

# INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

DIRETORIA DE PESQUISA

PROJETOS DE PESQUISA/INOVAÇÃO

Edital nº 22/2022 - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBITI/CNPq

## 1 - UNIDADE PROPONENTE

Campus: <b>CAMPUS-JP</b>
-----------------------------

## 2 - IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título do projeto: <b>Estudo do Acompanhamento da Fragilização por Decomposição Espinodal pela análise do ruído de Barkhausen em um aço inoxidável Duplex</b>			
Grande área de conhecimento: <b>ENGENHARIAS</b>		Área de conhecimento: <b>ENGENHARIA MECÂNICA</b>	
Área temática: <b>Engenharias e Automação Industrial</b>		Tema: <b>None</b>	
Período de execução: <b>Início: 01/09/2022   Término: 31/08/2023</b>			
Nome do responsável (coordenador): <b>Edgard de Macedo Silva</b>	Titulação: <b>DOCTORADO</b>	Matrícula: <b>338186</b>	Vínculo: <b>Voluntário</b>
Departamento de lotação: <b>DDE-JP</b>	Telefone: <b>(83) 3224-3019 / (83) 3612-1274 (ramal: 1274)</b>		E-mail: <b>edgard@ifpb.edu.br</b>

## 3 - CARACTERIZAÇÃO DOS BENEFICIÁRIOS

Público alvo	Quantidade
--------------	------------

## 4 - EQUIPE PARTICIPANTE

PROFESSORES E/OU TÉCNICOS ADMINISTRATIVOS DO IFPB			
Membro	Contatos	Vínculo	Titulação
Nome: <b>Edgard de Macedo Silva</b> Matrícula: <b>338186</b>	Tel.: <b>(83) 3224-3019 / (83) 3612-1274 (ramal: 1274)</b> E-mail: <b>edgard@ifpb.edu.br</b>	Voluntário	DOUTORADO

## 5 - DISCRIMINAÇÃO DO PROJETO

<b>Resumo</b>
<b>Introdução</b> As propriedades dos materiais são influenciadas pelas suas microestruturas. Os aços comerciais quando submetidos a ciclos térmicos, devido a processos de soldagem ou condições de serviço, podem sofrer transformações que levam a mudanças destas. Novos constituintes podem comprometer propriedades mecânicas dos materiais. Constituintes de alta dureza podem ser formados durante o tempo de

permanência em altas temperaturas como nos aços inoxidáveis, por exemplo, ou durante o resfriamento em aços para construção mecânica. O acompanhamento da formação desses ajudam a prever a melhor hora de intervir na estrutura antes da ocorrência de problemas em serviço [1-4].

As transformações microestruturais nos aços podem ser por nucleação e crescimento, onde há a necessidade de vencer uma barreira de energia para que ocorra a transformação de fase, ou pelo processo de decomposição espinodal, onde acontece de forma espontânea. A primeira é a mais comum nos diversos materiais, enquanto que a segunda, para ocorrer necessita da existência de um gap de miscibilidade que é presente em alguns aços inoxidáveis austeníticos e duplex. Neste tipo de material ocorre a denominada de fragilização a 475 °C. Sendo esta temperatura a de maior cinética de formação [5-7].

Os aços inoxidáveis duplex possuem em sua estrutura 50 % do constituinte ferrita e 50 % de austenita. Estes aços são usados em vasos de pressão, bem como no setor de petróleo e gás por apresentar boas propriedades tanto de resistência à corrosão como propriedades mecânicas. Contudo, a aplicação destes é limitada a temperaturas até em torno de 250 °C devido a decomposição do constituinte e ferrita em fases nanométricas, finamente dispersa no seu interior. A austenita nesses aços não sofre transformação, somente a ferrita [5,7].

A ferrita ao se decompor forma duas regiões, uma pobre e outra rica em cromo, pelo processo de decomposição espinodal. As regiões pobres em cromo reduzem a sua resistência à corrosão e a estrutura finamente distribuída reduz a sua tenacidade. Entretanto, como o processo de decomposição é espontâneo, mesmo abaixo de 250 °C esta estrutura indesejável é observada para longos períodos em serviço, sendo necessário métodos não destrutivos para determinação do melhor momento de intervenção a fim de evitar acidentes e danos pessoais e econômicos [5,6,8,9].

