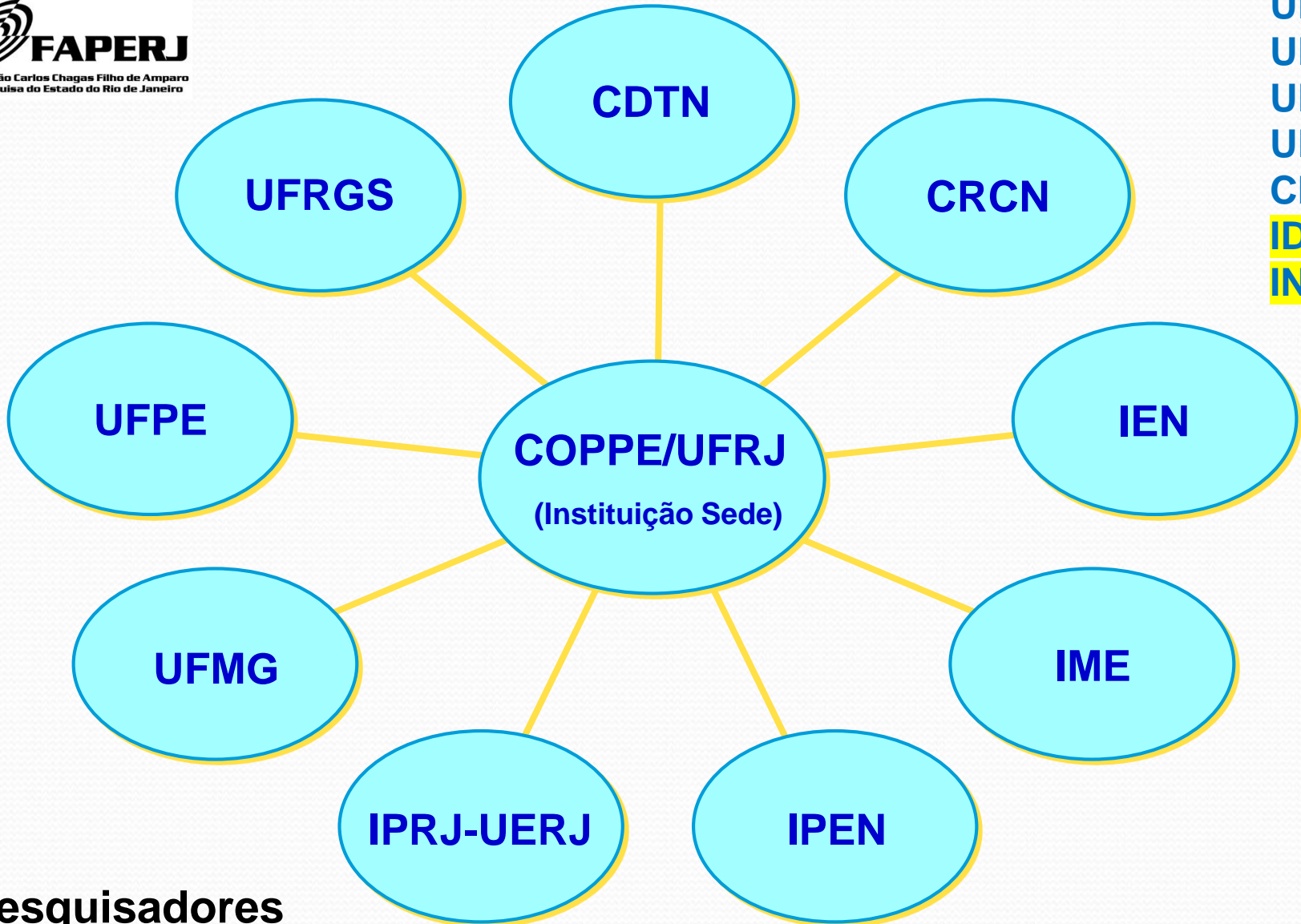




Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

Prof. Fernando Carvalho

**Programa de Engenharia Nuclear
PEN/COPPE/UFRJ**



MISSÃO e VISÃO FUTURA DO INCTRNI

Missão

Pesquisar e formar recursos humanos para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras de reatores nucleares – mais seguras, econômicas e de maior aceitação pública – para o desenvolvimento sustentável do país.

Visão 2014

Ser referência nacional na pesquisa e formação de recursos humanos voltados para o desenvolvimento da tecnologia de reatores nucleares avançados e inovadores.

- 1. Neutrônica Computacional**
- 2. Métodos para cálculo dos parâmetros neutrônicos em reatores avançados**
- 3. Estudo de Sistemas para Transmutação de Rejeitos Altamente Radioativos – Sistemas Nucleares de 4ª Geração e Sistemas Híbridos (ADS)**
- 4. Investigações Teórico-Experimentais de Sistemas de Reatores Inovadores**
- 5. Tecnologia de Reatores Avançados: Fluidodinâmica Computacional, Simuladores de Centrais Nucleares e Termohidráulica Experimental**
- 6. Metodologias, bases de dados e ferramentas de análise dos aspectos humanos da tecnologia nuclear**
- 7. Sistemas Inteligentes para Otimização do Projeto, Operação e Segurança de Reatores Nucleares**
- 8. Realidade Virtual na Área Nuclear**
- 9. Tecnologias para Fabricação de Combustível Nuclear**
- 10. Impacto Ambiental**

- Coordenador Geral: Prof. Fernando Carvalho
- Vice Coordenador: Prof. Paulo Sampaio
- Secretário Geral: Prof. Su Jian

