

ANEXO I - EDITAL IEN-CNEN Nº 002/2024**PROJETO DE BOLSA DE ESTUDOS AVANÇADOS (BEA)****Título**

Ampliação das atividades de Pesquisas e Desenvolvimento de Ensaios Não Destrutivos aplicando as técnicas de Neutronografia e Gamagrafia, utilizando o Reator Argonauta.

Supervisor: Francisco José de Oliveira Ferreira

1. Introdução

O Reator Argonauta vem sendo, nos últimos 20 anos, muito utilizado como fonte de nêutrons em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com técnicas nucleares, um nicho importante em Ensaios Não Destrutivos (END). As principais técnicas nucleares abordadas neste projeto serão a radiografia com nêutrons – Neutronografia – e a produção de radioisótopos, utilizados como fontes de raios monoenergéticos na obtenção de radiografia com raios – Gamagrafia. O objetivo principal é ampliar e aprimorar as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento e prestação de serviços utilizando esse reator.

Todos os métodos radiográficos utilizados em END, independente da sua natureza, fazem uso de algum tipo de radiação: nêutrons, raios X ou γ . O princípio geral baseia-se no fato que a radiação é sempre atenuada ao passar através da matéria. No método radiográfico via transmissão, utilizado neste projeto, o objeto é posicionado entre a fonte e o dispositivo de captação e registro de imagens, o detector. Nesta configuração, a estrutura física interna de um objeto pode ser examinada através da medida da radiação transmitida, captada por meio de um detector apropriado. A imagem é formada como um mapa de atenuação do objeto. Anomalias na estrutura interna, como vazios, rachaduras, porosidades, interfaces de materiais, inclusões e outras, são registradas com a mudança da intensidade da radiação que alcança o detector.

2. Radiografia com nêutrons - Neutronografia

A primeira demonstração da radiografia de nêutrons foi feita no final da década de 1930. A descoberta permaneceu uma curiosidade até 1946, quando neutronografias de baixa qualidade começaram a ser produzidas. As primeiras radiografias de nêutrons de qualidade razoável foram obtidas a partir do final da década de 1960, quando uma série de instalações de pesquisa foram desenvolvidas. Nos dias de hoje, mundialmente reconhecida, a neutronografia é uma importante técnica experimental em END, permitindo obtenção de imagens complementares às tradicionais obtidas através de raios-X. Diferente dos raios-X, com nêutrons, a probabilidade de atenuação de um material não está relacionada à sua densidade. Alguns materiais leves, como o boro, absorvem nêutrons, enquanto o hidrogênio geralmente dispersa os nêutrons e muitos metais, comumente usados em dispositivos mecânicos, permitem que a maioria dos nêutrons passe através deles. Isso pode tornar a imagem de nêutrons mais adequada em muitos casos, quando comparada a imagem de raios X. Devido à forte atenuação dos nêutrons térmicos em hidrogênio, a inspeção de materiais hidrogenados é uma das grandes áreas de aplicação da neutronografia. Materiais plásticos, borracha, óleo, certos explosivos e até drogas, como cocaína, quando encapsulados em metais pesados, como o chumbo, torna a inspeção com nêutrons indispensável.

Diversos trabalhos aplicando a técnica de radiografia com nêutrons foram desenvolvidos utilizando o reator Argonauta do IEN/CNEN. O ponto de partida foi a instalação do arranjo experimental introduzido no principal canal de irradiação da coluna térmica externa deste reator e obtenção das primeiras imagens radiográficas com nêutrons. A partir daí, muitos trabalhos foram desenvolvidos nesse reator, aplicados na inspeção de componentes contendo explosivos, turbinas de aeronaves, montagens mecânicas, detecção de corrosão ocultas em ligas de alumínio, detecção de narcóticos e explosivos para aplicação na segurança pública nacional, identificação de micro-organismos, análise de sistemas solo-planta e outros.

Neste projeto, o objetivo é aprimorar o desempenho do sistema de aquisição de imagens de neutronografia, aumentando sua capacidade de reconhecer e resolver as estruturas internas mais finas de um dado objeto. A otimização de uma imagem pode ser realizada antes da sua aquisição, ou seja, no hardware do sistema ou, no caso das imagens digitais, depois de sua obtenção, através de softwares envolvendo algoritmos para tratamento de imagens. Em sistemas com nêutrons provenientes de um reator nuclear, além de custos, problemas de engenharia e de proteção radiológica muitas vezes inviabilizam modificações no sistema. No Argonauta, alguns trabalhos foram desenvolvidos com êxito para esse propósito, sempre otimizando as imagens após sua aquisição através de softwares.