#### **Justificativa**

Ensaio não destrutivo como ultrassom, correntes parasitas e baseados no ruído magnético de Barkhausen vêm sendo aplicados para acompanhamento de constituintes que venham a prejudicar as propriedades mecânicas dos materiais em serviços. Entre estes os baseados no ruído magnético de Barkhausen tem sido aplicados em materiais ferromagnéticos por serem sensíveis à interação entre o movimento das paredes dos domínios magnéticos e microestrutura por poderem inspecionar materiais de espessuras menores que 3mm, o que é uma limitação do ultrassom, devido a falta de sensibilidade na sua região denominada de morta do transdutor. Além, disso poder inspecionar maiores espessuras em relação método de correntes parasitas por ser menos susceptível ao efeito pelicular [10-13].

O ruído magnético de Barkhausen é gerado durante a tentativa dos domínios magnéticos de passarem pelos pontos de ancoragem na região de irreversibilidade do movimento das paredes dos domínios magnéticos. Ao vencerem contornos de grãos, discordâncias, partículas de segunda fases e precipitados, por exemplo, ocorrem saltos abruptos e geração do ruído magnético de Barkhausen Este ruído traz a informação da microestrutura e serve para levantamento de parâmetros para caracterização do material. Este ensaio não destrutivo é formado por uma bobina emissora que aplica um sinal de onda ao material a ser estudado e uma bobina receptora, posicionada na mesma superfície da emissora, que capta o sinal resultante da interação e traz a informação das mudanças no material [11-13].

Transformações de fases, em materiais ferromagnéticos, resultam em mudanças de permeabilidade do material e influenciam na mobilidade dos domínios magnéticos. Isto leva a variação do ruído magnético de Barkhausen [10-12]. A ferrita dos aços inoxidáveis duplex se decompõe formando precipitados finamente dispersos no interior dessa, que são pontos de ancoragens. Este tipo de microestrutura leva ao ensaio baseado nesse ruído magnético ser eficaz para o acompanhamento da fragilização por estes constituintes e assim será ponto de estudo no presente trabalho. Todavia, para facilitar o estudo em um volume maior de material, a bobina receptora deste trabalho é formada por um núcleo ferrítico, para

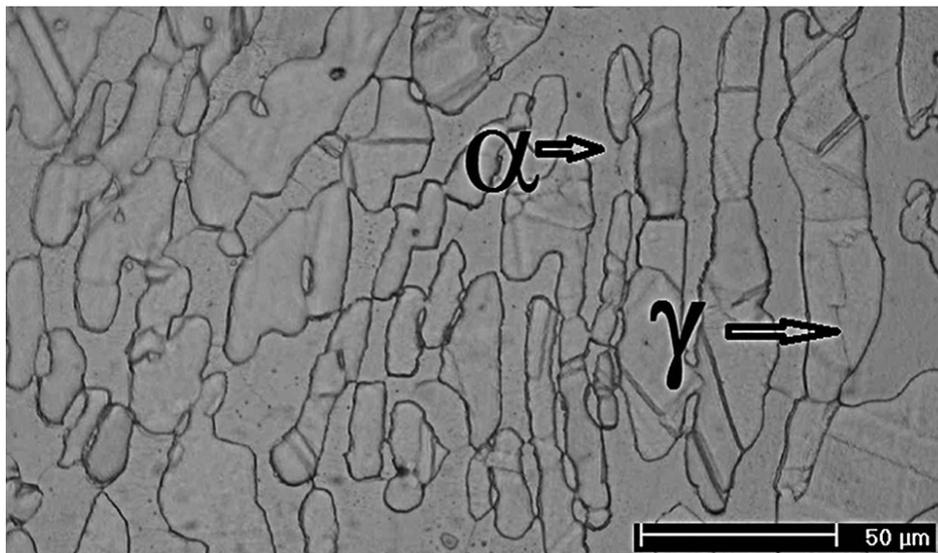
amplificação de campo magnético, e posicionada na superfície oposta da emissora. Assim, será possível acompanhar a formação da fase fragilizante e poder prever o melhor momento para intervenção da estrutura em serviço e evitar problemas relacionados.

#### Fundamentação teórica

O aço inoxidável duplex (AID) tem como principais características a resistência à corrosão e a resistência mecânica. Isto ocorre devido a sua microestrutura bifásica, de onde advém o seu nome (DUPLEX), sendo uma dessas fases com composição de 50% de fase ferrítica e outra com 50% de fase austenítica, que oferecem uma excelente combinação de propriedades mecânicas e de resistência a corrosão, onde, esta resistência é resultado do alto teor de Cr associado a adições substanciais de Mo e N, o que aumenta a estabilidade do filme passivo e tem um efeito benéfico na resistência à corrosão localizada, especialmente corrosão por pites e trincas em indústrias e ambientes marinhos. Sendo assim, bastante utilizado como material estrutural em indústrias como petroquímicas, alimentícias, papel e celulose, e de petróleo e gás [1,3,5,14].

