97,668	61,772	141,91	122,71	103,51	n.d	n.d	n.d	893,203
	103,00	119,46	115,3	107,8	114,6	76,093	176,6	135,3	115,22	n.d	n.d	n.d	1.064,38

### QUANTIDADE TOTAL (mCi) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2016

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	64	214	330	80	272	444	220	326	263	207	151	194	2.765
NaI	17	46	70	18	45	25	63	92	95	72	62	65	670
FDG	10	1.550	2.050	400	1.160	2.070	1.440	0	0	0	0	0	8.680
	91	1.810	2.450	498	1.477	2.539	1.723	418	358	279	213	259	12.115

### VALOR TOTAL (R\$1.000) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2016

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	8,115	26,754	41,419	10,07	34,039	55,644	27,736	40,753	32,921	26,13	18,82	24,29	345,704
NaI	1,289	3,641	5,533	1,461	3,702	1,997	5,097	7,048	7,531	5,777	4,958	5,140	53,180
FDG	0,834	129,39	171,12	33,39	96,833	172,79	120,21	-	-	-	-	-	724,580
	10,2	159,786	218,1	44,92	134,6	230,44	153,0	47,80	40,452	31,91	23,8	29,43	1.124,46

**QUANTIDADE TOTAL (mCi) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2017**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	144	155	278	239	372	92	0	73	27	105	152	95	1.732
NaI	22	64	77	61	101	106	2	11	15	33	23	12	527
FDG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	166	219	355	300	473	198	2	84	42	138	175	107	2.259

**VALOR TOTAL (R\$1.000) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2017**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	17,93	19,337	33,042	28,15	46,599	11,565	-	9,109	3,416	12,05	18,62	10,67	210,507
NaI	1,715	5,169	6,237	4,919	8,063	8,389	0,210	0,924	1,245	2,706	1,848	0,996	42,425
FDG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19,6	24,506	39,27	33,07	54,66	19,954	0,210	10,03	4,661	14,75	20,5	11,67	252,933

**QUANTIDADE TOTAL (mCi) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2018**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	212	165	304	288	81	133	190	21	51	15	269	209	1.938
NaI	31	40	52	33	24	32	27	2	13	0	53	34	341
FDG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	243	205	356	321	105	165	217	23	64	15	322	243	2.279

**VALOR TOTAL (R\$1.000) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2018**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	26,52	20,55	35,98	30,85	10,22	16,68	21,31	1,434	6,298	1,854	33,90	25,99	231,622
NaI	2,596	3,276	4,272	2,773	2,026	2,701	2,275	0,177	1,068	-	4,177	2,878	28,223
FDG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	29,1	23,83	40,25	33,62	12,25	19,38	23,59	1,611	7,366	1,854	38,0	28,86	259,846

**QUANTIDADE TOTAL (mCi) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2019**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	265	185	31	202	60	43	281	81	35	131	18	44	1.422
NaI	38	30	16	63	30	10	70	87	92	28	7	8	479
FDG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	303	215	47	265	90	53	351	168	127	159	25	52	1.901

**VALOR TOTAL (R\$1.000) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2019**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	33,11	23,10	3,867	25,19	7,480	5,339	35,18	10,07	4,347	16,42	2,238	5,498	171,86
NaI	3,066	2,239	1,284	2,457	0,819	0,819	3,276	3,951	1,743	2,634	0,570	0,570	23,583
FDG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.253	25,43	5,151	27,64	8,299	6,158	38,45	14,02	6,090	19,05	2,81	6,07	195,44

**QUANTIDADE TOTAL (mCi) DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS DO IEN - 2020**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MIBG	0	39	71	15	129	87	35	17	4	12	46	6	461
NaI	1	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
FDG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	48	76	15	129	87	35	17	4	12	46	6	471

## ARMAZENAMENTO E GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

Esta atividade tem o objetivo de propiciar o confinamento seguro dos rejeitos radioativos gerados pelas diversas aplicações das radiações ionizantes na saúde, indústria, agricultura e meio ambiente, em todo o território nacional, a fim de minimizar os riscos de contaminação do meio ambiente e da população.

Esses rejeitos são fontes radioativas sem mais utilidade, resultantes de atividades de pesquisa e das diversas aplicações da energia nuclear, tais como detectores de fumaça, para-raios e fontes radioativas de aplicações na medicina e indústria. Entre 2015 e 2019, foram armazenados 3.303 itens nos depósitos de rejeitos do IEN, conforme tabela.

O IEN possui dois depósitos de rejeitos radioativos, ambos ainda em fase de licenciamento pela autoridade reguladora brasileira.

Em abril de 2017, foi realizado no IEN o "I Workshop sobre Gerenciamento de Rejeitos", com a finalidade de fortalecer a rede de cooperação interna da CNEN nesta área e discutir a participação de cada

unidade no projeto do Repositório de Rejeitos de Baixo e Médio Níveis de Radiação – RBMN.

No início de 2018, foi constituído um grupo de trabalho encarregado da implementação de ações de adequação e melhoria das condições de controle e armazenamento de resíduos químicos e rejeitos radioativos. Essas ações têm permitido melhorar o acondicionamento provisório dos rejeitos gerados nos laboratórios, a partir da identificação, segregação e armazenagem adequada de rejeitos e resíduos gerados internamente no desenvolvimento das atividades de P&D do Instituto.

Em 2019, visando a melhoria dos controles de material de salva-guarda existentes no IEN, o área de Rejeitos converteu uma antiga instalação em Depósito de Material sob Salvaguarda, atendendo assim uma exigência de órgãos de fiscalização.

Também em 2019, numa parceria com o Laboratório de Nanofarmácia e Síntese de Novos Radiofármacos, o Laboratório de Tratamento de Rejeitos iniciou pesquisa visando desenvolver inovadora técnica para o tratamento de rejeitos líquidos utilizando nanopartículas de grafeno.

## ARMAZENAMENTO E GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

	2015	2016	2017	2018	2019	TOTAL
FONTE SELADA	98	33	35	35	15	216
DETECTOR DE FUMAÇA	829	1.162	810	810	0	3.054
PARA-RAIOS	14	10	1	7	1	33
<b>TOTAL</b>	<b>941</b>	<b>1.205</b>	<b>289</b>	<b>852</b>	<b>16</b>	<b>3.303</b>

## REALIZAÇÃO DE LEVANTAMENTOS RADIOMÉTRICOS

O IEN/CNEN realiza levantamentos radiométricos de instalações radioativas internas e externas, sob demanda. O serviço inclui medidas de radiação de campo, verificação de contaminação e coleta e análise de ar e água. O benefício é evitar a propagação de material radioativo e proteger a saúde dos trabalhadores das instalações. Como produto final é emitido um relatório de avaliação das condições ocupacionais da instalação radioativa.



Levantamento radiométrico durante operação do ciclotron do IEN/CNEN.

## ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO POR TESTE DE ESFREGAÇO

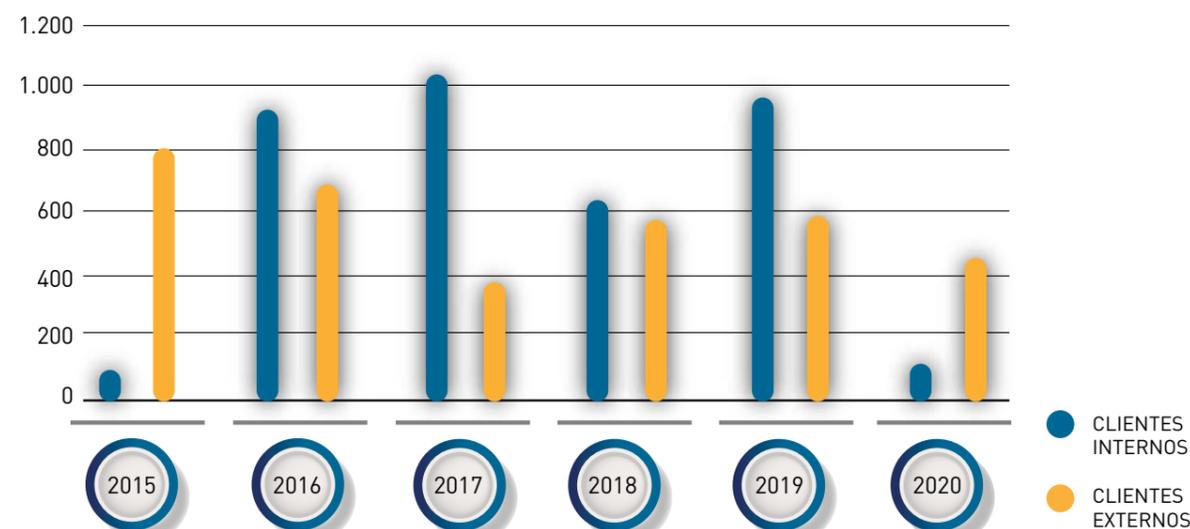
No Laboratório de Radiometria e Espectrometria (Lare), da Divisão de Segurança e Proteção Radiológica (DISPR) são realizadas contagens de amostras por esfregaço em sistemas especializados para verificação e análise de contaminação ou vazamento em fontes. São dois tipos de demandas atendidas:

- Análise de contaminação em testes de esfregaços (*wipe test*) enviados por empresas detentoras de fontes radioativas, em atenção às recomendações da CNEN quanto à segurança das blindagens dessas fontes (teste de fuga), com a emissão dos respectivos relatórios técnicos;
- Análise de contaminação para atender às demandas internas da proteção radiológica ocupacional do IEN/CNEN, relacionadas aos controles das instalações sujeitas à contaminação radioativa.



Técnico realizando contagens de esfregaços.

## ANÁLISES REALIZADAS NO LARE



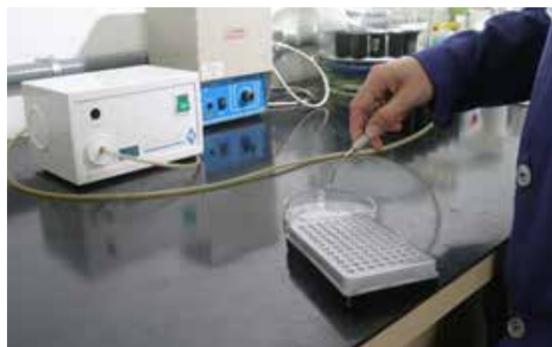
## OUTROS PRODUTOS E SERVIÇOS OFERECIDOS EM MENOR ESCALA PELO IEN/CNEN (SOB DEMANDA)

### • MEDIDAS DE GÁS RADÔNIO

Realização de medidas de radônio com a utilização de dosímetros específicos, em instalações minero-industriais sujeitas à ocorrência de radônio no ar.

### • DOSIMETRIA TERMOLUMINESCENTE

Realização de medidas de radiação gama pela análise de taxa de kerma no ar com a utilização de dosímetros termoluminescentes (TLD), para verificação de incremento de dose externa, em instalações radiativas ou instalações minero-industriais que processam minérios contendo urânio e/ou tório associados..



Leitura de cristais termoluminescentes.

### • PRODUÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA MONITORAÇÃO DE RADIAÇÃO, CONTAMINAÇÃO SUPERFICIAL E DOSIMETRIA

Ver capítulo "Atividades de Pesquisa", item Instrumentação Nuclear.

### • ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS COM NÊUTRONS

Radiografia e tomografia para inspeção de objetos estáticos e dinâmicos.

### • ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS POR RADIOTRAÇADORES NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS

Ver capítulo "Atividades de Pesquisa", item Aplicações de radiotraçadores na indústria e meio ambiente.

### • ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS DE MATERIAIS COM TÉCNICAS ULTRASSÔNICAS

Para verificação de variações de tensões em dutos e tubulações.

### • ESPECTROMETRIA DE NÊUTRONS

Para controle de qualidade nuclear de materiais por meio de determinações de seções de choque para nêutrons.

### • ESPECTROMETRIA GAMA

Técnica direta de análise de radionuclídeos para obtenção da concentração de atividade em diferentes materiais.

### • EQUIPAMENTOS PATENTEADOS PARA PRODUÇÃO PELA INDÚSTRIA NACIONAL

Desenvolvimento e concepção de monitores de radiação ionizante Geiger-Müller e sondas para medição de campo, de contaminação superficial (sondas panqueca) e cintilográficas, todos com tecnologia desenvolvida pelo IEN/CNEN.

### • SIMULADORES 3D (REALIDADE VIRTUAL) PARA TREINAMENTO EM SEGURANÇA FÍSICA

O Laboratório de Realidade Virtual do IEN tem competência para construir ambientes virtuais customizados, visando treinamento de segurança física e divulgação científica, para atender demandas do setor nuclear e correlatos.

## FORMAÇÃO ESPECIALIZADA E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E INSTITUCIONAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES

DIVULGAÇÃO INSTITUCIONAL

ATIVIDADES DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES

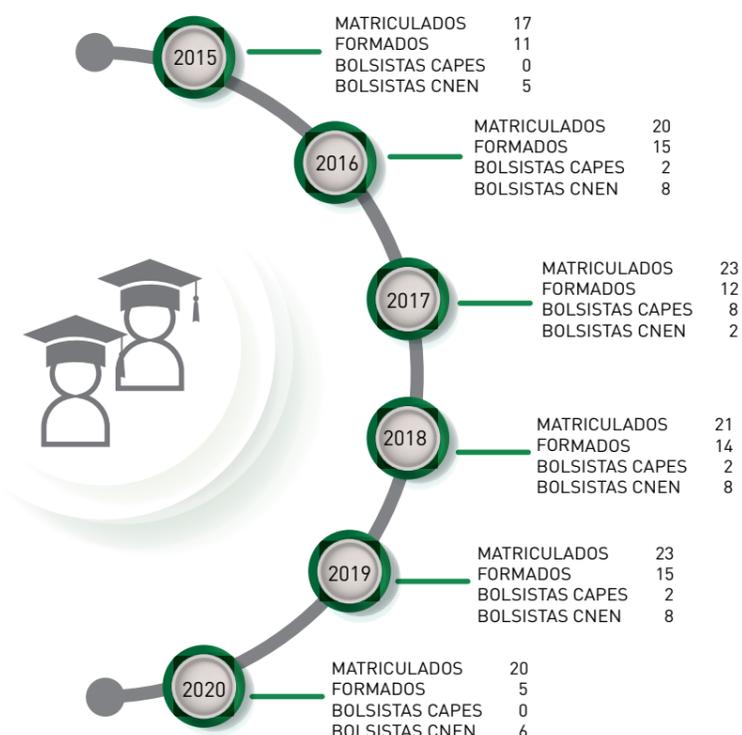
O Programa de Pós-Graduação do Instituto de Engenharia Nuclear (PPG-IEN) é um programa *Stricto Sensu* e tem por objetivo a formação de pessoal em nível de pós-graduação, qualificados técnica e cientificamente, por meio de atividades didáticas e de pesquisa avançada na área nuclear, para o exercício de atividades profissionais de docência e de pesquisa.

