

**Relação de Projetos do Subprograma de Capacitação Institucional
da Comissão Nacional de Energia Nuclear**

Anexo I do Edital Nº 02/2023

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.1	INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES – IPEN
	TÍTULO DO PROJETO: Difração de nêutrons no RMB e IEA-R1: modelagem, instrumentação e preparação de recursos humanos.

Introdução

O poder e a produtividade da pesquisa na área de nêutrons não podem ser questionados. Técnicas de caracterização baseadas em nêutrons promovem resultados cruciais para pesquisas pioneiras nas áreas de materiais, biotecnologia, física fundamental, etc - veja [1-4] para os mais recentes exemplos.

Entretanto, experimentos com nêutrons podem ser um tanto exigentes: além de equipamentos de grande complexidade, tamanho, peso e custos, eles necessitam de uma fonte de nêutrons - o que pode ser uma condição inicial desafiadora. Não há razão, portanto, de não desenvolver infraestrutura para este tipo de experimentos quando esta condição é satisfeita como no caso do IEA-R1 (CRPq, IPEN). Além disso, é necessário olhar para qualquer resultado em potencial de experimentos com nêutrons realizados no CRPq como trabalho de base para o RMB. Assim, em concordância com a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016|2022 (parágrafo 3, p. 76), no escopo de trabalho do presente projeto, duas direções gerais são propostas: preparar a infraestrutura para realizar experimentos de difração de nêutrons (DN) no IEA-R1 e desenvolver um plano detalhado para aqueles nas estações do RMB.

O Laboratório Nacional de Feixes de Nêutrons (LNN) é uma instalação experimental projetada no RMB que deve oferecer uma variedade de estudos em espalhamento de nêutrons, incluindo difração de policristais de alta resolução, alta intensidade e difração de Laue [8-10]. Por enquanto, o projeto das endstations da difração, assim como os instrumentos, é restrito a descrições gerais não técnicas, com especificações representadas principalmente por trechos da documentação do reator OPAL. O plano representando a arquitetura exata das estações experimentais é crucial para projetar

estações e planejar experimentos, assim como as simulações dos caminhos de feixes de nêutrons considerando a arquitetura dada. Tais simulações devem ser realizadas juntamente com o desenvolvimento do design, ajudando assim a otimização da estrutura da endstation.

O difratômetro de policristais de alta resolução ARaponga (T04-1A-2) deve ser instalado na posição T04 da estação experimental na saída do guia de nêutrons térmicos 1A do RMB. Seu amplo escopo de aplicação inclui a determinação de cristais complexos e estrutura magnética, estudo da evolução estrutural e transformações de fase em vários meios, estudo do fenômeno da desordem estática e térmica, estudo de condutores iônicos, estudo dos materiais com capacidade de H-storage. O projeto atual se concentra em projetar a seção Araponga da linha 1A. Propomos uma série de simulações visando a otimização da óptica e instrumentação de nêutrons e, portanto, atingindo parâmetros ideais e alta eficiência dos experimentos na linha ARaponga. Um pacote contemporâneo para simulação de experimentos de espalhamento de nêutrons, McStas, será adaptado para este propósito. Projetar instalações com pacotes como o McStas e similares é uma prática comum na comunidade de nêutrons de hoje e precede experimentos reais nas principais instalações de nêutrons do mundo.

As instalações de difração de nêutrons de jure disponíveis no IEA-R1 incluem o difratômetro Aurora [5, 6] e um espectrômetro de três eixos [7]. O último não está operacional e, para torná-lo, grandes investimentos são necessários. O difratômetro Aurora está operacional, porém não está sendo utilizado, uma vez que a aposentadoria dos pesquisadores responsáveis se sobrepôs ao novo regime de operação do reator (8h por dia, 4 dias por semana), ambos fatores comprometendo os possíveis experimentos. Isto levanta dois problemas: a necessidade de treinar uma nova geração de especialistas em difração de nêutrons e a adaptação do Aurora para o presente regime operacional do IEA-R1. Este projeto tem a intenção de lidar com ambos os problemas. Ressaltamos que o ressarcimento de recursos humanos também foi designado como uma ação necessária na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016|2022 (sessão "Formação e atração de recursos humanos", p. 79).

Por fim, a formação da comunidade de usuários do RMB é desafiadora. A atual situação com difração de nêutrons no Brasil e na América do Sul em geral é complicada - os grupos que usam ou pretendem usar difração de nêutrons em suas pesquisas estão espalhados e sofrem com a falta de comunicação, o que compromete o desenvolvimento desta comunidade. Além dos objetivos indicados, com este projeto pretende-se promover a difração de nêutrons (como técnica de caracterização de alta performance) juntamente com o RMB (como instalação de pesquisa promissora), contribuindo para estabelecer a comunicação entre grupos interessados e a formação do “pool” de usuários para as novas instalações do LNN.

Objetivo Geral

O objetivo geral do projeto pode ser formulado como o desenvolvimento da infraestrutura e recursos humanos na área de difração de nêutrons para aplicação nas estações da difração do RMB. Duas direções devem ser seguidas a este respeito: **(A) modelagem da estação experimental de alta resolução de difração de policristais Araponga seguida da simulação de um experimento típico e (B) atualização do difratômetro de policristais existente Aurora e sua adaptação para o novo regime de funcionamento do reator IEA-R1, cujos resultados serão usados como base para o modelo do difratômetro do RMB.** Além disso, pretendemos promover a DN auxiliando na formação do pool de usuários do LNN para RMB (C). A seguir, especificamos os objetivos requeridos para alcançar A, B, AB e C.

Objetivo Específico A.1

Preparando o capital da informação inicial: uma revisão completa da geometria e dos parâmetros dos difratômetros de policristais de alta resolução existentes e das endstations onde eles estão instalados, visão geral da documentação, se disponível. Ênfase em FIREPOD (BER II, HZB, Alemanha) e ECHIDNA (OPAL, Austrália).

Objetivo Específico A.2

Construindo um modelo básico da linha do Araponga com um número restrito de elementos.

Objetivo Específico A.3

Testando o modelo básico, obtendo resultados adequados (realistas) da simulação no McStas. Inclusão dos elementos de monitorização adicionais para um controle completo do feixe de nêutrons.

Objetivo Específico A.4

Construção do modelo otimizado detalhado da linha Araponga. Inclusão de elementos adicionais de moderação de feixe.

Objetivo Específico A.5

Obtenção de estimativas realistas adequadas dos parâmetros de feixe de nêutrons com o McStas para o modelo da linha desenvolvido. Obtendo imagem realista ao simular experimentos de difração com o McStas.

Objetivo Específico B.1

Detector sensíveis ao posicionamento (Position Sensitive Detector, PSD), modelagem de sinal pré-amplificado dos seus elementos: Adaptação para módulos contemporâneos de aquisição digital (VMEs e NIMs das gerações mais recentes).

Objetivo Específico B.2

2 θ calibração do PSD.

Objetivo Específico B.3

Aquisição e instalação dos novos digitalizadores multicanais.

Objetivo Específico B.4

Correções relativas à geometria do detector para acumulação de padrões de difração adequados.

Objetivo Específico B.5

Novo ambiente de amostra adaptável às estações experimentais da difração do RMB: Integração do sistema criogênico.

Objetivo Específico AB

Adquirir experiência em operar as endstations de difração em funcionamento, assim treinando especialistas em difração de nêutrons com a perspectiva de operar as estações no RMB.

Objetivo Específico C

Promoção da difração de nêutrons como técnica de pesquisa na comunidade científica brasileira. Promoção do RMB. Formação de pool de usuários para difração de nêutrons e RMB. Estabelecer contatos com a comunidade internacional de difração de nêutrons.

Insumos

Custeio

Solicitamos um apoio para participação da equipe do desenvolvimento do presente projeto nos eventos relacionados a DN e de ciência de nêutrons em geral. Informamos que eventos de pesquisa tais como congressos, conferências, etc serão visitados pelo coordenador do projeto Frederico Antonio Genezini e a bolsista. As escolas de pesquisa de nêutrons serão visitadas pela bolsista. Para realização dos experimentos nas instalações necessita-se a formação de uma equipe de pesquisadores. Convidamos o Prof. Artur Wilson Carbonari (CRPq, IPEN) para fazer parte de tal equipe. O Prof. Carbonari está atualmente desenvolvendo o projeto “Nanopartículas magnéticas dopadas com elementos emissores de radiação para tratamento intracelular de tumores”, na fronteira da física e da medicina nuclear, estando em excelente concordância com as estratégias nacionais na área de pesquisa nuclear (p. 110, “Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016|2022”). Um dos pontos cruciais deste projeto é ter controle total sobre a estrutura magnética das nanopartículas. Os padrões de difração de nêutrons são mais que perfeitos para monitorar tal estrutura, de modo que se espera que tanto o projeto atual quanto o mencionado se beneficiem extremamente dos experimentos da DN com amostras de nanopartículas magnéticas.

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
Participação nos eventos nacionais e internacionais relacionados a DN, tais como congressos, reuniões e conferências (2 pessoas: coordenador e bolsista)	8 passagens internacionais, 8 períodos de 7 dias com diárias a U\$100,00	Não
Participação nas escolas de pesquisa relacionadas a DN (1 pessoa: bolsista)	3 passagens internacionais, 3 períodos de 7 dias com diárias a U\$100,00	Não
Realização de experimentos da DN nas instalações internacionais (3 pessoas: coordenador, bolsista e pesquisador colaborador)	12 passagens internacionais, 12 períodos de 7 dias com diárias a U\$100,00	Não

Bolsas

O presente projeto implica diversas atividades que podem ser realizadas de maneira eficiente pelo especialista com formação nível Doutorado completa. Enfatizamos que as tarefas do projeto implicam trabalhos na parte da instrumentação, programação e pesquisa fundamental. Por isso solicita-se uma bolsa PCI-DC como descrito abaixo. Indicamos como candidata para esta bolsa a Dra. Anastasia Burimova que atualmente está participando no upgrade do difratômetro Aurora no âmbito do projeto do PCI “Desenvolvimento de métodos de aquisição de dados para equipamentos de difração neutrônica para estações experimentais” e participa nos projetos da física de materiais com grande interesse em uso da DN.

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivos Específicos	PCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Doutorado/Mestrado	Engenharias, ciências exatas (física, matemática), Computação, com experiência em programação em linguagem científica.	1-6	DB	6	1

Atividades de Execução

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Atividade 1: Coletar informações sobre estações de difração das principais instalações mundiais: revisão da literatura	A.1	Revisão disponível	X				
Atividade 2: Coletar informações sobre estações de difração das principais instalações mundiais: contatar pesquisadores responsáveis para detalhes da documentação oficial, especialmente na parte de instrumentação	A.1	Revisão disponível	X				
Atividade 3: Levando em conta a revisão, ou seja, o resultado das atividades 1-2, estabelecer um conjunto básico ideal de elementos para uma linha de difração - um modelo teórico básico da <i>endstation</i>	A.2	Esquema simplificado da <i>endstation</i>	X				
Atividade 4: Instalação do pacote de simulação de <i>ray-tracing</i> de nêutrons McStas	A.3	Pacote instalado e funcionando	X				
Atividade 5: Testando o pacote McStas: sistemas simples	A.3	<i>Output</i> adequado da simulação	X				
Atividade 6: Preparar o arquivo tipo "instrument" do McStas para o modelo básico	A.3	Arquivos do tipo "instrument" do McStas com parâmetros dos componentes ajustados	X				
Atividade 7: Com o arquivo do tipo "instrument" obtido dentro da atividade 6, executar simulações para o modelo básico, ajustar os parâmetros dos elementos ópticos e do feixe	A.3	<i>Output</i> adequado da simulação	X				

Atividade 8: Modelar uma estação de difração de nêutrons escolhida entre as existentes nas principais instalações do mundo e executar simulações de McStas para ela	A.4	Arquivos do tipo "instrument" do McStas com parâmetros dos componentes ajustados, <i>Output</i> adequado da simulação		X			
Atividade 9¹: Incluir novo(s) elemento(s) adaptado(s) da atividade anterior ao modelo básico, executar simulação, ajustar parâmetros, repetir até otimizar	A.4, A.5	Modelo otimizado da linha da difração de policristais de alta resolução. Arquivos do tipo "instrumento" do McStas contendo todos os componentes e seus parâmetros, output realista da simulação			X	X	
Atividade 10: Busca de elementos inovadores (especialmente para sistema de detecção) para permitir a redução de custos do difratômetro e da linha	A.4	Novos elementos incluídos no modelo detalhado da linha. Redução dos custos de construção da linha modelada			X		
Atividade 11: Instalação (temporária) do módulo VME de última geração para testes (no caso da disponibilidade o módulo tipo NIM também pode ser instalado, e atividades 14-15 realizadas)	B.1	Módulo instalado (temporário) e disponível no rack do Aurora	X				
Atividade 12: Fabricação do circuito de modelagem de sinais baseado no modelo recentemente desenvolvido (são necessários dois circuitos iguais para modelar sinais nas duas extremidades de cada tubo- detector)	B.1	Circuito pronto para atividades a seguir	X				
Atividade 13: Aquisição de sinais (modelados pelo circuito) pelo módulo instalado	B.1	Sinais adquiridos e salvados pelo software associado a módulos e disponíveis em arquivos de dados para manipulações a seguir	X				

Atividade 14: Processamento de sinais coletados: integração de sinal e estimativa da posição do evento	B.1	Scripts desenvolvidos e exemplos de sinais processados		X			
Atividade 15: Calibrar PSD usando a máscara de absorção de nêutrons com superfície de óxido de gadolínio e haste de plástico na posição da amostra	B.2	Picos ajustados com curvas gaussianas. Melhor ajuste para posição de pico / posição de evento encontrado. PSD calibrado		X			
Atividade 16: Baseando-se nas informações obtidas devido às atividades 12-13, escolher os digitalizadores mais apropriados para a aquisição de dados no Aurora	B.3	Formalização da solicitação dos digitalizadores			X		
Atividade 17: Compra de digitalizadores escolhidos com os recursos fornecidos pela FAPESP	B.3	Documentação de validação de compra			X		
Atividade 18: Quando chegar, testar os digitalizadores adquiridos	B.3	Estabelecimento do status dos digitalizadores. Relatório apresentado			X		
Atividade 19: Integrar os digitalizadores no sistema	B.3	Digitalizadores instalados				X	
Atividade 20: Desenvolver aparelhos matemáticos para levar em conta os aspectos da geometria do PSD	B.4	Aparelho matemático eficiente				X	
Atividade 21: Baseando-se nas fórmulas obtidas como resultado da atividade 20, desenvolver os scripts para correções de dados	B.4	Os scripts funcionais e resultados da sua aplicação: correção da posição				X	
Atividade 22: Aquisição do criostato com o apoio da FAPESP	B.5	Documentação de validação de compra. Equipamento pronto para instalação					X
Atividade 23: Instalação do criostato. Resolver problemas técnicos associados	B.5	Equipamento instalado					X

Atividade 24: Submissão de propostas de pesquisa para experimentos de difração de nêutrons nas principais instalações mundiais (incluindo HZB e NIST)	AB, C	Propostas submetidas e aprovadas	A definir baseando-se nas chamadas das instalações
Atividade 25: Realização de experimentos da DN no exterior	AB, C	Resultados dos experimentos em artigos submetidos e publicados	A definir
Atividade 26: Seminários e apresentações sobre DN, RMB, modelo de difratômetro Araponga	C	Seminários apresentados	A definir
Atividade 27: Visitar eventos internacionais dedicados aos experimentos com nêutrons e escolas de pesquisa da área	C	Certificados	A definir

¹ Como 9 é complexo e, o que é mais importante, é uma atividade de otimização cíclica sem número predefinido de ciclos, sua duração foi ampliada por 2 anos. Ressaltamos que isso não deve impedir o monitoramento, já que ele poderia ser feito após cada ciclo da otimização.

Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2019		2020		2021		2022		2023	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Atividade 1	X									
Atividade 2	X									
Atividade 3	X									
Atividade 4	X									
Atividade 5		X								
Atividade 6		X								
Atividade 7		X	X							
Atividade 8			X	X						
Atividade 9				X	X	X	X	X		
Atividade 10					X	X				
Atividade 11	X	X								
Atividade 12		X	X							

Atividade 13		X	X							
Atividade 14			X	X						
Atividade 15			X	X						
Atividade 16					X	X				
Atividade 17					X	X				
Atividade 18					X	X				
Atividade 19							X	X		
Atividade 20							X	X		
Atividade 21							X	X		
Atividade 22									X	X
Atividade 23									X	X
Atividade 24	a definir baseando-se nas chamadas das instalações									
Atividade 25	a definir									
Atividade 26	a definir									
Atividade 27	a definir									

Produtos

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Modelos das endstations do Araponga de diferente complexidade	A.3-5	Esquemas de modelos de estações experimentais disponíveis.	X	X	X	X	
Arquivos "instrument" do McStats, i.e. peças de códigos prontas para simulação das "beamlines"	A.3-5	Arquivos "instrument" do McStas disponíveis		X	X		X
Arquivos outputs das simulações do McStas	A.3-5	Resultados das simulações disponíveis, apresentados de forma conveniente e conclusiva		X	X		X
Scripts e software	A.3, B.1, B.2, B.4	Apresentação de scripts e manuais de software "crafted", instalação do software	X	X		X	X

Equipamento adquirido	B.3, B.5	Equipamento instalado e/ou disponível para instalação	X	X		X	X
Propostas de pesquisa para instalações internacionais	AB	Propostas escritas e submetidas, submissão e publicação de artigos baseados nos resultados obtidos	X	X	X	X	X

Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Resultado 1: Projeção do modelo da estação experimental T04-1A-2	A. 1-5	Modelo otimizado da estação experimental com parâmetros realistas dos elementos ópticos ao longo do caminho de nêutrons inteiro	X	X	X	X	
Resultado 2: Simulações de feixes de nêutrons na estação experimental T04-1A-2 do RMB	A. 1-5	Apresentação de resultados obtidos nas simulações na forma de relatórios, seminários e artigos nas revistas científicas	X	X	X	X	X
Resultado 4: Upgrade do difratômetro Aurora do IEA-R1	B. 1-5	Aquisição de novos módulos eletrônicos para aquisição de dados, apresentação de scripts para processamento de sinais. Aquisição e instalação de novos equipamentos para aumentar a versatilidade dos experimentos DN			X	X	X
Resultado 1: Formação e extensão do “pool” de usuários da DN no Brasil. Formação dos especialistas em DN	C	Apresentação dos seminários, participação nas reuniões e eventos nacionais e internacionais	X	X	X	X	X
Resultado 2: Criação de vínculo entre o IPEN e a comunidade internacional de pesquisa de nêutrons	C	Submissão de propostas para experimentos de nêutrons, contatos com grupos de pesquisa no exterior do Brasil, participação nos eventos e escolas da DN, realização de experimentos da DN nas instalações fora do Brasil	X	X	X	X	X

Custeio:

Custeio	Valor (R\$)
Diárias (161)	
Passagens (23)	
Total (R\$)	

Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00			
	B	4.160,00			
	C	3.380,00	8	1	
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					202.800,00

Referências Bibliográficas

G. Song et al. High Temperature Deformation Mechanism in Hierarchical and Single Precipitate Strengthened Ferritic Alloys by In Situ Neutron Diffraction Studies, Scientific Reports, 7, 45965, 2017

A. Cereser et al. Time-of-Flight Three Dimensional Neutron Diffraction in Transmission Mode for Mapping Crystal Grain Structures, Scientific Reports, 7, 9561, 2017

V. Pipich and D. Schwahn, Densification of Supercritical Carbon Dioxide Accompanied by Droplet Formation When Passing the Widom Line, Physical Review Letters, 120, 145701, 2018

R. G. Heigl et al. Crossover from a Linear to a Branched Growth Regime in the Crystallization of Lysozyme, Crystal Growth & Design, 18 (3), pp. 1483–1494, 2018

C. B. W. Parente et al. Aurora – A high-resolution powder diffractometer installed on the IEA- R1 research reactor at IPEN-CNEN/SP. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 622: pp. 678–684, 2010

V. L. Mazzocchi et al. Neutron Diffraction Patterns Measured with a High-Resolution Powder Diffractometer Installed on a Low-flux Reactor. IAEA-CN-188, pp. 1–8, 2010

C. Fuhrmann. Projeto e construção de um espectrómetro de cristal de três eixos para nêutrons e verificação do desempenho por meio da medida das relações de dispersão do cobre. PhD Thesis, 1979

J. A. Perrotta. RMB: The new Brazilian multipurpose research reactor. Presentation at INAC XIX ENFIR, 10: pp. 1–70, 2015

J. A. Perrotta. Interview on RMB for Brazil-MRS, 2016 URL <http://sbpmat.org.br/pt/>

RMB technical documentation.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.2	INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES – IPEN
	TÍTULO DO PROJETO: Avaliação dos efluentes não radiológicos gerados no IPEN visando o desenvolvimento de um coeficiente de conformidade com a legislação ambiental, em atendimento as ações de licenciamento.

1.2 – Introdução - Contextualização do problema a ser tratado e a situação atual da pesquisa no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

A visão contemporânea das organizações com relação ao meio ambiente insere-se no processo de mudanças que vem ocorrendo na sociedade nas últimas décadas e que, segundo Donaire (1999), faz a empresa ser vista como uma instituição sociopolítica com claras responsabilidades sociais que excedem a produção de bens e serviços. Essa responsabilidade implica em uma obrigação para com a sociedade de diversas formas, entre as quais, a proteção ambiental.

Com o avanço tecnológico, o crescimento desenfreado e o aumento da perspectiva de vida do ser humano, o conceito de desenvolvimento industrial mudou. Essa mudança tem exigido que a direção das empresas ampliasse a gestão sobre os seus negócios, não focando somente o produto. A preocupação das organizações com o meio ambiente, com uma maior e crescente conscientização das pessoas e toda a sociedade, tem levado a empresa a adotar uma atitude pró-ativa, visando minimizar o impacto causado no meio ambiente, na execução de suas atividades operacionais.

As questões ambientais permeiam hoje qualquer empreendimento e atividade, incluindo as áreas de P&D&I & Ensino, devendo ser priorizado o controle da poluição, responsável por danos econômicos reais, por perdas ecológicas e pelo comprometimento da qualidade de vida.

A preocupação que a sociedade vem demonstrando com a qualidade do ambiente e com a utilização sustentável dos recursos naturais tem-se refletido na elaboração de leis ambientais cada vez mais restritivas à emissão de poluentes, à disposição de resíduos sólidos e líquidos, à emissão de ruídos e à exploração de recursos naturais. Acrescente-se a tais exigências, a existência de um mercado em crescente processo de conscientização ecológica, no qual mecanismos como selos verdes e Normas,

como a Série ISO 14000, passam a constituir atributos desejáveis, não somente para a aceitação e compra de produtos e serviços, como também para a construção de uma imagem ambientalmente positiva junto à sociedade. (EMBRAPA, 2004)

A implantação sistematizada de processos de Gestão Ambiental tem sido uma das respostas das empresas a este conjunto de pressões. Assim, a gestão ambiental no âmbito das empresas tem significado a implementação de programas voltados para o desenvolvimento de tecnologias, a revisão de processos produtivos, o estudo de ciclo de vida dos produtos e a produção de “produtos verdes”, entre outros, que buscam cumprir imposições legais, aproveitar oportunidades de negócios e investir na imagem institucional (Donaire, 1999).