Na Figura 1 é apresentada uma microestrutura de um aço inoxidável duplex, com as suas duas fases com proporções praticamente iguais. Entretanto, aquecidos a temperaturas superiores a 300 °C esse tipo de aço perde sua tenacidade se tornando um material frágil devido ao surgimento de partículas ricas em cromo que empobrecem a matriz desse elemento [3,5-8].

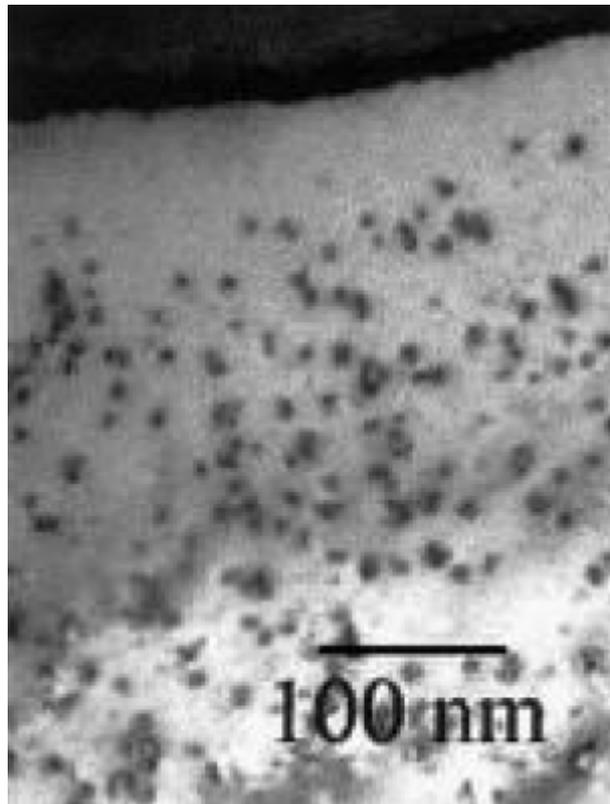
Figura 1. Microestrutura típica de um aço inoxidável duplex SAF2205



Fonte: [3].

As propriedades dos aços inoxidáveis duplex são comprometidas quando expostas a uma faixa de temperatura entre 280°C e 550°C limitando sua aplicação a temperaturas abaixo de 280°C. A deterioração das propriedades mecânicas e físicas pode ser causada dependendo da temperatura e composição química pelo processo de decomposição espinodal, onde a fase ferrita se decompõe em uma fase  $\alpha'$  (rica em Cr) e uma fase  $\alpha$  rica em Fe [5-8]. Como essa reação ocorre mais rapidamente em 475 °C, portanto, este processo também é conhecido como *fragilização a 475°C* [5-8].

A fase fragilizante conhecida por  $\alpha'$  (alfa linha) causa a fragilização do aço em estudo. Onde os precipitados são finamente dispersos no interior da matriz, conforme a Figura 2. Este precipitados finamente dispersos dificultam o movimentos das discordâncias e endurecem o material resultando na redução da tenacidade do material. [7-8, 15].

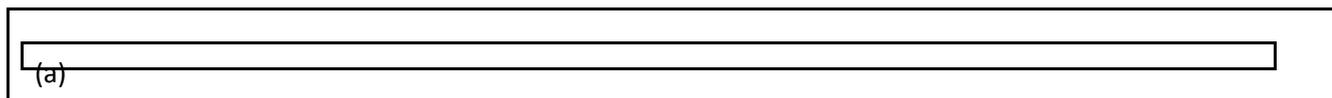
**Figura 2- Precipitado de  $\alpha'$  em uma amostra de aço inoxidável duplex.**

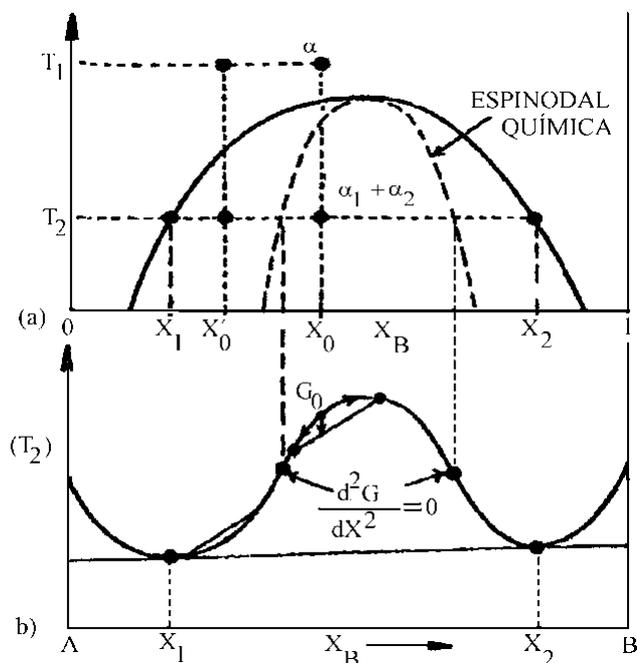
Fonte: [15]