Comitê Gestor

Prof. Antônio Carlos Barroso – IPEN
Prof. Aquilino Senra – COPPE
Prof. Celso Marcelo Lapa – IEN
Prof. Fernando Carvalho da Silva – COPPE
Prof. Paulo Sampaio – IEN
Prof. Su Jian – COPPE

Função:

Aprovação das linhas de pesquisa e acompanhamento das metas

Comitê Executivo

Prof. Antônio Carlos Barroso – IPEN
Prof. Antônio Carlos Marques Alvim – COPPE
Profª. Cláudia Pereira Lima – UFMG
Prof. Carlos Brayner – UFPe
Prof. Fernando Lameiras – CDTN
Prof. Ricardo Barros – UERJ
Prof. Rubens dos Santos – IEN

Função:

Representação junto às instituições participantes

RECURSOS

09/2009 a 08/2014 + 09/2014 a 12/2016 (R\$ 359.035,32)

| Recursos Concedidos | CUSTEIO | CAPITAL | BOLSAS |
|--------------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Período inicial (36m) | R\$ 380.000,00 | R\$ 60.000,00 | R\$ 270.391,47 |
| Continuidade (24m) | R\$ 164.090,88 | R\$ 1.492.323,65 | R\$ 3.143.000,00 |
| Total por rubrica | R\$ 544.090,88 | R\$ 1.552.323,65 | R\$ 3.413.391,47 |
| Montante Recursos | R\$ 5.509.806,00 | | |

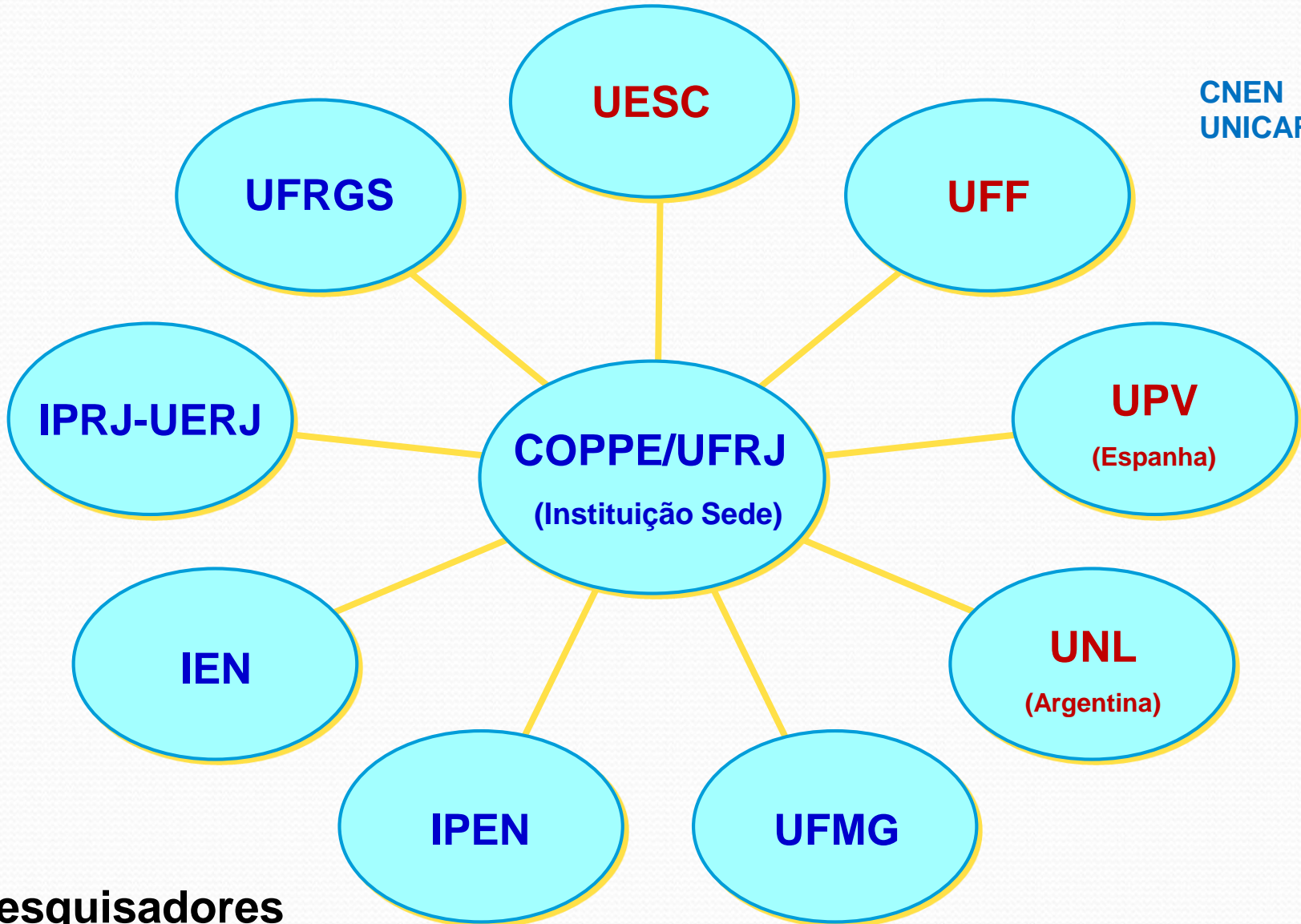
| Fonte/Instituição Patrocinadora | Tipo de Recurso (capital, custeio, bolsa) | Valor aportado |
|---------------------------------|---|-------------------------|
| CNPq | Edital Universal, CSF, Bolsas | R\$ 300.000,00 |
| CAPES | PNPD (COPPE, IEN e UFMG), Pro estratégia, CsF | R\$ 1.500.000,00 |
| FAPEMIG | Custeio e Capital | R\$ 96.000,00 |
| FAPERJ | Custeio e Capital, Cientista do Nosso Estaco(CNE) | R\$ 300.000,00 |
| FAPESP | Custeio e Capital | R\$ 100.000,00 |
| FACEPE | Custeio | R\$ 100.000,00 |
| TOTAL | | R\$ 2.396.000,00 |

