

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.1	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
	Título do Projeto: Escritório de Projetos do CDTN
	Supervisor do Bolsista: Clascídia Aparecida Furtado

Introdução

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) é uma instituição de pesquisa multidisciplinar, criado em 1952, então vinculado à Universidade Federal de Minas Gerais. Inicialmente com foco na compreensão da interação das radiações com a matéria e os seres vivos e nos estudos dos minerais radioativos, o CDTN desenvolveu competências num amplo espectro de assuntos correlacionados à indústria nuclear, ao uso das radiações ionizantes em áreas como a saúde, a indústria e o meio ambiente, e à proteção das pessoas e do meio ambiente dos seus efeitos deletérios.

Sua cultura organizacional e suas competências científicas e tecnológicas foram cunhadas pelas mudanças organizacionais pelas quais passou e pelas diferentes missões que recebeu ao longo da sua existência. Inicialmente, como instituto ligado à universidade, esteve voltado para a compreensão dos fenômenos científicos e para a formação de pessoas, embora tenha já nessa época avançado para a aplicação tecnológica do conhecimento nuclear num projeto de reator a tório. Na fase seguinte, o CDTN foi vinculado a uma empresa estatal – a Nuclebrás – encarregada de implementar o ambicioso programanuclear negociado com a Alemanha, que previa a instalação de 8 usinas nucleares até 1990 e todo o ciclo do combustível nuclear, da mineração do urânio ao gerenciamento dos rejeitos radioativos, passando pelo projeto das usinas de potência e pela fabricação dos elementos combustíveis.

Nessa etapa cabia ao CDTN apoiar da Nuclebrás e suas subsidiárias na absorção da tecnologia transferida dos parceiros alemães. Foi nessa época que o CDTN expandiu suas áreas de competência, adquirindo as suas características atuais em termos do amplo espectro de atuação. Já nas últimas décadas, agora vinculado à Comissão Nacional de Energia Nuclear, a CNEN, autarquia vinculada ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, MCTI, volta a se dedicar à ciência e à formação de novas gerações de pesquisadores.

Além das diferentes missões institucionais, marcou profundamente o ambiente do CDTN e suas características a política nuclear nacional – ou a falta dela. No período em que esteve ligado à Nuclebrás, o País tinha um Programa Nuclear muito bem estabelecido e a missão do CDTN era essencialmente tecnológica, relacionada ao ciclo do combustível nuclear, com foco nos resultados e no treinamento *on-the-job* da força de trabalho, com nenhum incentivo à formação acadêmica de seu

pessoal. Na fase seguinte, o CDTN recebeu uma missão mais difusa, passando a se dedicar às aplicações da tecnologia nuclear e das radiações, à difusão do conhecimento e à formação de alto nível de novas gerações de pesquisadores. Nessa fase, o Brasil deixou de contar com um programa nuclear bem estabelecido, cuidando apenas de levar adiante, em passos lentos, empreendimentos já iniciados anteriormente. Nas últimas décadas, a CNEN e seus institutos, ao lado dos institutos brasileiros de C&T, têm passado por um período de perda acentuada de pessoal, com grande consequência sobre a sua capacidade de produzir resultados para a sociedade.

Inserido nesse contexto institucional e histórico, torna-se de grande relevância dispor de uma gestão eficaz, competente, de seus esforços na produção de pesquisa e tecnologia relevantes e em atividades técnicas/ tecnológicas especializadas. Afinal, o país empreende considerável esforço para manter um instituto como o CDTN e é preciso que os resultados entregues correspondam às expectativas da sociedade brasileira.

Duas tarefas se impõem, nesse aspecto, à Administração: manter um portfólio de projetos que atendam às orientações estratégicas emanadas da alta direção governamental e, no caso, da alta direção da CNEN, o que justificará os recursos alocados na instituição; e estabelecer um processo de gestão adequado dos projetos de pesquisa e desenvolvimento de seu portfólio, de forma a melhorar as chances de que resultados significativos sejam alcançados.

O CDTN adotou para sua área finalística uma estrutura organizacional matricial mista, por macroprocessos, a saber: Pesquisa e Desenvolvimento; Formação Especializada; Gestão de Serviços e Inovação; e Segurança Radiológica e Nuclear. Esse tipo de gestão favorece a implantação de metodologias de gestão com foco nos resultados. No caso dos projetos de P&D, o CDTN ainda não logrou estruturá-la adequadamente às responsabilidades e objetivos da instituição.

Nesse sentido, um sistema de gestão consistente e robusto com um escritório dedicado à gestão de portfolio de projetos se faz necessário. Tal escritório atenderia às necessidades de: estabelecimento de diretrizes gerais, padronização e ou adequação de práticas de trabalho, organização dos projetos; apoio operacional e suporte administrativo na resolução de problemas de projeto; capacitação e desenvolvimento de competências de equipes envolvidas; monitoramento de indicadores, cronogramas, riscos e resultados, e informações gerenciais à alta direção; e em última instância, promover boas práticas e experiências em um ciclo de avaliação como forma de aprendizagem, para novos ciclos e novos projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico dentro da instituição. Falta, entre outros aspectos, juntar a ele uma equipe de gestão permanente, dedicada a acompanhar os projetos de P&D em todas as suas fases, do planejamento à avaliação dos resultados, passando pela execução.

Esse projeto se propõe a estabelecer e consolidar, a partir de um projeto piloto, um sistema de gestão e um escritório de portfolio de projetos de P&D, de forma a melhor apoiar os pesquisadores, fornecer informações consistentes aos gestores e facilitar a prestação de contas por parte da instituição.

Objetivo Geral

Criar no CDTN uma cultura de gestão de projetos de P&D voltados para resultados, de forma a melhorar o atendimento às orientações estratégicas institucionais e aumentar o impacto do esforço de pesquisa e desta forma consolidar um sistema de gestão e um escritório de gestão de portfolio de projetos.

Objetivos específicos

1. Realizar diagnóstico atual;
2. Definir o escopo do projeto;
3. Sensibilizar e capacitar agentes envolvidos;
4. Definir projetos piloto;
5. Implementar, executar e monitorar o projeto de gestão – piloto para um grupo selecionado de projetos;
6. Realizar ciclo anual de avaliação do sistema, dos projetos e do escritório;
7. Propor modelo do sistema ajustado à gestão de projetos de P&D do CDTN

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Realização do diagnóstico atual	1	Diagnóstico realizado	1
Definição de escopo do projeto: sistema de gestão, ferramentas de gestão, metodologia e indicadores	2	Sistema, ferramentas de gestão, metodologia e indicadores definidos	4
Sensibilização e capacitar agentes envolvidos	3	Sensibilização e capacitação realizada	2
Escolha dos projetos para a etapa piloto	4	Projetos piloto escolhidos	A definir
Implementação da gestão para os projetos da etapa piloto	5	Projeto piloto implementado	1
Realização de ciclo anual de avaliação dos projetos da etapa piloto	6	Ciclo de avaliação realizado	1
Proposição e replicação do modelo ajustado para a gestão de projetos de P&D no CDTN	7	Sistema de gestão replicado	1

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	x					
Atividade 2		x				
Atividade 3			x			
Atividade 4			x			
Atividade 5				x		
Atividade 6						Ano seguinte
Atividade 7						Ano seguiente

A atividade 5 demanda um tempo de maturação para a avaliação e replicação do sistema que estão previstas nas atividades 6 e 7, isto é, as atividades 6 e 7 ultrapassam o período de 12 meses, ficando sujeitas à continuidade/prorrogação do período de vigência do projeto previsto neste edital. Para os anos posteriores a 2026, cronograma ficará sujeito a avaliação e programação conforme disponibilidade de recursos orçamentários para manter o bolsista.

Produtos e resultados esperados

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

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Diagnóstico da situação atual da gestão de projetos de P&D	1	Relatório Diagnóstico	1
Declaração de Escopo do projeto	2	Declaração de Escopo	1
Capacitação e sensibilização dos agentes	1	Capacitação realizada	1
Etapa piloto implementada	4 e 5	Etapa piloto implementada	1
Ciclo de avaliação anual	6	Ciclo de avaliação realizado	Ano seguinte
Sistema de gestão e escritório de gestão de portfólio replicados	7	Sistema de gestão replicado	Ano seguinte

Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BGE Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Administração ou Economia, com mestrado ou doutorado em Inovação Tecnológica	Gestão de processos e projetos em ciência, tecnologia e inovação	1 a 7	DA	12	1

BGE	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BGE	DA	5.200,00	12	1	62.400,00
Total (R\$)					62.400,00

Referências Bibliográficas

PLANO ESTRATÉGICO DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR PEI-CNEN 2023-2027.

Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/plano-estrategico-cnen-2023-2027-apresentacao.pdf>.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.2	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
	Título do Projeto: Gestão da Garantia da Qualidade no Reator TRIGA
	Supervisor do Bolsista: Sérgio Almeida Cunha Filgueiras

Introdução

O Serviço de Tecnologia de Reatores (SETRE) tem a finalidade de realizar pesquisas e desenvolvimento de tecnologias de reatores nucleares e tecnologias correlatas, promover a formação especializada, o treinamento de pessoal, bem como a produção de radioisótopos - irradiações de materiais, amostras, e produtos - para setores usuários e indústria nacional nas áreas do meio ambiente, mineração, novos materiais, saúde etc. Em sua infraestrutura tecnológica, o SETRE abriga a Unidade do Reator de pesquisa TRIGA (URT), que envolve o trabalho de pesquisadores, técnicos e estudantes de pós-graduação que desenvolvem diversos projetos de pesquisas.

A operacionalização da URT envolve atividades diversas e a complexa manutenção de sua instalação, estrutura, componentes e sistemas requer cuidados referentes à segurança nuclear e à proteção radiológica. Para tanto, torna-se relevante para a instituição dispor de uma gestão eficaz de suas atividades, recursos materiais e esforços na operacionalização que atendam aos requisitos operacionais, de qualidade, e requisitos regulatórios, o que em última instância é pré-condição para a Autorização de Operação Permanente (AOP), isto é, o licenciamento do Reator.

A gestão de procedimentos de trabalho referentes à execução de atividades, à manutenção de padrões aceitáveis de desempenho, à orientação quanto a limites e condições de operação e à manutenção de padrões de qualidade requer, portanto, a consolidação de um Programa de Garantia da Qualidade da Unidade do Reator TRIGA (PGQ-URT), cuja finalidade é estabelecer padronização de procedimentos operacionais, apontar seus responsáveis e frequências de aplicação e, fundamentalmente, seus registros de ocorrências que precisam estar em conformidade com o Sistema de Gestão da Qualidade, com a Norma CNEN-NN-1.16 e a norma ABNT NBR ISO 9001.

Além da operação e manutenção segura do reator, o fortalecimento da capacidade técnica da força de trabalho é outro item de suma importância para o alcance de níveis de qualidade e segurança operacional e sua melhoria contínua. Assim, uma vez que recursos humanos qualificados são essenciais para a condução das atividades do reator, inclui-se neste projeto a gestão do Programa de Treinamento de Operadores do Reator, isto é, as atividades de secretaria executiva ou a gestão das atividades relativas à implementação, organização, execução, análise e avaliação.

O SETRE e a URT têm um Programa de Garantia da Qualidade, porém, este carece de consolidação, uma vez que ainda se encontra em sua fase de construção, necessitando da elaboração de uma série de procedimentos operacionais, a formalização da documentação, a consolidação do monitoramento e avaliação contínua de parâmetros de trabalho, a sistemática de documentação e registros de ocorrências e não conformidades, a revisão de outros tantos documentos, bem como a análise crítica e verificação da efetividade das boas práticas em termos de garantia da qualidade.

Desta forma, este projeto e seu plano de trabalho visam a atuar na consolidação do Programa de Garantia da Qualidade do Reator TRIGA, configurando uma cultura de gestão da qualidade e alcançando uma gestão eficaz dos recursos e esforços institucionais na operação do reator e em última instância para a segurança operacional e radiológica.