Trabalhos realizados com o objetivo de estudar o processo de “fragilização a 475 °C”, confirmam que o principal mecanismo responsável pela formação da fase  $\alpha'$  nessas ligas é a decomposição espinodal [5-8]. Nos instantes iniciais de formação a decomposição espinodal atua propiciando ao material aumento de tenacidade, no entanto, no processo final da decomposição ocorre a fragilização do material [5-8].

*A decomposição espinodal ocorre de maneira espontânea sem a necessidade de vencer uma barreira de energia, como no processo de nucleação e crescimento. Essa ocorre em materiais que possuem um intervalo de miscibilidade como a Figura 3. Segundo WILLIAN (1958) apud [16]. A formação das duas fases de mesma estrutura cristalina,  $\alpha$  e  $\alpha'$ , decorrente da decomposição espinodal, estão relacionados com a existência do intervalo de miscibilidade no sistema da liga, que é originado de uma difusão ascendente, sem nucleação [16]. O processo pode ocorrer para ligas com composição onde o diagrama de equilíbrio tem uma curvatura negativa. Logo, as ligas devem estar situadas entre os dois pontos de inflexão da curva de energia livre. Conforme a Figura 3, o lugar geométrico destes pontos no diagrama de fase chama-se espinodal química [16]*

**Figura 3. Gráfico esquemático mostrando: (a) temperatura x composição e (b) energia livre x composição.**





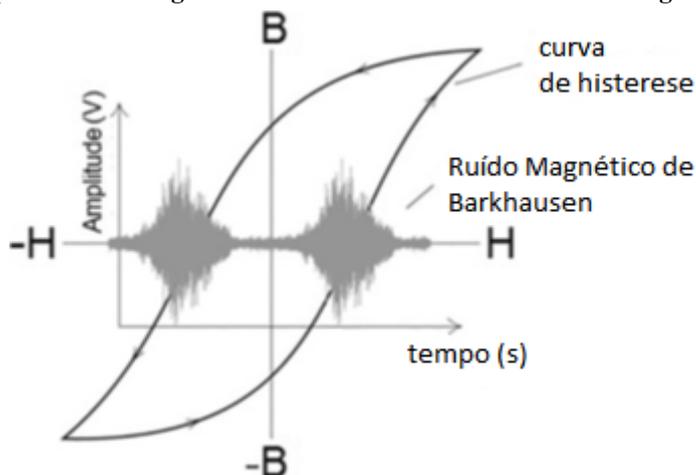
(b)

Fonte: [16].

### Ruído Magnético de Barkhausen

Em 1919, Heinrich Barkhausen observou que quando os materiais ferromagnéticos se submetiam a um campo magnético externo, ocorria o movimento das paredes dos domínios magnéticos. Este fenômeno ocasionava saltos de indução discretos que produziam pulsos magnéticos, denominados Ruído Magnético de Barkhausen. A Figura 4 mostra a região de uma curva de histerese, onde ocorre o Ruído Magnético de Barkhausen, ou seja, na região de irreversibilidade do movimento das paredes dos domínios magnéticos.[1]. O ciclo de histerese é apresentado no gráfico, bem como o ruído e sua amplitude, ao longo do tempo.

**Figura 4. Representação esquemática da região da curva de histerese onde o ruído magnético de Barkhausen é medido.**



Fonte: [1].

O Ruído Magnético de Barkhausen se dá pelo movimento descontínuo das paredes dos domínios magnéticos e através dele pode-se aferir informações relevantes a respeito da tensão ou microestruturas de materiais ferromagnéticos, como os teores de carbono, suas fases, precipitados, contornos de grãos, entre outros parâmetros. A análise do Ruído Magnético de Barkhausen para desenvolvimento do ensaio eletromagnético não-destrutivo, ainda é considerada uma técnica relativamente nova. [10].