O PPG-IEN oferece o curso de Mestrado Acadêmico em Ciência e Tecnologia Nucleares desde o ano de 2010, quando a sua primeira turma foi implementada. O curso tem por finalidade aperfeiçoar o conhecimento adquirido nos cursos de graduação, seguindo linhas de pesquisa científica e tecnológica distribuídas em específicas Áreas de Concentração que estão em conformidade com as diretrizes de ensino e pesquisa do Instituto de Engenharia Nuclear e da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

## COLABORAÇÃO COM INSTITUIÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS

- Cooperação com as seguintes instituições nacionais:
  - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em parceria com vários programas e departamentos, com servidores do IEN atuando como professores, orientadores e/ou participantes de projetos;
  - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);
  - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
  - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN);
  - Universidade Federal Fluminense (UFF);
  - Fundação Oswaldo Cruz;
  - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ);
  - Universidade Estadual da Zona Oeste (UEZO);
  - Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ);
  - Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República;
  - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes);

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IEN ALUNOS DE MESTRADO ENTRE 2015 E 2020 (Matriculados, formados e bolsas)



- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);
- Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj);
- Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe);
- Universidade Castelo Branco;
- Empresa ATÖMUM Soluções Tecnológicas Ltda;
- Participação em Projeto de Desenvolvimento do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), ou em projetos de fomento relacionados ao RMB;
- Participação como membro do Comitê Gestor do Empreendimento RMB (até 2016);
- Associação Brasileira de Radiofarmácia (Asbra);
- Conselho Federal de Farmácia (CFF);
- Conselho Regional de Farmácia do Estado do Rio de Janeiro (CRF-RJ);
- Sociedade Brasileira de Farmácia Hospitalar (SBRAFH), na coordenação da Comissão Assessora de Radiofarmácia;
- Fórum Nacional de Gestores de Inovação e Transferência de Tecnologia (Fortec), como membro efetivo da Comissão de Operacionalização das relações NIT-Empresa;
- Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ (HUCCF, UFRJ), para obtenção de dados de imagens e pesquisa conjunta;
- Participação em projetos fomentados pela Fundação Ary Frauzino para Pesquisa e Controle do Câncer;
- Participação no INCT de Reatores Nucleares Inovadores, como membro do Comitê de Gestão, vicecoordenação e coordenação da Linha 4;

- Cooperação com instituições internacionais:
  - Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA);
  - Participação em projetos fomentados pela AIEA: "CRP: Evaluating the Impacts of Ocean Acidification on Seafood - A Global Approach (K41018)"; "Supporting a global acidification observing network towards increased involvement of developing states"; "Métodos de certificação de métodos de medidas de vazão e técnicas de calibração de medidores de vazão da indústria de óleo e gás por técnicas de radiotraçadores";

- Lancaster University, Inglaterra, em pós-doutoramento e coordenando Projeto de Pesquisa;
- Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (Foncyt), Argentina, exercendo atividade de consultoria;
- Brasil no Grupo Técnico de Trabalho sobre Dessalinização Nuclear da AIEA (representação);
- Anti-Câncer Agents in Medicinal Chemistry (ACA MED CHEM), Estados Unidos;
- Federation Internationale Pharmaceutique (FIP), França;
- Contrast Media & Molecular Imaging (Hindawi), CMMI, Estados Unidos;
- Participação em projeto fomentado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura;
- Participação em projeto fomentado pela International Centre For Theoretical Physics, como coordenador (até 2017);
- Colaboração com a Agência Brasileira Argentina de Controle e Contabilidade de Materiais Nucleares (Abacc), na inspeção de salvaguardas.

## DIVULGAÇÃO INSTITUCIONAL

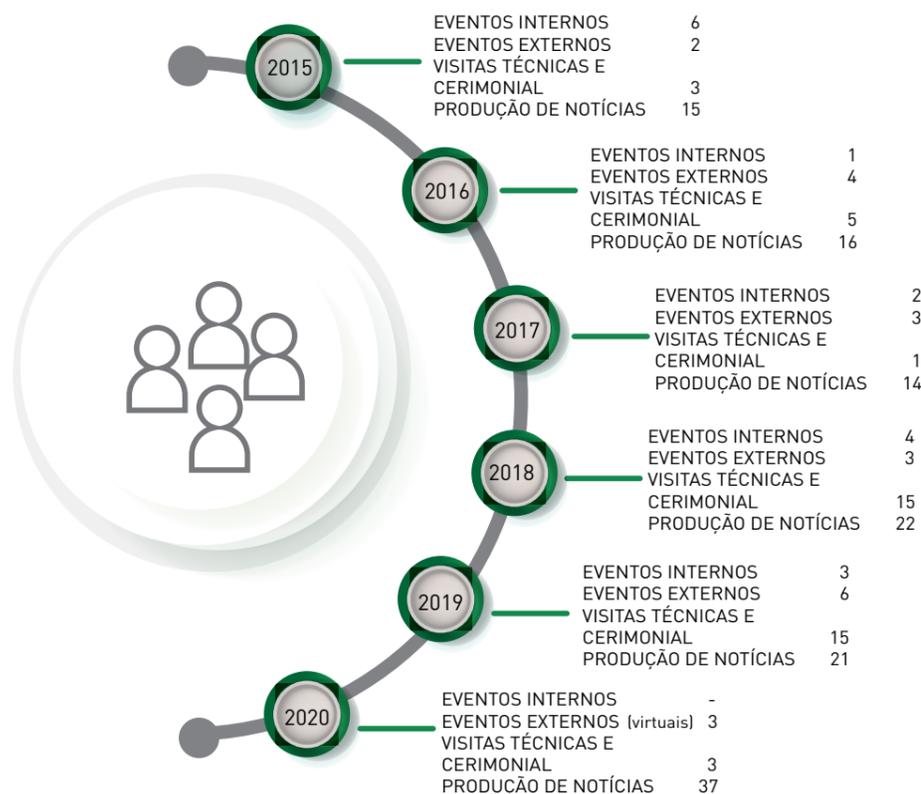
Ligado diretamente à Diretoria da instituição, o Setor de Comunicação (Setcos) é a área responsável por elaborar e implementar as estratégias de divulgação e de comunicação social do IEN. Tem como objetivo principal desenvolver a cultura do diálogo com seus públicos interno e externo, além de promover e reforçar a identidade e a imagem positiva da instituição entre seus parceiros e, em termos mais amplos, na sociedade.