Objetivo Geral

Prover o SETRE de condições técnico-administrativas e condições objetivas de confiabilidade que possibilitem uma melhor gestão de suas atividades, processos e projetos de P&D, atendendo a condições e limites operacionais de segurança nas instalações do Reator. Desta forma, o objetivo geral deste projeto é consolidar o Programa de Garantia da Qualidade no Reator TRIGA.

Objetivos específicos

1. Revisar e atualizar o PGQ;
2. Revisar formatação de documentação existente;
3. Acompanhar auditorias internas e externas, bem como tratar da documentação gerada a partir das auditorias;
4. Realizar treinamento junto aos operadores do reator apresentando procedimentos e modos de registro;
5. Interagir com a área técnica para a elaboração de documentação necessária à gestão deste programa;
6. Gerenciar a documentação relativa ao Programa de Treinamento dos Operadores;
7. Realizar “Reunião Anual de Análise Crítica” do PGQ e preparar as auditorias internas e a do órgão regulador em 2026.

Atividades

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

Atividades	Objetivos	Indicadores	Metas 2026
Revisar o PGQ (última revisão foi em junho/2022)	1	PGQ revisado	1
Revisar documentação existente (25 PIO; 11 FIO; 14 FIS; 8 PIS; 4 OI) total de 62 documentos.	2	Revisão realizada	25%
Acompanhar auditorias interna e externa e dar tratamento à documentação/processos gerados	3	Acompanhamento realizado	2
Realizar treinamento junto aos operadores do reator apresentando procedimentos e modos de registro	4	Treinamento realizado	1
Solicitar junto à área técnica a elaboração de documentação técnica necessários à gestão deste programa e de programas complementares à AOP.	5	Documentos elaborados	A definir
Gerenciar documentações/processos relativos ao Programa de Treinamento de Operadores	6	Programa gerenciado	1
Realização de “Reunião Anual de Análise Crítica” do PGQ e preparação para a auditoria externa do órgão regulador em 2026	7	Reunião realizada	1

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X				
Atividade 2	X	X	X	X	X	X
Atividade 3			X		X	
Atividade 4				X		
Atividade 5	X	X	X	X	X	X
Atividade 6	X	X	X	X	X	X
Atividade 7					X	

Para os anos posteriores a 2026, o cronograma ficará sujeito à avaliação e programação conforme Reunião de Análise Crítica Anual do PGQ e disponibilidade de recursos orçamentários para manter o bolsista.

Produtos e resultados esperados

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

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
PGQ revisado	1	Documento 100% revisado e aprovado pela chefia SETRE	1
Documentação revisada	2	25% dos documentos revisados	15
Auditórias realizadas	3	100% auditórias realizadas	2
Treinamento	4	Treinamento realizado	1
Documentação necessária elaborada	5	50% da documentação elaborada	A definir
Programa de Treinamento de Operadores gerido	6	Programa gerido	1
Reunião anual de análise crítica e preparação para auditórias	7	Reunião realizada	1

Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BGE Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Engenharia de Produção ou Administração com mestrado ou doutorado em engenharia de produção ou gestão da qualidade	Qualidade	1 a 7	B	12	1

BGE	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BGE	DB	4160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

Referências Bibliográficas

CDTN. PROGRAMA DE GARANTIA DA QUALIDADE DA UNIDADE DO REATOR TRIGA IPR-R1. 21/06/2022.

CNEN-NN-1.16 Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações.

Resolução CNEN nº 226, 01/02/2018. Autorização para Operação Permanente (AOP) do Reator Triga IPR-R1 (CDTN/IPR-R1-TRIGA)

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.3	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
	Título do Projeto: P&D em Produção, Funcionalização e Caracterização de Grafeno e seus Derivados, Híbridos e Compósitos
	Supervisor do Bolsista: Clascídia Aparecida Furtado

Introdução

A busca por soluções científicas e tecnológicas que levem a avanços significativos em áreas estratégicas e à inovação na indústria inclui o desenvolvimento de nanomateriais com características específicas e propriedades inusitadas e potencializadas. Com o isolamento do grafeno em 2004, fenômenos físicos há anos previstos para estruturas verdadeiramente bidimensionais (2D) puderam ser experimentalmente testados. Além disso, suas propriedades [espessura monoatômica, alta área superficial ($2630\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$), alta condutividade elétrica com grande mobilidade de portadores de carga ($\sim 200.000\text{ cm}^2\text{ Vs}$), alta condutividade térmica ($\sim 5000\text{ W/mK}$), alto modulo de Young ($\sim 1,0\text{ TPa}$) e resistência à fratura ($\sim 130\text{ GPa}$), e transmissão de 92,7% da luz incidente] puderam ser medidas [Geim, 2011]. Paralelamente, essas propriedades mostraram ser influenciadas ou sintonizadas por derivatização e funcionalização química e diversos materiais grafênicos passaram a ser obtidos, caracterizados e explorados como habilitadores de nanotecnologias em setores industriais estratégicos. Atualmente, o grande desafio vem sendo a combinação arquitetada de diferentes estruturas 2D, bem como o seu processamento, visando à obtenção de materiais cada vez mais multifuncionais, de custo reduzido, sustentáveis e portadores de inovação.

Um exemplo é a obtenção de híbridos entre grafenos e derivados e os nitretos de carbono(C_3N_4). C_3N_4 é composto por átomos abundantes na crosta terrestre, o que o torna um material 2D de fácil obtenção, livres de metais e baixo custo. As propriedades únicas do nitreto de carbono grafítico derivam-se de sua estrutura, uma vez que suas unidades de repetição são a tri-s-triazina (C_6N_7) e triazina (C_3N_3) e essas possuem nitrogênio e carbono com hibridização sp^2 , originando estruturas eletrônicas com sistemas conjugados. A combinação entre grafenos e derivados e C_3N_4 pode ocorrer tanto por interações eletrostáticas quanto por ligações de hidrogênio, resultando em materiais híbridos com alta mobilidade de elétrons e aumento da área superficial, propriedades atraentes para diversas aplicações.

Nesse contexto, propomos aqui explorar a sinergia de nanoestruturas arquitetadas baseadas em grafenos, incluindo o óxido de grafeno, e nitreto de carbono e derivados no desenvolvimento de soluções tecnológicas nas áreas de 1) saúde, como a construção de nanoplatformas para uso em sistemas biossensores de detecção precoce de cânceres e doenças infecciosas; e 2) ambiental, como o desenvolvimento de sistemas adsorventes para recuperação e separação de elementos das Terras

Raras em rejeitos industriais.

Desenvolver e entender o comportamento desses sistemas nanoestruturados significa, entretanto, lidar ou resolver problemas de fronteira em química de interfaces, de superfícies, de estado sólido, etc. Atualmente, estão em andamento no Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono (LQN) do CDTN, 09 Projetos de Pesquisa focados nos temas abordados neste Plano de Trabalho. O desenvolvimento desses projetos requer, além de uma equipe dedicada e multidisciplinar, um envolvimento importante de gestão e organização/coordenação dessa equipe e das várias atividades dos Projetos.

Objetivo Geral

Estabelecer um conhecimento sólido da composição, real superfície, interações em interfaces e propriedades físico-químicas das nanoestruturas e seus híbridos, antes e após funcionalização, já que são esses os parâmetros que certamente irão definir a sinergia da interação nanomaterial-(bio)molécula ou meio e, consequentemente, habilitá-los para uso em soluções inovadoras.

Objetivos específicos

1. Propor estratégias de funcionalização de nanoestruturas de carbono individuais e híbridas visando ao seu uso em biosensoriamento e na adsorção seletiva de metais da Terras Raras;
2. Caracterizar, por técnicas espectroscópicas e de análise térmica, nanoestruturas de carbono individuais e híbridas, antes e após funcionalização, quanto à composição, real superfície e propriedades físico-químicas;
3. Caracterizar, por técnicas espectroscópicas e de análise térmica, as interações nanomaterial-biomolécula, nanomaterial-metal e nanomaterial-meio, antes e após funcionalização;
4. Investigar o efeito das interações nos sistemas híbridos e da funcionalização dos vários nanomateriais em suas propriedades estruturais e eletrônicas e, consequentemente, em seu desempenho em sistemas biosensores e adsorvedores;
5. Auxiliar na coordenação de projetos de P&D e elaborar produtos técnico-científicos institucionais, incluindo relatórios técnicos de atividades, relatórios patentários, artigos científicos, bem como participar de reuniões, visitas técnicas e demais atividades vinculadas ao projeto e às demandas do CDTN/CNEN.

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
1) Propor estratégias de funcionalização de nanoestruturas de carbono individuais e híbridas	1	Metodologias desenvolvidas Nanoestruturas funcionalizadas	Bimestres 1 ao 3
2) Caracterizar, por técnicas espectroscópicas e de análise térmica, nanoestruturas de carbono individuais e híbridas, antes e após funcionalização	2	Metodologias desenvolvidas Nanoestruturas caracterizadas	Bimestres 1 ao 4
3) Caracterizar, por técnicas espectroscópicas e de análise térmica, as interações nanomaterial-biomolécula, nanomaterial-metal e nanomaterial-meio, antes e após funcionalização	3	Metodologias desenvolvidas Nanoestruturas caracterizadas	Bimestres 1 ao 5
4) Investigar o efeito das interações nos sistemas híbridos e da funcionalização dos vários nanomateriais em suas propriedades estruturais e eletrônicas	4	Relação estrutura x propriedade conhecida Teste de desempenho realizado	Bimestres 3 ao 6
5) Elaborar produtos técnico-científicos institucionais, incluindo relatórios de atividades, relatórios patentários, artigos científicos	5	Relatórios e artigos redigidos	Bimestres 3 ao 6

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X	X			
Atividade 2	X	X	X	X		
Atividade 3	X	X	X	X	X	
Atividade 4			X	X	X	X
Atividade 5			X	X	X	X

Produtos e Resultados Esperados

Segue abaixo tabela contendo os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização das atividades e os resultados das mudanças esperadas no curto prazo, como resultado da intervenção realizada..

Produtos	Objetivo específico	Indicadores	Metas 2026
Metodologia(s) de funcionalização desenvolvida(s)	1	Relatório(s) técnico(s) disponibilizado(s)	02 relatórios
Metodologia(s) de caracterização desenvolvida(s)	2 e 3	Relatório(s) técnico(s) disponibilizado(s)	02 relatórios
Teste(s) de desempenho	4	Relatório(s) técnico(s) disponibilizado(s)	02 relatórios
Relatórios técnicos de atividades, relatórios patentários, artigos científicos	5	Número de relatórios Número de pedidos de patente Número de artigos submetidos	02 relatórios 01 pedido de patente 02 artigos

Bolsa

Formação Acadêmica /Titulação	Área de Experiência	Objetivos Específicos	BCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Física, Química ou Engenharia, com doutorado em Física, Química, Engenharia ou na área nuclear	Experiência em coordenação de projetos e supervisão de equipes de P&D; Experiência em coordenação de projetos e supervisão de equipes de P&D em caracterização espectroscópica e térmica de nanomateriais de carbono e biomoléculas; Experiência em atividades de P&D em: (i) caracterização de nanomateriais por técnicas espectroscópicas e de análise térmica; (ii) funcionalização e caracterização de nanomateriais de carbono; (iii) caracterização de biomoléculas e da interação nano-bio.	1 a 5	BCI-E1	12	1

BCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	E1	6.500,00	12	1	78.000,00
Total (R\$)					78.000,00

Referências Bibliográficas

[Geim, 2011] Geim, A.K.; Angew. Chem. Int. Ed., 50, 6967 – 6985 (2011).