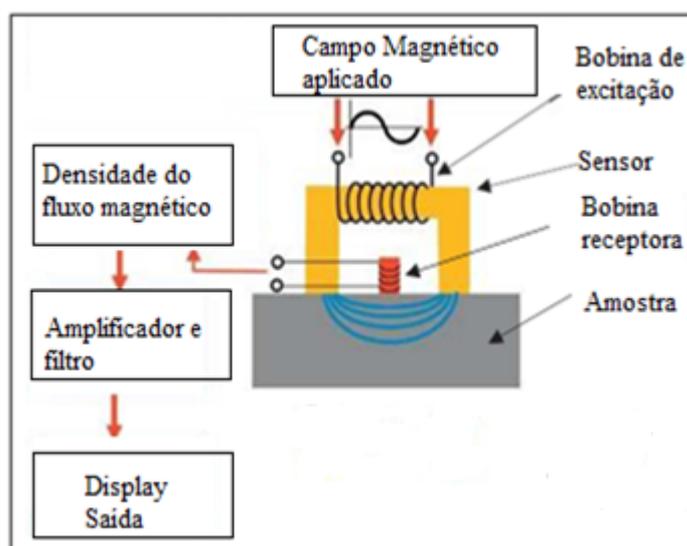
Segundo [11], os materiais ferromagnéticos, cujo processo de magnetização dá origem ao Ruído Magnético de Barkhausen, são divididos em regiões denominadas domínios magnéticos. Cada região possui sua própria direção e orientação de magnetização. Contudo, ao ser exposto a um campo magnético externo  $H$ , as suas paredes se movimentam. A movimentação das paredes dos domínios magnéticos é descontínua e provoca saltos quando tentam vencer aos obstáculos microestruturais, como discordâncias, precipitados, contornos de grãos, entre outros. Este ruído é extraído na forma de tensão, uma vez que enquanto as paredes são deslocadas, são gerados saltos magnéticos que são relacionados aos picos de tensão. A análise desse ruído é utilizada para gerar parâmetros que venham caracterizar, classificar e identificar amostras de materiais ferromagnéticos. [10-11]

### Sistema de medição do Ruído Magnético de Barkhausen

O ruído magnético de Barkhausen é obtido através de um dispositivo de magnetização, que é composto por uma bobina emissora e uma receptora. A primeira emite a onda que irá interagir com o material a ser analisado, enquanto a segunda detecta a onda da interação que traz informação das transformações na forma de ruído. Dentre as técnicas utilizadas para obtenção, destaca-se a técnica de superfície, em que a bobina receptora é posicionada na mesma superfície da amostra, por ser a mais usada. Esta técnica pode ser observada no estudo de [17], como apresenta a Figura 5.

Nota-se, no esquema da Figura 5, que a bobina emissora, ao ser alimentada por uma corrente alternada, produz um campo magnético que provoca ciclos repetidos de magnetização do material ferromagnético. Este campo magnético é captado pela bobina receptora, localizado na superfície da amostra. O sinal do Ruído Magnético de Barkhausen é obtido quando passa pelo amplificador e pelo processo de filtragem. [17].

**Figura 5 – Diagrama esquemático de um sistema de medição do Ruído Magnético de Barkhausen através da técnica de superfície.**



Fonte: [10]

Além da técnica de superfície, outras técnicas vêm sendo estudadas e experimentadas para aquisição e estudo do sinal do Ruído Magnético de Barkhausen. A posição da bobina receptora revela as diferentes formas para obter o sinal do Ruído Magnético de Barkhausen. Tem-se a técnica envolvente, em que a bobina receptora apresenta-se envolta da amostra. A técnica envolvente dupla, experimento no qual utiliza-se duas bobinas receptoras envoltas da

amostra. A com bobina na superfície oposta, em que a bobina receptora posiciona-se abaixo da amostra. No entanto, a técnica de superfície é ainda a mais usual dentre elas. Os sinais utilizados tem como principais ondas as senoidais e triangulares com frequências que variam de 1 Hz até 800 kHz e aplicação de filtros passa altas e passa banda [10, 17-20].

#### Objetivo geral

##### **Objetivo Geral:**

Acompanhar a formação de fase fragilizante, formada pelo processo de decomposição espinodal, em um aço inoxidável duplex, pela análise do ruído magnético de Barkhausen.

##### **Objetivos específicos**

Determinar as melhores características de onda emissora, para acompanhamento da fase fragilizante formada, pela análise do ruído magnético de Barkhausen.

Acompanhar a formação do constituinte fragilizante pela análise do ruído magnético de Barkhausen.

Correlacionar os resultados do ruído magnético de Barkhausen com o endurecimento do aço inoxidável duplex a ser estudado.

#### Metas

- 1 - Determinar as melhores características da onda emissora.
- 2 - Acompanhar a formação do constituinte fragilizante
- 3 - Correlação entre ruído magnético e endurecimento do aço

#### Metodologia da execução do projeto

##### **Revisão Bibliográfica.**

Revisão na literatura sobre os temas relacionados ao trabalho e a soluções de problemas provenientes do estudo. Será levantado o estado da arte sobre ensaios não destrutivos, ensaios eletromagnéticos, transformações de fases, decomposição espinodal, aços inoxidáveis entre outros necessários ao desenvolvimento do projeto.