As ações de empresas em termos de preservação, conservação ambiental e competitividade estratégica – produtos, serviços, imagem institucional e de responsabilidade social - passaram a consubstanciar-se na implantação de sistemas de gestão ambiental para obter reconhecimento da qualidade ambiental de seus processos, produtos e condutas obtidos por meio de certificação voluntária, com base em normas internacionalmente reconhecidas.

Assim, as questões ambientais tornaram-se elementos importantes no relacionamento

de empresas com o governo, com os mercados e com a sociedade em geral. Isso gera, para as empresas, a necessidade de avaliar os aspectos e monitorar os impactos ambientais de suas atividades para atender a essas diferentes demandas, em que o direito pela informação e o dever de informar o desempenho ambiental corporativo vem obtendo crescente grau de importância.

Para auxiliar nas avaliações sobre o desempenho ambiental surgem os indicadores, cujo papel como ferramenta é o estabelecimento de uma visão de conjunto que exige um processo de avaliação de resultados em relação às metas de desempenho estabelecidas, provendo condições adequadas de acompanhamento e dando suporte ao processo decisório (MALHEIROS, PHILIPPI e COUTINHO, 2008).

Os indicadores ambientais começaram a ser utilizados durante a década de 70 e 80,, sendo o governo holandês o pioneiro na adoção de indicadores ambientais, em 1989,

para avaliar os resultados da implementação do Plano de Política Ambiental Nacional (HAMMOND et al, 1995).

Um indicador, segundo a Agência Europeia de Meio Ambiente (AEMA), é um valor representativo de um fenômeno que quantifica a informação mediante a agregação de diferentes dados, dando lugar à informação sintetizada. Os indicadores simplificam a informação ajudando a descrever e valorar fenômenos mais complexos (VIEIRAS; POULIQUEN; SOTO, 2005).

Assim, os indicadores são elementos que sinalizam, comunicam, demonstram, indicam e informam. Nesse sentido, os indicadores têm várias características definidoras: quantificam a informação, tornando seu significado mais aparente, simplificam a informação para facilitar a comunicação; são descritivos, representando um modelo da realidade. Um indicador deve ainda facilitar a comparação. (Miranda, 2002 apud Kusterko, 2009).

Através da utilização de indicadores ambientais é possível avaliar as condições, mudanças da qualidade ambiental, além de favorecer o entendimento de tendências, como uma ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão e formulação de políticas e práticas sustentáveis (GOMES; MALHEIROS, 2012), pois os indicadores têm como função diagnosticar a saúde do ecossistema e fornecer uma ferramenta para monitorar condições e mudanças ambientais ao longo do tempo (JORGENSEN, 2005).

A escolha dos indicadores ambientais é fator preponderante para sua posterior aplicação. As propriedades que devem caracterizar os indicadores, segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (1993, apud ALMEIDA; BRITO, 2002), são:

- Relevância: deve ser representativo, de fácil compreensão e comparável;
- Consistência: deve ser bem apoiado em termos técnicos e científicos e de consenso internacional;
- Mensurabilidade: deve ser facilmente mensurável e passível de monitoramento regular a um custo não excessivo.

Em muitos estudos ambientais, é adotado o conceito quociente de qualidade: para os índices de qualidade da água (Da Silva, et al, 2006) (Coletti, et al, 2010), para obter informações sobre qualidade de sedimentos (Long, et al, 2006), e por índices de avaliações de risco (Singh, et al., 2004). Enquanto a matriz, o modelo de cálculo e a interpretação dos conceitos forem cuidadosamente selecionados os índices demonstraram serem ferramentas úteis. Cada índice apresenta uma variedade de abordagens para tornar mais fácil o diagnóstico ambiental.

Este rio é contaminado? Posso beber esta água? O efluente é compatível com as normas legais? Às vezes, um sim ou não é uma questão tão simples de responder. Especialmente quando vários parâmetros devem ser monitorados com diferentes níveis de concentração, riscos associados, efeitos biológicos.

Dentre as várias atividades planejadas e implementadas pelo IPEN para atingir e demonstrar um desempenho ambiental correto encontra-se o Programa de Monitoramento Ambiental dos Compostos Químicos Estáveis do IPEN, que contempla o monitoramento dos efluentes descartados na rede coletora de esgotos e a qualidade das águas subterrâneas.

O Plano de Gerência para o Monitoramento Ambiental dos Compostos Químicos Estáveis do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN e propostas de melhoria, em vigor desde 2006, define requisitos básicos para a proteção à vida e à propriedade, nas suas dependências, onde são manuseados produtos químicos, biológicos e radioativos e equipamentos diversos e visam prover o IPEN de documentação técnica necessária para atendimento às legislações ambientais vigentes e às solicitações do TAC IBAMA, referente às suas instalações. Capital.

O Programa de Amostragem e Medidas para os efluentes líquidos gerados pelo instituto teve início em outubro de 2007, com a finalização da adequação da estação de coleta e monitoramento de efluentes líquidos do IPEN localizada em frente à Portaria Norte. Para demonstração de conformidade com os aspectos legais do seu lançamento em rede coletora de esgoto público, os resultados obtidos devem obedecer ao artigo 19-A do decreto estadual 8468/76, o qual aprova regulamento da Lei Estadual 997/76.

Para os compostos analisados dentro do Programa de Amostragem e Medidas que não estão contemplados no artigo 19-A do decreto estadual 8468/76, os resultados obtidos serão comparados com os padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água, definidos no artigo 34 da Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005), a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Complementarmente, os resultados são comparados com os definidos na Resolução CONAMA 397 (Brasil, 2008), que altera o inciso II do parágrafo quarto e Tabela X do parágrafo quinto do artigo 34 da Resolução CONAMA 357/05 e acrescenta os parágrafos sexto e sétimo.

Assim, este estudo tem por objetivo identificar e descrever como se dá a utilização dos principais elementos relacionados ao emprego de indicadores ambientais para avaliação do impacto da liberação dos efluentes do IPEN na rede coletora de esgotos. O conjunto aspectos relacionados aos indicadores ambientais usados na pesquisa fundamentou-se em aspectos baseia-se nas diretrizes do Global Reporting Initiative (GRI), considerado uma importante referência internacional quando se trata de relatórios de sustentabilidade.

Logo, o projeto visa atender atividades de pesquisa e desenvolvimento com ações voltadas principalmente ao licenciamento ambiental e nuclear da Instituição em atendimento ao Licenciamento das Instalações das Unidades Técnico-Científicas da CNEN na PPA "Licenciamento das Instalações Nucleares e Radiativas do IPEN/CNEN-SP"; e também quanto a PPA- 2B32- Formação Especializada para o Setor Nuclear na ação CNEN 2B320000005 - Formação Especializada nos Institutos da CNEN) (CNEN, 2016).

Como resultado o projeto permitirá atender a manutenção das condicionantes estabelecidas na licença de operação expedida pelo IBAMA, conforme L.O. nº 1325/2016; disponibilizar e oferecer um modelo para planejamento e execução do programa de monitoramento ambiental químico, não radiológico, do campus do IPEN e contribuir com estratégias e dados na elaboração de Relatório de Avaliação anual do Programa de Monitoramento realizado conforme procedimentos estabelecidos pela agência ambiental e aprovado pelo IBAMA.

O desenvolvimento do projeto possibilitará atender não só o Programa institucional de monitoramento e a todos os Centros e unidades geradoras de efluentes do IPEN como cumprir com rigor as condicionantes da Licença Operacional IBAMA nº 1.325/2016.

do IPEN/CNEN-SP. Dessa forma atenderá o programa Ação PPA 6833 atendendo a Área de Interesse da CNEN de Acordo com Edital: Análise e avaliação de segurança de instalações nucleares e radiativas - Atendimento Institucional ao IBAMA e Cumprimento às legislações reguladoras;

Estes indicadores deverão ser também utilizados na avaliação dos efluentes e do programa ambiental do RMB. A política nacional de atividades nucleares tem como objetivos: “assegurar o uso pacífico e seguro da energia nuclear; desenvolver ciência e tecnologia nucleares e correlatas para geração de energia, medicina, indústria, agricultura e meio ambiente; e atender ao mercado de equipamentos, componentes e insumos para indústria nuclear e de alta tecnologia”. Entre os principais desafios da política nuclear brasileira, destacam-se: a busca por autonomia e sustentabilidade do país na produção de energia núcleo elétrica; a autossuficiência nas etapas do ciclo combustível com possibilidade de exportação de excedentes; e a ampliação da oferta de produtos e serviços tecnológicos na área nuclear (saúde, meio ambiente, agricultura e indústria).

Uma forma de avaliar o desempenho de uma atividade é através de indicadores que possibilitem a construção de um adequado sistema de informações.

1.3 - Objetivo Geral

Estabelecimento de um índice de qualidade ambiental para o descarte de efluentes do IPEN como uma ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão e formulação de políticas e práticas sustentáveis.

O trabalho abordará as seguintes etapas:

Objetivo Específico 1:

Levantamento de dados das condições ambientais das instalações do IPEN e avaliação dos parâmetros que visam atender o artigo 19A do Decreto No. 8646/76 do Estado de São Paulo e a resolução CONAMA 357/05 artigo 34, que regulamentam o lançamento de efluentes no sistema público de tratamento de esgoto;

Objetivo Específico 2:

Validar a metodologia analítica para determinação de metais e semimetais por espectrometria de emissão ótica com plasma de argônio, bem como validação de metodologia para avaliação de ânions e amônia, avaliando os parâmetros determinados pelo INMETRO: seletividade, linearidade e faixa de trabalho, limites de detecção, limites de quantificação, exatidão, precisão e robustez, de acordo com o DOQ-CGCRE-008 do INMETRO

Objetivo Específico 3:

A caracterização do efluente do IPEN em uma amostra composta, semanal, avaliando 30 parâmetros físicos químicos para atendimento da legislação.

Monitoramento e medição dos 30 parâmetros físico químicos.

Coletar, atualizar e avaliar informações técnicas e científicas disponíveis relacionadas ao comportamento dos em amostras do efluente do IPEN.

Objetivo Específico 4

Avaliação de índices de qualidade

Uso dos dados para avaliar atendimento a legislação - Visando facilitar o entendimento dos resultados obtidos para as amostras de efluentes do IPEN serão avaliados índices estabelecidos por agências ambientais internacionais, observando o seu respectivo critério de qualidade (Legislação Estadual e Federal), avaliando a aplicabilidade e o resultado de cada uma.

Objetivo Específico 5:

Utilização dos Indicadores:

Uma vez construídos os indicadores que atendam às propriedades e classificações expostas, pode-se elaborar planos de ações que permitam uma melhor gestão da Qualidade Ambiental que conduza ao alcance dos objetivos estratégicos da organização.

1.4 - Insumos

1.4.1. Custeio – nada a declarar

1.4.2 – Bolsas

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	quantidade
Nível Superior	Engenharia Ambiental ou Química	1,2,3, 4 e 5	DB	6	1

1.5 - Atividades de Execução

Visando atender ao cumprimento dos objetivos específicos, serão executadas as seguintes atividades:

Atividade 1: Levantamento dos dados e condições ambientais do IPEN

Será realizado um levantamento das atividades de todas as Instalações em operação no IPEN, avaliando insumos utilizados, segregação de efluentes, e existência e utilização tanques de retenção de efluentes, bem como medidas de controle adotados em cada Centro.

Metas relacionada a atividade 1

- Vistoria e identificação das áreas do IPEN cujas atividades possam causar impactos ao meio ambiente (solo e/ou água subterrânea);
- Elaboração de seção geológica, preferencialmente em direção paralela e ortogonal ao sentido preferencial de fluxo principal da água subterrânea, em escala apropriada, representando as camadas de solo/rocha identificados durante a construção dos poços de monitoramento já existentes;

- Análise do histórico de documentação, estudos e avaliações disponíveis relacionados ao gerenciamento ambiental de área com potencial de contaminação (solo e/ou água subterrânea);

Será empregada a metodologia estabelecida na “Decisão de Diretoria no. 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017” da CETESB e Decreto Estadual no. 59263 de 05 de junho de 2013 que regulamenta a Lei no. 13.577 de 08 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas; e Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, CETESB 2001.

Indicador 1: Como Indicador de resultado desta atividade :

Relatório técnico e fotográfico abordando o trabalho executado, apresentando a situação atual de cada instalação em operação no campus do IPEN, os resultados obtidos e recomendações futuras

Atividade 2: Validação de metodologia analítica de acordo com o DOQ-CGCRE-008 do INMETRO

De acordo com o Documento Orientativo do INMETRO DOQ-CGCRE-008 [18] a validação de uma metodologia de análise é a forma de confirmar que o método é apropriado para o uso pretendido, conforme apresentado no Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM [19], esta confirmação trata-se de uma verificação, mas nem toda verificação pode ser denominada como validação. Desta forma todos os métodos não normatizados, criados e/ou desenvolvidos fora do escopo da norma ou ampliações de um método normatizado precisam passar por uma série de testes que comprovem que o método é adequado para a finalidade que se deseja.

Como os metais e os ânions são elementos de baixa concentração no efluente estudado, estes podem ser chamados de elementos traço, pois estão em concentração abaixo de 1%, e de acordo com o documento citado deverão ser realizadas as avaliações de precisão, seletividade, tendência/recuperação, robustez, sensibilidade/ linearidade/ faixa de trabalho, limite de detecção e limite de quantificação para que o método seja validado. Nos itens abaixo cada um destes parâmetros será definido.

Metas relacionadas a atividade 2

Validar a metodologia analítica utilizada para a realização das análises no efluente lançado pelo IPEN é importante não só pela responsabilidade de garantir a conformidade com a legislação ambiental vigente, pois conforme a Resolução CONAMA 430/11 é mandatório que as metodologias utilizadas para a realização das análises ambientais sejam acreditadas pelo INMETRO ou órgão competente, mas também para garantir que não haja prejuízos para o meio ambiente e população do entorno do instituto, afinal com o processo de validação é possível demonstrar que a metodologia utilizada gera resultados confiáveis e reprodutíveis, e pode ser seguramente aplicada.

A validação deve contemplar os parâmetros: contemplando: de Faixa de Trabalho, Seletividade, Linearidade, limite de detecção do equipamento, limite de detecção do método (LD), limite de quantificação (LQ), Precisão, Repetitividade, Reprodutibilidade, Recuperação, Robustez e incerteza de medição.

Para esses estudos serão utilizados materiais de referencias e materiais de referência certificados.

Indicador 2:

Relatório de Validação para a análise de metais e semi metais por ICP OES, contemplando: de Faixa de Trabalho, Seletividade, Linearidade, limite de detecção do equipamento, limite de detecção do método (LD), limite de quantificação (LQ), Precisão, Repetitividade, Reprodutibilidade, Recuperação, Robustez e incerteza de medição.

Indicador 3:

Relatório de Validação para a análise de ânions e amônio em efluente por Cromatografia Iônica, contemplando: de Faixa de Trabalho, Seletividade, Linearidade, limite de detecção do equipamento, limite de detecção do método (LD), limite de quantificação (LQ), Precisão, Repetitividade, Reprodutibilidade, Recuperação, Robustez e incerteza de medição.

Trabalhos para publicação e apresentação em congressos

Atividade 3: Coleta e monitoramento do efluente do IPEN visando a sua caracterização

Será realizada coleta diária do efluente do IPEN na estação de monitoramento de efluentes do IPEN. Os parâmetros pH, condutividade, temperatura e turbidez serão monitorados diariamente. Uma amostra composta do efluente semanal será separada para análise de todos os parâmetros: metais e semi metais, ânions e amônio.

Metas relacionadas as atividades 3

- Coleta e análise de amostras coletadas diariamente, pelo período de um ano, avaliando 30 parâmetros.
- Avaliação de parâmetros físico químicos no momento da coleta,.
- Análise de ânions e amônio por Cromatografia de íons segundo metodologia ASTM 4110 – Determination of anions by ion chromatography,
- Análise de metais e semi metais, após digestão em sistema de microondas Segundo EPA 3051, por ICP OES.

Indicador 4:

Relatórios com a distribuição dos parâmetros avaliados.

Indicador 5

Identificação dos elementos majoritários e característicos do efluente do IPEN

Indicador 6

Criação de um banco de dados, em planilha excel, com os resultados de distribuição de todos os parâmetros avaliados.

Atividade 4: Aplicação de índices com o banco de dados obtido..

Para facilitar a avaliação do extenso banco de dados, serão aplicados índices estabelecidos na literatura e comparados com as Legislações vigentes, avaliando quanto acima ou abaixo o valor encontrado está em relação ao nível aceitável pela legislação pertinente

Metas relacionadas as atividades 4

- Aplicação de pelo menos 3 índices de qualidade ambiental, utilizando os dados de monitoramento do efluente da Atividade 3.
- Avaliação estatística dos resultados obtidos

Indicador 7:

Relatório com a discussão dos índices adotados por diferentes agencias ambientais, estabelecendo 3 para aplicação.

Indicador 8:

Aplicação do índice e discussão sobre o desempenho e aplicabilidade dos mesmos.

Atividade 5: Elaborar planos de ações que permitam uma melhor gestão da Qualidade Ambiental.

Uma vez construídos os indicadores que atendam às propriedades e classificações expostas, elaborar um plano de ação, avaliando parâmetros avaliados e periodicidade de forma a otimizar o processo de gestão ambiental da Instituição.

Metas relacionadas a atividade 5

- Avaliação dos resultados, estabelecendo a periodicidade de coleta e análise de cada parâmetro.
- Apoio na Elaboração do Relatório de Monitoramento Ambiental - PMQ-A e na Avaliação do Programa de gerenciamento de resíduos químicos, convencionais e de saúde do IPEN e em atendimento as condicionantes da Licença de Operação do IPEN, L.O. 1325/2016.

Indicador 9:

- Apresentação de um novo Programa de monitoramento de efluente do IPEN para
 Elaboração do Relatório de Monitoramento Ambiental - PMQ-A, visando a
 manutenção da Licença de Operação.

A Tabela 1 apresenta um resumo do cronograma em função das atividades,
 indicadores descritos anteriormente e prazo de execução.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Atividade 1: Levantamento dos dados e condições ambientais do IPEN	1	Relatório técnico e fotográfico e recomendações futuras	X				
Atividade 2: Validação de metodologia analítica para análise de ânions e amônio por Cromatografia Iônica de acordo com o DOQ- CGCRE-008 do INMETRO	2	Relatório de Validação para a análise de metais e semi metais por ICP OES		X			
Atividade 2: Validação de metodologia analítica para análise de metais e semi metais por ICP OES de acordo com o DOQ-CGCRE-008 do INMETRO	2	Relatório de Validação para a análise de ânions e amônio em efluente por Cromatografia Iônica		X	X		

Atividade 3: Coleta e monitoramento do efluente do IPEN visando a sua caracterização	4	Relatórios técnicos e banco de dados			X	X	
Atividade 4: Levantamento e avaliação de índices de qualidade utilizados internacionalmente	4	Relatório técnico e definição de pelo menos 3 índices				X	
Atividade 4: Aplicação de índices com o banco de dados obtido	4	Apresentação do índice a ser utilizado					X
Atividade 5: Elaborar planos de ações que permitam uma melhor gestão da Qualidade Ambiental.	5	Novo programa de Monitoramento Ambiental					X

1.6 – Cronograma de Atividades

A Tabela 2 abaixo descreve um resumo do cronograma das atividades, indicadores descritos anteriormente e prazo de execução semestral

Atividades	Semestre									
	2019		2020		2021		2022		2023	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

[illegible]

1.7 – Produtos

Produto 1: Relatório Técnico apresentando a situação ambiental do IPEN, em função das Instalações em operação, de forma a estabelecer um desempenho ambiental ou mesmo uma meta para redução de emissões

Produto 2. Relatório Técnico de Validação de Metodologia Analítica DOQ-CGCRE-008, visando credenciamento pelo INMETRO

Produto 3 – Criação de um banco de dados com a distribuição dos parâmetros avaliados no efluente do IPEN.

Produto 4: Estabelecimento de um Índice de Qualidade a ser adotado

Produto 5: Avaliação do cumprimento às legislações reguladoras (item essencial para cumprimento as condicionantes da Licença Operacional IBAMA) Relatório Anual de Avaliação do PMQ-A – do IPEN e plano de ação visando a gestão ambiental do IPEN. Apresentação do Novo programa de Monitoramento Ambiental.

Produto 6 - Submissão de artigos em periódicos e participação em congressos.

A Tabela 3, abaixo descreve um resumo do cronograma em função dos produtos a serem obtidos, descritos anteriormente em função do prazo de execução anual.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Produto 1	1	Indicador 1	X				
Produto 2	2	Indicador 2		X			
Produto 3	3	Indicador 3			X		
Produto 4	4	Indicador 4, e 5				X	
Produto 5	5	Indicador 5 e 6				X	
Produto 6	1, 2, 3, 4 e 5	Indicador 6					x

1.8 – Resultados Esperados

Resultado 1: Estabelecimento de Metodologia para Levantamento dos dados e condições ambientais do IPEN Obter de uma base consistente de dados, projeto e processo identificando Instalações críticas com potências de poluição;

Resultado 2. Metodologias Analíticas para avaliação de metais, semi metais e ânions Validadas. Metodologia analíticas validadas em consonância com o Sistema de Qualidade visando solicitação de credenciamento junto ao INMETRO

Resultado 3. Definição e aplicação de um índice de qualidade ambiental para descarte de efluentes. Incluir os indicadores estabelecidos neste estudo no Relatório PMAQ Ambiental do IPEN e no Relatório de Gestão Ambiental do IPEN, de modo a demonstrar, a existência do controle da poluição e a preocupação institucional com as questões ambientais e de legislação.

Resultado 4. Manutenção da Licença de Operação do IPEN. Prover o IPEN/CNEN de documentação técnica necessária para atendimento às legislações ambientais vigentes e estabelecer requisitos básicos para a proteção à vida e à propriedade, nas suas dependências, onde são manuseados produtos químicos, biológicos e radioativos e equipamentos diversos. Avaliação do cumprimento às legislações reguladoras (item essencial para cumprimento as condicionantes da Licença Operacional IBAMA)

A tabela 4 apresenta um cronograma dos resultados em função dos indicadores.

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Resultado 1	1	Indicador 1,	X				
Resultado 2	2	Indicador 2		X	X		
Resultado 3	3	Indicador 4				X	

Resultado 4	5	Indicador 5 e 6					X
-------------	---	-----------------	--	--	--	--	---

Custeio

Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00	-	-	-
	B	4.160,00	06	-	-
	C	3.380,00	-	-	-
	D	2.860,00			
	E	1.950,00	-	-	-2
	F	900,00	-	-	-
PCI-E	1	6.500,00	-	-	-
	2	4.550,00		-	-
Total (R\$)					

Referências Bibliográficas

Alvarez-Guerra, M.; Viguri, J. R.; Casado-Martinez, M. C.; Delvalls, T. Á. Sediment Quality Assessment and Dredged Material Management in Spain: Part I, Application

of Sediment Quality Guidelines in the Bay of Santander, 2007. Integrated Environmental Assessment and Management, SETAC, 3 (4), p. 529-538.

