

## ANEXO I

### PROJETO DE BOLSA DE ESTUDOS AVANÇADOS (BEA)

#### Título

Sistema para detecção de radiação em gases oriundos de falhas em elementos combustíveis de usinas nucleares

**Supervisor:** Marcos Santana Farias

#### 1. Introdução

A operação segura de uma usina nuclear requer monitoramento contínuo e rigoroso. Uma verificação especialmente importante diz respeito às varetas de elementos combustíveis. Uma vareta de combustível em usinas nucleares é um componente essencial do reator nuclear, preenchida com pequenos *pellets* de urânio enriquecido ou outro material físsil, que são aquecidos por reações nucleares e usados para produzir vapor e, por fim, eletricidade. O dano em uma vareta combustível refere-se a qualquer tipo de comprometimento que possa ocorrer nesse componente, resultando em possíveis problemas operacionais e potencial liberação de material radioativo. A identificação de elementos de combustível nuclear com falha é um aspecto crucial da operação e segurança da usina nuclear. A falha dos elementos combustíveis pode ocorrer devido a vários motivos, como fragilização do material de revestimento do combustível, corrosão do revestimento e danos mecânicos causados por acidentes de manuseio. Portanto, é essencial ter um sistema de detecção de vazamento eficaz para evitar a liberação de produtos de fissão no meio ambiente.

Uma das técnicas mais comuns usadas para detectar vazamentos de combustível, além da inspeção visual do elemento combustível, é o "sorver" (sipping), que se baseia na medição da atividade dos produtos de fissão. Esses processos podem incluir a amostragem da água ao redor do elemento combustível (conhecido como "wet sipping") e a amostragem de gases radioativos liberados pelo elemento combustível (conhecido como "gas or vacuum sipping").

No processo de "wet sipping", o elemento combustível a ser testado é colocado em um compartimento selado. Neste compartimento, a água da piscina dos elementos usados, normalmente contaminada, é substituída por água desmineralizada e, além disso, é feita a lavagem do elemento combustível com esta água corrente. Posteriormente, é coletada uma amostra desta água para análise radioquímica para detecção de produtos

de fissão. A presença desses produtos indica que existem falhas no elemento combustível.

Já no processo "gas or vacuum sipping", usando um equipamento semelhante ao "wet sipping", o elemento combustível a ser testado também é colocado em um compartimento selado. Neste compartimento é criada uma pequena pressão diferencial, gerada por um sistema de vácuo, ou pela diminuição da coluna de água sobre o elemento combustível, suficiente para facilitar a migração dos gases dos produtos de fissão através das falhas das varetas combustíveis para o sistema de detecção. Novamente, a presença desses produtos de fissão indica a existência de falhas no elemento combustível.

Um terceiro processo de "sorver" é o que usa a tecnologia In-Mast Sipping (IMS), onde também se coleta e se analisa o gás de fissão que vaza de dentro da barra de combustível em caso de falha. Quando o combustível é extraído do reator, ele sobe verticalmente cerca de 10 metros, gerando uma diferença de pressão de água. Essa queda de pressão faz com que o gás de fissão dentro da barra de combustível vaze. O gás de fissão contém uma variedade de núclídeos, como Xe-133 e Kr-85, e a tecnologia IMS permite sua detecção e análise. O IMS, no caso, oferece vantagens sobre os outros métodos pois é realizado simultaneamente à descarga de combustível do núcleo.

O IMS é instalado diretamente no mastro da máquina de recarga (guindaste de manipulação) dos elementos combustíveis do núcleo do reator. O teste do elemento combustível retirado do núcleo do reator é feito durante o seu transporte para a posição superior do mastro de manipulação da máquina de recarga. Durante esse transporte, é injetado na base do mastro um gás (ar ou nitrogênio), que é então coletado na parte superior do mastro. Este gás é analisado quanto à presença de vestígios dos produtos de fissão. Como no processo "vacuum sipping", a detecção desses produtos de fissão é uma indicação de possível falha no elemento combustível. Porém, neste caso, sem adicionar qualquer tempo no processo de descarga do núcleo. Um sistema baseado em IMS é usado na Usina de Angra I, com o nome de Sistema de Monitoração de Combustível "In-Mast" (SMCI).