##### **Preparação das amostras e tratamento térmico.**

Amostras com 30 x 20 x 8 milímetros de dimensões serão retiradas pelo processo de eletroerosão de uma placa de aço inoxidável duplex SAF 2205. Este aço decompõe a ferrita pelo processo de decomposição espinodal para temperaturas abaixo de 550 °C.

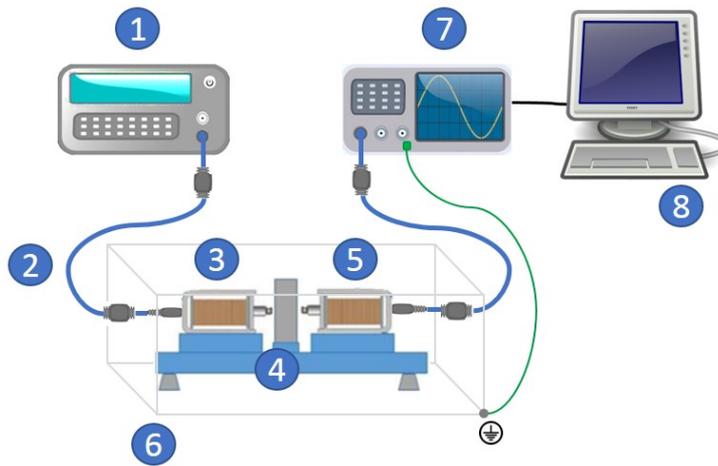
As amostras serão tratadas em um forno de mufla da marca Jung na temperatura de 475 °C e resfriadas ao ar. Serão empregadas temperaturas de tratamento de 1, 4, 8, 12, 48 e 100 horas. Esta temperatura foi escolhida por ser a de maior cinética de decomposição do constituinte ferrita no aço inoxidável duplex. As amostras tratadas e uma como recebida serão as utilizadas no presente estudo.

##### **Determinação das características da melhor onda.**

###### 3.1 Bancada de teste.

O equipamento de teste foi desenvolvido no laboratório do Grupo de Simulação de Comportamento de Materiais (GSCMat), do Instituto Federal da Paraíba (IFPB). Sua configuração experimental pode ser melhor compreendida através da Figura 6. Nesta figura é apresentada uma representação esquemática do equipamento de teste: (1) gerador de sinais; (2) cabos blindados; (3) bobina emissora ; (4) amostra; (5) bobina receptora; (6) gaiola de Faraday; (7) osciloscópio e (8) computador.

**Figura 6 – Representação esquemática da bancada experimental**



**Fonte: Própria.**

Esta bancada é constituída por dois módulos: módulo de emissão e módulo de aquisição. O módulo de emissão é composto por um gerador de função (da marca Minipa, modelo MFG 4205B/5MHz) e a bobina emissora, cuja função é gerar um campo magnético que atravesse o material da amostra em estudo. O gerador de função transmite para a bobina emissora a onda de formato escolhido senoidal, sendo esta, o tipo de onda que indica a maior presença de ruído gerado da interação entre movimento das paredes dos domínios e microestrutura [17-20].

O módulo de aquisição é constituído por uma bobina receptora, um osciloscópio e um computador. A bobina denominada de receptora foi posicionada no lado oposto da peça com a finalidade de detectar o campo induzido gerado pela bobina emissora e transmitir o sinal a um osciloscópio (da marca Agilent Technologies modelo DSO-X 2012A). O computador faz conexão com o osciloscópio via cabo USB e realiza a aquisição automática dos dados utilizando os programas Agilent Intui Link Data Capture e Auto Click Extreme. As bobinas utilizadas são idênticas e têm 19,5 mm de comprimento, 6000 espiras de fios de cobre esmaltado n° 38 envoltas sobre um núcleo de aço AISI 1020. Utiliza-se uma gaiola de Faraday e cabos blindados a fim de diminuir a interferência de sinais provenientes do meio.

### 3.2 Procedimento para determinação da melhor onda

Para determinação da característica da onda senoidal emissora serão utilizadas amostras na condição como recebida, que não apresenta precipitados, e amostra tratada na temperatura de 475 ° C, por 100 horas e resfriamento ao ar (com precipitado). O objetivo é determinar a melhor condição da onda para produzir uma amplitude de medida entre as duas condições extremas, para ter sensibilidade para acompanhar a formação desses.