Entre as ações sob responsabilidade do Setcos, destacam-se: a interação com veículos de

comunicação; a projeção da imagem do instituto a partir do planejamento e participação em eventos de divulgação do setor nuclear; o planejamento e a realização de eventos internos que buscam integrar toda a força de trabalho; o fomento da interação com instituições governamentais, científicas e de ensino a partir do programa ininterrupto de visitas às instalações do instituto; o planejamento e a execução de atividades de cerimonial em atendimento às demandas institucionais; o estabelecimento de parcerias com outros institutos e entidades do setor nuclear e da própria Cidade Universitária da UFRJ, onde o IEN está localizado, e a gestão de mídias sociais.

Entre os anos de 2015 e 2020, são esses os resultados alcançados:

## AÇÕES DE DIVULGAÇÃO E DE COMUNICAÇÃO DO IEN



Durante o ano de 2020, houve incremento da presença do IEN nas redes sociais com a criação do perfil @ien.cnen no Instagram, no mês de maio, por ocasião do aniversário de 58 anos do Instituto, e aumento do número de seguidores e curtidas na página @InstitutoDeEngenhariaNuclear do Facebook.

FACEBOOK	TOTAL DE SEGUIDORES
JANEIRO	1.824
FEVEVEREIRO	1.822
MARÇO	1.842
ABRIL	1.870
MAIO	1.870
JUNHO	1.899
JULHO	1.967
AGOSTO	1.956
SETEMBRO	1.977
OUTUBRO	2.003
NOVEMBRO	2.013
DEZEMBRO	2.040

INSTAGRAM	TOTAL DE SEGUIDORES
MAIO	133
JUNHO	229
JULHO	300
AGOSTO	390
SETEMBRO	500
OUTUBRO	572
NOVEMBRO	657
DEZEMBRO	690

Destaque para a visita do secretário-executivo do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Leônidas de Araújo Medeiros Júnior, que conheceu as instalações do IEN em novembro de 2020. Na ocasião, Medeiros Júnior demonstrou interesse pelas atividades desenvolvidas pelo Instituto, em especial pelo projeto de adequação da planta de produção de radiofármacos às exigências dos órgãos de licenciamento e sua perspectiva de incluir a fabricação de novos radioisótopos que ainda não são produzidos no Brasil. O roteiro incluiu, além do Cíclotron CV-28, onde são produzidos os radiofármacos, uma visita ao Reator de Pesquisa Argonauta.



## ATIVIDADES DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

No período 2105/2019, o IEN/CNEN desenvolveu conteúdo e disponibilizou equipes e materiais de exposição e divulgação para os seguintes eventos externos:

2015

- INAC (São Paulo, 2015)

2016

- SBPC Jovem (Porto Seguro, julho de 2016);
- Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (Observatório Nacional, outubro de 2016).

2017

- Turismo Cultural no Bairro Imperial de São Cristóvão (Observatório Nacional, Rio de Janeiro, 20 e 21 de maio de 2017);
- SBPC Jovem (Belo Horizonte, 16 a 22 de julho de 2017);
- Rede RUTE, "Realidade virtual e aplicação das radiações ionizantes na área da saúde" (20 de setembro de 2017);
- Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (Observatório Nacional, outubro de 2017);
- INAC (Belo Horizonte, 22 a 27 de outubro de 2017);
- WNU Radiation Technologies School (IPEN/ CNEN, São Paulo, 20 de outubro de 2017).

2018

- SBPC (Maceió);
- Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (Observatório Nacional, outubro de 2018).

2019

- SBPC (Campo Grande - MS);
- Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (Observatório Nacional, outubro de 2019).



SPBC Jovem 2017



Goiânia Breast Cancer Symposium



Observatório Nacional

## PROGRAMAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA/ TECNOLÓGICA E CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA/TECNOLÓGICA

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL

ATIVIDADES DE CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO

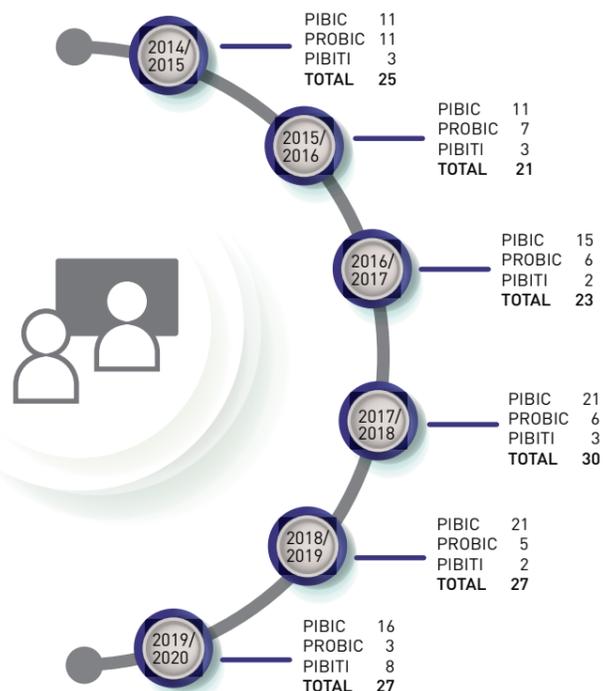
## PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA/ TECNOLÓGICA

Os Programas Institucionais de Bolsas de Iniciação Científica e de Iniciação Tecnológica (PIBIC e PIBITI) foram criados pelo CNPq com o objetivo de conceder quotas de bolsas de iniciação científica e tecnológica para estudantes de graduação. Em 2003, a CNEN criou o Programa de Bolsas de Iniciação Científica (PROBIC) e passou a conceder quotas próprias de bolsas de iniciação científica.

São objetivos dos programas de Iniciação Científica:

- Proporcionar uma maior articulação entre a graduação e a pós-graduação;
- Despertar vocação científica e tecnológica entre estudantes de graduação;
- Contribuir para a formação de recursos humanos para a pesquisa na área nuclear e correlatas no Brasil;
- Aproximar pesquisadores e alunos de graduação nas atividades científicas e tecnológicas;
- Contribuir para a redução do tempo médio de titulação de mestres e doutores;
- Proporcionar ao bolsista, orientado por pesquisador qualificado, a aprendizagem de técnicas e métodos de pesquisa, bem como estimular o desenvolvimento do pensar cientificamente e da criatividade, decorrentes das condições criadas pelo confronto direto com os problemas de pesquisa.

## QUADRO DE BOLSAS PIBIC/PROBIC/PIBITI



## PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL

O Programa de Capacitação Institucional (PCI) tem o objetivo de viabilizar a execução de projetos científicos e tecnológicos de interesse do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC), por meio de bolsas destinadas à formação e capacitação de recursos humanos e à agregação de especialistas que contribuam para a execução de projetos de pesquisa ou de desenvolvimento tecnológico.

Abaixo, o quadro de bolsas PCI recebidas pelo IEN/ CNEN no período 2105/2019.