Coletti Christiane [et al.] Water quality index using multivariate factorial analysis [Article] // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. - Campina Grande, PB : UAEA/UFCG – Agriambi, 2010. - Vols. v.14, n.5, p.517–522.

Da Silva Gilberto Silvério and Jardim Wilson de F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, Região de Campinas/Paulínea – SP [Article] // Quim. Nova. - 2006. - Vols. Vol. 29, No. 4, 689-694.

GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 151-169, mai-ago/2012.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. Environmental indicators : a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington: World Resources Institute, 1995.

Kemerich, P.D.C. ; Ritter, L.G Borb, W.F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações, REMOA - V. 13, N. 5 (2014): Edição Especial LPMA/UFSM, p. 3723-3736

Kusterko, S. K. Uso de indicadores de desempenho como auxílio nos estudos de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água. Trabalho de conclusão de curso.

JORGENSEN, S.E. Introduction. In: JORGENSEN, S.E.; COSTANZA, R.; XU, F.L. (Eds.). Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2005.

Long, E.R.; Ingersoll, C.G.; Macdonald, D.D. "Calculation and uses of mean sediment quality guidelines quotients: a critical review" Environ. Sci.Technol.40, pp.1726-1736(2006).

MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR., A.; COUTINHO, S. M.V. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. Revista Saúde e Sociedade, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 7-20, mar, 2008.

Monteiro, L.R.; Gonçalves, C. Terazan, W. R.; Cotrim, M. E. B. Pires, M.A.F. "Wastewater characterization of Ipen's facilities – A preliminary study" Proceedings of International Nuclear Atlantic Conference - INAC - Belo Horizonte : October 24-28, in press,(2011).

"Estado de São Paulo DECRETO Nº 8.468".
<http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>. (1976)

BRASIL. MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, art. 18 e 19A Decreto nº 99.274, D. O. U., de 18/03/2005, Brasília.

BRASIL. MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 430, art. 18 e 19A Decreto nº 99.274, D. O. U., de 13/05/2011, Brasília.

Singh Kunwar P. [et al.] Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area [Article] // Chemosphere. - 2004. - Vols. 55, p. 227–255.

VIEIRAS, X; POULIQUEN, X.; SOTO, M. 12 indicadores ambientais: Galiza insustentável. Santiago de Compostela: Asociación para a defensa Ecolóxica de Galiza (ADEGA), 2005

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.3	INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES – IPEN
	TÍTULO DO PROJETO: Otimização da metodologia de qualificação do U ₃ Si ₂ utilizado como combustível nuclear por espectrometria de fluorescência de raios X.

Introdução

Em todo o mundo, numerosos reatores de pesquisas fazem o uso de elementos combustíveis tipo placa, o qual é feito através da montagem de placas combustíveis, fabricadas segundo a técnica de montagem núcleo (o qual incorpora o material físsil), moldura e revestimentos, com posterior deformação por laminação ("picture frame technique") [1,2]. Inicialmente, este tipo de combustível utilizava, como material do núcleo, ligas de urânio-alumínio (U-Al) contendo 18% em peso de urânio altamente enriquecido - 93% em peso de ²³⁵U [3,1].

Na década de 50 [4], preocupando-se com a não proliferação de armamentos nucleares, começou-se a utilizar combustíveis contendo urânio com baixo enriquecimento – 20% em peso de ²³⁵U – em reatores de pesquisas de baixa potência. Com o abaixamento do enriquecimento, para que não diminuísse a reatividade e a vida útil dos caroços dos reatores, tornou-se necessário aumentar a quantidade de urânio em cada placa combustível. Placas combustíveis comportando núcleos a base da liga U-Al com 18% em peso de urânio altamente enriquecido eram facilmente fabricadas. Entretanto, surgiram dificuldades na fabricação de placas combustíveis com núcleos de liga U-Al com 45% em peso de urânio com baixo enriquecimento. Tal dificuldade se dava à fragilidade e propensão à segregação desta liga [4,5,6].

Uma alternativa encontrada para este problema foi a utilização de núcleos fabricados por metalurgia do pó, os quais utilizavam dispersões de compostos de urânio em alumínio e podiam incorporar quantidades de urânio – com baixo enriquecimento – sensivelmente maiores. Em 1956, iniciou-se a operação do Reator Argonauta (10 MW), desenvolvido pelo Argonne National Laboratory (ANL), utilizando placas combustíveis com núcleos a base da dispersão U₃O₈-Al, contendo 39% em peso de U₃O₈ com baixo enriquecimento [7].

Considerando o risco de proliferação nuclear, o desenvolvimento baseou-se inicialmente no aumento da concentração de urânio nos combustíveis correntemente utilizados na época do início do Programa – até o limite prático de 2,3 gU/cm³ no caso do UAlx-Al e 3,2 gU/cm³ no caso do U₃O₈-Al – e também no desenvolvimento de novos combustíveis capazes de permitir a obtenção de densidades de urânio de 7 a 8 gU/cm³, as quais se encontram bem acima das densidades possíveis de obter-se com os combustíveis UAlx-Al e U₃O₈-Al.

Com o desenvolvimento destes novos combustíveis seria possível a conversão, para baixo enriquecimento, de praticamente todos os reatores de pesquisas existentes no mundo. Porém, somente podem ser conseguidas elevadas densidades de urânio na dispersão através do uso em dispersão de compostos físséis com alto teor de urânio. O limite tecnológico para utilização de dispersões é de 45% em volume de material físsil disperso, uma vez que deve ser mantida uma matriz contínua de dispersante, no caso alumínio. Os silicetos de urânio e o U₆Fe foram inicialmente os compostos considerados promissores.

Em meados de 1988, a partir de resultados obtidos em testes de irradiação [12,13], o combustível nuclear a base da dispersão U₃Si₂-Al foi qualificado pela Comissão Regulatória Nuclear Americana (U. S. Nuclear Regulatory Commission) e liberado, posteriormente, para comercialização para densidades de urânio de até 4,8 gU/cm³, apresentando um inchamento compatível com o observado no caso das dispersões correntemente utilizadas [14].

A produção do combustível nuclear a base de urânio enriquecido, seja para reatores de potência ou de pesquisa, tem início com a reconversão do UF₆ a DUA (Diuranato de amônio), TCAU (tricarbonato de amônio e urânio) ou UF₄ (tetrafluoreto de urânio), processos nos quais o IPEN-CNEN/SP possui domínio desde a década de 1980.

Na área de combustível a base de dispersão para aplicação em reatores de pesquisas, a partir de 1980, o IPEN-CNEN/SP intensificou seus esforços no sentido de desenvolver a tecnologia de fabricação desse tipo de combustível, buscando adequar-se tecnologicamente para fabricar combustíveis de nova geração.

O IPEN é a maior unidade de pesquisa da área nuclear do país. Possui dois reatores de pesquisa em operação: o Reator IEA-R1, tipo piscina, multipropósito, com 5MW de potência máxima e o reator IPEN/MB 01, unidade crítica, primeiro reator nuclear de projeto e construção genuinamente nacional. O IPEN participou do desenvolvimento autônomo de tecnologia nuclear junto à marinha do Brasil, desenvolvendo e projetando instalações do ciclo do combustível e o reator de propulsão naval.

O Reator IPEN/MB-01 é um exemplo no que se refere a um empreendimento complexo de projeto e construção de um reator nuclear, executado pelo quadro de técnicos do IPEN nas décadas de 80 e 90.

Por força da necessidade de aumento da potência do Reator IEA-R1, de 2 para 5 MW, e do aumento do seu fluxo de nêutrons, em 1998 foi implantada a tecnologia de fabricação do combustível a base de U_3Si_2 , permitindo a elevação a densidade de urânio no combustível de 2 (no caso do U_3O_8) para até 4,8 gU.cm⁻³. A partir de 1998 iniciou-se o desenvolvimento da tecnologia de produção do pó de U_3Si_2 , visando à nacionalização de todo o processo de fabricação, desde o UF₆ enriquecido, passando pela reconversão para UF₄, pela sua redução magnesiotérmica para urânio metálico, pela fusão da liga U_3Si_2 e, finalmente, pela fabricação das placas combustíveis, até a montagem e qualificação do elemento combustível. Em 2005, o IPEN-CNEN/SP consolidou a tecnologia de fabricação do combustível de alta densidade à base de siliceto de urânio, tendo fabricado o primeiro elemento combustível com matéria-prima (UF₆ enriquecido a 20% em U₂₃₅) e tecnologia totalmente nacionais. Com essa conquista, o mercado internacional de combustível de alto desempenho para reatores de pesquisas abriu-se ao Brasil, que se tornou competitivo nesse restrito mercado, dispondo de todos os materiais e tecnologias associadas, inclusive urânio enriquecido. Sendo assim o aumento da potencia do Reator IEA-R1 de 2 para 5MW na década de 1990, seu licenciamento, a adequação de seu núcleo com combustíveis com dispersão de alta densidade de urânio e enriquecimento inferior a 20%, qualificam também o IPEN na área de projetos de reatores Multiproposito.

O Programa Nuclear Brasileiro (PBN) prevê o aumento da utilização de fonte nuclear para a geração de eletricidade, com o consequente aumento nas atividades do ciclo do combustível nuclear visando o fornecimento dos combustíveis nucleares para as

centrais previstas. Assim como prevê também o desenvolvimento continuado da tecnologia do enriquecimento isotópico de urânio e da construção nacional do reator de propulsão naval. O PNB prevê ainda a ampliação da autonomia nacional no desenvolvimento tecnológico, o aumento das aplicações de materiais e técnicas nucleares para o benefício da sociedade, seja na saúde, na indústria, na proteção do meio ambiente ou na agricultura, bem como na formação de recursos humanos especializados.

O Reator IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP é o maior do país porem não tem a capacidade de atender a demanda de radioisótopos do país, como também não possui as características necessárias para dar suporte tecnológico consistente para um programa nuclear como o previsto no PNB.

Os principais reatores de pesquisas produtores de Mo-99 são reatores com mais de 40 anos de uso, estando sujeitos e a cada vez mais frequentes a longas paradas para manutenção, impactando de forma negativa no fornecimento desse radioisótopo.

A estratégia brasileira para superar a crise do Mo-99 para atendimento da classe médica brasileira e aos objetivos estabelecidos no PNB é baseada na implantação do Reator Multipropósito Brasileiro – RMB, com potência de 30MW, empreendimento inédito no país que dará suporte as atividades nucleares, contribuindo fortemente aos objetivos estratégicos nacionais.

Para operação continua, o RMB necessita de fornecimento do combustível nuclear e de alvos de urânio para a produção do radioisótopo Mo-99.

O combustível nuclear é um dos elementos mais importantes no funcionamento de um Reator Nuclear. Sua função é fornecer energia, por meio da fissão nuclear, para alimentar o funcionamento do reator.

Buscam-se alternativas para que reatores de pesquisa possam obter melhor desempenho em seu funcionamento. Para tanto, é necessário a utilização de materiais combustíveis LEU de alto desempenho e estáveis sob irradiação, sem colocar em risco a segurança da operação do reator. Para que seja respeitado o limite de enriquecimento do urânio, exigidos pelo Programa RERTR, é necessário aumentar a concentração de urânio no núcleo das placas combustíveis tipo dispersão.

O caminho do desenvolvimento tecnológico se dá no sentido de conseguir materiais capazes de permitir maiores densidades de urânio no núcleo de combustível nuclear [15]. Por conta disso, passou a utilizarem-se placas de elementos combustíveis com núcleos de dispersões, onde as partículas da fase dispersa encontram-se uniformemente distribuídas em uma matriz contínua de um material não físsil – na maioria dos casos este material é o Alumínio.

Uma das principais vantagens dos elementos combustíveis à base de dispersão é que os mesmos possibilitam a fabricação de núcleos com uma grande variedade de concentrações das fases dispersas. Outra vantagem é que tais são mais resistentes a danos causados pela irradiação, em sua operação – esta grande estabilidade se deve ao fato dos produtos de fissão permanecer acumulados dentro, ou nas vizinhanças, de partículas dispersas do combustível, prevenindo danos no núcleo do combustível [16].

Processos de fabricação do Combustível tipo dispersão

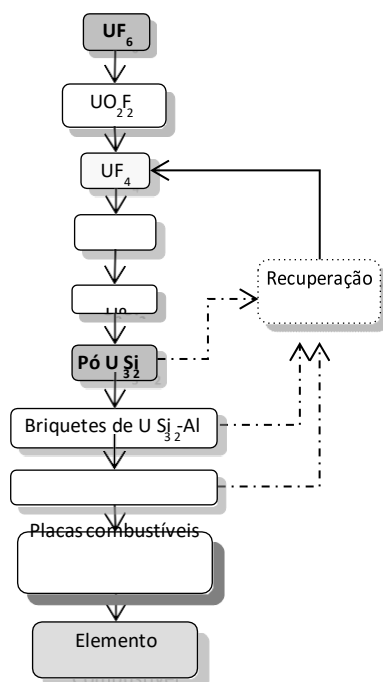
Os elementos combustíveis tipo placa são formados através da montagem de um conjunto de placas combustíveis que são igualmente espaçadas entre si, permitindo a passagem de um fluxo de água que serve como refrigerante e moderador. As placas combustíveis constituem-se de um núcleo contendo o material físsil, o qual é totalmente revestido com alumínio.

Técnicas de metalurgia do pó são utilizadas na fabricação dos núcleos das placas combustíveis, compostos de cermets, compósitos cerâmico-metálicos, utilizando pó de U_3Si_2 enriquecido a 20% no isótopo ^{235}U (material combustível nuclear), em conjunto com pó de alumínio (material estrutural da matriz do núcleo).

Os elementos combustíveis utilizados atualmente em reatores de pesquisa, ou de testes de materiais, constituem-se de um conjunto de placas planas dispostas paralelamente umas às outras. Tais placas são mantidas rigidamente e alinhadas por duas placas suportes, dispostas nas laterais. Estas placas possuem estrias paralelas, onde são colocadas as placas combustíveis, sendo estas fixas rigidamente por um

processo de cravamento. A Figura 1 apresenta um diagrama de blocos simplificado do processo de produção de elemento combustível tipo MTR.

Figura 1 – Diagrama de blocos de produção de elemento combustível tipo MTR.



Determinação de U_{total} e Si e impurezas metálicas em U_3Si_2 por Espectrometria de Fluorescência de raios X

A técnica de fluorescência de raios X (WDXRF) consiste em incidir um feixe de raios X em uma amostra e produzir radiações fluorescentes (transições eletrônicas dos elétrons das camadas mais intensas dos átomos), que são características para cada elemento químico. Estas radiações são difratadas por um cristal analisador (de acordo com a Lei de Bragg) e captadas por um detector de cintilação (SC-elementos $22 < Z < 92$) ou proporcional de fluxo (FPC- $Z < 22$) [17,18,19].

A técnica é utilizada para análises químicas qualitativas e quantitativas de elementos inorgânicos (B à U) e permite a determinação de maiores e menores constituintes e traços de materiais, incluindo materiais nucleares. As vantagens desta técnica em comparação as técnicas analíticas instrumentais utilizadas para análise química de elementos inorgânicos, como a espectrometria de absorção atômica (AAS), espectrometria de massas por fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) e outras é de utilizar metodologia não destrutiva, ou seja, ensaio direto, normalmente

sem tratamentos químicos prévios para a preparação de amostras, além disto, de apresentar boa precisão, exatidão e rapidez nas determinações.

As ligas de U_3Si_2 são formadas por meio de soluções sólidas, tendo como principais constituintes os elementos Si, presente entre 7,4 a 7,9% e U como balanço de acordo com a especificação de fabricação.

Atualmente, a determinação de U e Si nas amostras de U_3Si_2 , utilizado na fabricação os elementos combustíveis do CCN, é realizada por fluorescência de raios X pela metodologia de pastilha prensada. Para o preparo de cada pastilha, são utilizados 3,6 g de amostra de U_3Si_2 misturados à 0,4g de cera Wax. Esse material é prensado sobre uma pastilha de ácido bórico (6 g). Neste estudo faremos uso de um porta amostra na forma de pó solto, sem fazer uso de prensagem. Neste caso serão necessários apenas 50mg de U_3Si_2 para realização da análise e não será necessária a utilização de ácido bórico nem da cera utilizada como diluente na técnica de pastilha prensada, além da reutilização da amostra utilizada no processo produtivo, por se tratar de material enriquecido a $19.75 \pm 0,20$ % em peso de U-235.

Na qualificação da matéria prima de U_3Si_2 a especificação adotada para a fabricação de elemento combustível está inclusa a presença de impurezas metálicas que atualmente são analisadas pela técnica de espectrometria de emissão óptica p/ plasma acoplado – ICP, onde requer uma preparativa de separação morosa fazendo uso de troca iônica e com geração de efluentes líquidos. Com a técnica de fluorescência de raios x esta análise seria realizada num tempo mais curto e sem geração de efluentes.

Objetivo Geral

O objetivo geral do projeto será otimizar a metodologia de qualificação do U_3Si_2 por Espectrometria de Fluorescência de raios X.

Objetivo Específico:

1. Desenvolver uma metodologia para determinação de U_{total} e Si em U_3Si_2 por Espectrometria de Fluorescência de raios X utilizando porta amostra para pó solto (SPEX - 31 mm Micro X-CELL). Com esse tipo de porta amostra, serão necessários apenas 50mg de U_3Si_2 para realização da análise e não será

necessária a utilização de ácido bórico nem da cera utilizada como diluente na técnica de pastilha prensada. Validar a metodologia rotineiramente, fazendo uso de amostra em pó solto no laboratório de fluorescência de raios X do CCN.

2. Desenvolver metodologia para determinação de impurezas metálicas em amostras de U₃Si₂. Validar a metodologia.
3. Implantação da metodologia rotineiramente no laboratório de Fluorescência de raios X do CCN do IPEN/CNEN-SP.

Insumos

Custeio

Descrever recursos de custeio destinados a diárias e passagens com o objetivo de:

- a) Apoiar a participação de integrantes da equipe do projeto em estágios, cursos ou visitas no País, para aquisição de conhecimentos específicos e necessários ao desenvolvimento do projeto;
- b) Possibilitar a participação de consultores ou instrutores especializados, brasileiros ou estrangeiros, como forma de complementação da competência das equipes.

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA

Bolsas

Descrever a necessidade de agregação de especialistas, pesquisadores e técnicos, com vistas à execução dos objetivos específicos do projeto 1, bem como, o quantitativo de bolsas PCI por nível necessárias à inclusão destes recursos humanos.

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Doutorado	Tecnologia Nuclear	1,2,3	DB	6	1

Atividades de Execução

Descrever as atividades que levarão ao cumprimento dos objetivos específicos do projeto 1.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Desenvolver o método de análise química utilizando o método de curva de calibração. Devido à ausência de materiais de referência certificados internacional e/ou nacional para obtenção das curvas de calibração serão utilizadas amostras cujo teor de Si e U foram obtidas por análise gravimétrica e volumétrica, respectivamente.	1,2	Relatório Técnico/ Memorial de análises (banco de dados)	X				
Parâmetros instrumentais e ferramentas matemáticas para cálculo de coeficientes para correção de efeitos matriz (nativo do equipamento S8 TIGER 4kW da marca Bruker);	1,2	Relatório Técnico/ Memorial de análises (banco de dados)	X	X			

Validação da metodologia – utilizar como material de referência uma amostra produzida no Centro do Combustível Nuclear do IPEN/CNEN-SP, enriquecido a 19,75% $\pm$ 0,20% em peso de U235. A amostra será analisada seis vezes, durante 05 dias consecutivos, totalizando um conjunto de 18 medidas por elemento. Será avaliada precisão e exatidão	1,2	Relatório Técnico/ Memorial de análises (banco de dados)		X	X		
Implantação da metodologia rotineiramente no laboratório de Fluorescência de raios X do CCN do IPEN/CNEN-SP	3	Submissão de artigo a ser publicado Protocolo de análise aplicado as rotinas do lab. de FRX do CCN			X		

Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2019		2020		2021		2022		2023	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Preparação de amostras	X	X								
2. Desenvolvimento da curva de calibração para análise de pó solto em amostra de U3Si2	X	X								
3. Desenvolvimento da curva de calibração para análise de impurezas metálicas de pó solto em amostra de U3Si2		X	X							

4. Preparação de material de referencia (amostra produzidas no CCN enriquecido a $19,75\% \pm 0,20\%$ em peso de U^{235} . A amostra será analisada seis vezes, durante 05 dias consecutivos, totalizando um conjunto de 18 medidas por elemento)		X	X							
5. Parâmetros instrumentais e ferramentas matemáticas para cálculo de coeficientes para correção de efeitos matriz		X	X	X						
6. Validação da metodologia (precisão e exatidão)				X	X					
7. Submissão de artigo em revista científica						X				
8. Implantação da metodologia no laboratório de FRX do CCN						X	X			

Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades [1].

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Método de análise	1 ,2	Artigo publicado em periódico internacional			X		
Protocolo de análise adotado as rotinas de qualificação de combustíveis nucleares do IPEN/CNEN-SP	1,2,3	Protocolo apresentado como instrução de trabalho –IT documentado no sistema de Gestão de Qualidade do CCN - IPEN/CNEN-SP			X		

Resultados Esperados

Os resultados são mudanças observadas no curto prazo sobre indivíduos, grupos ou instituições, como resultado da intervenção realizada [1].

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Método de qualificação de U, Si e impurezas no U ₃ Si ₂ (precisão, exatidão e índice de incerteza)	1,2,3	Artigo publicado periódico internacional Protocolo aplicado ao Lab FRX do CCN do IPEN/CNEN -SP			X		
Reutilização da amostra utilizada no processo produtivo visto que não fará uso de cera WAX	1,2,3	Controle de material salvaguardado	X	X	X		
Não geração de efluentes sólidos. Fazendo uso de amostras na forma de plastilhas com cera WAX este material após análise é estocado como efluentes sólido	1,2,3	Controle de material salvaguardado	X	X	X		

Referências Bibliográficas

CUNNINGHAM, J.E.; BOYLE, E.J. MTR-Type fuel elements. In: UNITED NATIONS. Peaceful uses atomic energy: proceedings of the International Conference on..., held in Geneva, 8-20 Aug. 1955. V. 9: Reactor technology and chemical processing. New York, N.Y., 1956. p. 203-7.

KAUFMAN, A.R. Nuclear reactor fuel elements, metallurgy and fabrication. New York, N.Y. Interscience, 1962.

HOLDEN, A.N. Dispersions Fuel Elements. New York, N.Y., Gordon & Breach, 1967.

CUNNINGHAM J.E.; BEAVER, R.J.; THURBER W.C.; WAUGH, C. Fuel Dispersions in Aluminium-Base Elements for Research Reactors. In: ATOMIC ENERGY COMMISSION. Fuel Elements Conference held in Paris, 18-23 November, 1957. Oak Ridge, Tenn., 1958, V.1. p. 269-97. TID -7546.

SALLER, H.A. Preparation, Properties and Cladding of Aluminum-Uranium Alloys. In: UNITED NATIONS. Peaceful Uses of Atomic Energy: proceedings of the International Conference on..., held in Geneva, 8-20 Aug. 1955. V.9: Reactor Technology and Chemical Processing. New York, N.Y., 1956. p. 214-20.