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.4	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
	Título do Projeto: Implementação e Aperfeiçoamento de Sistema de Separação Térmica em Bancada de Resíduos Oleosos contendo NORM
	Supervisor do Bolsista: Amenônia Maria Ferreira Pinto

Introdução

Materiais que contem certa quantidade de radionuclídeos naturais são denominados de materiais radioativos de ocorrência natural (NORM - Naturally occurring radioactive material). As concentrações de atividade dos radionuclídeos em rochas e solo encontrados na natureza são geralmente baixas. Certos minerais, incluindo alguns que são explorados comercialmente, contêm urânio, tório ou potássio em concentrações elevadas. [1,2] Durante a extração de minerais da crosta terrestre e seu processamento físico ou químico, os radionuclídeos podem se tornar distribuídos de forma desigual entre os vários materiais decorrentes do processo. Essas atividades humanas podem aumentar significativamente a concentração de radionuclídeos NORM ao nosso redor. O NORM associado a essas atividades industriais podem existir em muitas formas — pode ser minério, matéria-prima de processo, produto intermediário, produto final, subproduto ou resíduo de processo. Pode estar em uma forma sólida, líquida ou gasosa [3]. Um dos processos mais frequentemente associados ao processamento de NORM incluem petróleo e gás. A liberação de partículas radioativas pelos radionuclídeos pode ser uma base potencial de energia relacionada com a conversão da matéria orgânica em óleo ao longo do tempo, onde elementos radioativos de origem natural em concentrações altamente deprimidas através das interações com o solo, rocha e água. Como consequência campos de óleo podem conter muitos radionuclídeos naturais como Ra – 226, Ra – 228, Ra – 224, Pb – 210 e K – 40 que podem ser transportados para a superfície da terra. Muitos campos são ricos em cloretos aumentando assim suas respectivas solubilidades. A presença de materiais radioativos, mesmo aqueles de ocorrência natural, contaminam instalações de óleo e gás e podem ser severas o suficiente para causar exposição de trabalhadores em níveis acima do permitido. Estas instalações devem atender os requisitos regulatórios e devem cumprir com os princípios básicos de proteção radiológica ao ambiente, ao indivíduo ocupacionalmente exposto e ao público em geral [4]. Embora os problemas relacionados aos NORM's sejam bem conhecidos muito pouco se tem avançado para a sua mitigação, sendo ainda um problema sem solução satisfatória. A mitigação dos resíduos produzidos pela indústria do petróleo como a borra oleosa (mistura sólido, água e óleo) é perseguida como uma forma de atender o poder público e a sociedade de maneira geral [5]. O alto custo do material contendo NORM está abrindo novas oportunidades para pesquisa e para o desenvolvimento de métodos e de técnicas para a redução dos volumes dos rejeitos contaminados.

Objetivo Geral

Implementar e aperfeiçoar um sistema de separação térmica em bancada para otimizar o tratamento de borra oleosa contendo NORM, aprimorando parâmetros operacionais, fortalecendo a infraestrutura laboratorial e reunindo conhecimento técnico-científico que subsidie sua futura aplicação em escala industrial com maior eficiência.

Objetivos específicos

Como objetivos específicos tem-se:

1. Apoiar a infraestrutura laboratorial institucional por meio da seleção, especificação e acompanhamento da aquisição de materiais, insumos e equipamentos necessários à implementação do sistema de separação térmica em bancada, garantindo sua conformidade com os requisitos operacionais, de segurança e de instrumentação definidos no projeto.
2. Realizar revisão bibliográfica técnica e atualizada sobre radionuclídeos naturais (NORM), geração de resíduos radioativos na indústria do petróleo e métodos físico-químicos de separação sólido–líquido.
3. Apoiar a construção, integração e qualificação do sistema de separação térmica em bancada, realizando a montagem, adequação das vidrarias e instrumentações às condições físico-químicas das amostras, além de colaborar no ajuste dos parâmetros operacionais para garantir o desempenho e a confiabilidade do sistema.
4. Acompanhar tecnicamente o processo de seleção e coleta de amostras de borra oleosa, com base em estudos prévios e critérios institucionais, assegurando a representatividade e a adequação das amostras às necessidades experimentais e às condições reais de operação.
5. Conduzir os testes operacionais e experimentais do sistema de separação térmica, incluindo a definição e ajuste de parâmetros operacionais (temperatura, taxa de aquecimento) e a avaliação radioquímica da eficiência de separação das frações óleo–água–sólidos;
6. Integrar atividades de monitoramento ambiental relacionadas à área destinada à futura instalação industrial do sistema de tratamento térmico, acompanhando campanhas de monitoramento de radionuclídeos no solo, material particulado e radônio, contribuindo para a avaliação radiológica da área.
7. Elaborar produtos técnico-científicos institucionais, incluindo relatórios, resumos técnicos e documentos de acompanhamento, bem como participar de reuniões, visitas técnicas e demais atividades vinculadas ao projeto e às demandas do CDTN/CNEN.

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
1) Selecionar, especificar e acompanhar a aquisição de materiais, insumos e equipamentos necessários à construção do sistema de separação térmica em bancada.	1	<ul style="list-style-type: none"> - Percentual de itens adquiridos - Lista técnica aprovada - Registros de recebimento 	2º bimestre
2) Realizar revisão bibliográfica direcionada sobre NORM, resíduos radioativos da indústria do petróleo e técnicas de separação sólido-líquido.	2	<ul style="list-style-type: none"> - Número de artigos/documentos analisados - Relatório de revisão concluído 	4º bimestre
3) Montar e integrar o sistema de separação térmica em bancada, adequando vidrarias, instrumentação e acessórios às condições físico-químicas.	3	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema montado e validado - Registro de testes de funcionamento 	2º bimestre
4) Acompanhar tecnicamente a seleção de amostras de borra oleosa e participar da coleta para garantir representatividade.	4	<ul style="list-style-type: none"> - Quantidade de amostras selecionadas - Registros de coleta 	4º bimestre
5) Conduzir testes operacionais no sistema de separação térmica, ajustando parâmetros para desempenho ideal e registrando resultados.	5	<ul style="list-style-type: none"> - Número de testes conduzidos - Parâmetros otimizados documentados 	5º bimestre
6) Acompanhar o monitoramento ambiental da área de instalação industrial, incluindo radionuclídeos no solo, material particulado e radônio.	6	<ul style="list-style-type: none"> - Número de campanhas acompanhadas - Registros de campo organizados 	5º bimestre

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
7) Elaborar relatórios, resumos e demais produtos científicos; participar de reuniões, visitas técnicas e demais atividades institucionais vinculadas ao projeto.	7	<ul style="list-style-type: none"> - Quantidade de relatórios entregues - Produto científico elaborado - Número de reuniões/visitas acompanhadas 	6º bimestre

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X				
Atividade 2	X	X	X	X		
Atividade 3	X	X				
Atividade 4	X	X	X	X		
Atividade 5		X	X	X	X	
Atividade 6		X	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 2026
Lista técnica consolidada de materiais, insumos e equipamentos	1	Percentual de materiais e equipamentos adquiridos	2º bimestre
Relatório de revisão bibliográfica sobre NORM, resíduos da indústria do petróleo e técnicas de separação sólido–líquido	2	Existência do relatório entregue	4º bimestre
Sistema de bancada montado e funcional e procedimentos operacionais (POPs) elaborados	3	- Grau de instalação (etapas concluídas) - Número de testes de validação executados	2º bimestre
Registro técnico da seleção e coleta das amostras de borra oleosa	4	Quantidade de amostras selecionadas e caracterizadas	4º bimestre
Relatórios dos ensaios de separação térmica	5	Número de ensaios realizados e avaliados	5º bimestre
Relatórios de monitoramento ambiental (solo, particulados e radônio)	6	Quantidade de campanhas de monitoramento realizadas	5º bimestre
Relatórios, resumos e produções científicas e registros de participação institucional	7	- Número de documentos produzidos - Número de participações registradas	6º bimestre

Resultados Esperados

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

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Sistema de especificações técnicas e lista validada de materiais e equipamentos	1	Percentual de itens selecionados e adquiridos.	2º bimestre
Relatório técnico de revisão bibliográfica direcionada (NORM, resíduos, separação sólido-líquido)	2	Entrega do relatório consolidado.	4º bimestre
Sistema de separação térmica montado e funcional em bancada	3	Percentual de integração concluída; testes iniciais realizados.	2º bimestre
Registro técnico da seleção e coleta de amostras representativas de borra	4	Número de amostras selecionadas e coletadas conforme critérios.	4º bimestre
Relatórios de testes operacionais do tratamento térmico em bancada	5	Número de testes realizados; parâmetros ajustados; desempenho validado.	5º bimestre
Registros de monitoramento ambiental (solo, particulado, radônio)	6	Número de campanhas acompanhadas e resultados registrados.	5º bimestre
Relatórios, resumos e materiais técnico-científicos produzidos	7	Número de documentos entregues.	6º bimestre

Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Química com doutorado em Química ou na área nuclear	Experiência em gestão de materiais radioativos de ocorrência natural (NORM/TENORM) na indústria do petróleo; estudos hidroquímicos, radioquímicos e isotópicos aplicados à avaliação de impactos ambientais; uso de radioisótopos como traçadores em sistemas industriais e ambientais.	1 a 7	BCI-E1	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	E1	6.500,00	12	1	78.000,00
Total (R\$)					78.000,00

Referências Bibliográficas

- [1] Mohsen M. M. Ali, Hongtao Zhao, Zhongyu Li and Najeeb N. M. Maglas. Concentrations of TENORMS in the petroleum industry and their environmental and health effects. RSC Adv. v. 9, (2019) p. 39201-39229, DOI 10.1039/C9RA06086C.
- [2] International Atomic Energy Agency. Naturally occurring radioactive material. Disponível em . Acesso em 21 ago de 2024.
- [3] Lopes A. G., Da Silva F. C. A., Lopes R. T. Radiological assessment of the disposal of bulk oil NORM waste: Case study. Journal of Environmental Radioactivity. v 261, (2023) 107139, ISSN 0265-931X, DOI 10.1016/j.jenvrad.2023.107139.
- [4] da Silva L. J., Alves F. C., de França F. P. A review of the technological solutions for the treatment of oily sludges from petroleum refineries. Waste Management & Research, v 30(10), (2012), p. 1016 – 1030. DOI 10.1177/0734242X12448517.
- [5] Olufemi A.. J., Augustine C. A. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. Environmental Engineering Research v. 24(2), (2019) p 191-201. DOI 10.4491/eer.2018.134.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.5	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
	Título do Projeto: Avaliação do $\delta^{13}\text{C}$ -DIC como Ferramenta para Diagnóstico Ambiental em Sistemas Aquáticos sob Diferentes Condições Hidrogeoquímicas
	Supervisor do Bolsista: Carlos Alberto de Carvalho Filho

Introdução

A intensificação das pressões ambientais sobre sistemas hídricos — decorrentes da expansão agrícola, urbanização, lançamento de efluentes e atividades mineradoras — tem provocado alterações significativas na composição físico-química e isotópica de águas superficiais e subterrâneas. Em especial, áreas de mineração sujeitas à drenagem ácida de mina (DAM) apresentam condições geoquímicas altamente reativas, nas quais a oxidação de sulfetos, a liberação de metais e a acidificação intensa modificam profundamente o ciclo do Carbono Inorgânico Dissolvido (DIC). Nessas regiões, processos como dissolução e precipitação de carbonatos, interação água-rocha, tamponamento ácido, respiração microbiana e degaseificação de CO₂ controlam não apenas as concentrações de DIC, mas também sua composição isotópica, expressa pelo $\delta^{13}\text{C}$ _DIC, um indicador sensível de mudanças ambientais e de fontes de carbono (Parkhurst & Appelo, 2013; Nordstrom, 2011).

O DIC, composto majoritariamente pelas espécies CO₂(aq), HCO₃⁻ e CO₃²⁻, constitui o principal reservatório de carbono em sistemas aquáticos. A razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ presente no DIC, expressa como $\delta^{13}\text{C}$ -DIC, desempenha papel fundamental na interpretação de processos geoquímicos relacionados à evolução hidrogeoquímica, mecanismos de mistura, interação água-rocha e identificação de fontes de carbono. Em águas meteóricas pouco impactadas, o $\delta^{13}\text{C}$ -DIC geralmente varia entre $-12\text{\textperthousand}$ e $-18\text{\textperthousand}$, refletindo a influência dominante do CO₂ do solo. Valores próximos a 0\textperthousand , por sua vez, indicam contribuição significativa da dissolução de minerais carbonáticos ($\delta^{13}\text{C} \approx 0 \pm 2\text{\textperthousand}$). Em sistemas afetados por AMD, a oxidação de sulfetos acidifica a água, promovendo a dissolução intensificada de carbonatos e alterando substancialmente a concentração e a assinatura isotópica do DIC.