O princípio de funcionamento da técnica consiste em se aplicar sinais de ondas senoidais, com parâmetros de frequências de 5, 25, 50, 75 e 100 Hz, e amplitudes de 1,3, 5, 7 e 9V, com um tempo de aquisição de 2 segundos, 20.000 pontos, que serão geradas por uma bobina emissora. Uma bobina receptora posicionada no lado oposto da peça detectará o ruído de Barkhausen.

Os sinais serão captados dez vezes para cada arranjo de frequência e amplitude, para as amostras de 0 h e 100 h, com o objetivo de analisar a região que produza a maior diferença de raiz média quadrática (RMS) entre a condição com e sem tratamento. Após as medições, será determinado a FFT através de um programa computacional específico que permite aplicar um filtro passa-altas de 3,0 KHz para evitar interferências de baixas frequências e do meio ambiente. A aplicação da transformada de Fourier tem como objetivo separar a parte do sinal de altas frequências que corresponde a parte do ruído. O RMS é o parâmetro usado na temperatura para caracterização do ruído.

**Acompanhamento da formação do constituinte fragilizante.**

Após a obtenção da onda com melhores características para obtenção do ruído de Barkhausen, estas serão aplicadas nas amostras tratadas na temperatura de 475 °C. Serão capturado 10 sinais de cada condição, em um intervalo de 2s e amostras com 20.000 pontos, com o propósito de aumentar a confiabilidade dos resultados e assim, verificar a possibilidade de acompanhamento da formação dos precipitados finos, em um AID SAF 2205. Serão utilizadas amostras de aços inoxidáveis duplex tratadas nas temperaturas de 475 °C e envelhecidas nos tempos de 1 h, 4 h, 8 h, 12 h, 24h, 50 e 100h, bem como a condição sem tratamento. Os valores de RMS serão determinados com um intervalo de confiança de 95 %.

**Determinação da dureza nas condições de estudo.**

As amostras sem tratamento e as envelhecidas, em todas as condições de tratamento térmico, serão submetidas a ensaios de dureza Rockwell C na temperatura ambiente de acordo com a norma NBRNM-ISO6507-1. O equipamento utilizado será um Durômetro da Mitutoyo, modelo Twin Type 963-102. Serão realizadas cinco medidas para cada condição e será determinado a média com um intervalo de confiança de 95%.

**Correlacionamento entre ruído magnético e dureza.**

Os resultados obtidos pelo ensaio eletromagnético e dureza serão correlacionados para ver a eficácia das medidas em acompanhar a formação dos precipitados finos gerados pela decomposição da fase ferrita. Esses precipitados são de ordem nanométricas e somente são detectados por microscopia eletrônica de transmissão. Técnicas indiretas como medidas de dureza, resistividade elétrica, medidas de permeabilidade são exemplos de técnicas para acompanhamento. A microscopia óptica não tem resolução para detecção de estruturas nanométricas.

**Análise dos resultados e publicações.**

Esta etapa será realizada paralelamente a todas as outras, de modo a suprir a necessidade de interpretação e continuidade dos experimentos.

**Relatório final**

Os resultados e discussões do trabalho, bem como a revisão bibliográfica atualizada e trabalhos publicados serão apresentados no relatório final.

**Disseminação dos resultados****Acompanhamento e avaliação do projeto durante a execução****Meta 1. Determinar as melhores características da onda emissora.****Atividades:**

Revisão bibliográfica. Responsável Aluno. (SET DE 2022 A JAN 2023)

(Resultados esperado: Estado da arte atualizado sobre os temas necessários ao desenvolvimento do projeto).

Preparação das amostras e Tratamento térmico. Responsável Aluno. (SET 2022)

(Resultado esperado: amostras tratadas)

Aplicação de diferentes ondas emissoras. Responsável aluno.(OUT A JAN 2023).

(Resultado esperado: melhor região de trabalho determinada).

Análise dos resultados e publicações. Responsáveis Orientador. (SET A JAN)

(Resultado esperado: Resultados obtidos e discutidos segunda a literatura.)

**Período de realização da Meta 1: Setembro de 2022 a Janeiro de 2023.**

**Meta 2. Acompanhar a formação do constituinte fragilizante.****Atividades:**

Revisão bibliográfica. Responsável aluno. (FEV A ABRIL 2023)

(Resultados esperado: Estado da arte atualizado sobre os temas necessários ao desenvolvimento do projeto).

Acompanhamento da formação do constituinte fragilizante. Responsável aluno. (FEVEREIRO A ABRIL DE 2023).

(Resultado esperado: Gráficos com o a variação do RMS em função do tempo de tratamento).