THURBER, W.C.; BEAVER, R.J. Segregation in Uranium-Aluminum Alloys and its Effect on the Fuel Loading of Aluminum-Base Fuel Element. In: USAEC: Reactor Fuel Measurements Techniques Symposium, held in East Lansing, Michigan, June 18-20, 1958. Oak Ridge, Tenn., 1958. p. 9-29. TID -7560.

LENNOX, D.H.; KELBER, C.N. Summary Report on the Hazards of the Argonaut Reactor. Lemont, m.,

KUCERA, W.J.; LEITTEN, C.F.; BEAVER, R.J. Specifications and Procedures Used in Manufacturing U₃O₈-Aluminium Dispersion Fuel Elements for Core I of the Puerto Rico Research Reactor. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., 1963. ORNL - 3458.

KNIGHT, R.W.; BINNS, J.; ADAMSON Jr., G.M. Fabrication Procedures for Manufacturing High Flux Isotope Reactor Fuel Elements. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., June 1968. ORNL - 4242.

BEAVER, R.I.; ADAMSON JR., G.M.; PATRIARCA, P. Procedures for Fabricating Aluminium-Base ATR Fuel Elements. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., June 1964. ORNL - 3632.

TRAVELLI, A. Current Status of the RERTR Program. In: Development Fabrication and Application of Reduced-Enriched Fuels for Research and Test Reactor: proceedings held in Argonne, Ill., 12-14 November, 1980. CONF - 801144.

SNELGROVE, J.L.; DOMAGALA, R.F.; HOFMAN, G.L.; WIENCEK, T.C.; COPELAND, G.L.; HOBBS, R.W.; SENN, R.L. The Use of U₃Si₂ Dispersed in Aluminum in Plate-Type Fuel Elements for Research and Test Reactors. Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, October 1987. ANL/RERTR/TM-11.

COPELAND, G.L.; HOBBS, R.W.; HOFMAN, G.L.; SNELGROVE, J.L. Performance of Low-Enriched U_3Si_2 -Al Dispersion Fuel Elements in the Oak Ridge Research Reactor. Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, October 1987. ANL/RERTR/TM-10.

U.S. REGULATORY COMMISSION. Safety Evaluation Report related to the Evaluation of Low-Enriched Uranium Silicide-Aluminum Dispersion Fuel for Use in Non-Power Reactors. United States Nuclear Regulatory Commission, July 1988. NUREG-1313

MARTINS, I.C. Estudos microestruturais sobre interações químicas na liga U-Mo com Al. 2010. Dissertação (Mestrado)– Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

BRESSIANI, J.C. Desenvolvimento de combustível tipo placa, com núcleo constituído por dispersão U-Al, para reatores de ensaios de materiais. 1979. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

BRESSIANI, J.C. Desenvolvimento de combustível tipo placa, com núcleo constituído por dispersão U-Al, para reatores de ensaios de materiais. 1979. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

MÜLLER, D. M. Spectrochemical analysis by X ray fluorescence analysis- Theory and Application. Wiley, London, 1995.

TERTIAN, R.,CLAISSE,F. Principles of quantitative X – ray fluorescence analysis, London

SCAPIN M. A. Aplicação da difração e fluorescência de raios x (WDXRF: ensaios em Argilominerais. Dissertação (mestrado – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2003.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.4	INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES – IPEN TÍTULO DO PROJETO: Sintetização e caracterização de materiais cerâmicos sintéticos para a imobilização de rejeitos radioativos de médio e alto nível.
-----------------------------------	--

1.2 – Introdução

Uma das formas mais eficientes de imobilização de rejeitos radioativos é a sua incorporação como constituinte de materiais sólidos estáveis, ou seja, que o elemento radioativo substitua um dos elementos presentes no sólido em sua estrutura cristalina[1,2]. Assim, em concordância com a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016|2022 (p. 110), neste projeto o objetivo é o uso de uma técnica nuclear para a investigação em escala atômica de materiais óxidos sólidos candidatos a imobilização de rejeitos radioativos por meio da medida experimental e cálculos de primeiros princípios das interações hiperfinas (HFI). Investigaremos a estabilidade química e estrutural e a possível criação de defeitos pontuais quando da incorporação de átomos com núcleos radioativos ao material. Óxidos com estrutura perovskita e pirocloro são considerados bons candidatos para a imobilização de longo prazo na forma sólida de rejeitos radioativos devido a suas propriedades estruturais e estabilidade química[3]. Os materiais investigados neste projeto são óxidos metálicos com estrutura perovskita do tipo ABO_3 onde o elemento A ou B podem ser substituídos por lantanídeos ou actinídeos e óxidos com estrutura pirocloro de fórmula química $A_2B_2O_7$ onde o elemento A pode ser substituído total ou parcialmente por um lantanídeo ou actinídeo. As amostras serão sintetizadas por um método químico que será adaptado, os melhores candidatos são o método de co-precipitação e o método sol-gel. A estrutura cristalina e tamanho dos cristalitos pela difração de raios X (DRX). Será usada a espectroscopia de correlação angular gama-gama perturbada (PAC) para realizar as medidas experimentais em amostras com e sem receberem dose de radiação. Nesta técnica, núcleos de prova radioativos são introduzidos no material para medidas de interações hiperfinas. Os cálculos de primeiros princípios a serem realizados são baseados na teoria do funcional de densidade (DFT). Pelo fato de ser uma técnica nuclear, a espectroscopia PAC possui grande precisão e eficiência na medida das interações numa escala atômica, constituindo uma ferramenta ideal para a investigação de fenômenos estruturais pontuais, como a influência de defeitos nas propriedades macroscópicas dos materiais ou a vizinhança local de átomos metálicos na estrutura de óxidos e possíveis distorções estruturais. Estamos realizando experimentos com óxidos de alguns lantanídeos e comparar os resultados com os cálculos. Uma vez validados os cálculos para estes elementos, pretende-se

calcular para os demais elementos lantanídeos, estabelecendo assim, um novo processo de pesquisa nesta área.

Foram realizadas medidas experimentais PAC preliminares de óxidos pirocloros $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, $\text{Gd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ e $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ e óxidos perovskitas $(\text{LaBa})\text{MnO}_3$ e $(\text{LaBa})\text{CoO}_3$ com núcleos de prova radioativos de ^{111}In no IPEN e ^{111}mCd implantados no CERN, Genebra. O ^{111}In decai para o ^{111}Cd no qual é feita a medida PAC no IPEN, as medidas PAC com ^{111}mCd foram realizadas no laboratório ISOLDE do CERN. O Cd é um íon pesado e simula bem um átomo radioativo incorporado ao material. Os experimentos foram um grande sucesso e os resultados estão sendo analisados e estamos aguardando os resultados dos cálculos de primeiros princípios, que são muito demorados. Pretendemos, nesta nova etapa investigar materiais com volumes cristalinos maiores substituindo o Ti pelo Hf nas amostras de óxido pirocloro e óxidos perovskitas com Bi e Ca. Pretendemos também submeter os materiais a altas doses de radiação no irradiador de Co e no reator IEA-R1.

Equipe:

Dr. Artur Wilson Carbonari, doutor pesquisador do IPEN, coordenador do projeto;

Dr. Luciano Fabricio Dias Pereira, doutor bolsista de pós-doutorado, especialista em cálculos de primeiros princípios.

1.3 - Objetivo Geral

O objetivo geral do presente projeto é a investigação sistemática de propriedades estruturais e estabilidade de óxidos pirocloro e perovskita como candidatos a imobilização de rejeitos radioativos. Amostras de óxidos serão investigadas em duas situações: após a irradiação das amostras com diferentes doses e após a incorporação de núcleos radioativos à estrutura dos óxidos. Nesta última situação, será usada na investigação uma técnica nuclear de caracterização em escala atômica aproveitando a incorporação destes núcleos radioativos em sítios regulares da estrutura cristalina destes óxidos para a medida experimental de interações hiperfinas nestes mesmos núcleos, atuando agora como pontas de prova. Simulações por meio de cálculos de primeiros princípios serão realizadas para investigar a estrutura eletrônica e estabilidade energética da incorporação de impurezas (elementos radioativos) à estrutura cristalina destes óxidos tendo como parâmetro de controle as interações hiperfinas.

Objetivo Específico 1: Sintetizar e caracterizar novos materiais óxidos baseados em cátions metálicos nas estruturas perovskita e pirocloro com as propriedades específicas para uso em imobilização de rejeitos radioativos

Objetivo Específico 2: Estabelecer uma metodologia de preparação por uma via química para obter estes materiais.

Objetivo Específico 3: Investigar em escala atômica, por meio de medidas de interações hiperfinas, mudanças estruturais e formação de defeitos ou outras fases, quando o material é submetido a doses de radiação.

Objetivo Específico 4: Comparar os resultados experimentais com cálculos de primeiros princípios para estabelecer uma metodologia teórica de investigação destes materiais.

1.4 - Insumos

1.4.1 – Custeio

Descrever recursos de custeio destinados a diárias e passagens com o objetivo de:

- a) Apoiar a participação de integrantes da equipe do projeto em estágios, cursos ou visitas no País, para aquisição de conhecimentos específicos e necessários ao desenvolvimento do projeto;
- b) Possibilitar a participação de consultores ou instrutores especializados, brasileiros ou estrangeiros, como forma de complementação da competência das equipes.

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
Visita técnica de especialista estrangeiro	5 passagens aéreas	
Manutenção de especialista estrangeiro	50 diárias	

--	--	--

1.4.2 – Bolsas

Descrever a necessidade de agregação de especialistas, pesquisadores e técnicos, com vistas à execução dos objetivos específicos do projeto 1, bem como, o quantitativo de bolsas PCI por nível necessárias à inclusão destes recursos humanos.

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	quantidade
Mestrado/Doutorado	Físico-química	1, 2, 3 e 4	D-B	06	1

1.5 - Atividades de Execução

Descrever as atividades que levarão ao cumprimento dos objetivos específicos do projeto 1.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
1. Síntese e caracterização de amostras de pirocloro	1, 2	Metodologia de síntese estabelecida, resultados de DRX analisados: possível patente					
2. Irradiação de amostras de pirocloro	3	Amostra irradiada com dose determinada.					

3. Medida de interações hiperfinas em amostras de pirocloro	3	Espectros PAC analisados e publicados em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					
4. Cálculos teóricos dos pirocloros		Comparação com resultados experimentais e publicação em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					
5. Síntese de amostras de perovskitas	1, 2	Metodologia de síntese estabelecida, resultados de DRX analisados: possível patente					
6. Irradiação de amostras de perovskita	3	Amostra irradiada com dose determinada					
7. Medida de interações hiperfinas em amostras de perovskita	3	Espectros PAC analisados e publicados em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					
8. Cálculos teóricos dos perovskitas	4	Comparação com resultados experimentais e publicação em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					

1.6 – Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2019		2020		2021		2022		2023	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

[illegible]

Síntese de amostras de perovskita PbHfO ₃ e LaHfO ₃										
Medida experimental de amostras perovskita PbHfO ₃ e LaHfO ₃										
Cálculos teóricos das perovskita PbHfO ₃ e LaHfO ₃										
Irradiação de amostras de pirocloro La ₂ Hf ₂ O ₇ , Gd ₂ Hf ₂ O ₇ , Yb ₂ Hf ₂ O ₇										
Medida experimental de amostras de pirocloro La ₂ Hf ₂ O ₇ , Gd ₂ Hf ₂ O ₇ , Yb ₂ Hf ₂ O ₇ irradiadas										
Irradiação de amostras de perovskita PbHfO ₃ e LaHfO ₃										
Medida experimental de amostras irradiadas de perovskita PbHfO ₃ e LaHfO ₃										

1.7 – Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades [1].

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023

Patente de sintetização de pirocloro	1 e 2	Metodologia de síntese estabelecida, resultados de DRX analisados					
Patente de sintetização de perovskitas	1 e 2	Metodologia de síntese estabelecida, resultados de DRX analisados					
Artigo sobre medidas experimentais de pirocloros La ₂ Ti ₂ O ₇ , Gd ₂ Ti ₂ O ₇ , Yb ₂ Ti ₂ O ₇ publicado	3	Espectros PAC analisados e publicados em artigos científicos ou apresentados em conferencias especificas					
Artigo sobre medidas experimentais de perovskitas (La,Ba)MnO ₃ e (La,Ba)CoO ₃ publicado	3	Espectros PAC analisados e publicados em artigos científicos ou apresentados em conferencias especificas					
Artigo sobre cálculos teóricos de pirocloros La ₂ Ti ₂ O ₇ , Gd ₂ Ti ₂ O ₇ , Yb ₂ Ti ₂ O ₇ publicado	4	Comparação com resultados experimentais e publicação em artigos científicos ou apresentados em conferencias especificas					
Artigo sobre cálculos teóricos de perovskitas (La,Ba)MnO ₃ e (La,Ba)CoO ₃ publicado	4	Comparação com resultados experimentais e publicação em artigos científicos ou apresentados em conferencias especificas					

Artigo sobre medidas experimentais de pirocloros $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$, $\text{Gd}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$, $\text{Yb}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ publicado	3	Espectros PAC analisados e publicados em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					
Artigo sobre medidas experimentais de perovskitas PbHfO_3 e LaHfO_3 publicado	3	Espectros PAC analisados e publicados em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					
Artigo sobre cálculos teóricos de pirocloros $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$, $\text{Gd}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$, $\text{Yb}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$ publicado	4	Comparação com resultados experimentais e publicação em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					
Artigo sobre cálculos teóricos de perovskitas PbHfO_3 e LaHfO_3 publicado	4	Comparação com resultados experimentais e publicação em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					
Artigo sobre pirocloros irradiados publicado	3	Espectros PAC analisados e publicados em artigos científicos ou apresentados em conferencias específicas					

Artigo sobre pirocloros irradiados publicado	3	Espectros PAC analisados e publicados em artigos científicos ou apresentados em conferencias especificas					
--	---	--	--	--	--	--	--

1.8 – Resultados Esperados

Os resultados são mudanças observadas no curto prazo sobre indivíduos, grupos ou instituições, como resultado da intervenção realizada [1].

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Consolidação de linha de pesquisa em imobilização de rejeitos em óxidos no IPEN	3	Espectros PAC analisados					
Metodologia de investigação de imobilização de rejeitos em óxidos estabelecida	4	Comparação com resultados teóricos/ experimentais					
Pesquisador especialista em imobilização de rejeitos em óxidos formado	3 e 4	Comparação com resultados teóricos/ experimentais					

Referências Bibliográficas

- [1] W. J. Weber et al. J. Mat. Res. 13(1998)1434.
- [2] Record of Decision for the Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials Final Programmatic Environmental Impact Statement (U.S. Department of Energy, Washington, DC, January 14, 1997).
- [3] R.C. Ewing et al. J. Appl. Phys. 95(2004)5949

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.5	CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE – CRCN-NE/CNEN
	TÍTULO DO PROJETO: Implementação da técnica de micronúcleos com bloqueio de citocinese no Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE/CNEN para dosimetria biológica e aplicações interdisciplinares

4.1 – Introdução

A técnica de micronúcleos em linfócitos do sangue periférico com bloqueio da citocinese celular (CBMN, Cytokinesis-Block Micronucleus) foi desenvolvida por Fenech e Morley, em 1985, sendo um método confiável para quantificar quebras cromossômicas e perda de células nucleadas. Os micronúcleos (MN) podem resultar de pequenos fragmentos acêntricos que não estão incorporados aos núcleos das células filhas durante a divisão celular. Esses fragmentos acêntricos estão envolvidos por uma membrana nuclear, por essa razão, eles aparecem como pequenos núcleos - micronúcleos - no citoplasma de forma separada dos núcleos das células filhas. Os MN surgem durante a exposição à vários agentes clastogênicos e resultam do DNA mal reparado ou de rupturas de filamentos duplos (DSB, double-strand break). O MN também pode conter cromossomos inteiros (dicêntricos) que também não são incorporados nos núcleos principais (Fenech, 2000; Thierens & Vral, 2009).

Em casos de acidentes envolvendo radiação, a estimativa de dose absorvida pode ser baseada na análise de marcadores biológicos sensíveis e específicos à radiação e que reflitam os danos biológicos causados pela mesma. A contagem de cromossomos dicentricos é tida como padrão ouro nessa área, porém é laboriosa e demorada, sendo o ensaio de micronúcleos por bloqueio da citocinese (CBMN) uma alternativa mais rápida e útil para triagem entre indivíduos expostos significativamente ou não à radiação ionizante [1]. Para isso, é necessário estabelecer curvas de calibração dose-resposta [IAEA, 2011; Roy et al., 2012].

As curvas de calibração, no caso de micronúcleos em linfócitos humanos, representam matematicamente a quantidade de dose absorvida pelo organismo humano em relação ao número (ou resposta) de micronúcleos presentes nos linfócitos provenientes do sangue periférico humano. A curva de calibração é representada por uma função matemática da forma: $Y = C + \alpha D + \beta D^2$ para radiação de baixa LET (raios X e radiação gama), onde α e β são os coeficientes linear e quadrático, respectivamente, e que determinam a forma e inclinação da curva, Y é a frequência da alteração, C determina o número espontâneo (background) de micronúcleo e D corresponde à dose absorvida de radiação [Lloyd & Dolphin, 1977; IAEA, 2011].

Devido à boa confiabilidade e reprodutibilidade, o ensaio de MN tornou-se um dos padrões de técnica de citogenética para testes de toxicologia genética em células humanas

e de mamíferos em geral (Thierens & Vral, 2009). Em termos de aplicação a técnica de CBMN é bastante versátil, podendo ser aplicada desde grandes acidentes envolvendo radiação, até na necessidade de biomonitoramento de pacientes submetidos à radioterapia, como exemplo de iodoterapia com I-131, para avaliar do potencial de risco associado à exposição interna à radiação; no estudo de inibição celular através do uso de radiofármacos; avaliação do potencial de radioproteção de extratos vegetais ou extratos como o própolis [Rodrigues et al., 2005, Jagetia, 2007; Joseph, 2009; Paul et al., 2011].

O Laboratório de Dosimetria Biológica do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE/CNEN) pretende utilizar o ensaio de CBMN em projetos futuros, para isso necessita implementar o ensaio de CBMN para construção da curvas de calibração dose-resposta para radiação gama e raios-X, seguindo a recomendação da IAEA. Além de estabelecer essa técnica para uso multidisciplinar para os setores do próprio CRCN-NE/CNEN, como os de produção de radiofármaco e análises ambientais, fomentando a colaboração interna; e inclusive fazer parte de estudo com outros centros de pesquisas locais como os departamentos da Universidade Federal de Pernambuco, para analisar principalmente populações que habitam regiões ricas em fosforito uranífero, onde o background de radiação ionizante é mais elevado; e em diversos setores da sociedade, como na área médica entre pacientes e a equipe que desenvolve tais procedimentos como tratamentos e exames em radiologia, radioterapia e de medicina nuclear, e na área industrial, traz à tona a necessidade de estudos de biomonitoramento local.

Vale ressaltar que esse projeto já está aprovado pelo Comitê de Ética do CCS (Centro de Ciências da Saúde) da Universidade Federal de Pernambuco sob o parecer consubstanciado Nº 269.483.

4.2 - Objetivo Geral

Implementar a técnica de CBMN no CRCN-NE/CNEN para aplicação em dosimetria biológica, visando acidentes em grande escala (emergência) e a aplicação dessa técnica em outras atividades que envolvam a radiação, como o biomonitoramento populacional de regiões com background mais elevado de radiação; biodosimetria de pacientes submetidos a terapia com radionuclídeos e no estudo do potencial radioprotetor ou radiomitigador de extratos naturais; e avaliação da genotoxicidade de novos radiofármacos.

- Objetivo Específico 1:

Implementar da técnica de CBMN no laboratório de dosimetria biológica do CRCN-NE/CNEN;

- Objetivo Específico 2:

Construir curvas de calibração resposta para radiação gama e raios X de 250kVp;

- Objetivo Específico 3:

Validar as curvas de calibração para os tipos de radiação propostos no objetivo específico 2;

- Objetivo Específico 4:

Estabelecer parcerias intra e interinstitucionais para a utilização da técnica de CBMN em diferentes aplicações.

4.3 - Insumos

4.3.1 – Custeio

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)

4.3.2 – Bolsas

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
Bacharel Biomedicina	Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares com	Todos	D-C	06	1

	ênfase em saúde				
	Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares com ênfase em saúde				

Graduação em Biomedicina

Experiência no mestrado e/ou doutorado em técnica citogenética de micronúcleos.

4.4 - Atividades de Execução

*Metas:

- M1. Ter a técnica de CBMN implementada no Laboratório de Dosimetria Biológica do CRCN-NE/CNEN/CNEN até abril de 2019;
- M2. Ter irradiado com radiação gama amostras de sangue de quatro voluntários para construção da curva até novembro de 2019;
- M3. Ter validado a curva de radiação gama até dezembro de 2019;
- M4. Ter irradiado com raios X amostras de sangue de quatro voluntários para construção da curva até setembro de 2020;
- M5. Ter validado a curva de Raios X até novembro de 2020;
- M6. Estabelecer pelo menos 1 parceria intra ou interinstitucional até dezembro de 2020 para avaliar potenciais radioprotetores e radiomitigadores de extratos naturais;
- M7. Estabelecer pelo menos 1 parceria intra ou interinstitucional até dezembro de 2021 para biomonitorar pacientes de terapia com radionuclídeos;
- M8. Estabelecer pelo menos 1 parceria intra ou interinstitucional até dezembro de 2022 para biomonitorar indivíduos de população de regiões com background mais elevado de radiação;
- M9. Estabelecer pelo menos 1 parceria intra ou interinstitucional até dezembro de 2023 para contribuir em estudos de genotoxicidade de novos radiofármaco;
- M10. Publicar os resultados alcançados em congressos e revistas científicas.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas*				
			2019	2020	2021	2022	2023
Implementação da técnica de CBMN	1	Nº de Técnica implementada	M1				
Construção e validação das curvas de calibração dose-resposta	2 e 3	Nº de Curvas construídas e validadas	M2, M3	M4, M5			
Criação de parcerias intra e interinstitucionais para diferentes aplicações da técnica CBMN	4	Nº de Parcerias estabelecidas		M6	M7	M8	M9
Publicação de resultados em congressos e revistas científicas	2, 3, 4,	Nº de Publicações em anais e revistas científicas	M2 e M3	M4 e M5	M7	M8	M9 e M10

4.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2019		2020		2021		2022		2023	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Implementação da técnica de CBMN	X									
Construção da curva para radiação gama	X	X								

Validação da curva para radiação gama		X								
Construção da curva para raios X			X	X						
Validação da curva para raios X				X						
Estabelecimento de parcerias			X	X	X	X				
Avaliação de potenciais radioprotetores e radiomitigadores			X	X	X	X				
Biomonitoração de pacientes de terapia com radionuclídeos					X	X	X	X		
Biomonitoração de populacional						X	X	X	X	
Contribuição em estudos de genotoxicidade de radiofármacos								X	X	X
Publicação de resultados em congressos e revistas científicas		X		X		X		X		X

Atividades ano 2023

Atividades	Meses				
	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
Construção da curva para radiação gama	X	X	X		
Validação da curva para radiação gama			X	X	
Publicação de resultados em congressos e revistas científicas				X	X

4.6 – Produtos

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Laboratório hábil para a técnica de micronúcleos para biodosimetria e outras aplicações	1	Técnica implementada	M1				
Curva de calibração dose resposta para radiação gama	2 e 3	Curva construída e validada	M2 e M3				
Curva de Calibração dose resposta para raios X	2 e 3	Curva construída e validada		M4 e M5			
Parcerias estabelecidas	4	Quantidade de parcerias		M6	M7	M8	M9
Produção científica	2, 3 e 4	Nº de Publicações em anais de congressos e revistas científicas	M10	M10	M10	M10	M10

4.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023

Laboratório de dosimetria biológica do CRCN-NE/CNEN mais capacitado para atendimento a emergências radiológicas ou nucleares	1, 2 e 3	2 Curvas de calibração dose resposta para MN construídas e validadas.	M1, M2, M3	M4, M5			
Interação do laboratório com outros setores do CRCN e outros institutos, disponibilizando-o como um laboratório multiusuário.	4	Número de parcerias estabelecidas		M6	M7	M8	M9
Extratos naturais analisados para serem usados como radioprotetores e radiomitigadores	4	Nº de Estudos realizados e potenciais ranqueados		M6	M6		
Pacientes de radioterapia avaliados durante o tratamento	4	Nº de pacientes avaliados			M7	M7	
População exposta a background mais elevado de radiação ionizante monitoradas	4	Nº de indivíduos monitorados				M8	M8
Radiofármacos submetidos a teste de genotoxicidade pela técnica de MN	4	Nº de testes realizados				M9	M9

Contribuição na Produção científica do CRCN-NE/CNEN/CNEN	2, 3 e 4	Nº de trabalhos apresentados em congressos e publicados em revistas	M10	M10	M10	M10	M10
--	----------	---	-----	-----	-----	-----	-----

4.8 Equipe Envolvida

Nome	Cargo	Função
Fabiana Farias de Lima Guimarães	Pesquisadora Divisão de Laboratórios Técnico-científicos/CRCN-NE/CNEN/CNEN	Coordenar e supervisionar todas as etapas do projeto, realizando análises sempre que necessário, e estabelecer as parcerias.
Suy Ferreira Hwang	Assistente de Pesquisa Divisão de Laboratórios Técnico-científicos/CRCN-NE/CNEN/CNEN	Participar das análises microscópicas das parcerias a serem estabelecidas com outros pesquisadores/institutos.
Mariana Esposito Mendes	Mestre em Genética Estudante de doutorado pelo Programa de Pós-graduação em Genética/CCB/UFPE	Participar análises estatísticas associadas às análises a serem realizadas no projeto.
Alyne Maria da Silva Nascimento	Graduanda em Biomedicina (bolsista IC) Universidade Federal de Pernambuco	Participar das etapas de processamento de amostras e análises microscópicas da curva de calibração.
Bolsista PCI-DD		Todas as atividades descritas no projeto

4.9 Referências Bibliográficas

Fenech, M. (2000). The in vitro micronucleus technique. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 455(1), 81-95.