O isótopo estável ^{13}C fornece informações essenciais para diferenciar processos hidrogeoquímicos, uma vez que o $\delta^{13}\text{C}$ _DIC responde de maneira distinta a mecanismos como:

- dissolução de carbonatos, com valores próximos aos de calcário ($\sim 0\text{\textperthousand}$);
- degradação de matéria orgânica, que diminui o $\delta^{13}\text{C}$ _DIC em função do caráter isotopicamente leve do carbono biogênico ($-28\text{\textperthousand}$ a $-22\text{\textperthousand}$);
- trocas com CO₂ atmosférico, que tendem a enriquecer o DIC em ^{13}C ;

- degaseificação de CO₂, que causa fracionamento cinético e elevação do δ¹³C_DIC no residual;
- acidificação induzida por mineração, que altera o equilíbrio carbonato–bicarbonato–CO₂, resultando em assinaturas isotópicas específicas.

Essas características tornam o δ¹³C-DIC uma ferramenta poderosa para interpretar processos de mistura entre diferentes tipos de água, rastrear fontes de carbono e diagnosticar distúrbios ambientais, especialmente

em áreas impactadas pela mineração ou mudanças de uso do solo (Myers et al., 2023; Jiang et al., 2022). Estudos recentes demonstram que a utilização integrada de DIC e δ¹³C_DIC permite caracterizar com maior precisão regimes hidrogeoquímicos complexos, incluindo entrada de águas subterrâneas mineralizadas, variações em processos redox, aporte de efluentes industriais ou domésticos e acidificação natural ou induzida.

A literatura indica ainda que o δ¹³C-DIC, em conjunto com dados físico-químicos e modelagem hidrogeoquímica, auxilia na reconstrução da evolução de sistemas aquáticos e na detecção de perturbações ambientais mesmo em contextos altamente heterogêneos (Clark & Fritz, 2013; IAEA, 2020).

Apesar da relevância ambiental do DIC e de seu sinal isotópico, ainda há lacunas importantes na padronização e validação de métodos analíticos para sua determinação precisa e reproduzível em diferentes matrizes aquosas — especialmente em águas ácidas, salinas, carbonáticas ou influenciadas por processos minerários. A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) ressalta que análises isotópicas de carbono via espectrometria de massas por razão isotópica (IRMS) exigem rigorosos controles de qualidade, calibração com padrões internacionais e verificação contínua do desempenho instrumental, assegurando comparabilidade e rastreabilidade dos resultados em escala global (IAEA, 2019; IAEA-TECDOC-2018).

Nesse contexto, a consolidação de protocolos analíticos otimizados e estatisticamente validados para determinação de DIC e δ¹³C_DIC é essencial para fortalecer a avaliação ambiental em áreas impactadas e ampliar a aplicação de traçadores isotópicos em estudos hidrogeoquímicos no Brasil. A realização deste projeto em centro de pesquisa especializado em radioisótopos e hidrogeoquímica ambiental é estratégica, pois integra infraestrutura laboratorial, expertise técnico-científica e aplicabilidade direta dos resultados em programas de monitoramento, remediação e gestão de recursos hídricos.

Assim, o presente projeto fundamenta-se na necessidade de investigar as variações do DIC e do δ¹³C_DIC em águas de diferentes origens e condições hidrogeoquímicas, ao mesmo tempo em que estabelece métodos analíticos robustos, calibrados e adequados à realidade brasileira. A integração desses dados permitirá aplicar o DIC como ferramenta avançada de diagnóstico ambiental,

contribuindo para a compreensão de processos naturais e antrópicos e para a melhoria das estratégias de gestão e proteção de sistemas aquáticos.

Objetivo Geral

Investigar as variações do Carbono Inorgânico Dissolvido em diferentes tipos de água e sua relação com processos naturais e antrópicos, utilizando métodos analíticos avançados para apoiar o diagnóstico de impactos ambientais.

Objetivos específicos

1. Padronizar e otimizar o método analítico para determinação de DI^{13}C em amostras de água, considerando diferentes matrizes (superficiais, subterrâneas, impactadas e de referência).
2. Avaliar a precisão, exatidão, linearidade, limites de detecção e repetibilidade do método selecionado, definindo parâmetros de desempenho para uso em estudos ambientais.
3. Coletar dados e aplicar análise estatística multivariada (ex: análise de componentes principais, clusters, correlações) para investigar variações no DI^{13}C entre diferentes tipos de água, e correlacionar os valores de DIC com variáveis físico-químicas e hidrogeoquímicas relevantes.
4. Investigar alterações no DI^{13}C associadas a potenciais impactos ambientais (ex.: contaminação, processos de acidificação, mudanças de uso do solo, entrada de efluentes ou mineração).
5. Estabelecer critérios e indicadores baseados em DI^{13}C para auxiliar na interpretação de processos de mistura, fontes de carbono, e distúrbios ambientais em sistemas aquáticos.
6. Integrar os resultados de DI^{13}C a outras métricas hidrogeoquímicas disponíveis, visando aprimorar modelos conceituais e fortalecer a avaliação ambiental.
7. Propor um método operacional aplicável a laboratórios ambientais, para determinação confiável de DI^{13}C em água, incluindo recomendações de rotina, QA/QC e padrões.

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Desenvolvimento, teste e otimização dos parâmetros analíticos para determinação de DIC (reagentes, volumes, fluxo, preservação, estabilidade das amostras).	1	Protocolo analítico otimizado.	3º bimestre
Execução do plano de validação analítica (precisão, exatidão, linearidade, LOD/LOQ, repetibilidade) com padrões e amostras de referência.	2	Relatório de validação concluído.	4º bimestre
Realização de coletas, análises laboratoriais e organização do banco de dados contendo DI ¹³ C e variáveis físico-químicas associadas.	3	Banco de dados estruturado.	5º bimestre
Aplicação de análises estatísticas multivariadas (PCA, cluster, correlação) e interpretação das variações no DI ¹³ C.	3	Relatório estatístico multivariado.	6º bimestre
Análises comparativas do DI ¹³ C entre pontos de referência e áreas potencialmente impactadas.	4	Relatório comparativo consolidado.	6º bimestre
Construção de indicadores baseados em DI ¹³ C (mistura, fontes de carbono, perturbações geoquímicas).	5	Indicadores definidos e validados.	6º bimestre
Integração dos resultados de DI ¹³ C com métricas hidrogeoquímicas externas para construção do modelo conceitual.	6	Modelo conceitual atualizado.	6º bimestre
Elaboração de um método operacional, com diretrizes QA/QC para rotina laboratorial.	7	Método operacional final.	6º bimestre

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X	X			
Atividade 2				X		
Atividade 3					X	X
Atividade 4						X
Atividade 5						X
Atividade 6						X
Atividade 7					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 2026
Relatório técnico de padronização e otimização do método de determinação de DI ¹³ C	1	Documento contendo parâmetros otimizados e protocolo preliminar	2º bimestre
Relatório de validação analítica (precisão, exatidão, linearidade, LOD/LOQ e repetibilidade)	2	Tabelas de validação e avaliação estatística formalizadas	3º bimestre
Base de dados organizada contendo valores de DI ¹³ C e variáveis físico-químicas	3	Arquivo estruturado (.xlsx/.csv) com dados revisados	4º bimestre
Relatório interpretativo sobre alterações no DIC associadas a impactos ambientais	4	Documento com análise de tendências, anomalias e fontes	5º bimestre
Documento contendo critérios e indicadores ambientais baseados em DI ¹³ C	5	Lista de indicadores validados e descritos	5º bimestre
Modelo conceitual integrado incluindo DIC e demais métricas hidrogeoquímicas	6	Representação esquemática + texto explicativo	6º bimestre
Método Operacional para determinação de DI ¹³ C (incluindo QA/QC)	7	Método revisado, formatado e pronto para uso em laboratório	6º bimestre

Resultados Esperados

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

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Método analítico de DI ¹³ C padronizado e otimizado para diferentes matrizes de água	1	Procedimento padronizado documentado	2º bimestre
Parâmetros de desempenho analítico consolidados (precisão, exatidão, linearidade, LOD/LOQ, repetibilidade)	2	Tabelas e relatório técnico de validação	3º bimestre
Base de dados organizada com valores de DI ¹³ C e variáveis físico-químicas/hidrogeoquímicas	3	Arquivo estruturado (.xlsx/.csv)	4º bimestre
Relatório preliminar sobre alterações do DI ¹³ C associadas a impactos ambientais	4	Documento interpretativo entregue	5º bimestre
Conjunto preliminar de critérios e indicadores ambientais baseados em DI ¹³ C	5	Lista de indicadores e justificativas técnicas	5º bimestre
Modelo conceitual inicial integrando DI ¹³ C e outras métricas hidrogeoquímicas	6	Esquema/fluxograma + nota técnica	6º bimestre
Método operacional preliminar para determinação de DI ¹³ C (incluindo QA/QC)	7	Método estruturado e revisado	6º bimestre

Bolsa

Formação Acadêmica/Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Química ou Biologia com doutorado em Ciência e Tecnologia das Radiações	Experiência em técnicas analíticas de Espectrometria de Absorção a Laser (LAS) e Espectrometria de Massas de Razões Isotópicas (IRMS), preferencialmente com conhecimento em preparação de amostras, controle de qualidade (QA/QC), calibração com padrões internacionais e interpretação de dados isotópicos aplicados à hidrogeoquímica e avaliação de impactos ambientais.	1 a 7	BCI-DA	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DA	5.200,00	12	1	62.400,00
Total (R\$)					62.400,00

Referências Bibliográficas

- Clark, I., & Fritz, P. (2013). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press.
- IAEA – International Atomic Energy Agency. (2019). *Reference Sheet for Stable Isotope Standards*. Vienna, Austria.
- IAEA (2020). *Isotope Methods for Water–Carbon Interactions and Environmental Assessment*. Technical Report Series, IAEA, Vienna.
- IAEA-TECDOC-2018. *Best Practices in Stable Isotope Analysis for Environmental Studies*. Vienna: IAEA.
- Jiang, Y., Li, S., & Wang, Y. (2022). Carbon cycling in mining-impacted watersheds: Insights from dissolved inorganic carbon and its isotopes. *Science of the Total Environment*, 822, 153600.
- Myers, D. N., et al. (2023). Using carbon isotopes to trace hydrochemical processes in disturbed aquatic systems. *Journal of Hydrology*, 617, 128–145.
- Nordstrom, D. K. (2011). Hydrogeochemical processes governing the formation of acid mine drainage. *Applied Geochemistry*, 26, 148–160.
- Parkhurst, D. L., & Appelo, C. A. J. (2013). *PHREEQC—A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations*. U.S. Geological Survey.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.6	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
	Título do Projeto: Desenvolvimento e Validação de Métodos para Dosimetria Associada a Processos de Irradiação Gama.
	Título do Plano de Trabalho: Inovação e Garantia da Qualidade em Processos de Irradiação Gama: Normas, Segurança e Eficiência.

Supervisor do Bolsista: Thêssa C. Alonso

Introdução

O processamento por radiação gama de produtos é uma tecnologia aceita mundialmente. Tem como aplicações a esterilização de produtos médicos e farmacêuticos, a irradiação de alimentos e produtos agrícolas, a modificação de materiais poliméricos e biomateriais, a preservação de objetos de patrimônio cultural, a esterilização de tecidos humanos para transplante, a mudança de cor em gemas, dentre outros. Desde 2002, o Laboratório de Irradiação Gama - LIG do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear- CDTN tem instalado um Irradiador Panorâmico Múltipropósito de Categoria II, fabricado pela MDS Nordion no Canadá, Modelo/número de série IR-214 e tipo GB-127, equipado com uma fonte de cobalto 60 estocada a seco com atividade máxima de 2.200 TBq ou 60.000 Ci, vem sendo utilizado no estudo e aperfeiçoamento dessas aplicações.

