
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista):

Juciane Maria Alves / COTEC

Título do Projeto I:

Desenvolvimento de micro sensor fluxgate para detecção de baixos campos magnéticos

Palavras-chave:

Filmes finos, nanocristalização, nanofabricação, micro sensor magnético.

Área de conhecimento:

Física da matéria condensada, Magnetismo e Nantecnologia.

Pré-requisitos desejáveis (se houver):

Ciclo básico de Física ou áreas afins.

Título do Projeto II:

Estudo in situ do efeito do subresfriamento na estabilidade da austenítica e evolução das tensões residuais em aços inoxidáveis austeníticos

Palavras-chave:

Estabilidade da austenita, temperatura criogênica, tensões residuais, difração de raios X.

Área de conhecimento:

Engenharia e Ciência dos materiais, Física da matéria condensada.

Pré-requisitos desejáveis (se houver):

Ciclo básico de Engenharia de Materiais ou áreas afins.

A execução dos projetos proporcionará:

- (x) Preparação do bolsista para a área científica/tecnológica.
- (x) Geração de produção científica com potencial para publicação.
- (x) Participação em eventos institucionais promovendo a divulgação dos resultados obtidos.

Possibilidade de orientação remota:

(x) Sim () Não

Título do Projeto I:

Desenvolvimento de micro sensor fluxgate para detecção de baixos campos magnéticos

A crescente demanda tecnológica por materiais miniaturizados tem impulsionado pesquisas em materiais com propriedades aprimoradas. Dentre esses materiais, filmes finos nanocristalinos FeCuNbSiB se destacam devido elevada sensibilidade a baixos campos magnéticos e alta estabilidade térmica [1,2].

A aplicação desses filmes é essencial em dispositivos como micro magnetômetros fluxgate, que utilizam núcleos magnéticos de alta suscetibilidade magnética. A configuração fluxgate, com núcleos ferromagnéticos e bobinas de excitação e sensoras, permite medições de campos magnéticos de baixa frequência com alta sensibilidade [3]. As propriedades magnéticas macias de FeCuNbSiB permitem que o núcleo magnético responda de maneira rápida e precisa a pequenas variações no campo magnético externo, aumentando a precisão do magnetômetro e minimizando os ruídos de histerese. Como aplicações destacam-se a área da saúde, segurança, meio ambiente e geofísica de reservas minerais, óleo e gás [4,5].

Neste cenário, objetiva-se a continuação da produção de filmes finos nanocristalinos FeCuNbSiB, visando a otimização de propriedades microestruturais e magnéticas macias desse material para o desenvolvimento de micro magnetômetro fluxgate por técnicas de micro e nanofabricação no CBPF.

Métodos ou Metodologia

Este projeto será dividido em algumas etapas, conforme apresentadas a seguir:

A primeira etapa dará continuidade aos estudos voltados para a produção de filmes finos FeCuNbSiB por *magnetron sputtering*, seguida de tratamento térmico para a nanocristalização.

Após tratamento térmico, serão realizadas caracterizações magnéticas utilizando-se magnetômetro de gradiente de campo alternado (AGFM) e magnetômetro de amostra vibrante (VSM).

Os filmes caracterizados magneticamente de forma satisfatória serão submetidos à elucidação microestrutural.

Na sequência de execução, os filmes com melhores propriedades magnéticas, baixa coercividade e alta magnetização de saturação, serão utilizados em circuitos magnéticos de micro sensor fluxgate. A fabricação de nano e microestruturas será por fotolitografia a laser, utilizando técnicas de sala limpa no CBPF que incluem plasma etching, deposição catódica por sputtering, lift-off e desbaste por ion milling (Fig. 1).

O dispositivo final será composto por núcleos ferromagnéticos de FeCuNbSiB e bobinas planas de cobre para excitação e detecção.