O presente projeto visa o desenvolvimento de um sistema moderno de detecção de radiação em gases liberados de elementos combustíveis falhados de usinas nucleares, baseado na tecnologia In-Mast Sipping. Um IMS tradicional é composto por vários sistemas, incluindo o sistema de amostragem/detecção, um sistema de análise, um sistema de indicação, um sistema pneumático e um sistema de controle. Um projeto moderno de um IMS deve incluir um sistema de detecção da radiação beta e/ou gama com resolução em energia e estabilidade para uma verificação confiável dos

gases de fissão. A cadeia nuclear para a análise dos sinais dos detectores deve ser robusta e estar integrada a um sistema de espectrometria e analisador multicanal, além de um supervisor para indicação precisa do processo aos operadores em IHMs (interfaces humano-sistema). Essas IHMs também devem servir para operar o sistema, em comunicação com o sistema de controle. O sistema de controle deve ser baseado em controlador industrial com robustez e confiabilidade para operar o sistema pneumático de amostragem do ar, bem como a gravação de dados e a comunicação por rede com outros sistemas por protocolo industrial adequado. O controlador industrial também deve ter capacidade de processar algoritmos de inteligência artificial para a identificação mais rápida dos gases de fissão.

Embora na operação de Angra I, e de outros Reatores Nucleares de Potência, o IMS seja usado no processo de descarga do núcleo, o presente projeto visa o desenvolvimento de um sistema que possa ser usado também durante a operação de reatores de pesquisa, como no futuro RMB (Reator Multipropósito Brasileiro), contribuindo para a otimização do desempenho do reator ao permitir a detecção precoce e a remoção imediata de varetas de combustível defeituosas, aumentando a eficiência geral. Assim, em resumo, as características gerais de operação do sistema de detecção baseado no IMS para este projeto são:

- Alta sensibilidade: capacidade de detectar vazamentos muito pequenos. Essa detecção precoce permite medidas proativas para evitar mais danos ou vazamentos.
- Não intrusivo: não interferir no funcionamento normal do reator, não exigindo que o reator seja desligado para que ocorra o processo de amostragem.
- Flexibilidade: sistema que possa ser usado e adaptado em uma variedade de projetos e configurações diferentes de reatores.
- Segurança: sistema de ajuda para garantir a segurança e a longevidade das usinas nucleares.
- Ao identificar vazamentos antecipadamente, as usinas nucleares podem evitar grandes falhas que podem levar a incidentes perigosos.

## **2. Objetivo geral**

Desenvolver um sistema avançado de detecção de radiação para gases liberados de elementos combustíveis falhados em usinas nucleares, com foco na tecnologia In-Mast Sipping (IMS), que possa ser aplicado tanto em Reatores Nucleares de Potência quanto em reatores de pesquisa.

## 2.1. Objetivos específicos

Implementar um sistema de detecção de radiação beta e/ou gama com resolução em energia e estabilidade, para verificação confiável dos gases de fissão.

Integrar um sistema robusto de espectrometria e analisador multicanal para análise dos sinais dos detectores.

Desenvolver um sistema de controle baseado em controlador industrial robusto e confiável, que opere o sistema pneumático de amostragem do ar e garanta a gravação de dados e a comunicação com outros sistemas.

Incorporar algoritmos de inteligência artificial no controlador industrial para rápida identificação dos gases de fissão.

Assegurar que o sistema possa ser usado durante a operação de reatores de pesquisa, contribuindo para a otimização do desempenho do reator.

Garantir alta sensibilidade do sistema para detectar vazamentos mínimos, sem interferir no funcionamento normal do reator.

Providenciar a flexibilidade do sistema para que possa ser adaptado em diferentes configurações de reatores.

Promover a segurança das usinas nucleares, identificando vazamentos antecipadamente para evitar grandes falhas e incidentes perigosos.

## 3. Justificativa

A necessidade de segurança e eficiência operacional em usinas nucleares é vital, uma vez que qualquer dano nas varetas de elementos combustíveis pode resultar em problemas operacionais e potencial liberação de material radioativo. A identificação precoce de tais falhas é crucial para evitar consequências desastrosas. Embora métodos tradicionais como "wet sipping" e "gas or vacuum sipping" possam identificar falhas, eles podem ser demorados e, em alguns casos, não serem precisos o suficiente. A tecnologia In-Mast Sipping (IMS) oferece uma alternativa mais eficiente e rápida, capaz de detectar e analisar vazamentos de gás de fissão durante a descarga de combustível do núcleo. Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema modernizado de detecção de radiação,

baseado na tecnologia IMS, que busca melhorar a eficácia e a rapidez na detecção de falhas nos elementos combustíveis de usinas nucleares, contribuindo para uma operação mais segura e eficiente das usinas nucleares.