| Objetivo Específico | Indicador | Metas | |
|---|----------------------------------|----------|-----------|
| | | Proposto | Alcançado |
| I) Aperfeiçoar e desenvolver novas metodologias de cálculo e de projeto, visando garantir a capacidade nacional para modelar os novos conceitos de sistemas de geração nuclear. | Produtos Tecnológicos* | 7 | 13 |
| II) Desenvolver metodologias, base de dados e ferramentas de análise de aspectos humanos da tecnologia nuclear, especificamente com foco em cultura de segurança, percepção de risco, disseminação de conhecimento e aceitação pública. | Produtos Tecnológicos* | 2 | 7 |
| III) Formar recursos humanos para o setor nuclear em atividades vinculadas aos objetivos específicos I e II. | Iniciação Científica | 45 | 96 |
| | Dissertações de Mestrado | 36 | 157 |
| | Teses de Doutorado | 24 | 74 |
| | Pós-Doc. | 6 | 12 |
| IV) Aumentar a inserção nacional na produção técnico-científica mundial sobre: (a) conceitos de reatores e ciclos avançados e inovadores; (b) tecnologias crosscutting úteis para vários dos novos conceitos de reatores; (c) aspectos humanos da tecnologia nuclear. | Artigos em Periódicos Indexados | 72 | 252 |
| | Artigos em Congressos | 120 | 326 + 81 |
| V) Buscar a excelência na qualidade do ensino de pós-graduação no tema | Nota Média da Avaliação da CAPES | 5 | |

* Patentes, Códigos Computacionais, Instalações Experimentais, Bases de Dados, Correlações Experimentais

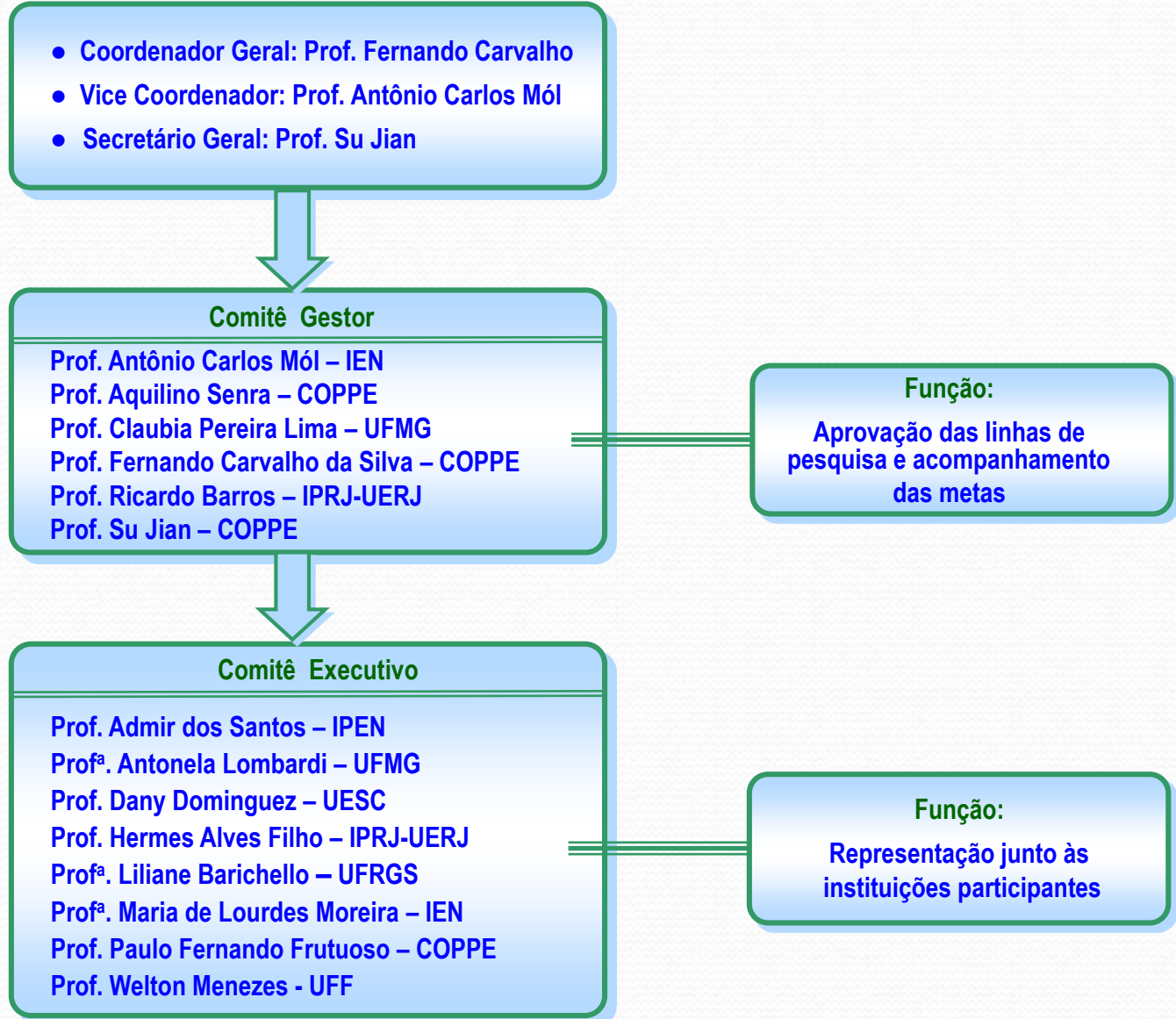
INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