International Atomic Energy Agency. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies. EPR-Biodosimetry. 2011.

Jagetia, G. C. (2007). Radioprotective potential of plants and herbs against the effects of ionizing radiation. *Journal of clinical biochemistry and nutrition*, 40(2), 74-81.

Joseph, L. J., Bhartiya, U. S., Raut, Y. S., Kand, P., Hawaldar, R. W., & Nair, N. (2009). Micronuclei frequency in peripheral blood lymphocytes of thyroid cancer patients after radioiodine therapy and its relationship with metastasis. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 675(1), 35-40.

Lloyd DC and Dolphin GW (1977). Radiation-induced chromosome damage in human lymphocytes. *British Journal of Industrial Medicine*, 34:261-273.

Paul, P., Unnikrishnan, M. K., & Nagappa, A. N. (2011). Phytochemicals as radioprotective agents-A review.

Rodrigues AS, Oliveira NG, Monteiro Gil O, Léonard A and Rueff J (2005). Use of Cytogenetic Indicators in Radiobiology. *Radiation Protection Dosimetry*, 115(1-4):455-460.

Roy L,. Gregoire E,. Gruel G, Roch-Lefevre S, Voisin P, Busset A et al. (2012). Effect of lymphocytes culture variations on the mitotic index and on the dicentric yield following gamma radiation exposure. *Radiation Protection Dosimetry*, 1-9.

Thierens H and Vral A (2009). The micronucleus assay in radiation accidents. *Ann Ist Super Sanità*, 3:260-264

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.6	CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE – CRCN-NE/CNEN
	TÍTULO DO PROJETO: Desenvolvimento de um Programa de Garantia da Qualidade e Avaliação da Dose Glandular Média em Mamografia Digital e Tomossíntese Mamária no Estado de Pernambuco.

1.2 – Introdução

Na atualidade o exame mamográfico continua sendo o método mais efetivo de diagnóstico precoce do câncer de mama. Com isso o alto padrão de qualidade é indispensável para eficácia do diagnóstico tornando-se assim imprescindível que protocolos rígidos e pré-estabelecidos sejam seguidos. Nesse contexto, as mamografias analógicas, Radiografia Convencional; e, nos últimos anos, as mamografia digitais, Radiografia Computadorizada (CR) e Radiografia Digital (DR), e a Tomossíntese Mamária (TDM) já estão presentes em muitos estabelecimentos de assistência à saúde no Brasil, resultando em uma preocupação na qualidade de imagem desses exames, critério fundamental para o rastreamento do câncer de mama em mulheres na faixa etária de interesse. No entanto, tais tecnologias digitais ainda não dispõem de métodos e protocolos bem estabelecidos pelos órgãos reguladores nacionais para avaliação dos equipamentos mamográficos e qualidade de exames, sendo objeto de estudos também em diversos países. No Brasil, a publicação da Portaria Nº 2.898/13 [MS, 2013], atualizou e instituiu o Programa Nacional de Qualidade em Mamografia (PNQM), cujo objetivo é avaliar o desempenho da prestação dos serviços de diagnóstico por imagem que realizam exames mamográficos com base em critérios e parâmetros referentes à qualidade da estrutura, do processo, dos resultados obtidos, da imagem clínica e do laudo médico. Porém, quando se introduz uma técnica nova são necessários estudos para avaliar o seu desempenho, além de providenciar um levantamento para determinar a dose de radiação que os pacientes estão sendo submetidos. São poucos os estudos relacionados ao controle de qualidade em mamografia digital e em tomossíntese no Brasil, e ainda não foram estabelecidos protocolos nacionais específicos. Sendo assim, esse projeto visa à aplicação e desenvolvimento de sistemas para controle de

qualidade em mamografia digital (CR e DR) e Tomossíntese de Mama que contenham procedimentos de medidas e análise da qualidade das imagens de paciente objetivando ainda o cálculo da dose glandular média individualizada e para o uso nos serviços de mamografia em Pernambuco e outros estados da federação. Este projeto visa ainda a transferência deste conhecimento por meio de serviços como treinamentos de fiscais, técnicos e médicos radiologista em mamografia, em cooperação com órgãos, clínicas e hospitais. Ressaltamos que no momento atual estão em fase de implantação os procedimentos de avaliação da qualidade em sistema de Radiografia Computadorizada que englobam o Mamógrafo e todos os sistemas de avaliação de imagens mamográficas, analógicas e digital, bem como a aprovação de um projeto de cooperação com a Secretaria de Saúde do Recife por via de sua Diretoria Executiva de Vigilância à Saúde.

1.3 - Objetivo Geral

Diante do exposto acima, este trabalho tem como objetivo a avaliação da relação Risco/Benefício dos exames mamográficos em função do tipo de tecnologia, Radiografia Computadorizada (CR), Radiografia Digital (DR) e Tomossíntese DE Mama (TDM), desenvolvendo um programa de avaliação e controle de qualidade envolvendo a determinação de parâmetros, técnicos (fantomas) e clínicos (pacientes), de qualidade da imagem; a implantação da metodologia de testes de constância dos equipamentos; o desenvolvimento de dispositivos e técnicas para a análise das imagens; a metodologia para a otimização dos exames; e a metodologia de verificação periódica da qualidade dos serviços. O passo seguinte é disseminar o procedimento adequado da dosimetria e dos testes de controle de qualidade em serviços que utilizam as técnicas citadas acima e estimar valores de dose associados a estas modalidades em função dos protocolos propostos e/ou utilizados nos exames e dos distintos sistemas disponíveis. Essa ação irá disponibilizar para o órgão de fiscalização sanitária e serviços de radiológica diagnóstica do Estado de Pernambuco um programa de cooperação técnica para a formação de recursos humanos na área de Mamografia, favorecendo sua eficácia para detecção precoce do câncer de mama.

O resultado final visa disponibilizar a avaliação da relação Risco/Benefício dos exames mamográficos em função do tipo de tecnologia em exames de Mamografia e Tomossíntese Mamária no Estado de Pernambuco em consonância com as linhas de pesquisa do CRCN-NE/CNEN: Metrologia e Dosimetria das Radiações Ionizantes; e Radiações Ionizantes na Saúde e Biologia.

1.3.1 - Objetivos Específicos

Objetivo Específico 1:

Desenvolver um programa de avaliação e controle de qualidade para mamografia digital (CR e DR) e Tomossíntese de Mama, com mecanismos e indicadores envolvendo a determinação de parâmetros, técnicos (fantomas) e clínicos (pacientes), da qualidade da imagem e avaliação da dose em mamografias digital e exames de tomossíntese mamária, uma vez que não há procedimentos específicos nacionais, mas têm sido publicados vários trabalhos que abordam o controle de qualidade dos sistemas, tais quais: EUREF, 2016; STRUDLEY, 2015; RODRIGUEZ, 2016; MAKI, 2016.

Objetivo Específico 2:

Estimar os valores de dose glandular em simuladores e para pacientes em exames 2D e TDM por imagem ou varredura, e comparar os valores com referências da publicados pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e com os valores de dose em pacientes reportados na literatura. Os dados relativos aos exames se extrairão do cabeçalho DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), das imagens armazenadas no Sistema de Comunicação e Arquivamento de Imagens PACS (Picture Archiving and Communication System).

Objetivo Específico 3:

Aperfeiçoar a metodologia de testes de controle de qualidade em mamografia, com a criação de dispositivos e técnicas para a análise das imagens. Para estimativa de dose glandular para os exames de mamografia digital e tomossíntese de mama serão colhidos dados de amostras de imagens nos equipamentos avaliados segundo o fluxo de pacientes em cada instituição avaliada.

Objetivo Específico 4:

Implantar a metodologia para a otimização dos exames; e a metodologia de verificação periódica da qualidade dos serviços do CRCN-NE/CNEN.

Objetivo Específico 5:

Disseminar o procedimento adequado da dosimetria e dos testes de controle de qualidade em serviços que utilizam as técnicas de mamografia digital, e tomossíntese mamária e estimar valores de dose associados a estas modalidades em função dos protocolos utilizados nos exames e dos distintos sistemas disponíveis.

1.4 - Insumos

1.4.1 – Custeio

Para o desenvolvimento do trabalho se faz necessário à disponibilização de recursos de custeio destinados a diárias e passagens com o objetivo de apoiar a participação de integrantes da equipe do projeto em estágios, cursos ou visitas no País, nos institutos da CNEN ou nos demais centros de pesquisas e desenvolvimento na área de imagens médicas no Brasil, para aquisição de conhecimentos específicos e necessários ao desenvolvimento do projeto, bem como para a participação em congressos e eventos científicos da área nuclear. Tais participações têm como

objetivo a atualização de temas relativos a esse projeto e trocas de experiências com outros pesquisadores. Tais recursos também possibilitam a participação de consultores ou instrutores especializados, brasileiros ou estrangeiros, como forma de complementação da competência da equipe.

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor Anual (R\$)
Visita científica anual de um integrante do projeto, a outro Laboratório ou vinda de um consultor externo para estabelecimento de comparações ou discussões dos procedimentos estabelecidos.	5 diárias por ano, por 5 anos e 2 passagem nacional (ida e volta) anual por 5 anos	-

1.4.2 – Bolsas

O investimento na pesquisa e o desenvolvimento nessa área é altamente viável a fim de reduzir a mortalidade feminina, além da economia do montante gasto pelo país, em especial pelo SUS. Atualmente se gasta uma enorme quantia em exames que podem não servir aos propósitos desejados na melhoria da saúde pública. Ainda na questão econômica, exames com resultados falso-positivos podem gerar biópsias desnecessárias, aumento de gastos e reflexos psicológicos incalculáveis para pacientes e familiares (Justificativa)

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	quantidade
Graduado Física, Física Médica ou Tecnólogo em Radiologia	05 anos de experiência na área	1	D-C	06	1

1.5 - Atividades de Execução

As atividades estão elencadas para cada objetivo específico citado acima.

Objetivo Específico 1:

Atividade 1- Estabelecer os testes para o controle de qualidade dos sistemas de mamografia digital CR e DR do CRCN-NE/CNEN.

Atividade 2- Estabelecer os testes para o controle de qualidade dos sistemas de tomossíntese de mama do CRCN-NE/CNEN.

Atividade 3- Efetuar o levantamento dos Serviços de Mamografia Digital e Tomossíntese Mamária do Estado de Pernambuco.

Atividade 4- Firmar projetos de cooperação entre o CRCN-NE/CNEN e órgãos de fiscalização e serviços de radiodiagnóstico.

Objetivo Específico 2:

Atividade 5- Apoiar o desenvolvimento e/ou implantação de ferramentas para avaliação e medida da dose glandular de outros autores.

Atividade 6- Recolher dados para análise em serviços de mamografia digital credenciados.

Atividade 7- Replicar o método para estimar a glandularidade individual a partir das informações contidas nos planos reconstruídos nos exames 3D de tomossíntese com base nos resultados em experimentos prévios que serão realizados em um mamógrafo digital e CR do CDTN.

Objetivo Específico 3:

Atividade 8- Replicar dispositivos e técnicas para a análise das imagens.

Objetivo Específico 4:

Atividade 9- Implantar a metodologia para a otimização dos exames.

Atividade 10- Implantar a metodologia de verificação periódica da qualidade dos serviços.

Objetivo Específico 5:

Atividade 11- Desenvolver material de divulgação.

Atividade 12- Realização de cursos e treinamentos.

Atividade 13- Estudar a viabilidade de construção de um simulador antropomórfico para avaliar a qualidade de imagem mamográfica.

Atividade 14- Avaliar a possibilidade de implementar uma metodologia postal para avaliação dose glandular nos serviços de mamografia no estado baseado em trabalhos existentes.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023

1	1	Protocolos, Procedimentos, Formulários, e material didático.	3	3	2	2	1
2	1	Protocolos, Procedimentos, Formulários, e material didático.		2	1	1	1
3	1	Registro de serviços de radiodiagnósticos.	20	10	10	5	5
4	1	Projetos firmados ou em andamento	1	1	1	1	1
5	2	Parcerias com outras instituições e pesquisadores.	1	1	1	1	1
6	2	Equipamentos avaliados.	2	4	8	10	10
7	2	Método replicado.	1	1	1	1	1
8	3	Dispositivos e técnicas para a análise das imagens replicados.	1	1	1	1	1
9	4	Metodologia implantada.		1			
10	4	Metodologia implantada.			1		

11	5	Avaliação realizada.			1	1	1
12	5	Avaliação realizada.			1	1	1

1.6 – Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2019		2020		2021		2022		2023	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	x	x								
2	x	x	x	x						
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7					x	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9					x	x	x	x	x	x
10	x	x								
11			x	x	x	x	x	x	x	x
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
13							x	x	x	x
14			x	x	x	x	x	x	x	x

1.7 – Produtos

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023

Apresentações em eventos científicos.	Todos: 1 por ano	Participações em eventos científicos.	1	1	1	1	1
Publicações nacionais ou internacionais .	Todos: 1 por ano	Publicações realizadas.	1	1	1	1	1

1.8 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Protocolo de testes para controle de qualidade em mamografia digital pronto e testado.	1	Protocolo de testes para controle de qualidade em mamografia digital.	1	1			
Protocolo de testes para controle de qualidade em tomossíntese de mama pronto e testado.	1	Protocolo de testes para controle de qualidade em tomossíntese de mama.		1	1		
Banco de dados com os Serviços de mamografia do Estado de Pernambuco	1	Serviços de mamografia registrados e atualizações.	1	1	1	1	1
Projetos de Cooperação	1	Projetos firmados e/ou renovados.	1	1	1	1	1

Metodologia de medida da dose glandular implantada e testada.	2	Metodologia de medida da dose glandular e revisões.	1	1	1	1	1
Dispositivos de análise da imagem implantado e testado.	3	Dispositivos de análise da imagem e revisões.	1	1	1	1	1
Metodologia para a otimização dos exames implantada e testada.	4	Metodologia para a otimização dos exames e revisões.	1	1	1	1	1
Metodologia de verificação periódica da qualidade dos serviços implantada e testada.	4	Metodologia de verificação periódica da qualidade dos serviços e revisões.	1	1	1	1	1
Materiais de divulgação prontos	5	Materiais de divulgação e revisões.	1	1	1	1	1
Cursos e Treinamentos.	5	Cursos e treinamentos realizados.	1	1	1	1	1

Estudo da viabilidade de construção de um simulador antropomórfico para avaliar a qualidade de imagem mamográfica pronto.	6	Estudo realizado e reavaliado.			1	1	1
Avaliação a possibilidade de implementar uma metodologia postal para avaliação dose glandular nos serviços de mamografia pronto.	6	Estudo realizado e reavaliado.			1	1	1

1.9 – Equipe:

Nome	Cargo/Função	Lotação
D.Sc. Cláudio José mesquita Menezes	Tecnologista/Supervisor	CRCN-NE/CNEN
M.Sc. Renata Ramos da Silveira	Analista em C & T/	CRCN-NE/CNEN
Marcelo Gomes Santana	Técnico em C & T/Apoio Técnico	CRCN-NE/CNEN
José Ricardo Silvério dos Santos	Tecnólogo/Bolsista PCI DD	CRCN-NE/CNEN
Poliana Gabrielle de Freitas Torres	Estagiária/Apoio Técnico	CRCN-NE/CNEN

D.Sc. Maria do Socorro Nogueira	Pesquisadora/Consultora	CDTN
D.Sc. João Emílio dos Santos	Pesquisador/Consultor	IRD

1.10 - Referências Bibliográficas

Bosmans H, De Hauwere A, Lemmens K, Zanca F, Thierens H, Van Ongeval C, Van Herck K, Van Steen A, Martens P, Bleyen L, Vande Putte G, Kellen E, Mortier G, Van Limbergen. Technical and clinical breast cancer screening performance indicators for computed radiography versus direct digital radiography. Eur Radiol. 2013 Oct;23(10):2891-8.

Breast Cancer Risk from Different Mammography Screening Practices. Radiation Research, v 174, p367–376 , 2010.

MS (Ministério da Saúde).. Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico. Portaria nº. 453/98, DOU 01/06/1998, BRASIL, 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. Radiodiagnóstico médico: segurança e desempenho de equipamentos. Brasília: ANVISA 2005. 101p. Brasil, Ministério da Saúde, Portaria nº 531 de 26/03/2012. 2012.

Chakrabarti K, Ochs R, Pennello G, Samuelson F. FDA executive summary: meeting of the radiological devices advisory panel. Gaithersburg, MD: Food and Drug Administration, 2010.

COMMISSION OF EUROPEAN COMMUNITIES. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. EUR16260, 1996.

COMMISSION OF EUROPEAN COMMUNITIES. European Protocol on Dosimetry in Mammography. EUR16263, 1996.

DANCE D. R., SKINNER C. L., YOUNG K. C., BECKETT J. R., KOTRE C. J. Physics Medical Biology, v 45, p 3225–3240, 2000.

DANCE D. R., SKINNER C. L., YOUNG K. C., Van Engen R.E. Further factors for the estimation of mean glandular dose using the United Kingdom, European and IAEA dosimetry protocols, Physics Medical Biology, 54: 4361–4372, 2009.

DI MAGGIO, C. State of the art of current modalities for diagnosis of breast lesions. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. V 31, p. 56- 59, 2004.

Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom. Diario Oficial de la Union Europea Nr. 13. 17.1.2014. ES. http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=DOUE-L-2014-80059 . Accedido 23 Enero 2014 Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (6), 2007.

Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. Brasil, Ministério da Saúde, Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 453 de 01/06/1998.

ESTADO DE MINAS. Anvisa alerta sobre risco de trombose em usuárias de anticoncepcionais. Disponível em:

<http://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2011/10/31/interna_nacional,259148/anvisa-alerta-sobre-risco-de-trombose-em-usuarias-de-anticoncepcionais.shtml>
Acesso em: 24 de jan. 2012 .

European Community 1997 Council Directive 97/43Euratom of 30 June on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom Off J. Eur. Commun. L 180 22-27.

Feng SS, Sechopoulos I. Clinical digital breast tomosynthesis system: dosimetric characterization. Radiology. 2012;263(1):35-42.

Garayoa J, Castillo M., Valverde J, y Chevalier M. Tomosíntesis de mama: ahorro de dosis y calidad de imagen de la imagen sintética. I Congreso de la Mama. Madrid (España), Octubre. 2013.(<http://www.congresomama.org/>)

GENNARO, G.; FERRO, F.; CONTENTO, G.; FORNASIN F. AND DI MAGGIO, C. Physics in Medicine and Biology, v. 52, p. 1387–1407, 2007.

Gennaro G, Toledano A, di Maggio C et al. Digital breast tomosynthesis versus digital mammography: a clinical performance study. Eur Radiol 2010; 20:1545–1553

Gur D, Abrams GS, Chough DM et al. Digital breast tomosynthesis: observer performance study. AJR Am J Roentgenol 2009;193:586–591

HURWITZ et al. Radiology: Volume 245: Number 3—December 2007.

IAEA-TECDOC-1381: Quality Assurance Programme for Screen Film Mammography. IAEA HUMAN HEALTH SERIES No. 2, 2009.

IAEA-TECDOC-1482. IAEA HUMAN HEALTH SERIES No. 17, 2011.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Dosimetry in Diagnostic Radiology: Na International Code of Practice. Viena: IAEA Technical Report Series n0 457, 2007

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, Vienna (1996).

International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards - Interim (Vienna: IAEA) General Safety Requirements Part 3. IAEA Safety Standards Series GSR Part 3 http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p1531interim_web.pdf. Accedido 23 Enero 2014.

ICRP, International Commission on Radiological Protection, 2000. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP publication 85. Ann. ICRP 30, 7–67.

International Commission on Radiological Protection (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103 Ann. ICRP 37 (2-4).

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP 60. Oxford: Pergamon Press, 1991.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. Patient dosimetry for X rays used in medical imaging. Bethesda, Maryland: ICRU publications, Report 74, 2005.

INCA. Estimativa 2010. Disponível em: <http://www1.inca.gov.br/estimativa/2010>. Acesso em 30 de novembro de 2011.

INSTITUTO SURAMERICANO DE GOBIERNO EN SALUD. Vigilancia en salud en Suramérica: epidemiológica, sanitaria y ambiental. Rio de Janeiro: ISAGS, 2013.

KOOME, M.; PISANO, E.; KUZMIAK, C.; PAVIC, D.; MCLELLAND R. Journal of Clinical Oncology, 23:1674-1677, 2005.