ANO	TOTAL
2015	13
2016	10
2017	13
2018	10
2019	5
2020	4

## ATIVIDADES DE CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO

- Participação na coordenação do Workshop Nacional de Marco Lógico, por meio do programa de cooperação técnica da CGAI/ CNEN com a AIEA, realizado no período de 20 a 24 de agosto de 2018.

- Participação na coordenação do curso *Radiation Protection System at Radiation & Nuclear Facilities*, promovido pelo programa de cooperação técnica da CGRC/CNEN com a IAEA no período de 08 a 12 de abril de 2019.

- Apoio ao curso *First Coordination Meeting of the Project RLA1016 - Certifying Flow Measurement Methods and Calibration Techniques of Flow Meters Used in the Oil and Gas Industries by Radiotracers*, em cooperação técnica do IEN/CNEN com a IAEA, realizado no período de 20 a 31 de maio de 2019;

- Apoio ao curso de graduação de Física Médica da UFRJ, com aulas e visitas técnicas. Em 2020 o IEN ministrou um curso online constando de quatro módulos: Proteção Radiológica, Instrumentação Nuclear, Reator de pesquisa Argonauta, Produção de Radiofármacos.





## AÇÕES DE MELHORIA DE GESTÃO E INFRAESTRUTURA FÍSICA

EXECUÇÃO ORÇAMENTÁRIA

O IEN/CNEN possui uma diversificada infraestrutura de suporte à pesquisa e desenvolvimento de tecnologia nuclear e produção de radiofármacos, resultante de cinco décadas de investimentos.

Entretanto, considerando-se a evasão de mão de obra observada nos últimos anos, sem a correspondente recomposição da força de trabalho, parte dessas instalações ficou subutilizada. Além disso, o quadro de restrições orçamentárias durante o período comprometeu as atividades associadas à manutenção dessa infraestrutura.

Diante disso, foi identificada a necessidade de priorizar iniciativas que pudessem assegurar a eficácia da destinação das instalações, envolvendo o remanejamento de pessoal e laboratórios e a otimização da ocupação dos espaços de trabalho. Entre as iniciativas empreendidas entre 2015 e 2018, destacam-se:

- O remanejamento e adequação do espaço ocupado pelo Serviço de Vigilância em Saúde;
- A adequação das instalações do prédio do Auditório;
- A criação de área dedicada a atividades de capacitação;
- A adequação das instalações do laboratório de tratamento de rejeitos;
- A unificação das três oficinas mecânicas existentes no IEN/CNEN, visando otimizar a mão de obra remanescente e reduzir os custos com insumos, além de permitir a disponibilização de máquinas para outras unidades da CNEN;
- A criação de espaço de convivência para os terceirizados da área de serviços gerais;
- A melhoria e modernização das instalações do Reator Argonauta;
- A unificação de dois almoxarifados;
- E a otimização de espaços em outras instalações e laboratórios do Instituto, a partir da priorização de ações voltadas ao desfazimento de material e de equipamentos em desuso.

Durante o período também foi priorizada a adequação das instalações às normas de segurança da CNEN, com destaque para as seguintes iniciativas:

- Criação do setor responsável pelas atividades de planejamento e execução das ações em proteção física do IEN/CNEN, vinculado à Divisão de Segurança e Proteção Radiológica;
- Atualização do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) do IEN/CNEN, com a reestruturação do documento base e implementação das fases de avaliação e controle;
- Projeto Otimização da Proteção Radiológica Ocupacional no Depósito de Rejeitos e Laboratórios de Pesquisa do IEN/CNEN (leia mais no capítulo “Atividades de Pesquisa”, item “Proteção Radiológica”);
- Implantação da Central de Monitoramento Eletrônico e melhoria das instalações dos vigilantes, com a construção de novas guaritas e reforma das existentes;
- Melhoria do sistema de monitoramento do Depósito de Rejeitos, a partir da instalação de novas câmeras e reposicionamento da unidade de gravação;
- Realização de ciclos de palestras e treinamento em radioproteção, segurança e saúde do trabalhador, envolvendo as equipes do plano de emergência, brigada de incêndio e ambientação de segurança para terceirizados, entre outros.

Em 2020, diante do desafio da pandemia pelo novo coronavírus e da necessidade de manutenção das atividades presenciais essenciais, e com base no Plano de Retomada das Atividades Presenciais da CNEN, foram tomadas uma série de providências com vistas à manutenção da operacionalidade institucional, com o máximo de segurança sanitária para a força de trabalho. Destacam-se:

- Constituição de um grupo de trabalho para a internalização dos mecanismos preventivos previstos no Plano de Retomada da CNEN e os difundidos pelas autoridades sanitárias;
- Sanitização dos ambientes e disponibilização de meios para higienização;
- Divulgação sistemática de orientações sobre a prevenção da contaminação no ambiente ocupacional;

- Restrição de acessos não essenciais através de controle sistematizado, sob a responsabilidade das chefias imediatas;
- Orientação quanto à necessidade de manter-se o distanciamento social no ambiente de trabalho e à obrigatoriedade do uso de máscaras;
- Criação e treinamento de uma Equipe de Aferição de Temperatura, que, além de tomar a temperatura diária de todos os que acessarem o IEN seguindo procedimento específico, promove a orientação e assistência humanizada, de maneira a evitar que pessoas com sinais e sintomas da Covid-19 acessem o instituto;
- O Setor de Vigilância em Saúde Ocupacional (SVSO) promove a identificação, a investigação e o controle de casos de Covid-19 em integrantes da força de trabalho, de maneira a verificar a possibilidade de contágio ocupacional, promovendo ainda orientação, encaminhamentos para testagem e outras medidas preventivas pertinentes.



Integrantes da equipe de aferição na portaria do IEN.

## EXECUÇÃO ORÇAMENTÁRIA

O orçamento do IEN no período 2015-2020 foi de aproximadamente R\$38.622.000,00, alcançando execução orçamentária e financeira próximas de 100% (de 2015 a 2020, 99,00%, 99,90%, 98,87%, 99,68%, 99,40% e 97,62%, respectivamente), conforme ilustrado na figura a seguir:

## CRÉDITOS ORÇAMENTÁRIOS





## PROJETOS ESTRUTURANTES

IMPLANTAÇÃO DE UM CENTRO DE  
CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO DE RECURSOS  
HUMANOS PARA O SETOR NUCLEAR

DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PARA  
PEQUENOS REATORES NUCLEARES  
MODULARES (SMALL MODULAR  
REACTORS - SMR)

MODERNIZAÇÃO E ADEQUAÇÃO DAS  
INSTALAÇÕES DO REATOR ARGONAUTA  
E LABORATÓRIOS ASSOCIADOS

PARTICIPAÇÃO NO PROJETO DO  
EMPREENHIMENTO RMB

PROJETO DE ADEQUAÇÃO DAS INSTALAÇÕES  
DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS ÀS BOAS  
PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO

MODERNIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO  
LABORATÓRIO DE TERMO-HIDRÁULICA  
EXPERIMENTAL

FORTALECIMENTO DA ÁREA DE USO DE  
RADIOTRAÇADORES NA INDÚSTRIA E  
MEIO AMBIENTE

CENTRO DE DIFUSÃO DO  
CONHECIMENTO NUCLEAR

### IMPLANTAÇÃO DE UM CENTRO DE CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO DE RECURSOS HUMANOS PARA O SETOR NUCLEAR

De modo a aproveitar a peculiar infraestrutura laboratorial do IEN/CNEN (reator, cíclotrons e os seus diversos laboratórios), bem como a competência técnica existente no instituto e nas instituições parceiras, vislumbrou-se o grande potencial que o IEN/CNEN tem para contribuir na capacitação e treinamento de recursos humanos para o setor nuclear. Para este fim, em 2017 foi iniciada a adequação do espaço do prédio do Auditório do IEN/CNEN para abrigar uma infraestrutura de suporte a cursos de curta e média duração - composta por duas salas de aula grandes, sala de treinamento em Realidade Virtual, oito salas de apoio e auditório).