CNEN
UNICARIOCA



52 Pesquisadores

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores



INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | | |
|-----------------------|--|--|
| Nº | DESCRIÇÃO | MISSÃO |
| 1 | Aperfeiçoar e desenvolver novas metodologias de cálculo e de projeto visando garantir a capacidade nacional para modelar os novos conceitos de sistemas de geração nuclear. | Pesquisa |
| 2 | Disseminar conhecimento sobre a tecnologia nuclear e atuar na sua aceitação, criando ambientes digitais atraentes e estimulantes de ensino/aprendizagem, para alunos de diversos níveis de ensino. | Transferência de Conhecimentos para a Sociedade |
| 3 | Formar recursos humanos para o setor nuclear em sinergia com os desenvolvimentos científicos e tecnológicos do INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores. | Formação de Recursos Humanos |
| 4 | Aumentar a internacionalização do INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores junto à organismos como a AIEA e centros de pesquisa com o SCK-CEN da Bélgica (responsável pelo Projeto MYRRHA). | Internacionalização |
| 5 | Buscar a excelência na qualidade do ensino de pós-graduação no tema do INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores. | Formação de Recursos Humanos |
| 6 | Aumentar a inserção nacional na produção técnico-científica mundial sobre: a) Conceitos de reatores e ciclos inovadores; b) Tecnologias transversais úteis para vários dos novos conceitos de reatores; c) Aspectos humanos da tecnologia nuclear. | Pesquisa |
| 7 | Desenvolver metodologias e promover ações de educação, popularização e divulgação científica para diferentes tipos de público | Divulgação científica e popularização da ciência |

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores - METAS

| Nº | DESCRIÇÃO | OBJETIVOS ESPECÍFICOS ASSOCIADOS | PRAZO | MEDIDA DE PROGRESSO |
|----|--|----------------------------------|--------|---------------------|
| 1 | Artigos publicados em periódicos indexados (com JCR). | 1 | 2º ano | 120 |
| | | 5 | 4º ano | 240 |
| | | 6 | 5º ano | 300 |
| 2 | Dissertações de Mestrado. | 3 | 2º ano | 30 |
| | | 6 | 4º ano | 60 |
| | | | 5º ano | 75 |
| 3 | Teses de Doutorado. | 3 | 2º ano | 20 |
| | | 5 | 4º ano | 40 |
| | | | 5º ano | 50 |
| 4 | Supervisão de Pós-Doutorado. | 3 | 2º ano | 5 |
| | | 5 | 4º ano | 10 |
| | | | 5º ano | 12 |
| 5 | Trabalhos publicados em congressos internacionais. | 1 | 2º ano | 100 |
| | | 2 | 4º ano | 200 |
| | | 3 | 5º ano | 250 |
| 6 | Supervisão de alunos de Iniciação Científica. | 3 | 2º ano | 40 |
| | | | 4º ano | 80 |
| | | | 5º ano | 100 |
| 7 | Produtos Tecnológicos (patentes, softwares, instalações experimentais, bases de dados, correlações experimentais). | 1 | 2º ano | 10 |
| | | 6 | 4º ano | 20 |
| | | | 5º ano | 25 |
| 8 | Pesquisadores do INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores em missões internacionais. | 4 | 2º ano | 10 |
| | | | 4º ano | 20 |
| | | | 5º ano | 25 |
| 9 | Pesquisadores estrangeiros em visita ao INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores. | 4 | 2º ano | 10 |
| | | | 4º ano | 20 |
| | | | 5º ano | 25 |

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

Recursos (CNPq)

| Natureza da Despesa | Concedido |
|---------------------|-------------------------|
| Capital | R\$ 1.390.000,00 |
| Custeio | R\$ 1.613.000,00 |
| Bolsas | R\$ 1.281.580,00 |
| Total | R\$ 4.284.580,00 |

R\$ 112.289,32

| Bolsas Disponíveis | Número |
|----------------------|-----------|
| Pós-Doutorado Júnior | 11 |
| Iniciação Científica | 35 |

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|------------------------------------|-------------|
| <i>Antônio Carlos de Abreu Mól</i> | IEN |
| Eugenio Rangel Marins | IEN |
| Paulo Victor Rodrigues de Carvalho | IEN |
| Ana Paula Legey de Siqueira | UNICARIOCA |

Tema Central:

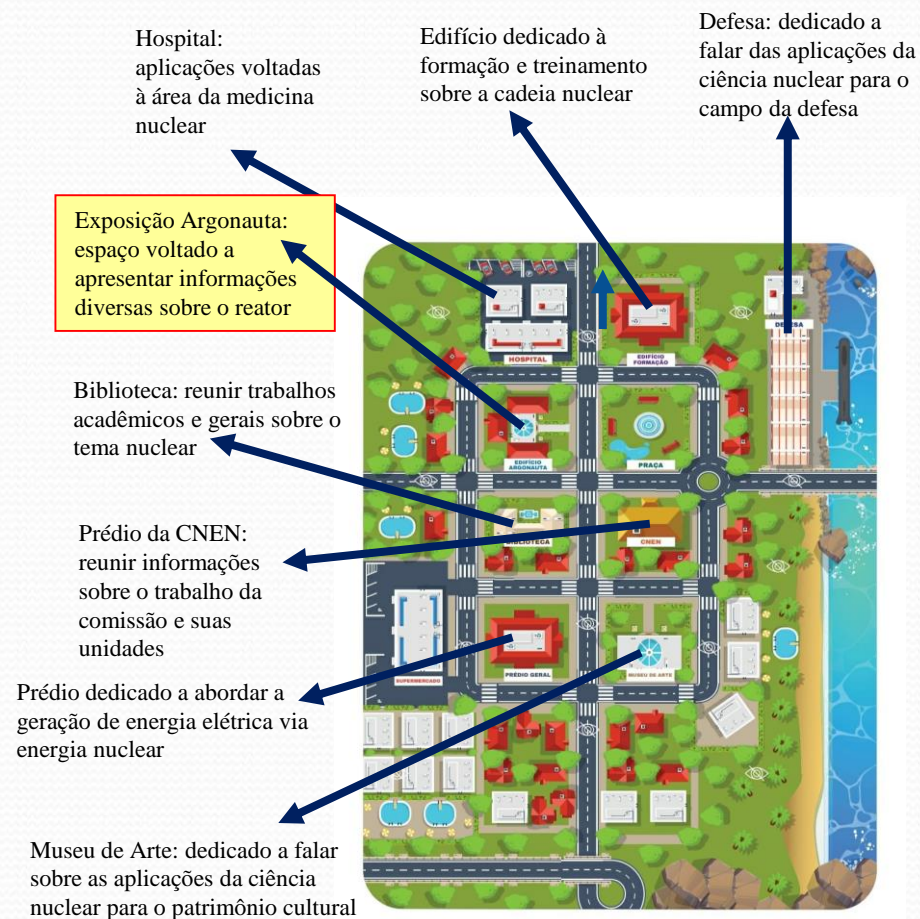
Desenvolvimento de ações de educação, popularização e divulgação científica.

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Promover ações de aproximação e interação da sociedade com a ciência em geral, e com a ciência nuclear em particular, a partir de diferentes recursos digitais, proporcionando conhecimentos e descobertas de forma lúdica e inovadora.

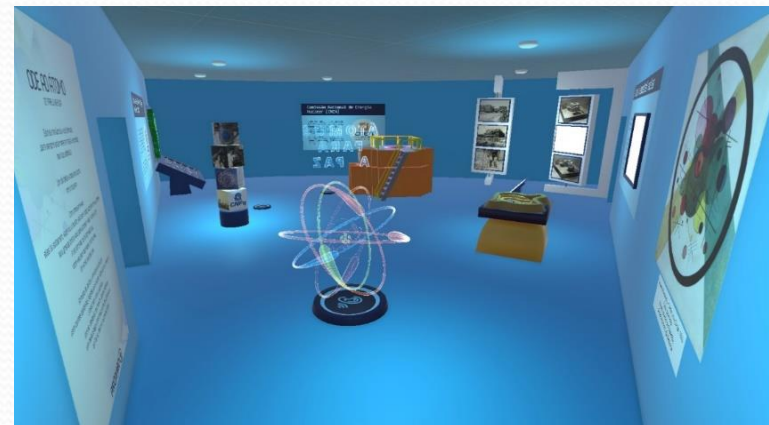
Cidade Virtual da Ciência

- Ambiente imersivo virtual, disponível na plataforma online, acesso gratuito;
- Objetivo de abrigar instituições, projetos, ações e atividades voltadas à divulgação da ciência geral e da ciência nuclear;
- Espaço que permite experiências interativas com aplicações, simulações e exposições de diferentes temas e assuntos;
- Promove um olhar diversificado e lúdico para a ciência;



Exposição virtual: Reator Argonauta

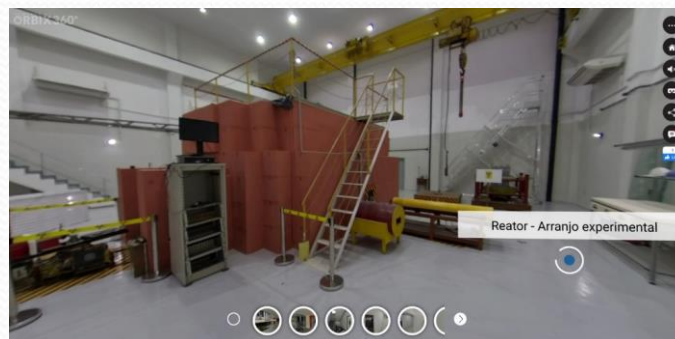
- Exposição virtual com objetivo de apresentar para o público geral o reator Argonauta como um espaço de produção de conhecimentos, tecnologia e inovação, oferecendo novos olhares para a ciência nuclear;
- Abordar o momento de construção, a inauguração, a equipe envolvida, a criticidade, as pesquisas desenvolvidas e suas aplicações sociais, o funcionamento do reator e reflexões importantes sobre os benefícios da ciência nuclear para a sociedade;