A instalação é classificada como Área Controlada, em conformidade com as características de seus equipamentos, das fontes radioativas utilizadas e segundo os critérios estabelecidos na Posição Regulatória 3.01/004:2011, na Norma CNEN NN 3.01 e na Resolução CNEN nº 164/14. O Laboratório de Irradiação Gama (LIG) enquadra-se como instalação do Grupo 1, conforme a Norma CNEN NN 6.02 e a Resolução CNEN nº 261/20, de 29 de maio de 2020. Sua operação é centrada no irradiador gama GB-127, modelo IR-214 da MDS Nordion, equipado com carga inicial de 2.200 TBq (60.000 Ci) de cobalto 60. Essa classificação em Grupo 1 corresponde à Classe II segundo o guia específico da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA Specific Safety Guide No. SSG-8 – Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities), assegurando que o projeto, os controles e a operação da instalação atendam integralmente às exigências internacionais de segurança radiológica e de gestão da qualidade.

O LIG tem contribuído para o desenvolvimento de vários setores vinculados à produção e pesquisa. Não somente dentro do nosso Centro, mas também no âmbito nacional, chegando até à inovação de produtos, tais como a esterilização por radiação de embalados para transplante de órgãos; em projetos em parceria com a Universidade Federal de MG na esterilização por radiação de kits diagnósticos e equipamentos de proteção individual, na época da pandemia. Destaca-se também a irradiação de mais

de 20 mil de bolsas anuais de sangue e seus hemocomponentes, para humanos transplantados. As atividades realizadas no Irradiador Multipropósito são de caráter multidisciplinar, e variam de operações rotineiras ao desenvolvimento de processos detalhados específicos para cada tipo de necessidade. Sem contar com as tarefas relacionadas a manutenção, garantia da qualidade, dosimetria rotineira e segurança individual e radiológica dos IOEs.

Para garantir a qualidade dos serviços torna-se necessário um programa de qualificação da instalação do irradiador, juntamente com os procedimentos dosimétricos a serem seguidos durante a qualificação operacional e de desempenho do irradiador. Baseados em procedimentos de rotina de irradiação em produtos diferenciados. A conformidade com esses procedimentos garantirá que esses produtos a serem expostos à radiação gama recebam doses absorvidas dentro de um intervalo recomendado. O processo de calibração do sistema de irradiação inicia-se com o mapeamento do campo de radiação da instalação onde se encontra o irradiador. Após conhecer o campo de radiação é possível conhecer e mapear os pontos de interesse. As medidas são realizadas com os dosímetros Fricke (absoluto). Dosímetros como filmes radiocrônicos, dosímetros PMMA e dosímetros TL 100 são calibrados e usados na rotina do serviço. A validação e controle dos processos de irradiação devem ser estabelecidos, executados e documentados de forma a garantir que a dose absorvida estabelecida seja entregue de maneira eficaz em todos os pontos do produto. A efetividade do processo de irradiação depende da adequada entrega da dose absorvida e, para isso, de um sistema de dosimetria confiável para sua verificação. O sistema dosimétrico deve ser estabelecido com rastreabilidade ao padrão nacional ou internacional, de forma a garantir a confiabilidade das medidas visando fortalecer a credibilidade dos processos realizados. Dessa forma, a calibração e o controle contínuo consolidam a qualidade e a segurança das aplicações industriais e científicas da irradiação gama.

A gestão da qualidade em processos de irradiação gama representa um eixo estratégico para assegurar que suas aplicações atendam simultaneamente aos requisitos de eficácia técnica, segurança radiológica e conformidade normativa. Diferente de outras tecnologias de processamento, a irradiação com fontes de cobalto 60 envolve variáveis críticas, como a calibração dos sistemas dosimétricos, a homogeneidade da distribuição da dose e a rastreabilidade das medições que exigem um sistema de gestão estruturado, integrado e continuamente monitorado. No contexto das instalações multipropósito, como o Irradiador Gama GB-127 do CDTN, a qualidade não se limita ao cumprimento de normas regulatórias nacionais (CNEN NN 3.01, NN 6.02) e internacionais (IAEA SSG-8), mas se estende à validação sistemática dos processos, à qualificação dos equipamentos e à garantia da rastreabilidade metrológica dos resultados. A implementação de um sistema de gestão alinhado à ISO 9001:2015 fortalece a credibilidade das operações, assegura a confiança dos clientes e promove a melhoria contínua, essencial em ambientes de alta complexidade tecnológica.

Além disso, a gestão da qualidade em processos de irradiação gama deve contemplar três dimensões fundamentais de forma integrada. A primeira refere-se às normas e à conformidade regulatória, que exigem o cumprimento rigoroso das diretrizes da CNEN e da IAEA, incluindo a correta classificação de áreas, requisitos de blindagem e protocolos de segurança operacional. A segunda dimensão envolve a segurança operacional e radiológica, assegurada pelo monitoramento contínuo dos sistemas de intertravamento, alarmes, ventilação e dispositivos de proteção, de modo a garantir que a exposição ocupacional e ambiental permaneça dentro dos limites estabelecidos. Por fim, a terceira dimensão está relacionada à eficiência e otimização dos processos, que requer análise crítica da distribuição da dose, redução de custos operacionais e adaptação dos parâmetros de irradiação para diferentes tipos de produtos, sem comprometer a qualidade ou a segurança.

Essa abordagem integrada transforma o irradiador em um laboratório de excelência, capaz de atender demandas industriais e científicas com confiabilidade, rastreabilidade e inovação. A gestão da qualidade, portanto, não é apenas um requisito normativo, mas um instrumento estratégico de competitividade e credibilidade internacional para o setor de irradiação gama.

Objetivo Geral

O projeto visa otimizar, validar e avaliar os procedimentos operacionais de irradiação gama, assegurando conformidade com boas práticas e normas aplicáveis, por meio do controle sistemático da dose absorvida, da distribuição da dose nos produtos, das condições de operação e dos custos de processamento.

Objetivos Específicos

Gerenciar integralmente o sistema de gestão da qualidade do laboratório, alinhado aos requisitos da norma ISO 9001:2015, assegurando conformidade, melhoria contínua e excelência nos processos.

Elaboração, revisão e atualização dos FIOS (Formulários de Instrução Operacional) e PIOS.

Controle e Análise da Calibração dos Equipamentos Utilizados no Laboratório.

Análise e revisão de produtos destinados à irradiação fora dos padrões convencionais, com foco em segurança e rastreabilidade.

Participação ativa no grupo de pesquisa do laboratório, contribuindo com atividades relacionadas às irradiações gama.

Elaboração e envio de artigos científicos para publicação, promovendo a divulgação técnica e científica das atividades desenvolvidas no laboratório.

Descrever os procedimentos Instruídos Operacionais do laboratório, em preparação para auditorias

internas e externas.

Descrever os recursos de proteção integrados do irradiador Gama Gb127, instalado no laboratório, realizando testes descritos no RFAS.

Programar no laboratório de Irradiação Gama uma rotina referente ao sistema dosimétrico para garantir a dose absorvida entregue.

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
1 - Gerenciar integralmente o sistema de gestão da qualidade do laboratório, alinhado aos requisitos da norma ISO 9001:2015, assegurando conformidade, melhoria contínua e excelência nos processos.	1, 2, 3, 4, 5, 7	Certificação do Laboratório norma ISO 9001:2015 Escrever os procedimentos (4) utilizados para produtos diferentes	X
2 - Realizar em conjunto com os operadores os testes de Intertravamento do sistema de controle (MDS Nordion).	8	Laudos mensais, semestrais e anuais	X
3 - Realizar medidas no irradiador gama com filmes radiocromicos e dosimetros de PMMA. Implantar a dosimetria de rotina no laboratório para outros materiais.	6, 9	Relatórios de medidas das doses absorvidas na rotina da prestação de serviço.	X

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X	X	X	X	X
Atividade 2	X		X		X	
Atividade 3	X	X	X	X	X	X

Produtos

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

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Revisão do modelo de segurança do Laboratório	8	Relatórios mensais, semestrais e anuais de segurança e proteção radiológica	X
Revisão dos procedimentos da qualidade.	1, 3, 2 e 7	Descrição de FIO e PIO	X
Projeto para órgão de Fomento	5 e 6	Publicação em periódico internacional Projeto elaborado	X
Conhecimento e apoio na irradiação dos produtos	6, 9	Número de produtos irradiados anualmente	X
Relatório final de projeto	1 a 9	Relatório	X

Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto e longo prazo

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Implantação sistema de dosimetria rotineira PMMA no LIG. Garantia da Qualidade do serviço prestado de produtos	1, 2	Sistema disponibilizado e testado	X
		Notas técnicas	X
Aumento representativo na irradiação dos produtos.	3,4	Produtos irradiados	X
Elaboração e envio de artigos científicos para publicação	6	Artigos publicados	X

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-DA Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Tecnólogo em Radiologia com doutorado na área nuclear	Engenharia, Ciências Nucleares e Radiações Aplicadas	de 1 a 9	DA (5 anos experiência em projetos científicos)	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DA	5.200,00	12	1	62.400,00
Total (R\$)					62.400,00

Referências Bibliográficas

ASTM E1026-04e1, 2005, Standard Practice for Using the Fricke Reference-Standard Dosimetry System, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E1026-04E01, www.astm.org.

ASTM, 2004, Standard on Dosimetry for Radiation Processing, ASTM International, West Conshohocken, PA, second edition, www.astm.org.

ASTM E1261-00, 2002, Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/E1261-00, www.astm.org.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro, 2014. (CNEN-NN-3.01).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Critérios de Exclusão, Isenção e Dispensa de Requisitos de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro, 2011. (Posição Regulatória PR-3.01/001: 2011).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Posição Regulatória 3.01/004:2011 - Restrição de Dose, Níveis de Referência Ocupacionais e Classificação de Áreas.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Posição Regulatória 3.01/007:2005 – Níveis de Intervenção e de Ação para Exposição Crônica.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN-NN-6.02 - Resolução CNEN nº 261/20: Licenciamento de Instalações Radioativas. Rio de Janeiro, 2020.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Guide No. GSG-2. IAEA, Vienna, 2011.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Specific Safety Guide, No. SSG-8, "Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities". IAEA, Vienna, 2010.

IAEA, International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionising Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series Nº 115, Vienna, 335 p, 1996.

ICRU 34 – The Dosimetry of Pulsed Radiation, International Commission on Radiation Units and Measurements - report 34, Bethesda: ICRU, 1982.

ICRU 35 – **Radiation Dosimetry: Electron Beams with Energies between 1 and 50 MeV**, International Commission on Radiation Units and Measurements - report 35, Bethesda: ICRU, 1984.

MCLAUGHLIN, W. L., BOYD, A. W., CHADWICK, K. H., MCDONALD, J. C., MILLER, A., **Dosimetry for Radiation Processing**, London: Taylor & Francis, 1989.

NI-SERAS 001 – MEIRA-BELO L.C., KONZEN C., Rodriguez M. L., Nota Interna, CDTN/Cnen, ***Efeito do Envelhecimento em Soluções Fricke Irradiadas***, 2013.

VALVERDE, Nelson et al. **Manual de Ações Médicas em Emergências Radiológicas..** Capax Dei editora, Rio de Janeiro, 2010.

	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear CDTN
CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.7	<p>Título do Projeto: Desenvolvimento de Sistemas Dosimétricos.</p> <p>Título do Plano de Trabalho: Projetos em Dosimetria Interna: Estudo de Viabilidade da Redução da Radiotoxicidade de Fontes Seladas de Alta Atividade.</p>
	Supervisor do Bolsista: Bruno Melo Mendes

Introdução

O Laboratório de Dosimetria Interna (LDI) do CDTN tem prestado serviços para a proteção radiológica de diversos setores do CDTN. O Laboratório monitora a contaminação radioisotópica e, consequentemente, a radiotoxicidade de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) sujeitos a atividades de manipulação, guarda ou produção de radionuclídeos de meia-vida curta ou longa. O risco radiológico é mensurado pela radiotoxicidade induzida pela probabilidade de ingestão ou inalação de radionuclídeos. Fatores que influenciam a radiotoxicidade de um dado radioisótopo incluem a energia da radiação emitida, os tecidos específicos em que ela é absorvida e a retenção total do radionuclídeo no organismo (ICRP, 2012).