Em termos de hardware, somente foram testados colimadores com diferentes geometrias e o melhor custo-benefício para obter o maior fluxo de nêutrons térmicos na saída do canal onde são posicionados o objeto, o detector e o arranjo de moderação e colimação dos nêutrons, apresentado na Fig. 1.

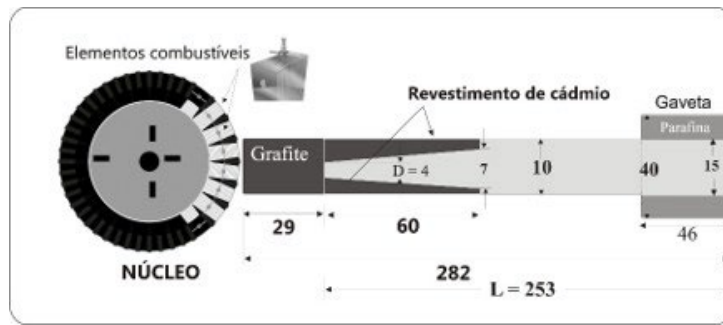


Figura 1. Arranjo de Moderação e Colimação Instalado no Canal J-9 do Reator Argonauta para obtenção de radiografias com nêutrons térmicos

É usual caracterizar sistemas radiográficos com nêutrons por sua razão L/D , onde D e L são respectivamente a abertura e o comprimento do colimador utilizado. Em um sistema real, além da penumbra relacionada com este parâmetro específico, outros agentes degradantes emergem, tais como espalhamento de nêutrons, flutuação estatística e ruído eletrônico. Logo, a razão L/D geométrica por si só, não caracteriza eficazmente o sistema. O espalhamento dos nêutrons no canal faz com que muitos atinjam o detector num ângulo tal como se viessem de uma fonte mais próxima tornando o L/D efetivo sempre menor que o L/D geométrico.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Geral

Um dos principais objetivos do presente projeto visa uma mudança no hardware do sistema apresentado na Fig. 1. O que se propõe é revestir internamente o colimador com uma folha de cádmio, com o propósito de diminuir o espalhamento de nêutrons no canal de irradiação e aumentar o L/D efetivo. Nessa nova configuração, poderemos medir o valor de L/D efetivo e a divergência do feixe, parâmetros necessários para o processamento das imagens após a aquisição utilizando o algoritmo de Richardson – Lucy muito aplicado nesta área de P&D.

3.2. Objetivos Específicos

- Revisão bibliográfica detalhada para realização do trabalho;
- Revestir o interior do colimador do feixe de nêutrons com uma folha de cádmio de 0.5mm de espessura;
- Mapeamento do fluxo de nêutrons térmicos, por ativação neutrônica - utilizando espectrometria γ na saída do canal onde será posicionado o detector de imagem.
- Verificação, modificações e ajuste dos softwares para a realização desta proposta;
- Medição dos parâmetros: L/D efetivo e a divergência do feixe utilizando o conceito de Rocking Curve - RC, através de imagens sintéticas e as experimentais, de corpo de prova adequados, obtidas pelo sistema modificado. O termo divergência, como é aqui empregado, refere-se ao desvio de um feixe paralelo ideal emitido de uma fonte plana;
- Obtenção de imagens de objetos diversos;
- Processamento das imagens utilizando o algoritmo de Richardson-Lucy e compará-las com as obtidas no sistema sem revestimento de Cadmio.

4. Radiografia com raios γ - Gamagrafia

Ambas as radiações, nêutron e γ , tem grande poder de penetração em metais, material geralmente utilizado na fabricação de componentes mecânicos. Por apresentarem diferenças nas características de atenuação fornecem informações diferentes na imagem. A energia da radiação eletromagnética de raios γ a ser utilizada é de 412 keV. Esta radiação é proveniente do radioisótopo ^{198}Au , produzido no reator Argonauta por ativação neutrônica.

4.1. Objetivo Geral

O presente projeto visa otimizar o tempo de irradiação do reator na produção da fonte através do comportamento da sua atividade e das imagens adquiridas pelo sistema.