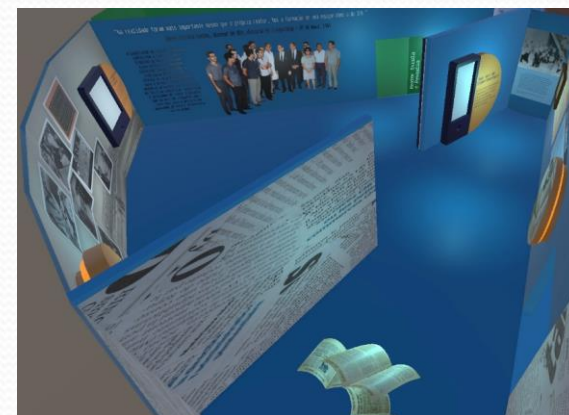
Roteiro da exposição



Visita virtual ao reator Argonauta



Salas expositivas com aplicações e interações



INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|--|-------------|
| Roberto Schirru | COPPE |
| Alan Miranda Monteiro de Lima | COPPE |
| Victor Henrique Cabral Pinheiro | COPPE |
| Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira | IEN |

Tema Central:

Pesquisa e desenvolvimento em inteligência artificial para reatores modulares inovadores.

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Estudos focando basicamente o desenvolvimento e implementação de algoritmos de inteligência artificial (IA), como Algoritmos Genéticos (GA) e Inteligência de Enxames (PSO) multiobjetivos e Redes Neurais Profundas e Pré-Treinadas, para aplicação em projeto, segurança e operação de reatores nucleares.

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Desenvolvimento de programas de IA para a otimização de projetos de reatores nucleares modulares (SMRs) e para identificação de falhas e acidentes em reatores do tipo PWR.

Implementação dos algoritmos estudados, com processamento paralelo, no computador de alto desempenho do LMP, e aplicados em problemas como otimização de um projeto de reator SMR utilizando Tório como parte do combustível.

Programas Desenvolvidos (2023 e 2024) para HPC – LMP/PEN:

Software (Python MPI) de *GA-Multiobjetivo paralelo*, código de reatores SERPENT (OpenMC).

Software (Python MPI) de *PSO-Multiobjetivo paralelo*, código de reatores SERPENT (OpenMC).

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|-------------------------------------|-------------|
| Claudia Pereira Bezerra Lima | UFMG |
| Antonella Lombardi Costa | UFMG |
| Maria Auxiliadora FortiniVelo | UFMG |
| Carlos Eduardo Velasquez Cabrera | UFMG |
| Clarysson Alberto Mello da Silva | UFMG |
| Patrícia Amélia de Lima Reis | UFMG |
| Raoni Adão Salviano Jonusan | UFMG |
| Víctor Faria de Castro | UFMG |

Tema Central:

Estudar, avaliar e projetar sistemas híbridos fusão-fissão, sistemas híbridos ADS-fissão, reatores de quarta-geração e reatores nucleares modulares.

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Avaliar os sistemas desde a obtenção de biblioteca de dados nucleares adequados a cada sistema até a disposição final do combustível queimado, considerando ciclo de combustível fechado, reprocessamento não proliferante e impacto ambiental associado à disposição final.

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|--------------------------------|-------------|
| Gumersindo Verdu Martin | UPV |
| Rafael Miró Herrero | UPV |
| Teresa Barrachina Celda | UPV |
| Damián Ginestar Peiró | UPV |
| Sergio Gallardo Bermell | UPV |
| Belén Juste Vidal | UPV |

UPV – Universitat Politècnica de València

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|------------------------------|-------------|
| Damian Enrique Ramajo | UNL |
| Santiago Francisco Corzo | UNL |
| Dario Martin Godino | UNL |

UNL – Universidad Nacional del Litoral

Sistemas híbridos:

1. ADS – Fissão – Avaliação neutrônica (Monteburns (MCNP/ORIGEN), SERPENT);
2. Fusão-Fissão- Avaliação neutrônica (Monteburns (MCNP/ORIGEN), SERPENT).

Reatores de 4ª Geração e Back-end do ciclo do combustível nuclear .

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

Sistemas Modulares:

1. SMART (System integrated Modular Advanced ReacTor): Avaliação neutrônica (MCNP6, SERPENT, SCALE) e Termo-hidráulica (STHIRP, OpenFoam, RELAP);
2. NUSCALE (MCNP6, SERPENT, SCALE:): Avaliação neutrônica (MCNP6, SERPENT, SCALE) e Termo-hidráulica (RELAP);
3. ELECTRA (European LEad Cooled TRaining reactor): Avaliação neutrônica (MCNP6, SERPENT) e Termo-hidráulica (STHIRP, OpenFoam, RELAP);
4. SEALER (SwEdish Advanced LEad Reactor): Avaliação neutrônica (MCNP6, OpenMC, Serpent) e Termo-hidráulica (CFD-Ansys);
5. SSR (Stable Salt Reactor): Avaliação neutrônica (MCNP6 e Serpent);
6. KRUSTY (Kilopower Reactor Using Stirling Technology): Avaliação neutrônica (MCNP6).

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|--|-------------|
| Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo | COPPE |
| Antonio Carlos Marques Alvim | COPPE |
| José de Jesús Rivero Oliva | COPPE |
| Andressa dos Santos Nicolau | COPPE |

Tema Central:

Desenvolver pesquisas em análise de segurança de reatores nucleares inovadores e modulares.