Recentemente, houve manipulação de altas atividades (GBq) de fontes de Ra-226 nas instalações do CDTN, com alto potencial de risco radiológico para os IOE. A possibilidade de reduzir a radiotoxicidade dos radionuclídeos armazenados, por meio da redução de sua atividade, permite minimizar o risco de contaminação interna e de acidentes. Desta forma, é de interesse do CDTN e do próprio LDI que o potencial de radiotoxicidade dos radionuclídeos armazenados seja reduzido, minimizando o risco de contaminação interna. Entretanto, a única forma viável atualmente para redução da atividade de radionuclídeos é o armazenamento temporário ou permanente em depósitos de rejeitos. Assim, o risco potencial desses radionuclídeos atualmente armazenados em depósitos de rejeitos no CDTN persistirá por milhares de anos (10^3 – 10^6 anos), conforme observado por Peakman e Greeg (2024).

A persistência da radiotoxicidade de uma série de radionuclídeos implica que a manutenção de condições seguras de armazenamento no CDTN requer supervisão técnica contínua e infraestrutura estável ao longo de múltiplas gerações (Bodansky, 2007). Esse gerenciamento de longo prazo impõe desafios técnicos, econômicos e sociais significativos, tornando o armazenamento indefinido uma estratégia insustentável para a disposição de rejeitos radioativos de alta atividade.

Em achados científicos recentes, nosso grupo identificou a possibilidade de modulação do espectro e da derectividade de nêutrons no domínio energético das interações nucleares em energias frias (1 a 25 meV) e em ressonâncias resolvidas, dita técnica espectral ressonante. O acoplamento de um

sistema nuclear de modulação de nêutrons com os alvos radioativos específicos traz à tona a possibilidade de transmutação por reações de captura radiativa de radioisótopos seletivos, como Ra-226 e Am-241, como exemplo, com uma baixa economia de nêutrons.

Uma das principais vantagens dessa abordagem é a capacidade de reduzir rejeitos radioativos de meia-vida longa, minimizando a produção de contaminantes adicionais, obtida em ambientes controlados, com tecnologia compacta e simples. Tal técnica pode representar um avanço significativo na tecnologia de armazenamento de fontes seladas em desuso, oferecendo uma solução eficaz para os desafios persistentes da contaminação radioativa e da possibilidade de acidentes associados ao seu armazenamento.

A técnica de modulação espectral de nêutrons pode ser utilizada para “queimar” radionuclídeos de alto Z e longa meia-vida contidos em recipientes selados de forma não invasiva, como varetas de combustível irradiadas ou fontes radiativas em desuso. A ideia central envolve maximizar as taxas de reação de fissão e captura radiativa em nuclídeos com ampla faixa de números atômicos (Z), concentrando-se naqueles que exibem grandes seções de choque microscópicas (XS) para reações (n,γ) ou (n,f).

Essas altas seções de choque geralmente ocorrem em faixas energéticas específicas: na região de nêutrons frios (1–25 meV), onde a XS depende de $1/v$, ou nas energias de ressonância $E_0 \pm \Delta E$, variando de 1 meV a 50 eV. Esse espectro seletivo minimiza a absorção indesejada fora dessas faixas.

O objeto deste projeto é demonstrar a viabilidade experimental da redução da radiotoxicidade de fontes seladas de forma não invasiva, envolvendo, nesta fase, recursos humanos e financeiros limitados. Espera-se por meio deste projeto agregar interesses da Comissão Nacional de Energia Nuclear, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, e da sociedade brasileira, na perspectiva de redução de risco radiológico dos radionuclídeos de meia vida longa. Acredita-se que a demonstração de viabilidade solidificará conhecimentos e atrairá novos recursos financeiros externos, complementando os valores disponibilizados e podendo estender os objetivos estabelecidos.

Um dos produtos esperados deste trabalho será o suporte para a elaboração de estudos experimentais da técnica espectral ressonante e, em prática, a experimentação da redução da radiotoxicidade de amostras de fontes de Am-241 e Ra-226.

Objetivo Geral

O objetivo geral consiste em elaborar um projeto de suporte teórico e de construção de infraestrutura experimental para a técnica espectral ressonante, com o objetivo de reduzir a radiotoxicidade de fontes seladas armazenadas no CDTN.

Objetivos Específicos

1. Desenvolver estudos neutrônicos associados aos modelos brownianos em meios rotativos com bias;
2. Elaborar as especificações de projeto e construtivas de um protótipo para testes da técnica de seleção espectral ressonante;
3. Desenvolver protocolos de proteção radiológica para as atividades propostas;
4. Construir um protótipo para testes experimentais e validação da teoria;
5. Elaborar testes prova de princípio;
6. Elaborar testes experimentais para reduzir a radiotoxicidade de fontes unitárias de Am-241 e Ra-226 presentes em depósitos de rejeitos radioativos.

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
1) Elaboração de projeto, normatização, definições de materiais e instrumentação, fontes radiativas, dosimetria, proteção radiológica, e aprovação.	2	Projeto elaborado com aprovado internamente no CDTN	X
2) Estudos teóricos, especificações técnicas e materiais.	1,2		X
3) Aquisição de materiais para montagens eletromecânicas e produção de blindagens.	2,3	Nota interna e publicação demonstrando validação da metodologia e a determinação da configuração de projeto	X
4) Especificações dos protocolos experimentais e aprovação.	3		X
5) instalação do dispositivo e testes mecânicos e neutrônicos preliminares.	4,5	Protocolos elaborados	X
6) Estudos de casos com Am-241 e Ra-226	6	Resultados experimentais	X
7) Elaboração de relatório de atividades desenvolvidas	1, 2, 3, 4 e 5	Relatórios e produção científica	X

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X	X			
Atividade 2		X	X			
Atividade 3			X	X		
Atividade 4			X	X	X	
Atividade 5			X	X	X	
Atividade 6					X	X
Atividade 7			X			X

Produtos

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

Produtos	Objetivo Específico a que se refere	Indicadores	Metas 2026
Nota Interna sobre o projeto, modelo construtivo, normatização, protocolos.	2, 3 e 4	Nota Interna	X
Publicação científica em aplicações da técnica espectral ressonante.	1	Publicação em periódico internacional	X
Projeto para órgão de Fomento	3, 4	Projeto elaborado	X
Relatório final de projeto	1, 2, 3, 4, 5 e 6	Relatório	X

Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas no curto e longo prazo.

Produtos	Objetivo Específico	Resultados Esperados	Metas 2026
Nota interna sobre o projeto, modelo construtivo, normatização, protocolos.	2, 3 e 4	Preservação do conhecimento adquirido sobre o modelo construtivo e os protocolos para sua utilização.	X
Publicação científica em aplicações da técnica espectral ressonante.	1	A publicação em periódico internacional permitirá a divulgação dos resultados do projeto e o compartilhamento do conhecimento com a comunidade científica	X
Projeto para órgão de Fomento	3, 4	O projeto elaborado permitirá a obtenção de recursos de fomento para construção do protótipo e testes experimentais	X
Relatório final de projeto	1, 2, 3, 4, 5 e 6	O relatório elaborado garantirá a preservação do conhecimento gerado nesse projeto.	X

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	BCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Engenharia com doutorado na área nuclear	Engenharia, Ciências Nucleares e Radiações Aplicadas	1, 2 e 3, 4 e 5	DA (10 anos experiência em projetos científicos)	12	1

BCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DA	5.200,00	12	1	62.400,00
Total (R\$)					62.400,00

Referências Bibliográficas

AIDEN PEAKMAN, ROBERT GREGG, Evaluating the impact of decay heat on repository footprint in nuclear fuel cycle scenarios: Introducing the BADGER code, Annals of Nuclear Energy, Vol 208, 2024, 2024, 110803, ISSN 0306-4549, doi: 10.1016/j.anucene.2024.110803

Daniel M. Bodansky, Targets and Timetables: Good Policy But Bad Politics? (2007), Available at: https://digitalcommons.law.uga.edu/fac_artchop/234

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Diretrizes básicas de proteção radiológica. Norma CNEN NN 3.01. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen>. Acesso em: 2 jun. 2025.

HARRISON, J. D.; STATHER, J. W. Radiotoxicity and biokinetics of inhaled radionuclides. Environmental Health Perspectives, v. 40, p. 123–131, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.8140123>. Acesso em: 2 jun. 2025.

CIPRO – International Commission on Radiological Protection. Compendium of Dose Coefficients based on CIPRO Publication 60. CIPRO Publication 119. Annals of the CIPRO, v. 41, n. 1, 2012. ISSN 0146-6453. Disponível em: doi.org/10.1016/j.icrp.2012.02.001.

KATHREN, R. L. Radiation Protection and Dosimetry: An Introduction to Health Physics. New York: Springer, 1998.

MUGHABGHAB, S. F. Atlas of Neutron Resonances: Resonance Parameters and Thermal Cross Sections Z=1–100. 6. ed. Amsterdam: Elsevier, 2018.

M. C. ALBERTO; P.R. C, TARCISIO. Feasibility of radioisotope production by neutron spectral selection: mathematical and computational approaches. APPLIED RADIATION AND ISOTOPES **JCR**, v. 230, p. 111782, 2025.

Campos, Alberto Mizrahy; Campos, Tarcisio Passos Ribeiro de. Feasibility of a Novel Nuclear Core for 232 Th Cycle. NUCLEAR SCIENCE AND ENGINEERING **JCR**, v. 199, p. 1-20, 2025.

CAMPOS, A. M.; Campos, T.P.R. Advanced spectral methods for reducing long-lived actinide activity. IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE **JCR**, 2025 (em revisão final)

CAMPOS, A. M.; Campos, T. P. R. . Reducción del impacto radiológico de los residuos nucleares. In: XXV International Symposium on State Solid and Dosimetry, 2025, Belo Horizonte. Book of Proceeding XXV ISSD, 2025. v. 1. p. 140-147.

CAMPOS, A. M.; Campos, T. P. R.. Random walk of neutrons in a rotational environment. In: XXV International Symposium on State Solid and Dosimetry, 2025, Belo Horizonte. Book of Proceeding XXV ISSD, 2025. v. 1. p. 86-92.

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.8	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
	Título do Projeto: Dosimetria e Qualidade de Imagem em Mamografia e Radiologia Geral
	Supervisora do Bolsista: Maria do Socorro Nogueira Tavares

Introdução

A garantia da qualidade dos serviços de mamografia e de radiologia geral envolve, entre outras etapas, a avaliação dosimétrica. O objetivo é assegurar imagens diagnósticas adequadas, com a menor dose absorvida possível no paciente. A análise dos espectros de fluência em função da energia dos fótons gerados em mamógrafos, aparelhos de raios X e equipamentos de radiologia intervencionista é essencial para estimar com precisão essas doses. Tais espectros devem ser corrigidos para eliminar distorções causadas pelos equipamentos de aquisição antes de serem utilizados nos cálculos (Lund et al., 2018; Simbrich et al., 2016).

Um software para correção de espectros está sendo desenvolvido no CDTN. Recentemente, foi implementada a correção para a coleta incompleta de cargas devido ao armadilhamento dos carreadores no cristal do CdTe. No período de 2024 a 2025, no âmbito do projeto “Dosimetria e qualidade de imagem em mamografia e radiologia geral”, foram reimplantados feixes de raios X de referência da ISO 4037-1 (ISO, 2019) após a calibração do voltímetro do sistema de radiação do LCD/CDTN e a reavaliação da filtração inerente do gerador. Foram adquiridos os espectros dos feixes de raios X das séries N (40, 60, 80, 100, 120 e 150) e W (60, 80, 110 e 150). Esses espectros foram corrigidos com o software de correção espectral em desenvolvimento do CDTN, e os resultados da 1^a CSR (primeira camada semirredutora), da 2^a CSR, do coeficiente de homogeneidade e da energia média do feixe foram comparados com os valores fornecidos pela ISO 4037-1 e com os valores medidos com câmara de ionização. Os erros na energia média do espectro foram inferiores a 3%, e nos demais parâmetros, inferiores a 7%.