4.2. Objetivos Específicos

- Produzir no reator Argonauta o radioisótopo ^{198}Au . Este será utilizado como fonte no sistema de gamagrafia irradiando uma amostra de ouro natural por um tempo pré-determinado para obter uma atividade A;
- Medida da atividade dessa fonte por espectrometria γ ;
- Introdução da fonte no sistema radiográfico;
- Expor o conjunto objeto- detector por um tempo t para obtenção da imagem;
- Retornar a etapa 1 e aumentar o tempo de irradiação para o aumento da atividade da amostra. Fazer esse loop até observar saturação no detector;
- Estudar as imagens em função da atividade da fonte para otimização do tempo de irradiação.

5. Atividades de Execução

Atividade 1 – Realizar pesquisas bibliográficas que visem identificar meios e métodos para otimização do sistema neutrográfico do Argonauta e as mais novas aplicações da neutrografia, especialmente nas áreas de saúde (aplicações médicas e de diagnóstico) e indústria (controle de qualidade de novos materiais);

Atividade 2 - Implementar melhorias no sistema neutrográfico do IEN. Desenvolvimento e implantação de novos colimadores e arranjos experimentais, que visem melhorar a qualidade dos ensaios não destrutivos (END) de modo a realizar aplicações na área médica;

Atividade 3 – Implementar técnicas de radiografia com raios gama, a partir de amostras ativadas no reator Argonauta, dando características de mobilidade ao arranjo radiográfico, visando sua implementação em laboratórios de indústrias;

Atividade 4 - Desenvolvimento de programas computacionais (softwares) que potencialize a análise digital das imagens obtidas através de radiografias (neutrografia e gamagrafia);

Atividade 5 – Sistematizar os resultados em um relatório de P&D e realizar seminários internos e externos, visando disseminar as técnicas desenvolvidas no Reator Argonauta.

6. Metodologia

A metodologia do projeto contempla etapas interdependentes e relacionadas e serão executadas de maneira sequenciada. O acompanhamento do projeto será efetuado por meio de relatórios de análise em períodos semestrais, realização de seminários e culminando com a avaliação de relatório final do projeto.

7. Cronograma de Atividades

As atividades do presente plano de trabalho deverão ser executadas no período de 24 meses conforme descrito no item 3 deste Plano de Trabalho, e seguindo o **CRONOGRAMA** descrito abaixo:

		Mês																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
atividades	1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2																								
	3																								
	4																								
	5																								

8. Justificativa

Imagens radiográficas obtidas devem exibir a melhor resolução e o melhor contraste possíveis, mas são degradadas pela penumbra oriundas de fontes planas como a do canal de um reator nuclear. Ambos os parâmetros podem ser melhorados por técnicas de tratamento de imagem, mas requerem o conhecimento da magnitude do agente degradador. Para a fonte mencionada tal magnitude é representada pela *Rocking Curve-RC*, ou pela razão L/D efetiva. Estas grandezas expressam a intensidade do feixe em função do ângulo com a normal à fonte. Para a abordagem L/D considera-se que a intensidade da emissão de cada elemento da fonte é isotrópica, - como uma calota esférica - enquanto que para a RC postula-se que ela tem

uma forma de sino, como a rotação de uma Gaussiana. Calculando esses parâmetros no feixe otimizado após revestir o interior do colimador com uma folha de cádmio de espessura suficiente para absorver os nêutrons espalhados espera-se que as imagens processadas exibam uma resolução suficiente para evidenciar anomalias ou estruturas mais finas de objetos aprimorando a técnica.

9. Considerações gerais

Esse projeto dará uma contribuição considerável em P&D relacionadas a técnicas nucleares no Reator Argonauta do IEN-CNEN. Além do que foi proposto, o projeto envolve várias técnicas para o cumprimento dos seus objetivos: produção de radioisótopos por ativação neutrônica, medidas de atividades por espectrometria γ e medida de parâmetros característicos desse reator como fluxo de nêutrons e divergência do feixe no seu canal principal, necessários também para o desenvolvimento de outras linhas de pesquisa relacionadas. É proposto também uma minimização no tempo de irradiação para a produção do radioisótopo ^{198}Au , que será utilizado como fonte em sistema radiográfico.

A contribuição mais relevante será na área de aquisição de imagens. Com a melhoria do feixe de nêutrons térmicos no seu canal principal, as imagens neutrongráficas obtidas certamente apresentarão melhor resolução. Isso propiciará a inspeção de objetos com estruturas internas mais finas e peculiaridades menores, ampliando o potencial da técnica.

Finalmente, vale mencionar que as otimizações propostas neste projeto, poderá também incrementar a demanda relativa a prestação de serviços que utilizam esse reator.