MARSHALL, N. W.; MONNIN, P.; BOSMANS, H.; BOCHUD, F. O. and VERDUN, F. R. Physics in Medicine and Biology, v. 56, p. 4201–4220, 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Programa Nacional de Qualidade em Mamografia. Disponível em: <
http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2012/prt0531_26_03_2012.html>. Acesso em: 06 de nov. 2012.

MORAN P., CHEVALIER M., TEN J.I., FERNANDEZ J.M., and VAÑO E. A Survey of Patient Dose and Clinical Factors in a Full-Field Digital Mammography System. Rad Prot Dos, Volumen: 114, Nos. 1-3, Pág.: 375 – 379, 2005.

NHSBSP. National Health Service Breast Screening Programmes. (2003). Review of Radiation Risk in Breast Screening. NHSBSP Publication No 54. NHS Cancer Screening Programmes. ISBN 1 871997 99 2. Sheffield, UK.

NHSBSP. National Health Service Breast Screening Programmes. (2009). Commissioning and Routine Testing of Full Field Digital Mammography Systems. NHSBSP Equipment Report 0604. (London, UK).

NOGUEIRA, M. S.; OLIVIERA, M. A.; JOANA, G. S.; ALONSO, T. C.; SILVA, S. D.; SILVA, T. A.; PEIXOTO, J. E. Avaliação da Qualidade e Requisitos de Proteção Radiológica em Mamografia Digital e Monitoramento dos Serviços de Mamografia de Minas Gerais. Gerais: Revista de Saúde Pública do SUS-MG, v.1, p.91-92, 2013.

OLIVEIRA M., NOGUEIRAA M.S; GUEDESA E.; ANDRADEB M.C.; PEIXOTO J.E.; JOANAB G.S., CASTRO J.G. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research , v 580, p 574–577, 2007.

Jakubiak RR, Gamba HR, Neves EB, Peixoto JE Image quality, threshold contrast and mean glandular dose in CR mammography. Phys Med Biol. 2013 Sep 21;58(18):6565-83.

PERRY, N.; BROEDERS, M.; DE WOLF, C.; TÖRNBERG S.; HOLLAND R.; VON KARSA L. Annals of Oncology 19: 614–622, 2008

REHANI M. M., TSAPAKI V. Radiation Protection Dosimetry. v 147, No. 1–2, p. 34–37, 2011.

REMY-JARDIN et al. Radiology: Volume 245: Number 2—November 2007.

REHANI M. M. The IAEA's activities in radiological protection in digital imaging. [Acessado em 20 de julho de 2012]. http://www.dimond3.org/Delft_wks/Oral0/A89_Rehani_OO.pdf.

SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE DE MINAS GERAIS (SES-MG). Programa Estadual de Controle de Qualidade em Mamografia. Disponível em: <http://www.saude.mg.gov.br/politicas_de_saude/copy_of_programa-estadual-de-controle-de-qualidade-em-mamografia-pecqmamo>. Acesso em: 06 de nov. 2012.

Skaane P, Bandos AI, Gullien R, Eben EB, Ekseth U, Haakenaasen U, et al. Comparison of Digital Mammography Alone and Digital Mammography Plus Tomosynthesis in a Population-based Screening Program. Radiology. 2013; 267:47-56

SOARES, C. G., Radiochromic film dosimetry. Radiation Measurements. 41, S100–S116, 2007.

Spangler ML, Zuley ML, Sumkin JH, Ganott MA, Chough DM, Shah R et al. Detection and classification of calcification on digital breast tomosynthesis and 2D digital mammography: A comparison. AJR Am J Roentgenol. 2011;196:320–4.

TAYLOR, P.; POTTS, H. W.W. European Journal of Cancer, v. 44, p. 798 – 807, 2008.

U.S. Preventive Services Task Force. Annals of Internal Medicine, v 151, No 10, p 716 – 726, 2009.

Task group 18. AAPM on line report nº 3. College Park: 2005.

American Cancer Society. Breast Cancer Facts & Figures 2009-2010. Atlanta: American Cancer Society, Inc. p. 16 – 19, 2010.

UNSCEAR 2008 United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiations. Source and effects of ionizing radiation. New York: United Nations.

Wallis, MG, Moa E, Zanca F, Leifland K, Danielsson M. Two-view and single-view tomosynthesis versus full-field digital mammography: high-resolution x-ray imaging observer study. Radiology 2012; 262:788–796

Yaffe MJ1, Bloomquist AK, Hunter DM, Mawdsley GE, Chiarelli AM, Muradali D, Mainprize JG. Comparative performance of modern digital mammography systems in a large breast screening program. Med Phys. 2013 Dec;40(12):121915.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.7	CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN
	TÍTULO DO PROJETO: Desenvolvimento de metodologias para a realização de ensaios e análises do comportamento mecânico e estrutural de combustíveis, materiais e componentes do reator TRIGA IPR-R1.

Introdução

O reator nuclear TRIGA IPR-R1, localizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) é utilizado para pesquisas, treinamento, produção de isótopos radiativos e irradiação de amostras para análise química de ativação. Está explícito no plano estratégico do CDTN, o objetivo de garantir o atendimento às suas exigências de licenciamento, assim como “promover o reator como uma ferramenta de pesquisa, prestação de serviços e formação especializada”. Publicado no Diário Oficial da União, no dia 6 de fevereiro de 2018, pela CNEN, o TRIGA IPR-R1 conseguiu a Autorização para Operação Permanente (AOP), tornando-se o primeiro reator de pesquisa licenciado no Brasil. Entre as condicionantes da autorização está a apresentação de um Programa de Gestão do Envelhecimento em conformidade com normas internacionais.

Em atividade há quase 60 anos, é um dos reatores mais antigos do mundo em operação. Seu tempo prolongado de vida desafia a utilização do mesmo. Atualmente, seu envelhecimento acontece de forma irrestrita onde se coloca em risco a continuidade da operação.

Além dos danos visíveis, o envelhecimento do reator compromete estrutura internas a nível microscópico sendo percebidas apenas quando observadas falhas de componentes. É necessário grande atenção nesse tipo de evento com os elementos combustíveis do reator, uma vez que alguns se encontram no núcleo desde a primeira criticalidade, ameaçando a integridade dos revestimentos dos mesmos.

No Laboratório de Ensaios Não Destrutivos (LABEND) e no Serviço da Unidade Reator TRIGA (SEURT) estão sendo desenvolvidas técnicas e metodologias para a avaliação da integridade do reator Triga, de forma a possibilitar o acompanhamento da degradação ao longo do tempo, contribuindo com informações para o gerenciamento do envelhecimento do reator.

Além de gerar e difundir conhecimentos em benefício da sociedade por meio de pesquisa e desenvolvimento na área nuclear, os resultados deste projeto são importantes para o cumprimento de uma das condicionantes da concessão da Autorização para Operação Permanente – AOP para o reator TRIGA IPR-R1.

As lições aprendidas no projeto serão divulgadas para a Comunidade Científica e Sociedade através patentes, publicações em revistas científicas, jornais de grande abrangência e matérias no site do CDTN. A experiência adquirida no projeto será de grande valor para gestão do envelhecimento desta instalação e de outras similares. O tema descrito aqui é contemporâneo e de extrema importância para operação confiável dos reatores nucleares, tanto os de pesquisa, quanto os de potência.

Objetivo Geral

Desenvolver metodologias para a realização de ensaios e análises do comportamento mecânico e estrutural de combustíveis, materiais e componentes do reator TRIGA IPR-R1, atendendo o Programa de gestão do Envelhecimento do reator e garantindo manutenção de operação do mesmo.

Objetivo Específico 1:

Levantar a condição de degradação do reator.

Objetivo Específico 2:

Pesquisar e desenvolver técnicas a serem adotadas para o gerenciamento do controle estrutural e físico- químico de SSC (sistemas estrutura e componentes) do reator.

Insumos

Bolsa

Considerando a redução observada no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico- científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1 (uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Químico ou Engenheiro Mecânico; Doutorado em Engenharia Nuclear.	Operação e manutenção de reatores nucleares; Operação de detectores para espectrometria gama.	1 e 2	DB	6	1

Atividades de Execução

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
1. Revisão bibliográfica sobre identificação e entendimento de degradação por envelhecimento em dispositivos, sistemas e estruturas (SSCs) de reatores nucleares;	1	Criação de documentação sobre prioridade de SSCs e processos de degradação;	X				
2. Realizar um levantamento completo dos dados técnicos, operacionais e materiais do reator IPR-R1, importantes para segurança;	1	Entrega de atualização do PGE (Programa de Gestão do envelhecimento).		X	X	X	
3. Implementar uma metodologia para detectar e avaliar a degradação por envelhecimento;	2	Medições Realizadas e geração de resultados para o PGE.		X	X	X	
4. Criar uma estrutura para gerenciar, executar e avaliar as atividades necessárias para prevenir, detectar, monitorar, avaliar e mitigar os efeitos do envelhecimento;	2	Entrega de atualização do PGE.		X	X	X	
5. Documentar a estrutura na forma de patentes e procedimentos operacionais;	2	Procedimentos operacionais emitidos.			X	X	

6. Planejar e realizar as atividades de gerenciamento de envelhecimento;	1 e 2	Relatório de execução emitido; e Artigo publicado.				X	X
7. Escrever trabalhos científicos sobre validação e lições aprendidas dos procedimentos desenvolvidos	2 e 2	Artigos científicos Publicados em revista indexada QUALIS.	X	X	X	X	X

Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2023		2024		2025		2026		2027	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Atividade 1	X	X								
Atividade 2			X	X	X	X	X	X		
Atividade 3			X	X	X	X	X	X		
Atividade 4					X	X	X	X		
Atividade 5					X	X	X	X		
Atividade 6							X	X	X	
Atividade 7		X		X		X		X		X

Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
Identificação e documentação de todos os causadores de degradação por envelhecimento;	1 e 2.	Documento no sistema de qualidade.	1				
Desenvolvimento de estrutura de suporte no reator para realização de pesquisa relacionada aos efeitos do envelhecimento;	1 e 2.	Revisão de documento da qualidade SPE e Programa da Qualidade.		1	1	1	

Um trabalho científico e uma patente com procedimentos operacionais de gerenciamento de envelhecimento	1 e 2.	Patente depositada.				1	1
--	--------	---------------------	--	--	--	---	---

Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
Desenvolvimento de metodologias para a realização de ensaios e análises do comportamento mecânico e estrutural de combustíveis, materiais e componentes do reator TRIGA IPR-R1.	1 e 2.	Procedimento Operacional	1	2	2	1	1
		Revisão no Sistema de Gestão do Envelhecimento	1	1	1	1	1
		Resultados de ensaios	1	2	2	2	1
		Artigos Científicos Publicados ou patentes depositadas.	1	1	1	1	1

Recursos Solicitados

Segue abaixo a totalidade dos recursos solicitados ao Subprograma de Capacitação Institucional.

Bolsas

PCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	B	4.160	6	1	
Total (R\$)					

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.7	CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN
	TÍTULO DO PROJETO: Desenvolvimento de metodologias para a realização de ensaios e análises do comportamento mecânico e estrutural de combustíveis, materiais e componentes do reator TRIGA IPR-R1.

Introdução

O reator nuclear TRIGA IPR-R1, localizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) é utilizado para pesquisas, treinamento, produção de isótopos radiativos e irradiação de amostras para análise química de ativação. Está explícito no plano estratégico do CDTN, o objetivo de garantir o atendimento às suas exigências de licenciamento, assim como “promover o reator como uma ferramenta de pesquisa, prestação de serviços e formação especializada”. Publicado no Diário Oficial da União, no dia 6 de fevereiro de 2018, pela CNEN, o TRIGA IPR-R1 conseguiu a Autorização para Operação Permanente (AOP), tornando-se o primeiro reator de pesquisa licenciado no Brasil. Entre as condicionantes da autorização está a apresentação de um Programa de Gestão do Envelhecimento em conformidade com normas internacionais.

Em atividade há quase 60 anos, é um dos reatores mais antigos do mundo em operação. Seu tempo prolongado de vida desafia a utilização do mesmo. Atualmente, seu envelhecimento acontece de forma irrestrita onde se coloca em risco a continuidade da operação.

Além dos danos visíveis, o envelhecimento do reator compromete estrutura internas a nível microscópico sendo percebidas apenas quando observadas falhas de componentes. É necessário grande atenção nesse tipo de evento com os elementos combustíveis do reator, uma vez que alguns se encontram no núcleo desde a primeira criticalidade, ameaçando a integridade dos revestimentos dos mesmos.

No Laboratório de Ensaios Não Destrutivos (LABEND) e no Serviço da Unidade Reator TRIGA (SEURT) estão sendo desenvolvidas técnicas e metodologias para a avaliação da integridade do reator Triga, de forma a possibilitar o acompanhamento

da degradação ao longo do tempo, contribuindo com informações para o gerenciamento do envelhecimento do reator.

Além de gerar e difundir conhecimentos em benefício da sociedade por meio de pesquisa e desenvolvimento na área nuclear, os resultados deste projeto são importantes para o cumprimento de uma das condicionantes da concessão da Autorização para Operação Permanente – AOP para o reator TRIGA IPR-R1.

As lições aprendidas no projeto serão divulgadas para a Comunidade Científica e Sociedade através patentes, publicações em revistas científicas, jornais de grande abrangência e matérias no site do CDTN. A experiência adquirida no projeto será de grande valor para gestão do envelhecimento desta instalação e de outras similares. O tema descrito aqui é contemporâneo e de extrema importância para operação confiável dos reatores nucleares, tanto os de pesquisa, quanto os de potência.

Objetivo Geral

Desenvolver metodologias para a realização de ensaios e análises do comportamento mecânico e estrutural de combustíveis, materiais e componentes do reator TRIGA IPR-R1, atendendo o Programa de gestão do Envelhecimento do reator e garantindo manutenção de operação do mesmo.

Objetivo Específico 1:

Levantar a condição de degradação do reator.

Objetivo Específico 2:

Pesquisar e desenvolver técnicas a serem adotadas para o gerenciamento do controle estrutural e físico- químico de SSC (sistemas estrutura e componentes) do reator.

Insumos

Bolsa

Considerando a redução observada no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico- científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1

(uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Químico ou Engenheiro Mecânico; Doutorado em Engenharia Nuclear.	Operação e manutenção de reatores nucleares; Operação de detectores para espectrometria gama.	1 e 2	DB	6	1

Atividades de Execução

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
1. Revisão bibliográfica sobre identificação e entendimento de degradação por envelhecimento em dispositivos, sistemas e estruturas (SSCs) de reatores nucleares;	1	Criação de documentação sobre prioridade de SSCs e processos de degradação;	X				
2. Realizar um levantamento completo dos dados técnicos, operacionais e materiais do reator IPR-R1, importantes para segurança;	1	Entrega de atualização do PGE (Programa de Gestão do envelhecimento).		X	X	X	
3. Implementar uma metodologia para detectar e avaliar a degradação por envelhecimento;	2	Medições Realizadas e geração de resultados para o PGE.		X	X	X	
4. Criar uma estrutura para gerenciar, executar e avaliar as atividades necessárias para prevenir, detectar, monitorar, avaliar e mitigar os efeitos do envelhecimento;	2	Entrega de atualização do PGE.		X	X	X	
5. Documentar a estrutura na forma de patentes e procedimentos operacionais;	2	Procedimentos operacionais emitidos.			X	X	

6. Planejar e realizar as atividades de gerenciamento de envelhecimento;	1 e 2	Relatório de execução emitido; e Artigo publicado.				X	X
7. Escrever trabalhos científicos sobre validação e lições aprendidas dos procedimentos desenvolvidos	2 e 2	Artigos científicos Publicados em revista indexada QUALIS.	X	X	X	X	X

Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2023		2024		2025		2026		2027	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Atividade 1	X	X								
Atividade 2			X	X	X	X	X	X		
Atividade 3			X	X	X	X	X	X		
Atividade 4					X	X	X	X		
Atividade 5					X	X	X	X		
Atividade 6								X	X	X
Atividade 7		X		X		X		X		X

Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
Identificação e documentação de todos os causadores de degradação por envelhecimento;	1 e 2.	Documento no sistema de qualidade.	1				
Desenvolvimento de estrutura de suporte no reator para realização de pesquisa relacionada aos efeitos do envelhecimento;	1 e 2.	Revisão de documento da qualidade SPE e Programa da Qualidade.		1	1	1	

Um trabalho científico e uma patente com procedimentos operacionais de gerenciamento de envelhecimento	1 e 2.	Patente depositada.				1	1
--	--------	---------------------	--	--	--	---	---

Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
Desenvolvimento de metodologias para a realização de ensaios e análises do comportamento mecânico e estrutural de combustíveis, materiais e	1 e 2.	Procedimento Operacional	1	2	2	1	1
		Revisão no Sistema de Gestão do Envelhecimento	1	1	1	1	1
		Resultados de ensaios	1	2	2	2	1
componentes do reator TRIGA IPR-R1.		Artigos Científicos Publicados ou patentes depositadas.	1	1	1	1	1

Recursos Solicitados

Segue abaixo a totalidade dos recursos solicitados ao Subprograma de Capacitação Institucional.

Bolsas

PCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	B	4.160	06	1	

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.8	CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN
	TÍTULO DO PROJETO: Investigação da eliminação hepática de Fluorestradiol (18F) em pequenos animais e impacto na aplicação clínica em pacientes com câncer de mama

Introdução

O câncer é uma das doenças não infecciosas de maior impacto mundial devido a suas altas taxas de incidência e mortalidade, principalmente em razão do diagnóstico tardio, contribuindo negativamente para o prognóstico dos pacientes. Ao se tratar de sobrevida, o diagnóstico precoce é um dos principais contribuintes. A partir de características intrínsecas ao desenvolvimento do tumor, o câncer de mama se divide em diversas classificações, tendo como maior número de casos os tumores com receptores hormonais, nos quais representam 75% dos cânceres de mama. Dentre os diferentes tipos descritos, o foco deste trabalho se destaca naqueles tumores que são positivos para os receptores de estrogênio (ER+). Ao se relacionar à farmacoterapia, é sabido que a terapia endócrina é eficaz em apenas cerca de 50% dos pacientes ER+ com metástases, sendo, desta maneira, crucial a identificação desses pacientes a fim de evitar terapias ineficazes.

A Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) juntamente com a Tomografia Computadorizada (CT) – PET/CT é um dos equipamentos mais modernos utilizados atualmente para a contribuição do diagnóstico e acompanhamento do câncer. Para a realização da análise diagnóstica via PET/CT é necessário o uso de radiofármacos a fim de produzir uma imagem do tumor.

Em decorrência da especificidade do câncer de mama ER+, um tumor que possui receptores hormonais como principais biomarcadores foi desenvolvido em 1984 o fluorestradiol (KATZENELLENBOGEN, 2020), uma molécula análoga ao estradiol ligada ao radionuclídeo flúor- 18 que se liga especificamente a cânceres de mama com receptores de estrogênio. O 16-alfa- (18F)fluoro-17-beta-estradiol ou simplesmente fluorestradiol (18F) (Figura 2) é o insumo farmacêutico ativo do radiofármaco fluorestradiol (18F). É administrado na forma de solução injetável

intravenosa (IV) estéril e a dose utilizada na maioria dos estudos clínicos e artigos científicos é de 3 a 6 mCi (110 - 220 MBq) para um adulto pesando, em média, 70 kg.

O 18FES apresenta papel importante na caracterização da expressão molecular dos receptores hormonais com alta sensibilidade na detecção de lesões hormonais positivas durante o estadiamento destas neoplasias. Kurland e colaboradores (2020), ao dividir os estudos em quatro diferentes grupos, é notada uma sensibilidade geral estimada de 81% (IC: 73%-87%) e uma especificidade de 86% (IC:66%-94%). Esse radiofármaco pode ser utilizado como marcador preditivo na avaliação da heterogeneidade dos receptores hormonais in vivo ou como ferramenta durante a terapia hormonal específica. Em relação a farmacocinética do 18FES, sabe-se que ele é rapidamente metabolizado no fígado, e somente 20% da radioatividade circulante corresponde ao fluorestradiol (18F) na forma original após 20 minutos da injeção, ligado ou não às proteínas plasmáticas. Sobre a eliminação do composto, o fluorestradiol conjugado é eliminado pelas vias biliar e urinária (ULANER et al., 2021). Por se tratar de um radiofármaco novo nos serviços de medicina nuclear no Brasil, desafios na aplicação clínica tem surgido a cada dia. Um deles é a captação hepática, que implica em dificuldade de análise das imagens PET, principalmente em caso de metástase no fígado.

Objetivo Geral

Realizar estudos sobre a eliminação hepática de Fluorestradiol (18F) em pequenos animais e avaliar seu impacto na aplicação clínica em pacientes com câncer de mama

Objetivo Específico 1

Realizar buscas sobre cinética e dinâmica do Fluorestradiol (18F) em etapas pré-clínicas e clínicas

Objetivo Específico 2

Avaliar a biodistribuição, farmacocinética e metabolismo do radiofármaco em pequenos animais.

Objetivo Específico 3

Fazer uma correlação com dados clínicos e propor otimização nos protocolos de imagem clínica.

Insumos

Custeio

Para o desenvolvimento do presente projeto se faz necessário o aporte de recursos conforme discriminado abaixo:

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
Radiofármaco	Fluorestradiol (18F)	(já produzido pelo CDTN para fornecimento comercial)
Imagem	Animais, anestésico, material cirúrgico	
Interação com grupos de pesquisa clínica	Viagem	

Bolsas

Em decorrência da necessidade de manter as pesquisas e a garantia da confiabilidade dos padrões fornecidos pelo LNMRI, considerando a redução observada no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico-científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1(uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Farmácia com Doutorado	Nas áreas de Radiações Ionizantes, Nuclear e correlatas	1,2 e 3	D-B	6	1

Atividades de Execução

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
1) Realizar buscas sobre cinética e dinâmica do Fluorestradiol (18F) em etapas pré-clínicas	1	Artigo de revisão	X				
2) Realizar buscas sobre cinética e dinâmica do Fluorestradiol (18F) em etapas clínicas	1	Artigo de revisão; relatório de dados clínicos	X	X			
3) Realizar discussões com médicos sobre as limitações das aplicações clínicas	1	Reuniões		X	X	X	
4) Avaliar a biodistribuição, farmacocinética e metabolismo do radiofármaco em pequenos animais.	2	Artigo publicado Trabalho em congresso		X	X	X	
5) Atuar junto aos grupos de pesquisa clínica	3	Comparação realizada			X	X	
6) Propor protocolo otimizado para as imagens	3	Protocolo de estudo clínico Artigo publicado				X	X
7) Elaborar, Submeter e Publicar artigos científicos	1, 2 e 3	Artigos científicos Publicados em revista indexada e/ou Congressos ou Conferências ou Simpósios da área.	X	X	X	X	X

Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2023		2024		2025		2026		2027	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Atividade 1	X	X								
Atividade 2	X	X								
Atividade 3		X	X							
Atividade 4			X	X	X	X				
Atividade 5					X	X	X	X		
Atividade 6							X	X	X	
Atividade 7		X		X		X		X		X

Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
Revisão clínicos dos ensaios	1	Relatório	1				
Imagens pré-clínicas	2	Trabalhos congressos em congressos		1	1	1	
Protocolo de ensaio clínico	3	Documento compartilhado com médicos nucleares				1	1
Artigos publicados científicos	3	Artigo publicado			1	1	1

Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2023	2024	2025	2026	2027
Imagens pré-clínicas e estudos in vivo sobre eliminação pática de 18FES	1 e 2	Trabalho em congresso	1	1			
		Artigos Científicos Publicados			1		
Otimização dos protocolos clínicos para PET/FES	1 e 3	Protocolo elaborado	1	1			
		Artigos Científicos Publicados				1	1

Recursos Solicitados

Segue abaixo a totalidade dos recursos solicitados ao o Subprograma de Capacitação Institucional.