A ideia é oferecer cursos de capacitação e aperfeiçoamento nas áreas nuclear, radiológica e correlatas, para os profissionais que atuam nos diversos órgãos da área nuclear, bem como para os profissionais das áreas de indústria, meio ambiente e saúde (com demanda crescente em função do aumento da atividade de produção de radiofármacos pela iniciativa privada), oferecendo produtos formatados com base nas premissas estabelecidas no Marco Regulatório de C,T&I e alinhados com as diretrizes dispostas na Política Nuclear Brasileira.

A perspectiva, a médio prazo (cinco anos), é transformar o IEN/CNEN em instituição de referência na capacitação de profissionais para a área nuclear, ajudando a garantir a manutenção da competência e a continuidade dos empreendimentos previstos no Programa Nuclear Brasileiro (PNB).

### DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PARA PEQUENOS REATORES NUCLEARES MODULARES (SMALL MODULAR REACTORS - SMR)

Nas próximas décadas a energia nuclear deverá desempenhar papel ainda mais importante na produção de eletricidade. Muitos países estão buscando fontes eficientes, confiáveis, de baixa emissão e localizadas próximas aos consumidores. Nesse contexto, os Reactores modulares pequenos - ou SMRs, como são conhecidos em inglês - são vistos pela indústria de energia nuclear como solução promissora, porque reduzem problemas de segurança de usinas muito maiores, além de exigirem menor investimento de capital e tempo de construção, arranjo compacto, modularidade e possibilidade de operação em diferentes tipos de redes. Assim, os SMR se configuram como uma opção no cumprimento dos novos requisitos do setor.

Em 2016 foram iniciados estudos na CNEN, em colaboração dos seus institutos (IEN/CNEN, IPEN/CNEN, CDTN/CNEN, CRCN-NE/CNEN), Universidades (UFRJ, UFMG, UFPE), AMAZUL e CTMSP, com o objetivo de propor um novo reator modular tendo como ponto de partida o projeto do LABGENE, a fim de otimizá-lo para a cogeração de água e eletricidade: o Projeto DESSAL.

A iniciativa, coordenada pelo IEN/CNEN, envolve o desenvolvimento de tecnologia para reatores que atendam aos requisitos da Geração III e pós-Fukushima, sendo buscadas inovações no projeto do sistema, tanto no processo de dessalinização em si, quanto no acoplamento entre o circuito secundário do reator e a unidade de dessalinização.

Para garantir a continuidade do projeto e ampliar o seu escopo, está sendo providenciada a inserção de nova ação orçamentária específica no âmbito do Plano no Plurianual do Governo Federal, formalizando e caracterizando o tema "Reactores Modulares de Potência" como prioridade institucional.

## MODERNIZAÇÃO E ADEQUAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO REATOR ARGONAUTA E LABORATÓRIOS ASSOCIADOS

Estrategicamente localizado na parte central do IEN/CNEN, o Argonauta foi a primeira instalação do Instituto. Para complementar as atividades desenvolvidas com o Reator, foram criados vários laboratórios associados.

Em 2016 foi aprovado pela FINEP o projeto intitulado "Modernização e adequação das instalações do reator Argonauta IEN/CNEN e laboratórios associados" com orçamento previsto de cerca de R\$ 9 milhões, com o objetivo de aperfeiçoar as atividades já existentes e abrir novas áreas de P&D, tornado as instalações do IEN/CNEN mais adequadas para os pesquisadores e mais atrativas para as demais instituições de ensino, pesquisa e outras do setor produtivo. Para garantir a expansão de sua utilização, o projeto prevê o aumento da participação de instituições parceiras nas atividades desenvolvidas no Instituto, a partir da criação de uma rede de usuários focada em P&D e ensino, envolvendo pesquisadores, estudantes e profissionais de várias instituições.

Em novembro de 2018, foi realizado o primeiro aporte de recursos, de cerca de R\$ 1,7 milhão. Em 2019 houve a liberação de novo aporte no valor de R\$ 3,3 milhões, totalizando até o momento R\$ 5 milhões.

Para o IEN/CNEN, uma maior utilização de seus laboratórios, instalações e equipamentos evidencia que suas atividades de pesquisa e desenvolvimento agregam valor tecnológico e socioeconômico tanto na capacitação de pessoas como na obtenção de novos conhecimentos tecnológicos.

Além do Reator Argonauta, diversos outros laboratórios do IEN/CNEN participam do projeto, por meio de integrações de linhas de pesquisa associadas:

- Laboratório de Desenvolvimento de Instrumentação Nuclear;
- Laboratório de Interfaces Humano-Sistema;
- Laboratório de Usabilidade e Confiabilidade Humano;
- Laboratório de Inteligência Artificial Aplicada;
- Laboratório de Realidade Virtual;
- Laboratório de Radiotraçadores;
- Laboratório de Ultrassom;

- Laboratório de Termo-Hidráulica Experimental;
- Programa de Pós-Graduação do IEN
- Setor de Proteção Radiológica do IEN/CNEN.

Paralelamente à modernização dos laboratórios associados ao reator Argonauta, estão sendo desenvolvidas duas linhas de ação alinhadas com o projeto contemplado com recursos de fomento da FINEP.

Foram iniciados estudos e estabelecida parceria com a INB para o desenvolvimento do projeto de uma unidade subcrítica a ser instalada no IEN/CNEN para dar suporte a pesquisas e ensino com maior segurança e versatilidade. Esta unidade tem diversas aplicações científicas, dentre as quais estão a obtenção de parâmetros e constantes de reatores com maior confiabilidade e segurança, atividades instrutivas para atender aos cursos de graduação e pós-graduação das instituições brasileiras, e a formação de mão de obra especializada para as usinas nucleares incluindo os cursos de formação de operadores de reatores. Já foram projetados os componentes do conjunto e definidas as especificações do combustível e suas configurações.