Os feixes RQR e RQA da IEC 61627 (IEC, 2005) são normalmente utilizados na calibração de equipamentos associados à radiologia convencional. Esses feixes já foram implantados no CDTN. Contudo, após a nova calibração do voltímetro do sistema de radiação do LCD/CDTN e a reavaliação da filtração inerente do gerador, estes feixes devem ser reimplantados no LCD. Os feixes RQC, por sua vez, são necessários para a calibração de equipamentos associados à radiologia intervencionista. As qualidades RQC nunca foram implementadas no CDTN e espera-se que, durante esse projeto, seja viabilizada a sua implementação.

Neste estudo, pretende-se ainda ampliar a validação do software de correção de espectros do CDTN.

Para esse fim, os feixes das qualidades IEC 61627 RQR, RQA e RQC serão adquiridos com o detector CdTe e corrigidos no software do CDTN. Os parâmetros 1^a CSR (primeira camada semirreductora), 2^a CSR, coeficiente de homogeneidade e energia média do feixe serão calculados para os espectros corrigidos e comparados aos valores medidos com a câmara de ionização e aos recomendados na literatura.

Objetivo Geral

Contribuir para a avaliação dosimétrica em mamografia e radiologia geral por meio da implantação de novos feixes de referência no LCD/CDTN e da ampliação da validação do software de correção de espectros em desenvolvimento no CDTN.

Objetivos específicos

1. Reimplantação dos feixes IEC 61627 RQR no LCD/CDTN;
2. Reimplantação dos feixes IEC 61627 RQA no LCD/CDTN;
3. Implantação dos feixes IEC 61627 RQC no LCD/CDTN;
4. Fazer a aquisição de espectros de feixes de qualidades RQR, RQA e RQC e utilizar o software em desenvolvimento para realizar a correção dos espectros;
5. Calcular os parâmetros 1º CSR, 2º CSR, coeficiente de homogeneidade e energia média do feixe para os espectros corrigidos e não corrigidos e comparar com os resultados da implantação/reimplantação (medidos com câmara de ionização) e com os valores de referência da norma.

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Reimplantar feixes IEC 61627 RQR do LCD/CDTN;	1	Nota interna descrevendo a reimplantação dos feixes	x
Reimplantar feixes IEC 61627 RQA do LCD/CDTN;	2		x
Implantar feixes IEC 61627 RQC do LCD/CDTN;	3	Nota interna descrevendo a implantação dos feixes	x
Adquirir os espectros dos feixes IEC implantados/reimplantados e fazer as correções utilizando as matrizes CCC+ Hetch	4	Artigo científico descrevendo a validação das correções realizadas pelo software desenvolvido no CDTN	x
Calcular os parâmetros 1ºCSR, 2º CSR, coeficiente de homogeneida-de e da energia média do feixe para os espectros corrigidos e não corrigidos	5		x
Preparar o relatório final referente às atividades executadas no período da bolsa	1, 2, 3, 4 e 5	Relatório Final	x

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	x					
Atividade 2	x	x				
Atividade 3			x			
Atividade 4	x	x	x	x		
Atividade 5				x	x	
Atividade 6						x

Produtos

Segue, abaixo, a tabela com os produtos quantificáveis das atividades do projeto, entregues ao longo de sua realização.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Nota interna descrevendo a reimplantação dos feixes RQR e RQA	1, 2	Nota Interna laborada	x
Nota interna descrevendo a implantação dos feixes RQC	3	Nota Interna laborada	x
Artigo científico descrevendo o processo de validação do software	4, 5	Artigo científico laborado	x
Relatório Final	1, 2, 3, 4 e 5	Relatório final elaborado	x

Resultados Esperados

A tabela abaixo apresenta os resultados das mudanças esperadas a curto e a longo prazo, decorrentes do projeto realizado.

Produtos	Objetivo Específico	Resultados esperados	Metas 2026
Nota interna que descreve a reimplantação dos feixes RQR e RQA.	1, 2	Espera-se recuperar a capacidade de produzir os feixes das qualidades RQR e RQA para a calibração de equipamentos associados à radiologia convencional.	x
Nota interna que descreve a implantação dos feixes RQC.	3	O desenvolvimento da capacidade de produzir os feixes RQC para a calibração de equipamentos associados à radiologia intervencionista é esperado.	x
Artigo científico sobre a validação do software de correção de espectros do CDTN.	4, 5	Espera-se, nessa etapa, ampliar a validação do software de correção de espectros desenvolvido no CDTN e divulgar a metodologia e os resultados do projeto.	x

Bolsa

Em decorrência da necessidade de manter as pesquisas e a garantia da confiabilidade dos estudos realizados pelo LARAM/CDTN, 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, a fim de alcançar os objetivos propostos.

Formação Acadêmica /Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Matemática ou Física com doutorado na área nuclear	Experiência com simulações de Monte Carlo. Domínio da prática experimental com detectores CdTe. Experiência na implementação de espectros das qualidades ISO e IEC.	1, 2,3, 4 e 5	BCI-DB	12	1

BCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DB	4.160,00	12	1	49.920,00
Total (R\$)					49.920,00

Referências Bibliográficas

LUND, E.; et al., No overdiagnosis in the Norwegian Breast Cancer Screening Program estimated by combining record linkage and questionnaire information in the Norwegian Women and Cancer study. European Journal of Cancer, v. 89, p. 102–112, 2018.

SIMBRICH, A. et al. Trends in advanced breast cancer incidence rates after implementation of a mammography screening program in a German population. Cancer Epidemiology, v. 44, p. 44–51, 2016.

International Organization for Standardization (ISO). ISO 4037-1:2019 – Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 1: Radiation characteristics and production methods. 2nd ed., Jan. 2019.

International Electrotechnical Commission (IEC). Medical diagnostic X-ray equipment – Radiation conditions for use in the determination of characteristics. IEC 61627, Geneva, 2005

CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.9	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
	Título do Projeto: P&D em Metrologia das Radiações
	Supervisor do Bolsista: Marco Aurélio de Sousa Lacerda

Introdução

Para garantir a confiabilidade metrológica para proteção radiológica, a ISO estabeleceu as normas ISO 4037-1, 2 e 3 aplicadas à produção dos campos de radiação X e gama de referência, dosimetria dos campos e calibração e testes de dependência energética de dosímetros usados na proteção radiológica. A versão de 2019, que substituiu a de 1996, introduziu mudanças conceituais, campos correspondentes e campos caracterizados e estabeleceu novos requisitos para os diversos parâmetros que definem uma radiação de referência (International Organization for Standardization, 2019a, 2019b, 2019c).

O Laboratório de Calibração de Dosímetro (LCD) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LCD/CDTN), desde a sua fundação em 1996, realiza P&D visando a implantação de procedimentos de calibração de dosímetros utilizados em proteção radiológica, radioterapia, radiologia diagnóstica e medicina nuclear.

O LCD/CDTN é um Laboratório autorizado pelo Comitê de Avaliação dos Serviços de Calibração e Ensaios (CASEC), do IRD/CNEN para fornecer serviços de calibração de dosímetros. Desde 2017, o LCD/CDTN é acreditado pelo INMETRO em conformidade com os requisitos da NBR ISO/IEC 17025 (International Organization for Standardization, 2017), no escopo de calibração de dosímetros individuais em termos de Equivalente de Dose Individual.

Para ofertar os serviços de calibração, o LCD/CDTN dispõe e mantém dois irradiadores de feixe gama de ^{137}Cs , dois aparelhos de raios X de potencial máximo de 160 kV e de 320 kV. Sistemas de posicionamento de alta precisão são utilizados para o procedimento de calibração, bem como dosímetros padrões de alta confiabilidade metrológica são mantidos para estabelecer a rastreabilidade ao sistema internacional de metrologia.

Os novos métodos propostos, os requisitos estabelecidos, os valores dos limites para os diversos parâmetros associados aos feixes de raios X, gama e beta e a incerteza total aceitável para a grandeza de calibração sugerem que os laboratórios de metrologia terão muitas dificuldades de produzirem campos de radiação em conformidade com a ISO 4037:2019 e IEC 61526:2024 (International Electrotechnical Commission, 2024; International Organization for Standardization, 2019a, 2019b, 2019c).

Laboratórios primários de metrologia das radiações, como NIST (National Institute of Standards and Technology), NPL (National Physical Laboratory) e PTB (PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT), também possuem projetos e programas que encorajam o uso do método de Monte Carlo para o melhor entendimento e refinamento/otimização dos seus padrões de medidas. É importante que o LCD/CDTN acompanhe esse desenvolvimento e atue tanto no desenvolvimento de metodologias quanto no treinamento de profissionais para atuarem nessa área.

As alterações decorrentes da atualização das normas ISO4037:2019 e IEC 61526:2024 requerem uma análise crítica e estudo de exequibilidade, a fim de verificar se são realizáveis nos laboratórios de metrologia das radiações ionizantes do Brasil e, caso contrário, buscar soluções alternativas, já que nem todos os laboratórios possuem condições de demonstrar ou obter os novos parâmetros requeridos pelas normas ISO.

Objetivo Geral

O objetivo geral do plano de trabalho é analisar a exequibilidade dos requisitos da norma ISO4037:2019 e ISO6980:2022, para produção de campos de radiação X, gama e beta de referência no Laboratório de Calibração de Dosímetros do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, LCD/CDTN.

Objetivos específicos

Os seguintes objetivos específicos são estabelecidos:

1. Verificação da conformidade à ISO4037:2019 do sistema de calibração de dosímetros em feixes de radiação gama produzidos no irradiador Buchler;
2. Implantação do algoritmo para calibração de equipamentos e dosímetros em feixes de radiação gama produzidos no irradiador Hopewell;
3. Projeto e fabricação na impressora 3D de equipamentos para posicionamento de dosímetros e equipamentos para feixes de radiação gama e raios X;
4. Desenvolvimento do projeto para desmonte e colocação das máquinas de raios X Agfa-Pantak 320 em conjunto com Agfa-Seifert 160.
5. Instalação no sistema de posicionamento apropriado e verificação da conformidade a ISO4037:2019 do sistema de calibração de dosímetros em feixes de raios X produzidos nas máquinas Agfa-Pantak 320 e Agfa-Seifert 160, após instalação;
6. Entrada no sistema do laboratório de recebimento e devolução de equipamentos para calibração em radiação gama;

7. Atualização das tabelas de incertezas no programa Plan calibração para emissão de certificados de calibração em radiação gama;

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
1) Atividades citadas nos objetivos específicos (1), (2), (6)	1, 2 e 6	Elaboração de Relatório e Procedimentos Internos Operacionais	2 relatórios produzidos e 3 Procedimentos Operacionais atualizados
2) Atividades citadas no objetivo específico (7)	7	Elaboração de Procedimentos Internos Operacionais	1 relatório produzido
3) Atividade citada no objetivo específico (3), (4), (5)	3, 4, 5	Instalação do Equipamento e elaboração de relatório dos testes iniciais realizados no equipamento	a) Dispositivos de posicionamento confeccionados; (b) 10 Dosímetros / monitores calibrados em feixes de raios X e; (c) Equipamento Agfa-Pantak 320 instalado com realização de testes iniciais.
4) Atividade citada no objetivo específico (5)	5	Início dos testes iniciais para verificação da conformidade a ISO4037:2019 do sistema de calibração de dosímetros em feixes de raios X produzidos na máquina Agfa-Pantak 320 e Agfa-Seifert 160	1 relatório produzido

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X				
Atividade 2		X	X	X		
Atividade3				X	X	X
Atividade4						X

Produtos

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

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Programa de calibração de dosímetros PLAN atualizado.	7	Atualização de planilhas para calibração de monitores de radiação / dosímetros	100 planilhas
Máquinas de raios X Agfa-Pantak 320 e Agfa-Seifert 160 instaladas.	5, 6	Testes iniciais de implantação da ISO realizados. Disponibilização para a comunidade, dos serviços de calibração de monitores / dosímetros em feixes de raios X	2 relatórios
Dispositivos de posicionamento de dosímetros e equipamentos para feixes de radiação gama e raios X, confeccionados em impressora 3D	3	Número de dispositivos confeccionados	20
Sistemas de calibração de dosímetros em feixes de radiação gama produzidos no irradiador Hopewell em conformidade com a ISO4037:2019.	2	Disponibilização do serviço para a comunidade	300

Resultados Esperados

A implementação da bolsa permitirá:

- (a) a continuidade da prestação de serviço de calibração de monitores de radiação / dosímetros em feixes de radiação gama;
- (b) aumento da capacidade de calibração de monitores de radiação / dosímetros em feixes de radiação gama;
- (c) disponibilizar a prestação de serviço de calibração de monitores de radiação / dosímetros em feixes de radiação X, em conformidade com as normas ISO 4037:2019 e IEC 61526:2024.