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	0

Passagens	0
Total (R\$)	0

Bolsas

PCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	D		6	1	
Total (R\$)					

Referências Bibliográficas

KATZENELLENBOGEN, J. A. The quest for improving the management of breast cancer by functional imaging: The discovery and development of 16α -[18F]fluoroestradiol (FES), a PET radiotracer for the estrogen receptor, a historical review. Nuclear Medicine and Biology, [S.l: s.n.], v. 92, p. 24–37, 2020.

ULANER, G. A. et al. Head-to-Head Evaluation of 18F -FES and 18F -FDG PET/CT in Metastatic Invasive Lobular Breast Cancer. Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine, [S.l: s.n.], v. 62, n. 3, p. 326–331, 2021.

KURLAND, B. F. et al. Whole-Body Characterization of Estrogen Receptor Status in Metastatic Breast Cancer with 16α - 18F -Fluoro- 17β -Estradiol Positron Emission Tomography: Meta-Analysis and Recommendations for Integration into Clinical Applications. The Oncologist, [S.l: s.n.], v. 25, n. 10, p. 835–844, 2020.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.09	CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN
	TÍTULO DO PROJETO: Alteração hidrotermal em depósitos de Urânio/Terras Raras de Lagoa Real (BA) e seu papel na formação das mineralizações. Elaboração de modelo de fusão parcial na geração de mineralizações de urânio

Introdução

A Província Uranífera de Lagoa Real (PULR), localizada na porção centro-sul da Bahia (Brasil), hospeda vários depósitos e jazidas de urânio usualmente conhecidos como anomalias devido a sua alta resposta em urânio (e.g., Anomalia 3; Anomalia 9; Anomalia 35, etc). Essas anomalias são resultado da longa e complexa história evolutiva do terreno que inclui episódios de colisão continental acompanhados de metamorfismo (há 2,1 bilhões de anos, e entre 900 a 500 milhões de anos) (Alkmim, 2004, Cruz, 2004, Santos, 2020) e episódios de ruptura e separação da crosta continental acompanhados de magmatismo (há cerca de 1,8 bilhões de anos) (Alkmim, 2004, Cruz, 2004, Amorim et al., 2021).

Embora todas as anomalias partilhem a mesma história evolutiva, nem todas guardaram o registro dessa evolução. Na Jazida do Engenho (Anomalia 9), entretanto, as rochas registraram os episódios de colisão continental e, possivelmente, episódio de separação continental (Azevedo, 2018). Além disso, os estudos petrográficos nessa anomalia apontam indícios de possíveis episódios de fusão parcial associados a metamorfismo de alto grau durante os episódios colisionais (Azevedo, 2018).

A fusão parcial é o processo pelo qual parte de uma rocha funde por aumento de temperatura e pressão (em ambiente de colisão continental - orógeno), por descompressão (em ambiente de separação continental - rifte) ou por aumento de temperatura (em encaixantes de plútons intrudidos na crosta continental). Em ambiente de colisão continental, a fusão parcial ocorre como uma progressão do metamorfismo regional de alto grau e produz uma fração designada como fundido (melt) (Sawyer, 2008a; Sawyer, 2008b; Brown, 2008; Holness, 2008; Azevedo, 2016; Azevedo, 2019). A quantidade desse fundido varia de acordo com a composição do protólito submetido a fusão e com as condições vigentes durante a mesma (e.g.,

pressão, temperatura, fugacidade, strain, velocidade de resfriamento) (Sawyer, 2008a; Sawyer, 2008b). Quando a fusão parcial é pervasiva e o fundido é segregado, esse pode ser observado tanto em escala de afloramento quanto em micro-escala nos chamados migmatitos. Quando a fusão parcial não é pervasiva ou não ocorre segregação o fundido é observado apenas em micro-escala (Sawyer, 2008a; Sawyer, 2008b; Brown, 2008; Holness, 2008) e pode ser observado em rochas metamórficas de alto grau (Holness, 2008).

Atualmente, a fusão parcial tem sido investigada como principal agente da diferenciação crustal (Brown & Solar, 2006) e como processo geológico fundamental no ciclo e na concentração do urânio em depósitos (Ballouard, 2016).

Este trabalho se propõe desenvolver um modelo para identificar evidências de fusão parcial associada a metamorfismo de alto grau em associação com rochas hidrotermalizadas, que possa ser aplicado em diferentes anomalias de Lagoa Real no intuito verificar a gênese de concentrações de urânio. O modelo poderá fornecer novas perspectivas para os estudos metalogenéticos programados para serem desenvolvidos na PULR.

Objetivo Geral

Elaboração um modelo de fusão parcial na geração de mineralizações de urânio relacionado com o estágio metamórfico / hidrotermal na Província Uranífera de Lagoa Real

Objetivos específicos

1. Estudo petrográfico de detalhe dos litotipos na área teste da Anomalia 35 para identificar microestruturas que indicam fusão parcial;
2. Estudo geoquímico em Rocha Total e de Química Mineral dos litotipos dos testemunhos da Anomalia 35 para averiguação do contexto geotectônico durante a gênese e estabelecimento de relação petrogenética entre os mesmos;
3. Elaboração da versão final do modelo e de artigo para divulgação dos resultados.

Insumos

Custeio

Para o desenvolvimento do presente projeto se faz necessário o aporte de recursos conforme discriminado a baixo:

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
Campo em Lagoa Real	Diárias (1 viagens de 15 dias)	
	1 Passagens (ida/volta) 0	

Bolsas

Em decorrência da necessidade de manter as pesquisas e a garantia da confiabilidade dos padrões fornecidos pelo LNMRI, considerando a redução observada no quadro permanente de pesquisadores e a especificidade técnico-científica do projeto, faz-se necessária a disponibilização de 1(uma) bolsa, conforme especificado no quadro abaixo, de forma a proporcionar o alcance dos objetivos propostos.

Formação Acadêmica /Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Geologia	Nas áreas de Migmatitos e Metalogenia	1,2 e 3	D-B	6	1

Atividades de Execução

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas
			2023

1) Trabalhos de campo; Estudos petrográficos; Estudos geoquímicos (Rocha Total e Química Mineral); Análise e interpretação dos resultados fornecidos pelas várias metodologias	1	Modelo disponibilizado para implementação em anomalias uraníferas de Lagoa Real	X
2) Elaborar relatório e redigir artigo para revista internacional	2	Relatório consolidado e artigos científicos para revista indexada QUALIS e/ou outras revistas nacionais e internacionais, e/ou Congressos ou Conferências ou Simpósios da área.	X

Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre	
	2023	
	1	2
Atividade 1	X	X
Atividade 2	X	X

Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	
Modelo de fusão parcial na geração de mineralizações de urânio	1	Sistema validado	1	
Artigos científicos submetido	2	Artigo submetido	1	

Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	
Aplicação do modelo de fusão parcial na geração de mineralizações de urânio em Lagoa Real	1,2	Sistema disponibilizado e testado	1	
		Artigos Científicos submetido	1	

Recursos Solicitados

Segue abaixo a totalidade dos recursos solicitados ao o Subprograma de Capacitação Institucional.

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	4.800,00
Passagens	500,00
Total (R\$)	5.300,00

Bolsas:

PCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	B	4.160,00	6	1	
Total (R\$)					

Referências Bibliográficas

(Artigos de periódicos, capítulos de livros, anais de Congressos, patentes, etc. devem estar necessariamente referenciados no texto da proposta de trabalho)

Amorim, L. E. D., Rios, F. J., Freitas, M. E., Cutts, K., Geraldês, M. C., Diniz, A. C., Matos, E. C. (2021). Zircon U- Pb geochronology of Paleoproterozoic Statherian intraplate A-type magmatic associations of the Lagoa Real Uranium Province, São Francisco Craton (Bahia, Brazil). Journal of South American Earth Sciences.

Azevedo, R. A. 2016. Descrição e interpretação de migmatitos: metodologia para abordagem em campo, exemplo na Faixa Brasília Meridional. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, UFMG. Belo Horizonte, 223p.

Azevedo, R. A. 2018. Relatório de conclusão do projeto PCI – Superposição de processos na Província Metalogenética de Lagoa Real. C. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, SETEM. Belo Horizonte, 50 p.

Azevedo, R, A. 2019. Conceitos fundamentais sobre migmatitos. Terrae Didatica 15, Campinas, p. 1-7.

Ballouard, 2016. Origine, évolution et exhumation des leucogranites peralumineux de la chaîne hercynienne armoricaine: implication sur la métallogénie de l'uranium. Sciences de la Terre. Université Rennes 1, 309 p.

Brown, M. & Solar, G. S. 2006. Evolution and differentiation of the continental crust. Cambridge University Press, 533 p.

Brown, M. 2008. Granites, migmatites and residual granulites: relationships and processes. Working with migmatites, Sawyer, E. W. & Brown, M. (eds). Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 38: 97-144.

Cruz, S. 2004. A interação tectônica entre o Aulacógeno do Paramirim e o Orógeno Araçuaí-Oeste Congo. Tese de doutoramento. Universidade Federal de Ouro Preto. Contribuições as Ciências da Terra, 11, 503p.

Gebauer, D.; Schertl, H.-P. ; Brix, M., Schreyer W. 1997. 35 Ma old ultrahigh-pressure metamorphism and evidence for very rapid exhumation in the Dora Maira Massif, Western Alps, Lithos 41, 5-24.

Dickin, A. P. 2005. Radiogenic Isotope Geology. Cambridge University Press, 509 p.

Dodson MH (1973) Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. Contrib Mineral Petrol 40:259–274.

Holness, M. B. 2008. Decoding migmatite microstructures. Working with migmatites, Sawyer, E. W. & Brown,

M. (eds). Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 38: 57-76.

Lobato, L. M. 1985. Metamorphism, metasomatism and mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil. The University of Western Ontario.

Lobato, L. M. & Fyfe, W. S. 1990. Metamorphism, metasomatism, and mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil. *Econ. Geol.* 85, 968-989.

Lobato, L. M., Pimentel, M. M., Cruz, S. C. P., Machado, N., Noce, C. M., Alkmim, F. F. 2015. U-Pb geochronology of the Lagoa Real uranium district, Brazil: Implications for the age of the uranium mineralization. *J. South. Am. Earth Sci.* 58, 129-140.

Maruejol, P. 1989. Metasomatose alcaline et mineralisations uranifères: les albitites du gisement de Lagoa Real (Bresil). These. CREGU – Centre de Recherches sur la Géologie de l'uranium.

Santos, C. M. dos. 2020. Origem e evolução dos depósitos de urânio na região noroeste da Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia, Brasil. Tese de Doutorado. C. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, SETEM. Belo Horizonte, 212 p.

Sawyer, E. W. 2008a. Working with migmatites: nomenclature for the constituent parts. Working with migmatites, Sawyer, E. W. & Brown, M. (eds). Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 38:1-28.

Sawyer, E. W. 2008b. Identifying the parts of migmatites in the field. Working with migmatites, Sawyer, E. W. & Brown, M. (eds). Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 38: 29-36.

Turpin, L., Maruèjol, P., Cuney, M. 1988. U-Pb, Rb-Sr and Sm-Nd chronology of granitic basement, hydrothermal albitites and uranium mineralization, Lagoa Real, South Bahia, Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98: 139-147.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.10	CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR – CDTN
	TÍTULO DO PROJETO: Investigação neutrônica e termo-hidráulica do vaso de pressão e núcleo de reatores nucleares pequenos modulares (SMR) do tipo PWR

Introdução

A maioria dos reatores de potência em funcionamento atualmente são Reatores a Água Pressurizada (PWR - Pressurized Water Reactors). Nesse tipo de planta não existe intercambiabilidade entre os sistemas e componentes do reator, portanto cada PWR existente é único. Isso faz com que o tempo de construção, montagem e licenciamento até a operação para a geração de energia elétrica seja elevado em comparação com outras formas de geração de energia, o que acarreta no afastamento de investidores.

Com relação à sociedade civil, a questão da segurança nuclear é a maior preocupação, principalmente desde o acidente ocorrido em Fukushima em 2011. Isto pois os sistemas de segurança não foram suficientes para evitar o colapso de um dos reatores da planta. Como alternativa economicamente mais vantajosa para a utilização da energia nuclear, aliada a um alto padrão de segurança, foi proposto o conceito de Reatores Pequenos Modulares (SMR - Small Modular Reactors) (ALONSO; BILBAO; VALLE, 2016).

Os SMR consistem em reatores modulares com potência elétrica de até 300 MWe de acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (International Atomic Energy Agency - IAEA) (IAEA, 2018). O termo modular nesse contexto refere-se ao fato de que muitos dos principais componentes, como núcleos modulares, podem ser montados em qualquer lugar longe do local da planta, sendo posteriormente enviados e instalados na usina (ALAM et al., 2020). Isso corresponde a uma quebra de paradigma em relação à construção tradicional de usinas nucleares, aplicando principalmente o conceito de intercambiabilidade. Os SMR podem ser baseados no projeto dos PWR, sendo o elemento combustível composto dos mesmos tipos de varetas combustíveis, bocais e grades espaçadoras. Além disso, esse tipo de projeto

de SMR utiliza água leve como moderador e fluido de refrigeração (ALONSO; BILBAO; VALLE, 2016).

Os projetos de SMR almejam a redução de custos de capital associada ao aumento da segurança passiva. Os SMR possuem recursos de segurança inerentes, como remoção de calor passiva para a energia residual de decaimento, levando a maior segurança com proteção integrada. É possível implantar reatores SMR em construções subterrâneas para lidar com ameaças de sabotagem, impacto de aviões e alguns cenários de perigo natural, tais como terremotos e tsunamis.

Os SMR oferecem vantagens econômicas significativas, como menor investimento de capital, tempo de construção mais curto e maior capacidade de combinar a capacidade da planta com a demanda, ao utilizar núcleos modulares adicionais conforme necessário. Tanto o usuário final da eletricidade quanto o desenvolvedor da usina podem se beneficiar com os ganhos de escala que não estão presentes em um grande reator convencional, uma vez que os SMR podem estar situados em áreas com redes elétricas menores e com suprimentos limitados de água. Os SMR podem também apresentar soluções energéticas para áreas remotas, como ilhas, podem fornecer calor para cidades de pequeno porte e dessalinizar água do mar em regiões costeiras ou áridas, como é o caso do Nordeste brasileiro. Além disso, os SMR podem também ser fontes de energia para quebra-gelos e navios offshore (ERFANINIA et al., 2017; KITCHER; CHIRAYATH, 2016; WANG et al., 2021; NOROUZI; TALEBI; NAJAFI, 2021).

Diversos países estão desenvolvendo projetos referentes a reatores SMR, uma vez que o domínio do desenvolvimento e implementação deste tipo de reator corresponde a uma vantagem tecnológica que incide diretamente no crescimento econômico (ERFANINIA et al., 2017). No contexto brasileiro, o Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE) vem desenvolvendo um reator com conceitos semelhantes aos de um SMR. O LABGENE é uma instalação nuclear para o desenvolvimento da geração de energia elétrica, sendo esse projeto conduzido sob a tutela do Programa Nuclear da Marinha (VETTORAZZI, 2017). O projeto do reator em desenvolvimento no LABGENE visa à geração de potência térmica de aproximadamente 48 MWt e uma

potência elétrica de 11 MWe, se enquadrando diretamente na classificação de potência dos SMR.

O Laboratório de Termo-hidráulica e Neutrônica (LTHN) do Setor de Tecnologia de Reatores (SETRE) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) tem desenvolvido metodologias experimentais e numéricas para a avaliação de componentes de elementos combustíveis, como grades e bocais (CASTRO et al., 2020; SANTOS, 2012; SANTOS, 2008). Ainda, recentemente foram desenvolvidas metodologias para realizar simulações acopladas entre os fenômenos termo-hidráulicos e neutrônicos (VIEIRA et al., 2020; VASCONCELOS et al., 2018).

Objetivo Geral

Dando continuidade ao desenvolvimento dessas metodologias experimentais e numéricas, serão conduzidas no LTHN simulações computacionais e experimentos aplicáveis em projetos de reatores SMR baseando-se no conceito do LABGENE. Pretende-se adequar as metodologias já desenvolvidas para estudos de reatores SMR.

Objetivo Específico 1

Formular e realizar simulações de reator SMR baseados no LABGENE utilizando código de Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD - Computational Fluid Dynamics) para calcular os fenômenos termo-hidráulicos.

Objetivo Específico 2

Projetar e realizar experimentos para validação de simulações CFD de SMRs utilizando técnicas como casamento do índice de refração e manufatura aditiva (impressão 3D) para fabricação de protótipos de componentes.

Objetivo Específico 3

Promover uma sistemática para garantia da qualidade, possibilitando a rastreabilidade dos experimentos, cálculos e resultados para subsidiar o desenvolvimento de futuros reatores e o uso dos dados na elaboração de relatórios de segurança.

Insumos

Custeio

Para o desenvolvimento do presente projeto se faz necessário o aporte de recursos para material de consumo do LTHN e de seus programas:

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)

Bolsas

Para o desenvolvimento das atividades experimentais e computacionais, assim como promover a garantia da qualidade dos resultados obtidos, será necessário um bolsista com as seguintes características:

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Engenharia Mecânica ou Química com Mestrado na área nuclear	Experiência em garantia da qualidade, pesquisa e desenvolvimento.	1,2 e 3	DB	6	1

Atividades de Execução

Segue abaixo o detalhamento das atividades a serem realizados no escopo do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas		
			2023	2024	2025
1) Formular e realizar simulações de reator SMR baseados no LABGENE	1	Sistema ajustado e pronto para as medições	X	X	

2) Projetar e realizar experimentos para validação de simulações CFD de SMRs utilizando técnicas como casamento do índice de refração e manufatura aditiva (impressão 3D) para fabricação de protótipos de componentes.	2	Procedimentos experimentais / Relatório de resultados experimentais		X	X
3) Promover uma sistemática para garantia da qualidade	3	Relatórios para a garantia da qualidade	X	X	X
4) Elaborar, Submeter e Publicar artigos científicos	1, 2 e 3	Artigos científicos Publicados em revista indexada QUALIS e/ou outras revistas nacionais e internacionais, e/ou Congressos ou Conferências ou Simpósios da área.	X	X	X

Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre					
	2023		2024		2025	
	1	2	1	2	1	2
Atividade 1	X	X	X	X		
Atividade 2			X	X	X	X
Atividade 3		X		X		X
Atividade 4		X		X		X

Produtos

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas		
			2023	2024	2025
Simulações numéricas realizadas	1	Relatório de simulação numérica	1	1	

Experimentos projetados	2	Relatório de atividade experimental		1	1
Gestão da qualidade	3	Relatório de gestão da qualidade		1	1
Artigos científicos publicados	1,2,3	Artigo publicado	1	1	1

Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada.

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas		
			2023	2024	2025
Desenvolvimento de infraestrutura para estudo de componentes e fenômenos presentes em SMR	1,2 e 3	Simulações de reator SMR baseados no LABGENE	1	1	
		Experimentos projetados		1	1
		Procedimentos para a garantia da qualidade		1	1
		Artigos Científicos Publicados	1	1	1

Recursos Solicitados

Segue abaixo a totalidade dos recursos solicitados ao o Subprograma de Capacitação Institucional.

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	
Passagens	
Total (R\$)	

Bolsas

PCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	B	4.160,00	6	1	
Total (R\$)					

Referências Bibliográficas

ALAM, S. B. et al. Lattice benchmarking of deterministic, monte carlo and hybrid monte carlo reactor physics codes for the soluble-boron-free smr cores. Nuclear Engineering and Design, v. 356, p. 110350, 2020. ISSN 0029-5493.

ALONSO, G.; BILBAO, S.; VALLE, E. del. Economic competitiveness of small modular reactors versus coal and combined cycle plants. Energy, v. 116, p. 867 – 879, 2016. ISSN 0360-5442.

ARGAUD, J. User documentation, in the salome 7.5 platform, of the adao module for data assimilation and optimization. EDF R&D report, 2016.

CASTRO, H. F. P. de et al. Avaliação termo-hidráulica experimental de grades espaçadoras comerciais para reatores pwr e de protótipo fabricado por impressora 3d. Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

COLEMAN, H. W.; STEELE, W. G. An overview of asme v&v 20: Standard for verification and validation in computational fluid dynamics and heat transfer. In: Eighth World Congress on Computational Mechanics (WCCM8), Fifth European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008), Venice, Italy, June. [S.l.: s.n.], 2008.

DUFEK, J.; HOOGENBOOM, J. E. Description of a stable scheme for steady-state coupled monte carlo– thermal–hydraulic calculations. Annals of Nuclear Energy, Elsevier, v. 68, p. 1–3, 2014.

ERFANINIA, A. et al. Neutronic-thermal hydraulic coupling analysis of the fuel channel of a new generation of the small modular pressurized water reactor including

hexagonal and square fuel assemblies using mcnp and cfx. Progress in Nuclear Energy, v. 98, p. 213 – 227, 2017. ISSN 0149-1970.

GREENSHIELDS, C. J. Openfoam user guide. OpenFOAM Foundation Ltd, version, v. 3, n. 1, p. 47, 2015.

GUIMARAES, L. d. S. Completion of the fabrication and assembly of the internal parts and pressure vessel of the labgene reactor. Economia e Energia, v. 9, n. 53, 2005.

IAEA, S. Advances in small modular reactor technology developments. [S.l.]: International Atomic Energy Agency Vienna, Austria, 2018.

KITCHER, E. D.; CHIRAYATH, S. S. Neutronics and thermal hydraulics analysis of a small modular reactor. Annals of Nuclear Energy, v. 97, p. 232 – 245, 2016. ISSN 0306-4549.

LEPPÄNEN, J. et al. The serpent monte carlo code: Status, development and applications in 2013. In: EDP SCIENCES. SNA+ MC 2013-Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications, Monte Carlo. [S.l.], 2014. p. 06021.

MA, Y. et al. Neutronic and thermal-mechanical coupling analyses in a solid-state reactor using monte carlo and finite element methods. Annals of Nuclear Energy, v. 151, p. 107923, 2021. ISSN 0306-4549.

NOROUZI, N.; TALEBI, S.; NAJAFI, P. Thermal-hydraulic efficiency of a modular reactor power plant by using the second law of thermodynamics. Annals of Nuclear Energy, v. 151, p. 107936, 2021. ISSN 0306-4549.

ROACHE, P. J. Fundamentals of verification and validation. [S.l.]: hermosa publ., 2009.

ROSSUM, G. V.; DRAKE, F. L. Python language reference manual. Network Theory United Kingdom, 2003.

SANTOS, A. A. C. dos. Modelagem numérica com validação experimental de escoamento através do bocal inferior de um elemento combustível nuclear. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SILVA, V. V. A. et al. The lthn computer cluster. INAC – 2019.