Ademais, está em curso uma análise neutrônica dos possíveis arranjos avaliando o grau de segurança e viabilidade de operação. Devido à crescente demanda de sua utilização em atividades de P&D e na formação de mão de obra especializada, impulsionadas pela retomada do Programa Nuclear Brasileiro, identificou-se a fundamental necessidade do incremento do fluxo neutrônico, assim como, o aumento da confiabilidade e segurança. Em função disso, a segunda linha de ação associada ao projeto de modernização das instalações do reator envolve a realização de estudos que visam à extensão de sua vida útil e o aumento de sua potência do reator (fluxo de nêutrons), a partir da substituição do atual combustível de U3O8, original de 1965, por uma nova carga construída com avançada base tecnológica, tal como o U3Si2, que apresenta várias vantagens, principalmente maior densidade de urânio.

Nesses estudos foi verificada a performance de um novo combustível, buscando otimizar as especificações do material a ser empregado e estabelecer uma nova configuração para o núcleo que seja a mais próxima possível da atual, e assim manter as características de segurança inerente, estabelecidas no projeto original de *Argonne National Laboratory*.

## PARTICIPAÇÃO NO PROJETO DO EMPREENDIMENTO RMB

O IEN/CNEN vem participando, desde o início, do projeto dos sistemas de instrumentação e controle do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), empreendimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) que será construído em Iperó, no interior de São Paulo, e dará autonomia ao Brasil na produção de radioisótopos para diversas aplicações.

Foi elaborado o projeto conceitual e avaliado o projeto básico da empresa argentina INVAP. Atualmente o IEN/CNEN participa, em parceria com a Amazônia Azul Tecnologias de Defesa (Amazul), da avaliação do projeto detalhado de todos os subsistemas de instrumentação e controle do RMB que envolvem instrumentação neutrônica, instrumentação de radioproteção, instrumentação de processos, sistemas de controle e supervisão e sistema de sala de controle. Em 2019 foram analisados remotamente mais de 400 documentos.

O projeto detalhado completo está em fase de conclusão, a um custo aproximado de US 100 milhões, e a construção do reator demandará recursos da ordem de US 900 milhões. No IEN/CNEN, participam do projeto do RMB as áreas de Engenharia e Tecnologia de Reatores Nucleares, Engenharia de Sistemas Complexos, Instrumentação Nuclear e Materiais Funcionais e Nucleares (ver, respectivamente, as atividades: Desenvolvimento de Tecnologia para Pequenos Reatores Nucleares Modulares (Small Modular Reactors - Smr), Modernização e Adequação das Instalações do Reator Argonauta e Laboratórios Associados, Participação no Projeto do Empreendimento RMB e Modernização das instalações do Laboratório de Termo-Hidráulica Experimental.

## PROJETO DE ADEQUAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DA PRODUÇÃO DE RADIOFÁRMACOS ÀS BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO

O projeto envolve a instalação, nos Laboratórios de Produção de Radiofármacos e de Controle de Qualidade, de equipamentos comprados com recursos do Fundo Nacional de Saúde - FNS/Ministério da Saúde. Os equipamentos instalados nos anos de 2017 e 2018 são: duas capelas blindadas com fluxo laminar, sistema de monitoramento radiológico ambiental composto por nove sondas instaladas em ambientes controlados e supervisionado das instalações da DIRA e autoclave do tipo *pass-through* instalada entre os laboratórios de processamento e controle de qualidade.



Célula de fluxo laminar blindada e monitores de radiação



Central de controle dos monitores de área e autoclave.



Células de processamento Comecer.

## MODERNIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO LABORATÓRIO DE TERMO-HIDRÁULICA EXPERIMENTAL

Uma melhor compreensão da termo-hidráulica, seus fenômenos básicos e suas aplicações é vital para o projeto e a operação segura e eficiente dos futuros reatores nucleares. Nos últimos 50 anos, o estudo da termo-hidráulica proporcionou um considerável avanço no conhecimento científico-tecnológico acerca de suas aplicações à tecnologia dos reatores. Entretanto, questões relacionadas à segurança e ao licenciamento dos novos projetos de reatores nucleares ainda necessitam de respostas, que só poderão ser obtidas através do desenvolvimento de novas metodologias experimentais. Neste sentido, o Laboratório de Termo-Hidráulica Experimental (LTE) "David Adjuto Botelho" é uma das mais bem equipadas instalações no Rio de Janeiro para o ensino e a pesquisa de qualidade na área de termo-hidráulica experimental. A pesquisa compreende o desenvolvimento de técnicas experimentais avançadas para permitir estudos sobre o escoamento do fluido refrigerante de reatores nucleares de pesquisa e de potência. No LTE realizam-se também aulas práticas para estudantes dos cursos de graduação em engenharia UFRJ. Também os estudantes dos programas de pós-graduação em engenharia nuclear do IEN/CNEN e da COPPE/UFRJ, beneficiam-se de aulas práticas realizadas no LTE. Assegurar a continuidade das atividades que dependem do bom funcionamento das instalações do LTE do IEN/CNEN nos próximos anos, é o principal objetivo da sua modernização. E uma garantia do cumprimento da vocação do laboratório: ensino e pesquisa de alta qualidade.

O projeto de modernização do LTE contribuirá para a consolidação das linhas de pesquisa em andamento, entre as quais podemos destacar: "Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Reatores Nucleares Inovadores (INCTRN) - Linha 7: Termo-hidráulica Experimental", "Estudos Computacionais e Experimentais de Termo-Hidráulica de Reatores Nucleares e Transporte de Radionuclídeos - PENSA RIO 2014", "Equipamentos Multiusuários para Melhoria da Qualidade da Pesquisa e das Publicações Científicas da CNEN - PROINFRA - 2014", "Circuitos de Circulação Natural para Segurança Passiva de Sistemas Nucleares Avançados - Apoio às Instituições de Ensino e Pesquisa Sediadas no Estado do Rio de

Janeiro - 2015", "Manutenção de Equipamentos de Termo-Hidráulica de Reatores Nucleares e de Radioquímica - Apoio à Manutenção de Equipamentos Multiusuários - 2016", "Modernização e Adequação das Instalações do Reator Argonauta - IEN/CNEN e Laboratórios Associados - 2016".

As melhorias que estão sendo propostas nestes projetos deverão possibilitar a obtenção de resultados experimentais e a validação de simulações computacionais com alta qualidade. E a manutenção do funcionamento das instalações do LTE nos próximos anos, será imprescindível para a continuidade das atuais atividades em andamento no laboratório.

## FORTALECIMENTO DA ÁREA DE USO DE RADIOTRAÇADORES NA INDÚSTRIA E MEIO AMBIENTE

Com o apoio da AIEA, por meio do projeto ARCAL RLA2016011, o IEN/CNEN está caminhando para se tornar o primeiro laboratório de uso de radiotraçadores a ter uma técnica certificada internacionalmente. A partir dessa certificação, o Instituto terá condições, por exemplo, de oferecer uma metodologia não invasiva de aferição de vazão de petróleo (e derivados) e gás (no mundo, o ambiente do ciclo do petróleo é a área de maior aplicação da metodologia de radiotraçadores).