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Apresentar soluções adequadas para questões de licenciamento de reatores nucleares modulares inovadores dos pontos de vista:

- **Determinístico (p. ex., reavaliar cenários de acidentes considerando acidentes severos) ; e**
- **Probabilístico (p. ex., tomada de decisão com informação do risco usando também inteligência artificial).**

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|------------------------------------|-------------|
| Ricardo Carvalho de Barros | IPRJ - UERJ |
| Hermes Alves Filho | IPRJ |
| Leonardo Rodrigues da Costa Moraes | IPRJ |
| Liliane Basso Barichello | UFRGS |
| Dany Sanchez Dominguez | UESC |
| Francisco Bruno Souza Oliveira | UESC |
| Welton Alves de Menezes | UFF |

Tema Central:

Modelagem computacional do transporte clássico e não-clássico de partículas neutras para a simulação de reatores nucleares modulares e inovadores.

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Modelagem computacional do transporte clássico e não-clássico de partículas neutras, visando o desenvolvimento de códigos computacionais de cálculo eficientes e que gerem resultados precisos para a Física de Reatores Nucleares modulares e inovadores, segundo estes modelos clássico e não clássico.

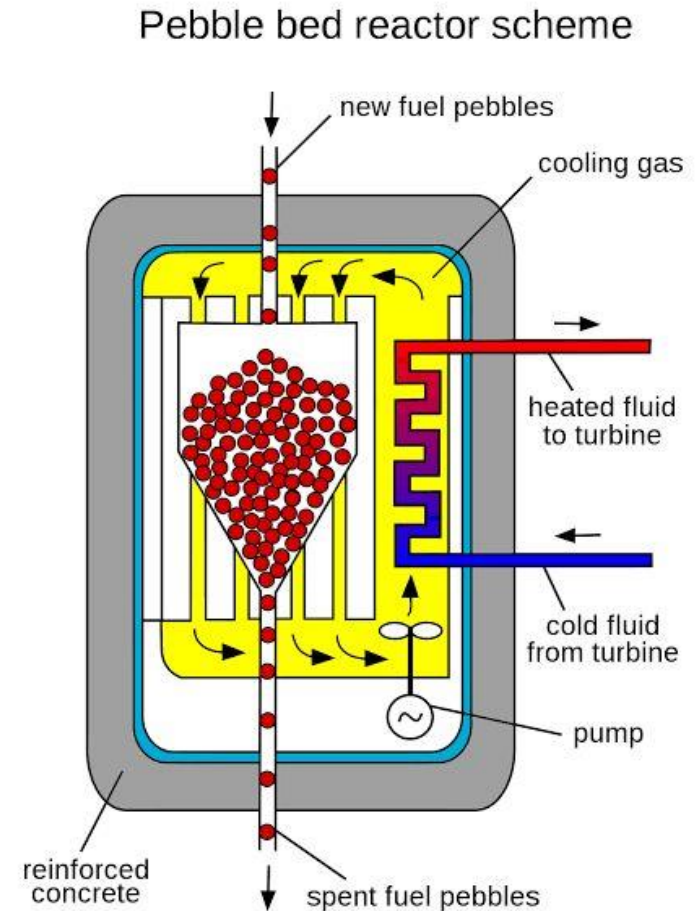
INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

Algumas aplicações do modelo não-clássico de transporte:

Simulação da luz em computação gráfica.

Transporte de radiação em núvens atmosféricas.

Pebble-bed Nuclear Reactor Physics.



INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|------------------------------------|-------------|
| Su Jian | COPPE |
| Eduardo Gomes Dutra do Carmo | COPPE |
| Nilson Costa Roberty | COPPE |
| Renato Machado Cotta | COPPE |
| José Luiz Horacio Faccini | IEN |
| Marcos Betrand de Azevedo | IEN |
| Luiz Carlos Reina Pereira da Silva | IEN |
| Maria de Lourdes Moreira | IEN |
| Paulo Augusto Berquo de Sampaio | IEN |

Tema Central:

Desenvolver métodos de análise termohidráulica, interação fluido-estrutura e termomecânica para projetos de *Small Modular Reactors* (SMRs).

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Análise simplificada de acoplamento termohidráulica-neutrônica de SMRs: combustível em placa, vareta sólida ou vareta anular.

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Análise termohidráulica de circulação natural: monofásica, bifásica, estacionária, transiente, estabilidade, circuito simples, circuitos acoplados, circuito em movimento de balanço.

Análise termohidráulica de contenção de SMR.

Escoamento bifásico – modelagem e experimentos: escoamento estratificado, escoamento pistonado, escoamento anular, tubos horizontais, verticais e inclinados.

Interação fluido-estrutura: vibração de tubulações induzida por escoamentos: monofásico, bifásico, escoamento pulsante, viscoelástico, excitação de base, massa concentrada.

Cogeração de eletricidade e dessalinização com SMRs.

Problemas inversos.

Métodos híbridos de elementos finitos e diferenças finitas para problemas nonlineares.

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Pesquisadores do Grupo | Instituição |
|--------------------------------|-------------|
| Aquilino Senra Martinez | COPPE |
| Adilson Costa da Silva | COPPE |
| Alessandro da Cruz Gonçalves | COPPE |
| Giovanni Laranjo de Stefani | COPPE |
| Fernando Carvalho da Silva | COPPE |
| Willian Vieira de Abreu | COPPE |
| Adimir dos Santos | IPEN |

Tema Central:

*Análise neutrônica de **Small Modular Reactors (SMRs)** e reatores inovadores, do tipo **Accelerator-Driven SMR (ADSMR)**, visando aplicações diversas.*

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Desenvolvimento de um Sistema de monitoramento em tempo real da distribuição radial de potência em reatores de pequeno porte.

Desenvolvimento de um código computacional de cálculo, usando método nodal de malha grossa para reatores do tipo SMR.

