



## PLANO DE TRABALHO

### PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

Nome do(a) Bolsista: **Nathanael Wagner Sales Morais**

Código do Projeto vinculado:

#### DESCRIÇÃO DO PROJETO

Título do Projeto

**Aplicação de feixes de íons energéticos e de nêutrons para o estudo de danos por irradiação em materiais nucleares**

**Prazo Execução (meses):** 12 meses

#### Objetivo Geral

Avaliar o uso de feixes energéticos (feixes de íons leves e feixes de íons pesados) sobre as propriedades mecânicas e sobre a microestrutura de aços inoxidáveis austeníticos candidatos a revestimento de combustíveis nucleares.

#### Objetivos Específicos

- 1 – Determinar uma metodologia de uso de feixes de íons leves para estudo de danos por irradiação.
- 2 – Avaliar como as condições de processamento afetam as propriedades mecânicas e a microestrutura dos aços AISI 347 e AISI 348 após a irradiação.
- 3 – Comparar a evolução das propriedades e microestruturas dos aços AISI 347 e AISI 348 após a irradiação.

#### Palavras-chave

1 – AISI 347

2 – AISI 348

3 – Danos por irradiação

4 – Degradação de propriedades

5 – Caracterização microestrutural

#### Metas Físicas

1 – Aquisição dos aços 347 e 348

2 – Caracterização microestrutural e mecânica dos materiais no estado recebido

3 – Irradiação com feixe energético

4 – Confecção dos corpos de prova a partir do material irradiado

5 – Caracterização microestrutural e mecânica dos aços irradiados



## PLANO DE TRABALHO

### PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

#### **Justificativa Resumida:**

O uso de íons energéticos para prever danos estruturais causados pela irradiação de nêutrons em materiais de reatores nucleares é uma alternativa importante para prever a vida útil ou desenvolver materiais mais resistentes a degradação por irradiação. Com esta técnica é possível alcançar, em poucas horas, um montante de danos acumulados em muitos anos de uso de um reator. Além disso, os materiais irradiados com íons, em feixes energéticos controlados não se tornam radioativos e podem ser manipulados e analisados por técnicas normais de caracterização em laboratórios de pesquisa, não sendo necessária a construção de células quentes, atualmente inexistentes no país, para a manipulação de materiais irradiados em reatores nucleares, além de eliminar os riscos de contaminação.

A aplicação de feixes de íons energéticos para a simulação de danos estruturais causados pela irradiação de nêutrons em materiais de reatores nucleares é altamente vantajosa devido a dois pontos básicos: i) o uso de feixe de íons pesados pode produzir um nível de danos (usualmente quantificados em unidades de deslocamento por átomo - dpa) da ordem de 30 a 100 dpa/dia, que é uma quantidade que, num reator, só é acumulado em tempos de operação de 10 a 30 anos; e ii) os materiais resultantes não se tornam radioativos (não necessariamente para todas as combinações feixe / amostra, e.g., feixes de deutérios podem gerar materiais radioativos), podendo ser analisados então por técnicas em laboratório convencionais.

Além disso, a implantação de íons de gases inertes permite simular a presença destes gases resultantes de subproduto preferencial de fissão.

Um dos principais questionamentos a ser realizado no presente estudo é o do comportamento dos defeitos puntiformes (átomos intersticiais e vacâncias criadas pelo deslocamento de átomos de sua posição na rede cristalina) que tendem a migrar pela matriz e gerar aglomerados na forma de: i) aglomerados de vacâncias gerando nanocavidades; ii) cavidades contendo gases inertes gerando nanobolhas e; iii) aglomerados de defeitos intersticiais gerando, por exemplo, anéis de discordâncias e falhas de empilhamento. Um outro questionamento importante é o de como as características iniciais do material, do ponto de vista de sua microestrutura (tamanho de grão, estruturas lamelares e os precipitados de segunda fase dispersos na matriz), afetam a distribuição dos defeitos puntiformes e, assim, modificam a concentração e tamanho dos aglomerados. Finalmente, um questionamento importante é o de como a migração atômica gerada pela temperatura de trabalho e pela irradiação leva a processos de dissolução de precipitados, precipitação de novas fases dispersas na matriz ou até mesmo de transformações massivas. Estas atividades são desenvolvidas por grandes grupos de pesquisa internacionais e publicadas nos periódicos de alto impacto científico



## PLANO DE TRABALHO

### PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

#### CRONOGRAMA FÍSICO

##### META FÍSICA 1 – Aquisição dos aços AISI 347 e AISI 348

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Aquisição de amostras de AISI 347 e AISI 348	Obtenção de chapas ou tubos de ambos aços	Maio 2022	Set 2022
Caracterização química dos aços no estado recebido	Realização de análises de fluorescência de raios-x e espectroscopia de emissão ótica	Maio 2022	Set 2022

##### META FÍSICA: 2 – Caracterização mecânica e microestrutural dos aços no estado recebido

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Confecção de amostras para caracterização microestrutural do aço AISI 347 e 348	Obtenção de micrografias e difratogramas de ambos aços no estado recebido.	Jun 2022	Set 2022
Confecção do dispositivo para realização ensaios de tração em amostras de tamanho reduzido	Obtenção do dispositivo	Set 2022	Set 2022
Validação da metodologia para ensaio de tração nas amostras de tamanho reduzido.	Realização dos ensaios de tração	Out 2022	Out 2022
Confecção de amostras para caracterização mecânica dos aços AISI 347 e 348	Obtenção das amostras para tração	Out 2022	Nov 2022
Realização dos ensaios de tração nos aços AISI 347 e 348.	Realização dos ensaios de tração	Out 2022	Nov 2022