Bolsa

Formação Acadêmica/ Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	BCI Submodalidade/ Nível	Meses	Quantidade
Graduação em Engenharia ou Física com doutorado na área nuclear	Metrologia das Radiações e ISO 17025	1 a 7	BCI-DA	12	1

BCI	Submodalidade/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DA	5.200,00	12	1	62.400,00
Total (R\$)					62.400,00

Referências Bibliográficas

International Electrotechnical Commission, 2024. Radiation protection instrumentation - Measurement of personal dose equivalents for X, gamma, neutron and beta radiations - Active personal dosimeters. IEC 61526.

International Organization for Standardization, 2019a. Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 1: Radiation characteristics and production methods. ISO 4037–1.

International Organization for Standardization, 2019b. Radiological protection—X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV. ISO 4037–2.

International Organization for Standardization, 2019c. Radiological protection—X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy — Part 3: calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence. ISO 4037–3.

International Organization for Standardization, 2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISOIEC 17025.

	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear- CDTN
CÓDIGO DO PROJETO: 1.1.10	Título do Projeto: P&D em Metodologias e Técnicas de Caracterização de Grafeno e outros Nanomateriais de Carbono Quimicamente Processados
	Supervisor do Bolsista: Adelina Pinheiro Santos

Introdução

Desde a descoberta dos fulerenos em 1985, seguidos pelos nanotubos de carbono em 1991 e 1993, e mais tarde pelo grafeno em 2004, os nanomateriais de carbono constituem uma das classes de nanomateriais mais estudadas, envolvendo grandes investimentos público-privados de vários países. O interesse advém tanto das propriedades inusitadas e únicas apresentadas por estas nanoestruturas, quanto pela possibilidade de empregá-las em áreas diversas de grande interesse econômico, como microeletrônica, embalagens, dispositivos fotovoltaicos, tintas e compósitos condutores, revestimentos anticorrosivos, compósitos para a indústria automobilística e aeroespacial, indústria de fármacos e cosméticos, em vestuários, dentre outros. É uma área do conhecimento, portanto, na qual a ciência básica e a tecnologia caminham lado a lado [Tománek, 2008].

De forma pioneira no Brasil, o Grupo de Pesquisa “Manipulação Química de Nanotubos de Carbono e Grafenos”, estuda, desde 2002, a química de nanoestruturas de carbono, em especial de nanotubos de carbono e grafenos, tendo contribuído ativamente para a nucleação da competência nacional, centrada no estado de Minas Gerais, em nanomateriais de carbono. O foco das pesquisas envolve a síntese e estudos sobre purificação e sobre interações covalentes e não-covalentes de grupos e moléculas à superfície e bordas de nanomateriais de carbono visando à modificação de propriedades, tais como propriedades eletrônicas e ópticas, dispersabilidade, reatividade química e biocompatibilidade, que possibilitem seu uso em diversas aplicações tecnológicas. Desde a sua criação, o Grupo tem participado de projetos e redes cooperativas de pesquisa que foram cruciais na implantação de uma infraestrutura avançada e diferenciada voltada à manipulação química e à caracterização de sistemas nanoscópicos, que constitui hoje o Laboratório de Química de Nanoestruturas de Carbono (LQN) do CDTN.

Para a utilização dos nanomateriais de carbono nas pesquisas acadêmicas e tecnológicas é imprescindível que sejam realizadas caracterizações adequadas de suas propriedades e morfologias, com rigor metrológico e confiabilidade dos resultados [López-Sanz, 2019]. Nesse contexto, grande esforço vem sendo dedicado pelo LQN ao aprimoramento de técnicas analíticas de caracterização imprescindíveis para monitorar as mudanças estruturais durante os diferentes processamentos químicos, bem como para o entendimento da interação destas nanoestruturas com diferentes meios.

Vale ressaltar que o LQN integrou a Rede SisNANO no período de 2013-2018 (como laboratório estratégico) e participou ativamente das atividades do projeto Modernit/SisNANO (FINEP) que culminou na implantação do Sistema de Gestão da Qualidade no LQN em 2016 e na implementação das exigências da norma ABNT/ISO/IEC 17025 para dois ensaios, passíveis de acreditação, envolvendo as técnicas de termogravimetria e FTIR (macroanálise), com o objetivo de consolidar a competência desenvolvida na caracterização de nanomateriais de carbono, com o devido rigor metrológico.

Nesse contexto, o presente projeto tem como objetivo dar continuidade à organização do conhecimento em caracterização de nanomateriais do LQN visando à prestação de serviços de caracterização de grafeno e nanomateriais de carbono quimicamente processados. Essa organização envolve a revisão e atualização contínua da documentação e da infraestrutura referentes às metodologias analíticas em uso e a prospecção de novas metodologias analíticas a serem implementadas pelo laboratório. Atenção especial deverá ser dada à adequação dos protocolos analíticos às recomendações recentes feita pelas normas ISO/ABNT para caracterização de grafeno. O bolsista selecionado ficará também responsável pela execução das análises demandadas pelos usuários internos e externos ao CDTN, bem como pelas manutenções e calibrações necessárias. Dentre as diferentes técnicas analíticas, destacamos como as mais importantes para a caracterização de nanomateriais de carbono: espectroscopias Raman, no infravermelho e de absorção ótica no UV-vis-NIR, microscopias eletrônicas, análises térmicas (TGA, DTA), titulação potenciométrica, medidas de distribuição de tamanho e potencial zeta, microscopia de força atômica (AFM) e espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS).

Objetivo Geral

Organizar e complementar o conhecimento em caracterização de nanomateriais do LQN e o portfólio de técnicas analíticas visando à disponibilização de serviços de caracterização de grafeno e nanomateriais de carbono quimicamente processados.

Objetivos específicos

6. Manter atualizada, para cada técnica analítica em uso no LQN, a documentação pertinente, contendo itens tais como: dados referentes aos equipamentos, protocolos analíticos e de calibração, metodologias de cálculos de incertezas, planilhas de controle de insumos e acessórios básicos, planos de calibrações periódicas e manutenções preventivas, dentre outros;
7. Fazer os treinamentos necessários, revisar e padronizar os protocolos analíticos em uso no LQN, bem como os PIOS de operação dos respectivos equipamentos, fazendo as atualizações

e validações necessárias em consonância com o Documento Técnico ABNT ISO/TS 21356-1 para caracterização estrutural do grafeno [ABNT, 2023];

8. Executar as calibrações periódicas e providenciar as manutenções preventivas, dentro do planejamento feito para cada equipamento e atender às solicitações de análises demandadas por usuários internos e externos ao CDTN;
9. Identificar metodologias analíticas ainda não implementadas no LQN que sejam relevantes para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados;
10. Elaborar e validar um protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados que possa ser disponibilizado para usuários internos e externos.

Atividades

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

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
1) Reunir e organizar, para cada técnica analítica em uso no LQN, a documentação pertinente	1	Inventário e banco de dados do conjunto de técnicas analíticas do LQN concluído e disponibilizado	Inventário de Equipamentos Plano Geral de Calibrações Plano Geral de Manutenções Preventivas Planilha de insumos e acessórios básicos Relatório descritivo das atividades realizadas
2) Revisar e padronizar os protocolos analíticos em uso no LQN e os POPs dos equipamentos envolvidos	2	PIOs e protocolos analíticos revisados e padronizados	100% dos documentos revisados Relatório descritivo das atividades realizadas
3) Executar as calibrações e manutenções preventivas necessárias e atender as solicitações de análises demandadas por usuários internos e externos ao CDTN	3	Número de calibrações, manutenções preventivas e de análises realizadas	90-100% de realização de cada uma das demandas Relatório descritivo das atividades realizadas
4) Identificar e desenvolver metodologias analíticas ainda não implementadas no LQN	4	Relatório detalhado para cada nova metodologia analítica identificada ou desenvolvida	2 metodologias identificadas 1 metodologia incorporada ao portfólio de técnicas analíticas do LQN Relatório descritivo das atividades realizadas
5) Elaborar e validar um protocolo para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados que possa ser disponibilizado para usuários internos e externos	5	Portfólio de técnicas analíticas e protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados disponibilizado	Minuta de um folder contendo o portfólio de técnicas analíticas do LQN Documento descrevendo o protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente (funcionalizados) Relatório descritivo das atividades realizadas

Cronograma de Atividades

Atividades	2026					
	Bimestre					
	1	2	3	4	5	6
Atividade 1	X	X				X
Atividade 2		X	X	X	X	X
Atividade 3	X	X	X	X	X	X
Atividade 4				X	X	X
Atividade 5					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 2026
Inventário e banco de dados referentes contendo toda a documentação referente às técnicas analíticas do LQN	1	Inventário e banco de dados concluído e disponibilizado	100% de realização
Documento reunindo os protocolos analíticos em uso no LQN e os protocolos internos operacionais (PIOs) dos equipamentos envolvidos	2	Documento concluído e disponibilizado para uso interno	100% de realização
Relatórios semestrais de manutenções e solicitações de análise realizadas Cartas controle elaboradas	3	Número de relatórios disponibilizados Número de cartas-controle disponibilizadas	100% de realização
Relatório com a descrição e justificativa de novas metodologias analíticas identificadas para ser incorporadas ao portfólio de técnicas analíticas do LQN	4	Relatório detalhado para cada metodologia analítica identificado Documentação e protocolo analítico para cada técnica analítica desenvolvida	2 metodologias identificadas 1 metodologia incorporada ao portfólio do LQN

Produtos	Objetivo específico	Indicadores	Metas 2026
Relatório descrevendo a proposição de um protocolo para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados baseado nas técnicas analítica disponíveis no LQN e Centro de Microscopia da UFMG	5	Portfólio de técnicas analíticas e protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados disponibilizado e divulgado	100% de realização

Resultados Esperados

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

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2026
Portfólio de técnicas analíticas e protocolo para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados validado e disponibilizado	1, 2, 3, 4, 5	Protocolos analíticos de técnicas em uso no LQN revisados e padronizados	100% de realização
		Portfólio de técnicas analíticas e protocolo geral para a caracterização de nanomateriais de carbono quimicamente processados disponibilizado	100% de realização

Bolsa

Formação Acadêmica /Titulação	Área de Experiência	Objetivos Específicos	BCI Categoria/Nível	Meses	Quantidade
Graduação ou pós-graduação em uma das seguintes áreas: Química, Engenharias, Física ou Biologia	Atividades de P&D em pelo menos uma das seguintes áreas: (i) ciência e engenharia de materiais, em especial de nanomateriais; (ii) desenvolvimento e/ou execução de técnicas analíticas, em especial, voltadas à caracterização de nanomateriais; (iii) experiência em P&D na área de grafeno e outros materiais de carbono.	1, 2, 3, 4, 5	BCI-DA	12	1

BCI	Categoria/Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor(R\$)
BCI	DA	5.200,00	12	1	62.400,00
Total (R\$)					62.400,00

Referências:

[López-Sanz, 2019] S. López-Sanz, F. J. G. Bernardo, R. C. R. Martín-Doimeadios, A. Ríos, Analytical metrology for nanomaterials: Present achievements and future challenges, Anal. Chim. Acta., 1059, 1-15, 2019.

[Tománek, 2008] D. Tománek, A. Jorio, M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, “Introduction to the Important and Exciting Aspects of Carbon-Nanotube Science and Technology”. In: Jorio, A.; Dresselhaus, M.; Dresselhaus, G. (Eds.) Carbon Nanotubes: Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties and Applications. Springer-Verlag, Berlin, 2008.

[ABNT, 2023] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Especificação Técnica ISO/TS21356-1 de 19.01.2023 - Nanotecnologias — Caracterização estrutural do grafeno Parte 1: Grafeno na forma particulada e em dispersões