A proposta está sendo desenvolvida em parceria com a AIEA, com um orçamento pré-aprovado da ordem de EU 950.000.00, a ser aplicado em instalações e laboratórios do IEN/CNEN. Já estão sendo estabelecidos contatos com companhias nacionais interessadas em futuros trabalhos de aferição de medidores de vazão em dutovias e estão sendo firmadas parcerias com empresas que permitirão o desenvolvimento de novas tecnologias, metodologias e dispositivos para uso em plantas industriais. Essas parcerias resultarão em patentes, na oferta de novos produtos no mercado, como os nanorádiosótopos, e também em metodologias para a marcação de substâncias do ciclo de produção de petróleo, como óleo cru, óleo diesel, gasolina, querosene, nafta etc. O projeto destaca o IEN/CNEN como um grande centro de desenvolvimento e produção de tecnologia na área de radiotraçadores, não só no Brasil, mas em toda a América Latina.

## PLANO DE AÇÃO

- Modernização das instalações do Laboratório de Radiotraçadores;
- Criação do laboratório de produção de nanotraçadores para uso industrial;
- Implementação de ações de divulgação da metodologia no meio empresarial (em caráter contínuo);
- Implementação de parcerias com empresas para a realização de trabalhos em conjunto:

O primeiro acordo, formalizado com a empresa ATOMUM, tem por objetivo desenvolver metodologia para detecção e

localização de pontos de vazamento em permutadores de calor (líquido/gás) do tipo circuito impresso, operando em níveis de baixa, média e alta pressão, com o uso de radiotraçadores de meia-vida curta. Para isso o grupo de radiotraçadores do IEN/CNEN e a equipe técnica da ATOMUM Serviços Tecnológicos tem atuado nas seguintes atividades:

- Desenvolvimento de metodologia para síntese de traçador radioativo gasoso ideal para aplicações na indústria de petróleo e gás natural no ambiente da plataforma;
- Desenvolvimento de um sistema de injeção de traçador radioativo gasoso para uso em instalações e unidades que operam a pressão até 200 bar;
- Desenvolvimento de metodologia empregando traçadores radioativos para identificação de áreas de escoamento preferencial e pontos de recirculação no interior de permutadores de calor do tipo circuito impresso usados na indústria de petróleo.

## CENTRO DE DIFUSÃO DO CONHECIMENTO NUCLEAR

A energia nuclear tem se mostrado uma fonte de energia extremamente importante no mundo atual. Entretanto, suas realizações, mesmo estando presentes no dia a dia das pessoas, muitas vezes passam despercebidas e ainda enfrentam um grande preconceito, oriundo principalmente de desconhecimento, pela mesma sociedade que desfruta de suas contribuições.

Sendo assim, cabe ao Estado e às instituições relacionadas à área nuclear mitigarem o preconceito, por meio de uma ampla disseminação de suas atividades. Daí a importância da promoção do debate junto à sociedade sobre o papel da área nuclear face às suas necessidades de desenvolvimento econômico e social, a partir da criação de espaços que estimulem e promovam o conhecimento e a formação na área nuclear.

O IEN/CNEN propõe a criação do Centro Permanente de Divulgação da Tecnologia Nuclear, que tem como instituição parceira a Casa da Ciência da UFRJ. A iniciativa está sendo viabilizada a partir da preparação de espaço e montagem da exposição "Energia Nuclear", que ocupa uma área de 170m<sup>2</sup> e será instalada no local antes ocupado pelas oficinas do Instituto.

O objetivo é divulgar as aplicações da energia nuclear para o público externo (estudantes do ensino médio e superior, visitantes do IEN/CNEN, comunidade da Ilha do Fundão etc), aumentar o número de visitas ao Instituto e, com isso, sua visibilidade, além de contribuir para uma imagem mais positiva da energia nuclear.

A exposição fará parte de um centro permanente para treinamento e divulgação científica da energia nuclear e suas aplicações. Este centro, além das formas tradicionais de divulgação do conhecimento, contará também com recursos modernos de visualização e interação, baseados em tecnologias de realidade virtual que já vêm sendo desenvolvidas e utilizadas pelo Laboratório de Realidade Virtual do IEN/CNEN, com destaque para as seguintes atividades:

- Desenvolvimento de Vídeos 3D (estereoscópicos), Simuladores 3D e Jogos Computacionais tendo como tema as aplicações pacíficas da energia nuclear;
- Desenvolvimento de Simuladores de Instalações Nucleares, que permitem que os usuários realizem visitas virtuais as estas instalações como se estivessem realmente presentes, sendo informados durante a visita sobre as principais características e funcionalidades da instalação real;
- Criação de uma estrutura móvel (itinerante) de divulgação do conhecimento nuclear, com equipamentos e aplicações interativas, para atuar na formação e capacitação de recursos humanos para o setor, bem como na aceitação pública da energia nuclear pela sociedade.





Imagens de exposição sobre energia nuclear na Casa da Ciência da UFRJ.

**Presidente da República**

Jair Messias Bolsonaro

**Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)**

Marcos Cesar Pontes

**Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)**

Paulo Roberto Pertusi

**Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD/CNEN)**

Madison Coelho de Almeida

**Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) - Gestores em 2020**

**Direção do IEN**

Fábio Staude

**Divisão de Engenharia Nuclear**

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

**Divisão de Radiofármacos**

Julio Cezar Suita

**Divisão de Tecnologia e Inovação**

Cristóvão Araripe Marinho

**Divisão de Ensino**

Antônio Carlos de Abreu Mól

**Divisão de Segurança e Proteção Radiológica**

João Régis dos Santos

**Divisão de Gestão e Infraestrutura**

Rosa Maria Gonçalves Lins

**Serviço do Reator Argonauta**

Francisco José de Oliveira Ferreira

**Serviço de Tecnologia e Engenharia de Reatores**

Maria de Lourdes Moreira

**Serviço de Engenharia de Sistemas Complexos**

Guilherme Dutra Gonzaga Jaime

**Serviço de Tecnologia de Materiais e Química Nuclear**

Maria Isabel Barbosa da Silva

**Serviço de Tecnologia da Inovação e Comunicação**

Marcel Waintraub

**Serviço do Cíclotron**

Mauro Lucio Borges Lemos

**Serviço de Instrumentação**

Marcos Santana Farias

**Serviço de Radiofármacos**

Tanira Giara Mello

**Serviço de Gestão de Pessoas**

Eduardo Heitor Alves de Menezes

**Serviço de Apoio Técnico e Administrativo**

Eraldo Freitas Tavares

**Serviço Financeiro**

Carlos Alberto Silveira Ferreira

**Setor de Comunicação**

Ana Paula Saint'Clair Alexander Andrade

**Setor de Projetos de Engenharia**

Orlando Augusto Vieira Gonçalves

**Setor de Capacitação**

Valéria da Fonseca e Silva Pastura

**Setor de Administração Acadêmica**

José Miguel Filho

**Seção de Serviços Gerais**

Edione do Socorro Vasconcelos de Almeida

**Núcleo de Apoio Administrativo**

Valdeci Maurilio Sobrinho

**Relatório de Atividades IEN 2015/2020**

**Coordenação executiva**

Ana Paula Saint'Clair (SETCOS/IEN)

**Redação**

Chefias dos setores do IEN

**Edição e revisão**

Edison Martins (NIT/IEN)

Valéria Campelo (SETCOS/IEN)

**Fotos**

Arquivos do IEN

**Projeto gráfico**

Grevy Design e Comunicação