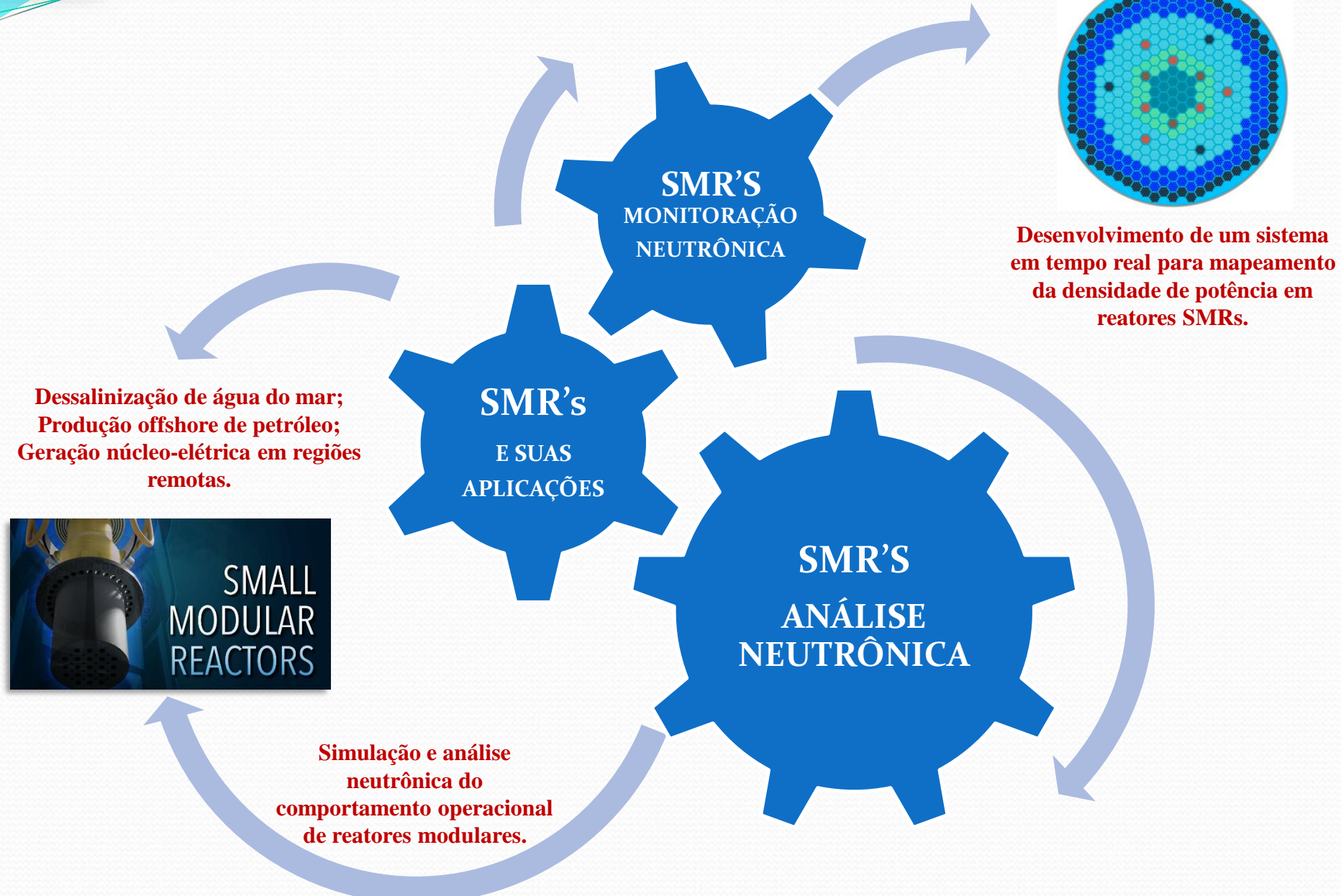
INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

Objetivos Principais das Linhas de Pesquisa do Grupo:

Otimização de um SMR com combustível de Tório utilizando o conceito *seed-blanket* de Radkowsky e fazendo uso de inteligência artificial.

Desenvolvimento de um novo método de cinética pontual de reatores nucleares guiados por aceleradores de partículas.

Cálculos de cinética espacial de reatores modulares de pequeno porte, usando métodos nodais de malha grossa.



INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

| Nº | DESCRIÇÃO | PRAZO | MEDIDA DE PROGRESSO | PRODUÇÃO (Em 16 meses) |
|----|--|--------|---------------------|---------------------------|
| 1 | Artigos publicados em periódicos indexados (com JCR). | 2º ano | 120 | 96 |
| 2 | Dissertações de Mestrado. | 2º ano | 30 | 31 |
| 3 | Teses de Doutorado. | 2º ano | 20 | 24 |
| 4 | Supervisão de Pós-Doutorado. | 2º ano | 5 | 12 |
| 5 | Trabalhos publicados em congressos internacionais. | 2º ano | 100 | 69 |
| 6 | Supervisão de alunos de Iniciação Científica. | 2º ano | 40 | 31 |
| 7 | Produtos Tecnológicos (patentes, softwares, instalações experimentais, bases de dados, correlações experimentais). | 2º ano | 10 | 8 |
| 8 | Pesquisadores do INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores em missões internacionais. | 2º ano | 10 | 4 |
| 9 | Pesquisadores estrangeiros em visita ao INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores. | 2º ano | 10 | 4 |



OBRIGADO

Fernando Carvalho da Silva
Coordenador

INCT de Reatores Nucleares Modulares e Inovadores

fernando@nuclear.ufrj.br / fernando.carvalho@coppe.ufrj.br