##### META FÍSICA: 3 – Irradiação com feixe energético

ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Confecção de amostras dos aços AISI 347 e 348 para irradiação no laboratório de ciclotrons	Obtenção de discos de 1" de diâmetro com espessura de 200µm	Set 2022	Out 2022
Irradiação sem implantação de hidrogênio	Irradiação das amostras	Out 2022	Nov 2022
Irradiação com implantação de hidrogênio	Irradiação das amostras	Out 2022	Nov 2022
Decaimento das amostras irradiadas	Recuperação das amostras irradiadas	Out 2022	Dez 2022



## PLANO DE TRABALHO

### PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOCTORADO – EDITAL 6

META FÍSICA: 4 – Confecção dos corpos de prova a partir do material irradiado			
ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Obtenção de amostras para microscopia eletrônica de transmissão das amostras irradiadas	Obtenção de discos de 3mm de diâmetro para microscopia de transmissão.	Dez 2022	Jan 2023
Obtenção de amostras para ensaios de tração das amostras irradiadas	Obtenção de corpos de prova do tipo “dog bone” para realização de ensaios de tração.	Dez 2022	Jan 2023

META FÍSICA: 5 – Caracterização microestrutural e mecânica dos aços irradiados			
ATIVIDADES:	INDICADOR FÍSICO DE EXECUÇÃO	Duração Prevista	
		Início	Fim
Caracterização das amostras irradiadas	Obtenção das micrografias óticas e eletrônicas das amostras irradiadas	Jan 2023	Abr 2023
Realização dos ensaios de tração das amostras irradiadas	Obtenção dos resultados dos ensaios de tração	Jan 2023	Abr 2023
Caracterização dos perfis de fratura	Obtenção das micrografias eletrônicas dos perfis e superfícies de fratura	Jan 2023	Abr 2023

#### Resultados Esperados

1 - Comparação entre as propriedades mecânicas dos aços AISI 347 e 348 antes e após a irradiação por feixes energéticos após baixas doses de radiação.

2 - Caracterização microestrutural dos aços AISI 347 e 348 antes e após a irradiação por feixes energéticos após baixas doses de radiação.

3 - Submissão de 1 artigo em revista internacional.

4 - Submissão de 1 artigo em congresso na área nuclear.

5 -

6 -

7 -

8 -

9 -

10 -



PLANO DE TRABALHO

PROJETO PARA BOLSA PÓS-DOUTORADO – EDITAL 6

**Grau de Inovação (se houver):**

Não se aplica.



**Bibliografia:**

- GUIAR, V. A. P, MEDINA, N. H.; ADDED, N.; MACCHIONE, E. L. A.; ALBERTON, S. G.; LEITE, A. R.; AGUIRRE, F. R.; RIBAS, R. V.; PEREGO, C. C.; FAGUNDES, L. M.; TERASSI, J. C.; BRAGE, J. A. P.; SIMÕES, R. F.; MORAIS, O. B.; ALMEIDA, E. A.; JOAQUIM, P. M.; SOUZA, M. S.; CECOTTE, A. F. M; MARTINS, R.; DUARTE, J. G.; SCARDUELLI, V. B.; ALLEGRO, P. R. P.; ESCUDEIRO, R.; LEISTENSCHNEIDER, E.; OLIVEIRA, R. A. N.; SERVELO, W. A.; SILVA, M. T.; SARMENTO, V. E.; CARREIRA, C. A.; ABREU, J. C.; SILVA, S. C.; SANTOS, H. C.; RODRIGUES, C. L.; ASSIS, R. F.; SILVA, T. F.; TABACNIKS, M. H.; JOAQUIM, A. S.; MINAS, J. H. P.; KASHINSKY, D.; GUAZZELLI, M. A.; SEIXAS JR., L. E.; FINCO, S.; BENEVENUTTI, F. SAFIIRA: A heavy-ion multi- purpose irradiation facility in Brazil. *Review of Scientific Instruments*. v. 91, 053301 (2020). doi.org/10.1063/1.5138644
- AKIYAMA, N.; SATO, H.; NAITO, K.; NAOI, Y.; KATSUTA, T. The Fukushima nuclear accident and crisis management - lessons for U.S.-Japan Cooperation. Sasakawa Peace Foundation, Tokyo, 2012.
- BABA, M. Fukushima accident: what happened? *Radiation Measurement*, v. 55, p. 17- 21, 2013.
- CHEN, Y.; YU, K. Y.; LIU, Y.; SHAO, S.; WANG, H.; KIRK, M. A.; WANG, J.; ZHANG, X. Damage tolerant nano twinned metals with nanovoids under radiation environments, *Nature Communication*, v. 6, p. 7036, 2015.
- DAS, S. Recent advances in characterising irradiation damage in tungsten for fusion power. *SN Applied Sciences*, v. 1, p. 1614-, 2019. doi.org/10.1007/s42452-019-1591-0
- GETTO, E.; SUN, K.; TALLER, S.; MONTERROSA, A. M.; JIAO, Z.; WAS, G. S. Methodology for determining void swelling at very high damage under ion irradiation. *Journal of Nuclear Materials*, v. 477, p. 273-279, 2016.
- ISHINO, S.; SEKIMURA, N.; MURAKAMI, K.; ABE, H. Some remarks on in-situ studies using TEM-heavy-ion accelerator link from the stand point of extracting radiation damage caused by fast neutrons. *Journal of Nuclear Materials*, v. 471, p. 167- 174, 2016.