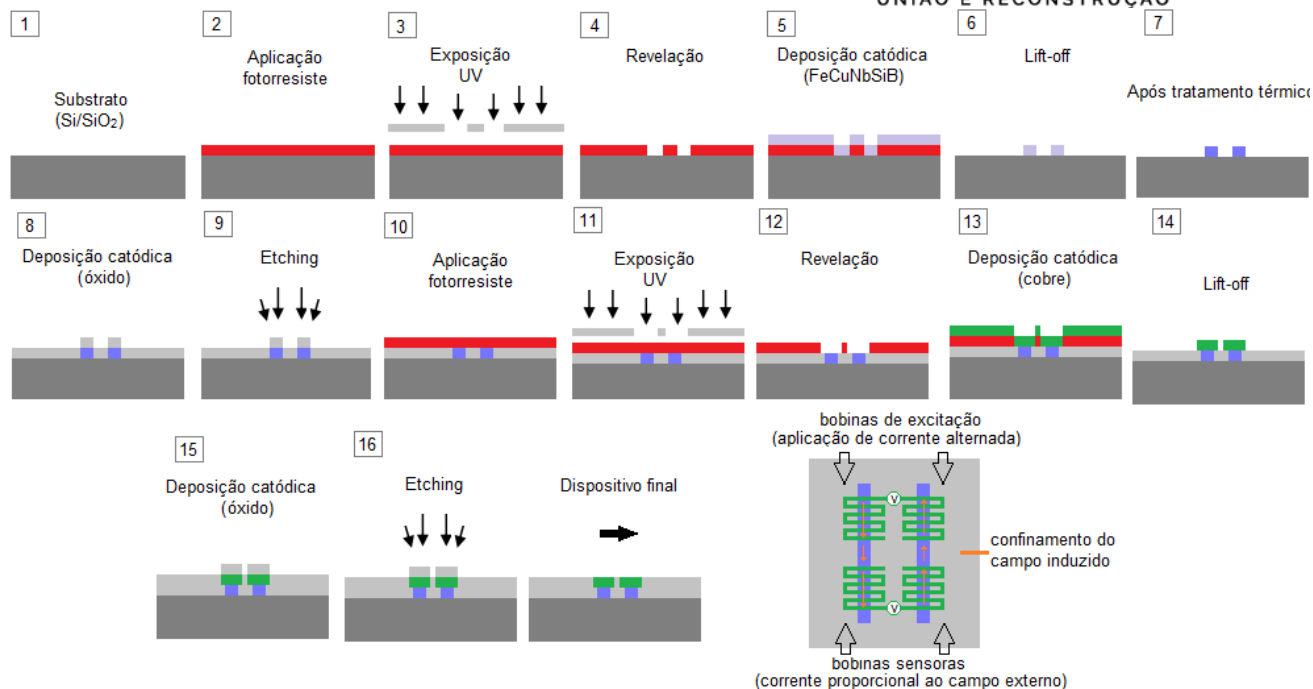


Fig. 1: Etapas de fotolitografia para a fabricação de micro sensor magnético.

Cronograma de atividades

Este projeto tem previsão de 12 meses de duração. As atividades envolvidas são apresentadas abaixo:

No.	ATIVIDADES	BIMESTRE					
		1	2	3	4	5	6
1	*Acompanhamento sistemático e reuniões quinzenais	x	x	x	x	x	x
2	Dar continuidade à produção filmes finos por sputtering	x	x	x			
3	Continuar com tratamentos térmicos	x	x	x			
4	Realizar caracterizações magnéticas		x	x			
5	Realizar caracterizações microestruturais		x	x			
6	Produzir sensor fluxogate por fotolitografia		x	x	x		
7	Montar sistemas de caracterização de microsensores	x	x	x	x		
8	Caracterizar os sensores produzidos	x	x	x	x		
9	Construir protótipo de micro magnetômetro	x	x	x	x		
10	Confronto de resultados			x	x	x	
11	Elaboração do relatório técnico científico					x	x
12	Apresentação de resultados						x

*Acompanhamento sistemático da revisão bibliográfica, da metodologia empregada e do desenvolvimento do projeto.

Referências

- [1] Lu, C.C. *et. al*, Sensors, vol. 14, no. 8, pp. 13815-13829, 2014.
- [2] Alves, J.M. *et. al.*, J. Magn. Magn. Mater, vol. 600, p. 172104, 2024.
- [3] Yang, X. *et. al.*, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 26, 1-5, 2016.
- [4] Zhi, S., *et. al.*, Sens. Actuators A Phys267, 121-126, 2017.
- [5] Setiadi R. N. and Schilling, M., Actuators A Phys, 285, 573-580, 2019.

Título do Projeto II:***Estudo in situ do efeito do subresfriamento na estabilidade da austenítica e evolução das tensões residuais em aços inoxidáveis austeníticos***

Os aços inoxidáveis austeníticos constituem um importante grupo de materiais de alta liga à base de ferro, possuindo matriz austenítica estável à temperatura ambiente. São classificados principalmente nas série 300 e série a 200. Nos aços da série 300, a estabilidade da austenita ocorre principalmente pela adição de níquel. Já os aços da série 200, há redução do teor de níquel e aumento do teor de manganês, frequentemente associado ao nitrogênio, mantendo a estabilidade da fase e proporcionando vantagens econômicas sem comprometer significativamente as propriedades mecânicas.