TONG, L.; HOU, L.; CAO, X. Analysis of the flow distribution and mixing characteristics in the reactor pressure vessel. Nuclear Engineering and Technology, v. 53, n. 1, p. 93 – 102, 2021. ISSN 1738-5733.

VASCONCELOS, V. et al. Coupled unstructured fine-mesh neutronics and thermal-hydraulics methodology using open software: A proof-of-concept. Annals of Nuclear Energy, v. 115, p. 173 – 185, 2018. ISSN 0306- 4549.

VETTORAZZI, J. L. A importância do desenvolvimento do laboratório de geração nucleoeletrica (labgene) para a construção do submarino de propulsão nuclear. Escola Superior de Guerra (Campus Rio de Janeiro), 2017.

VIEIRA, T. A. S. et al. Study of a fine-mesh 1:1 computational fluid dynamics – monte carlo neutron transport coupling method with discretization uncertainty estimation. Annals of Nuclear Energy, v. 148, p. 107718, 2020. ISSN 0306-4549.

WANG, S. et al. Cfd analysis on flow and heat transfer characteristic in natural circulation systems with subchannels under rolling conditions. Annals of Nuclear Energy , v. 150, p. 107862, 2021. ISSN 0306-4549.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.11	DIRETORIA DE RADIOPROTEÇÃO E SEGURANÇA NUCLEAR - DRS
	TÍTULO DO PROJETO: Revisão da Norma CNEN-NN-2.02 para Controle de Materiais Nucleares e Desenvolver protocolos para Fluxo de Informações de Controle de Materiais Nucleares e Salvaguardas

1.2 – Introdução

O objetivo da Norma NN2.02 é estabelecer os princípios gerais e os requisitos básicos exigidos pela CNEN para o controle de material nuclear, sendo aplicada a todas as atividades envolvendo material nuclear que se realizam no território nacional. Porém, a versão em vigor, emitida em setembro de 1999, não contempla diversos avanços tecnológicos e científicos, e por isso está desatualizada e incapacitada de estabelecer todos os requisitos necessários à preservação da condição de controle de material nuclear.

Atualmente as atividades da COSAP são realizadas com base em controles individuais, sem uma estratégia organizacional, comprometendo a eficiência e eficácia dos trabalhos desenvolvidos. O segundo projeto postulado permitirá alocar recursos para organizar o fluxo de informações da COSAP.

1.3 - Objetivo Geral

Este projeto visa o estudo e avaliação normativa do atual sistema de controle e salvaguardas de materiais nucleares visando determinar o grau de segurança da posse e uso do material nuclear que garanta a segurança e a proteção para o ser humano e o meio ambiente em geral. O projeto contempla a revisão da Norma CNEN-NN-2.02 permitindo à CNEN/COSAP atualizar e incluir os novos mecanismos de contabilidade para o controle nacional de materiais nucleares, solidificar conceitos a serem utilizados em acordos de Salvaguardas durante negociações com organismos internacionais, normalizar o fluxo de informação para controle do material nuclear, analisar com linguagem unificada os documentos para licenciamento das instalações e propiciar aos operadores a orientação normativa necessária através de guias e documentos regulatórios, visando o adequado controle de material nuclear em diversas atividades e processos das instalações.

Objetivo Específico 1:

Estudo e avaliação normativa do atual sistema de controle e salvaguardas de materiais nucleares visando determinar o grau de segurança da posse e uso do material nuclear que garanta a segurança e a proteção para o ser humano e o meio ambiente em geral visando dotar o Brasil de uma base legal e adequada para o controle de material nuclear e salvaguardas internacionais;

Objetivo Específico 2:

Normalizar o fluxo de informações para aumentar a eficiência e eficácia nas atividades da COSAP no âmbito do licenciamento das instalações nucleares;

Objetivo Específico 3:

Auxiliar a CNEN/COSAP e o País a fortalecer sua base legal para negociações com organismos internacionais;

Objetivo Específico 4:

Publicação de artigos em congressos;

1.4 - Insumos

1.4.1 – Custeio

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
Capacitação para entendimento das atividades de campo com o objetivo de proporcionar uma visão integral e fidedigna dos processos como um todo	diárias e passagens	

1.4.2 – Bolsas

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	quantidade
Engenharia Mecânica ou Engenharia Química	Mestrado em Engenharia Nuclear	1, 2, 3 e 4	D-C	06	1

1.5 - Atividades de Execução

1. Estudo da Norma NN2.02 vigente; Revisão e atualização de levantamento de processos já existente na COSAP;
2. Pesquisa bibliográfica sobre as Normas de Controle e Contabilidade de material nuclear de outros países; Aperfeiçoamento da estrutura existente;
3. Avaliação entre as Normas encontradas e a Norma brasileira, a fim de apontar o que poderia ser adicionado/excluído da norma atual; Elaboração do diagrama do fluxo de informações;
4. Elaboração de relatórios e/ou artigos e apresentação em congressos;
5. Preparação da nova Norma NN2.02; Criação de Procedimentos, Instruções de Trabalho e documentação associada;
6. Apresentação da Norma revisada; Implementação e controle da estrutura de fluxo de informações definida pelo projeto;
7. Elaboração de guias e documentos regulatórios Adequação e correção de eventuais problemas identificados;
8. Elaboração de relatórios e/ou artigos e apresentação em congressos.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
1	OE1	Pesquisa bibliográfica					
2	OE1	Pesquisa bibliográfica					
3	OE1 e OE2	Pesquisa bibliográfica					

4	Publicação de artigo							
5	OE1, OE2 e OE3	Implementação						
6	OE1, OE2 e OE3	Produto final						
7	OE1, OE2 e OE3	Produtos finais						
8	OE4	Publicação de Artigo						

1.6 – Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2019		2020		2021		2022		2023	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Atividade 1										
Atividade 2										
Atividade 3										
Atividade 4										
Atividade 5										
Atividade 6										
Atividade 7										
Atividade 8										

1.7 – Produtos

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Relatório Bibliográfico	OE1 e OE2	Pesquisa e relatório bibliográfico					
Publicação de artigos	OE4	Publicação de artigo					
Norma NN2.02 revisada e aprovada	OE1, OE2 e OE3	Produto final					
Procedimentos específicos desenvolvidos e aprovados	OE1, OE2 e OE3	Produto final					
Publicação de Artigos	OE4	Publicação de Artigos					

1.8 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas				
			2019	2020	2021	2022	2023
Norma NN2.02 e procedimentos específicos	OE1, OE2 e OE3	Produto final					
Aprovação e revisão da Norma NN2.02	OE1, OE2 e OE3	Produto Final					
Aprovação e revisão de procedimentos específicos	OE1, OE2 e OE3	Produto final					

Artigos Elaborados	OE4	Artigos Publicados					
Formação de recursos humana	OE1, OE2 e OE3	Documentação da qualidade					

2 - Recursos Solicitados

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	5.000,00
Passagens	3.000,00
Total (R\$)	8.000,00

Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00			
	B	4.160,00			
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					

Referências Bibliográficas

1. Norma CNEN NN 2.02: Controle de materiais nucleares. Setembro/1999.
2. Regulamento (Euratom) No 302/2005 da Comissão relativo à aplicação das salvaguardas Euratom. Fevereiro/2005.
3. United States Nuclear Regulatory Commission Regulations Title 10, Code of Federal Regulations.
4. Finland - Regulatory control of nuclear safeguards. Novembro/2013.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.12	DIRETORIA DE radioproteção e SEGURANÇA NUCLEAR DRS /LAPOC- CNEN
	TÍTULO DO PROJETO: Elaboração de um banco de dados radiométricos georreferenciados das instalações NORM's brasileiras para determinação dos valores de referência ambiental no território nacional.

Introdução

O solo, a água e praticamente todas as rochas contêm pequenas quantidades de materiais radioativos de ocorrência natural e estão presentes tanto no trabalho quanto no meio ambiente. Embora suas concentrações de atividade variem consideravelmente na crosta terrestre, essa exposição natural, na maioria dos casos, não requer medidas de controle e regulação. No entanto, existem situações onde exposição a fontes naturais tornam-se motivo para preocupação e consequentemente controle. A mineração e processamento de material onde as concentrações de atividade de radionuclídeos são significativamente elevadas são considerados Naturally Occurring Radioactive Material (NORM). No Brasil, as principais indústrias caracterizadas como NORM são:

- Produção de Nióbio e Ferro-Nióbio;
- Produção de Óxido de Titânio;
- Extração de Elementos de Terras Raras;
- Extração e Processamento de Zircônio;
- Estanho;
- Mineração de Fosfato e Produção de Ácido Fosfórico;
- Mineração e Métodos de Processamento (Cobre, Ouro, Areias contendo minerais pesados: ilmenita, monazita, zirconita, rutilo);
- Mineração de Carvão e sua Combustão (cinzas).

A mineração e beneficiamento de minério contendo NORM's acarretam a geração de grandes quantidades de resíduos que podem resultar na contaminação do solo, sedimento e águas, ocasionando um acréscimo de dose na população. A

CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) é a responsável pela normatização e fiscalização dos níveis de radiação da indústria e estabelece o limite de dose efetiva que o trabalhador e público podem receber, além dos valores do background daquela região.

Conforme proposto por Matschullat et al. (2000), os valores de background de uma região seriam uma medida relativa usada para distinguir concentrações naturais de um dado elemento e a influência das atividades antrópicas nessas concentrações. Os valores de background são considerados ferramentas importantes na gestão territorial e que podem ser transformados em guias de alerta aos gestores públicos, com relação à necessidade de remediação de locais onde são identificadas concentrações anômalas (Costa, 2007).

Os resultados de monitoramento ambiental e radiológico de diversas instalações localizadas no Brasil podem ser utilizados na determinação dos valores de background dos elementos radioativos podem utilizados. Além disto, a UNSCEAR (2000) possui uma base de dados com valores de concentrações de atividades dos elementos radioativos encontrados na crosta terrestre em diferentes países. Os resultados de monitoramento ambiental e radiológico das instalações brasileiras podem, além de compor a base de dados mundial, serem usados confrontados com outras regiões do planeta.

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem se tornado essencial nos estudos da superfície terrestre e gestão integrada de dados espaciais. Os dados de monitoramento ambiental são exemplos que requerem o uso de um SIG para que os gestores e toda a comunidade envolvida possam realizar as análises das áreas onde ocorram empreendimentos de mineração e metalurgia. A construção de um SIG que possa ser alimentado dinamicamente com diferentes dados permite que os próprios gestores enviem frequentemente os dados ao sistema, centralizando as informações num sistema único e mantendo uma atualização periódica do sistema.

Atualmente, o Brasil possui cerca de 50 instalações NORM's controladas pelas CNEN. Destas, 11 instalações foram classificadas como classe I (concentração de atividade total dos radionuclídeos superior a 500 Bq.g-1), 5 instalações foram classificadas como II (concentração de atividade total dos radionuclídeos entre

500 Bq.g-1 e 100 Bq.g-1) e 9 instalações são classificadas como III (concentração de atividade total dos radionuclídeos inferior a 100 Bq.g-1 e superior a 10 Bq.g-1), de acordo com a NORMA CNEN 4.01. O restante dessas instalações ainda não foi classificado.

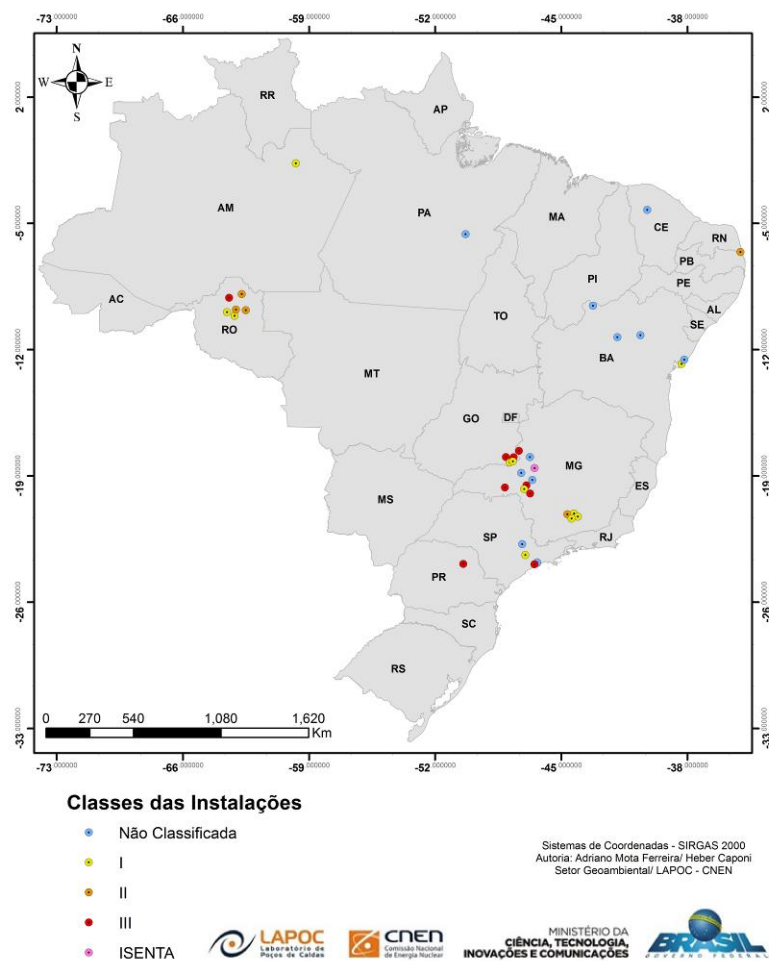


Figura 1 - Mapa das instalações NORM's controladas pela CNEN no Brasil.

Os resultados de monitoramento ambiental e radiológico, incorporados em uma base de dados georreferenciada utilizando um Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG), permitem realizar uma análise espacial da distribuição dos elementos radioativos em diferentes domínios geológicos do Brasil e determinar os valores médios das concentrações de atividade encontrados em diferentes regiões.

Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é a determinação de valores médios de radioatividade no solo, no sedimento e na água nos diferentes domínios geológicos do Brasil, através da elaboração de um banco de dados georreferenciados dos resultados de monitoramento ambiental e radiométrico das instalações com ocorrências de NORM.

Objetivo Específico 1: (Atividade 1-A e 1-B)

Elaboração de uma base de dados georreferenciada contendo os resultados das monitorações ambientais e radiológicas das diferentes instalações NORM do Brasil, facilitando o processo de controle e certificação das mesmas pela CNEN.

Objetivo Específico 2: (Atividade 2-A, 2-B, 2-C e 2-D)

Caracterização do meio físico e do entorno das principais instalações NORM do Brasil. Determinação do domínio geológico e hidrogeológico de cada instalação.

Objetivo Específico 3:

Determinação dos valores de background das concentrações de atividade de alguns radionuclídeos encontrados em diferentes matrizes ambientais em diferentes domínios geológicos do Brasil. Identificação de valores anômalos e instalações mais críticas em relação a dose ambiental.

Objetivo Específico 4:

Contribuir com a base de dados radiométricos mundial organizada pela USCEAR.

Insumos

Custeio

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
Atividades de campo (mapeamento radiométrico e coleta de amostras ambientais e imageamento VANTs - Drone)	15 passagens 75 diárias	-
Treinamento de pesquisador da instituição no exterior	15 diárias e 2 passagem	-

Bolsas

O desenvolvimento do projeto exige um profissional com conhecimentos na área de mineração, metalurgia e ambiental. Este profissional deverá ter dedicação exclusiva devido ao grande volume de dados gerados no projeto. Além disso, o bolsista deverá apresentar habilidade para elaboração, manipulação e tratamento de dados espaciais sobre o meio físico e dados de monitoração ambiental envolvendo diferentes instalações e variados processos de mineração e metalúrgico.

Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
Mestrado	Engenharia Minas e Ambiental	1, 2, 3 e 4	D-C	6	1

Atividades de Execução

Descrição das atividades que levarão ao cumprimento dos objetivos específicos do projeto.

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	METAS				
			2019	2020	2021	2022	2023
(1-A) Elaboração de um termo de consentimento livre e publicidade dos dados entre CNEN e instalações envolvidas para compartilhamento de dados ambientais. Estabelecimento de um modelo de gestão ambiental integrada em ambiente SIG que possa ser utilizada pela CNEN continuamente para a gestão e controle das instalações NORM do Brasil.	1	Termo de compromisso e concepção do modelo de base de dados georreferenciada.	X				
(1-B) Elaboração de uma base de dados nacional contendo: cadastro de todas as mineradoras e instalações, respectivas substâncias exploradas, poligonais de lavra (CPRM), maior concentração de atividade (Bq.g ⁻¹) e classificação segundo a Norma CNEN 4.01.	1	Base de dados nacional estruturada – Cadastro e informações de todas as instalações NORM do Brasil	X	X	X		

(2-A) Elaboração de uma base de dados (escala 1:5.000.000) contendo os seguintes arquivos vetoriais (formato <i>shapefile</i>): fronteira nacional, divisas estaduais, limite dos municípios, principais biomas brasileiros, domínios geológicos e hidrogeológicos (CPRM).	2	Conversão dos arquivos cadastrais em <i>shapefiles</i> e <i>database</i> , estruturada em ambiente SIG	X	X	X		
(2-B) Caracterização regional de cada instalação NORM em ambiente SIG (escala 1:50.000) Domínios geológicos hidrogeologia, topografia, hidrografia, planta baixa do arranjo geral da instalação com localização das áreas de rejeito, imagens de satélite ou aerofotogrametria ou veículos aéreos não tripulados (VANTs - DRONE) Mapeamento Radiométrico e coleta de amostras ambientais	2	Relatório e mapas das instalações.	X	X	X		
(2-C) Elaboração de um modelo de tabela padrão (Excel) para os dados ambientais e radiológicos (água superficial e subterrânea, sedimento, solo e TLD) do entorno de cada instalação.	2	Base de dados consolidada em Excel	X	X	X		
(2-D) Georreferenciamento dos pontos de monitoramento ambiental e radiológico de cada instalação. Conversão dos arquivos Excel para arquivos <i>database</i> (dbf.) e importação para SIG para composição do banco de dados georreferenciado.	2	Base de dados de cada instalação NORM consolidada em <i>database</i> . (1:50.000)		X	X	X	

(3) Interpretação dos dados radiométricos e determinação dos valores de <i>background</i> radiométrico para cada domínio geológico do território nacional. Utilização de métodos diretos: determinação de valores em ambientes naturais não impactados (Kelly e Taylor, 1997), e indiretos: utilização de técnicas estatísticas como regressão linear (Selinus & Esbensen, 1995) e <i>normal probability plots</i> (Tobias et al., 1997).	3	Relatório e análise estatística.		X	X	X	
(4) Incorporação dos dados radiométricos na base da USCEAR e comparação dos valores encontrados no Brasil com a média mundial	4	Base de dados consolidada para submissão a UNSCEAR.				X	X

Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2019		2020		2021		2022		2023	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1-A	X	X								
1-B	X	X	X	X	X	X				
2-A	X	X	X	X	X	X				
2-B	X	X	X	X	X	X				
2-C	X	X	X	X	X	X				
2-D			X	X	X	X	X	X		
3			X	X	X	X	X	X		
4							X	X	X	X

Produtos

Os produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	METAS				
			2019	2020	2021	2022	2023

Termo de compromisso e concepção do modelo de base de dados georreferenciada.	1-A	Implementação de um modelo padrão de base de dados georreferenciada.	X				
Caracterização regional dos domínios geológicos de cada instalação.	2-A, 2-B, 2-C e 2-D	Relatórios e mapas temáticos.	X	X			

Mapeamento Nacional de instalações NORM's.	2-A, 2-B, 2-C e 2-D.	Mapa de distribuição espacial da concentração de atividade das instalações.	X	X	X		
Determinação dos valores médios de radioatividade encontrada no território nacional.	1-B e 3	Relatório e análise estatística.			X	X	
Caracterização regional de cada instalação e georreferenciamento das áreas de rejeito	3 e 4	Base de cartográfica georreferenciada SIG.			X	X	
Consolidação do modelo de gestão das instalações NORM em ambiente SIG.	3 e 4	Implementação do modelo em todas as instalações NORM's do território nacional.				X	X
Integração do banco de dados nacional com o banco de dados mundial (UNSCEAR).	4	Base de dados nacional consolidada e submetida a UNSCEAR.				X	X

Resultados Esperados

Os resultados são mudanças observadas no curto prazo sobre indivíduos, grupos ou instituições, como resultado da intervenção realizada.

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	METAS				
			2019	2020	2021	2022	2023

Sistematização e integração entre operadores e regulador a respeito de normas e controle.	1	Estruturação de uma base de dados nacional em ambiente SIG como apoio as atividades de controle.	X	X	X	X	
Levantamento dos valores de background radiométrico para o território nacional	3	Relatório técnico/ artigos científicos/ Mapas georreferenciado Arquivos shapefiles para download.				X	
Inclusão dos dados de monitoramento brasileiro a plataforma internacional da UNSCEAR.	4	Relatório compilando as informações e arquivos <i>database</i> com resultados. Artigo científico.					X

Referências Bibliográficas

COSTA, A.T. "Registro histórico de contaminação por metais pesados, associadas à exploração aurífera no alto e médio curso da bacia do Ribeirão do Carmo, QF: um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais". Tese de Doutorado. p. 257. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto. 2007.

KELLEY, K.D.; TAYLOR, C.D. "Environmental geochemistry of shalehosted Ag-Pb-Zn massive sulfide deposits in northwest Alaska: natural background concentrations of metals in water from mineralized areas." *Applied Geochemistry*, v. 12, p. 397-409. 1997.

MATSCHULLAT, J.; BORBA, R.P.; DESCHAMPS, E.; FIGUEIREDO, B.R.; GABRIO, T.; SCHWENK, M. "Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil". *Applied Geochemistry*, 15:193-202, 2000.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. "Geochemical background - can we calculate it?" *Environmental Geology*, v. 39, p. 990-1000. 2000.

MIRANDA, M.V.F.E. "Estudo dos níveis de emissão de ²²²Rn presentes nos materiais radioativos de ocorrência natural-NORM". Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ. Rio de Janeiro. 2009.

NORMA CNEN NN 4.01. Resolução CNEN 208 de Dezembro de 2016. "Requisitos de segurança e proteção radiológica para instalações minero-industriais". Publicada Diário Oficial da União – DOU, em 26 de dezembro de 2016.

NORMA CNEN NN 6.02. Resolução CNEN 215 de Junho de 2017. "Licenciamento de Instalações Radioativas". Publicada Diário Oficial da União – DOU, em 30 de junho de 2017.

SELINUS, O.S.; ESBENSEN, K. "Separating anthropogenic from natural anomalies in environmental geochemistry." *Journal of Geochemical Exploration*, v. 55, p. 55-66, 1995.

TEIXEIRA R.J.S. et al. "Dados geoquímicos e radiométricos preliminares dos granitos da região de Vila Real, Norte de Portugal". *Comunicações Geológicas*. 2014. v. 101, Especial I, 229-232. Porto. 2014.

TOBIAS, F.J.; BECH, J.; ALGARRA, P.S. "Establishment of the background levels of some trace elements in soils of NE Spain with probability plots." *Science of the Total Environment*, v. 206, p. 255-265. 1997.

UNSCEAR- United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation. 2000. "Sources and Effects of Ionizing Radiation". Volume I: Sources. United Nations Publication, Sales No. E.00.IX.3. 2000. safeguards. Novembro/2013.