Apesar de estáveis à temperatura ambiente, muitos desses aços são metaestáveis, podendo sofrer transformação de fase austenita-martensita. A estabilidade da austenita depende fortemente da composição química, especialmente dos teores de C, N, Si, Mn, Cr e Ni, que influenciam a temperatura de início da transformação martensítica (M_i). (Eq. 1), [1-3].

$$M_i (^{\circ}\text{C}) = 1305 - 1665(\%C + \%N) - 28(\%Si) - 33(\%Mn) - 42(\%Cr) - 61(\%Ni) \quad \text{Eq. (1)}$$

A transformação martensita pode ocorrer por deformação plástica (Efeito TRIP - *Transformation Induced Plasticity*) ou por redução da temperatura, caracterizando transformação de fase espontânea ou atérmica. Ou seja, a mudança de fase prossegue como resultado da mudança da temperatura, e a quantidade de martensita formada depende apenas da temperatura, sendo independente do tempo [4].

Um fator importante associado a essa transformação de fase é o surgimento de tensões residuais. Que são tensões que permanecem atuando na microestrutura mesmo na ausência de cargas externas e/ou gradientes térmicos. Essas tensões podem ser benéficas ou prejudiciais, dependendo de sua natureza, magnitude e distribuição. Tensões residuais trativas favorecem a nucleação e propagação de trincas por fadiga e aumentam a suscetibilidade à corrosão sob tensão, enquanto tensões compressivas tendem a retardar esses mecanismos de falha.

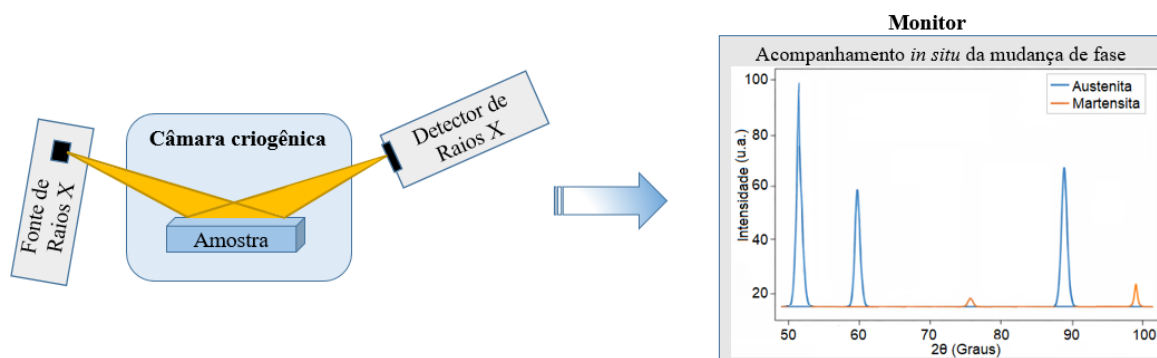
A caracterização das tensões residuais representam um dos aspectos mais importantes para garantir confiabilidade e segurança em trabalho de peças e componentes de aços inoxidáveis austeníticos, que são amplamente utilizados em aplicações industriais, científicas e tecnológicas.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho é realizar um estudo *in situ* do efeito do subresfriamento na estabilidade da fase austenita e na evolução das tensões residuais em aços inoxidáveis austeníticos metaestáveis.

Métodos ou Metodologia

O presente projeto será desenvolvido em algumas etapas, conforme apresentadas a seguir:

- ✓ Tratamento térmico de amostras de aços inoxidáveis austeníticos 304L, 316L e 201LN para reverter qualquer martensita resultante de processos termomecânicos de fabricação.
- ✓ Preparação metalográfica, incluindo lixamento e polimento.
- ✓ Caracterização *in situ* da transformação de fase por difração de raios X realizada sob diferentes ciclos de resfriamento com hélio líquido (Fig. 2).
- ✓ Determinação de tensões residuais por difração de raios X.
- ✓ Caracterização microestrutural, empregando microscopia eletrônica de varredura e ensaios de microdureza Vickers.



Cronograma de atividades

Este projeto tem previsão de 12 meses de duração. As atividades envolvidas são apresentadas abaixo:

No.	ATIVIDADES	BIMESTRE					
		1	2	3	4	5	6
1	*Acompanhamento sistemático e reuniões quinzenais	x	x	x	x	x	x
2	Tratamento térmico	x	x				
3	Preparação metalográfica		x	x			
4	Indução da transformação martensítica atômica com câmara criogênica	x	x	x			
5	Determinação de tensão residual por DRX		x	x	x		
6	Caracterização microestrutural por MEV			x	x		
7	Caracterização de microdureza Vickers			x	x	x	
8	Confronto de resultados				x	x	
9	Elaboração do relatório técnico científico					x	x
10	Apresentação de resultados						x

*Acompanhamento sistemático da revisão bibliográfica, da metodologia empregada e do desenvolvimento do projeto.

Referências

- [1] Cina, B.; J. Iron Steel Inst. (1954), pp.791.
- [2] Hedayati, A. *et al.*, Journal of Materials Processing Technology 210 (2010), pp.1017-1022.
- [3] Alves, J.M., *et al.*, Materials Research, v. 24, p. 1-8, 2021.
- [4] Dunne, D., Metals 2018, 8, 395.