Análise dos resultados e publicações. Responsáveis aluno e orientador. (FEV A ABR)

(Resultado esperado: Resultados obtidos e discutidos segunda a literatura.)

### **Período de realização da Meta 2: Fevereiro a abril de 2023**

#### **Meta 3. Correlação entre ruído magnético e endurecimento do aço.**

##### **Atividades:**

Revisão bibliográfica. Responsável aluno. (ABRIL A AGOSTO)

(Resultados esperado: Estado da arte atualizado sobre os temas necessários ao desenvolvimento do projeto).

Determinação da dureza. Responsável aluno. (ABRIL)

(Resultado esperado: Ensaio de durezas realizados com planilha de dados obtidos).

Correlação entre ruído e dureza. Responsável aluno e orientador. (ABRIL E MAIO)

(Resultados esperado: Gráficos relacionando a com as medidas de RMS do sinal).

Análise dos resultados e publicações. Responsável Orientador. (ABRIL A AGOSTO)

(Resultado esperado: Resultados obtidos e discutidos segunda a literatura).

Relatório final. Responsável orientador. (MAIO A AGOSTO)

(Resultado esperado: Relatórios com os resultados discutidos segunda a literatura).

### **Período de realização da Meta 3: abril a agosto de 2023.**

#### **Referências bibliográficas**

TAVARES, S. S. M.; NORIS, L. F.; PARDAL, J. M.; DA SILVA M. R. Temper embrittlement of supermartensitic stainless steel and non-destructive inspection by magnetic Barkhausen noise. **Engineering Failure Analysis**, v. 100, p. 322 – 328, 2019.

SILVA, E. M.; PAULA, A. M. R.; LEITE, J. P.; LEITE, J. P.; ANDRADE, L. S. S.; ALBUQUERQUE, V. H. C.; TAVARES, J. M. R. S. Detection of the Magnetic Easy Direction in Steels Using Induced Magnetic Fields. **Metals - Open Access Metallurgy Journal**, v. 6, n. 12, p. 317, 2016a.

SILVA, E. M.; LEITE, J. P.; FRANÇA NETO, F. A.; LEITE, J. P.; FIALHO, W. M. L.; ALBUQUERQUE, V. H. C. ; TAVARES, J. M. R. S. Evaluation of the Magnetic Permeability for the Microstructural Characterization of a Duplex Stainless Steel. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 44, n. 3, p. 1106–1111, 2016b.

EL RAYES, M. M.; EL-DANAF, E. A.; ALMAJID, A. A. Ultrasonic characterization of heat-treatment effects on SAE-1040 and 4340 steels. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 216, p. 188–198, 2014.

HATTESTRAND, M.; LARSSON, P.; CHAI, G.; NILSON, J.; ODQVIST, J. Study of decomposition of ferrite in a duplex stainless steel cold worked and aged at 450–500 °C. **Materials Science and Engineering A**, v. 499, p. 489–492, 2009.

SAHUA, J. K.; KRUPPC, R. N.; GHOSHA, H.; CHRIST, J. Effect of 475 °C embrittlement on the mechanical properties of duplex stainless steel. **Materials Science and Engineering A**, v. 508, p. 1–14, 2009.

HSIEH, Y.; ZHANG, L.; CHUNG, T.; TSAI, Y.; YANG, J.; OHNURA, T.; SUZUKI, T. In-situ transmission electron microscopy investigation of the deformation behavior of spinodal nanostructured  $\delta$ -ferrite in a duplex stainless steel. **Scripta Materialia**, v. 125, p. 44–48, 2016.

SILVA, R.; KUGELMEIER, C. L.; VACCHI, G. S.; MARTINS JUNIOR, C. B.; DAINEZI, I., AFONSO, C. R. M.; MENDES FILHO, A. A., ROVER, C. A. D. A comprehensive study of the pitting corrosion mechanism of lean duplex stainless steel grade 2404 aged at 475 °C. **Corrosion Science**, v. 191, p. 109738, 2021.

XU, X.; WESSMAN, S.; ODQVIST, J.; KING, S. M.; HEDSTROM, P. Nanostructure, microstructure and mechanical properties of duplex stainless steels 25Cr-7 Ni and 22Cr-5Ni (wt.%) aged at 325 °C. **Materials Science & Engineering A**, v. 754, p.512–520, 2019.

HE, Y.; MEHDI, M.; HILINSKI, E. J.; EDRISY, A. Through-process characterization of local anisotropy of Non-oriented electrical steel using magnetic Barkhausen noise. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 453, p. 149–162, 2018.

DUCHARME, B.; GUPTA, B.; HEBRARD, Y.; COUDERT, J. B. Phenomenological model of barkhausen noise under mechanical and magnetic excitations. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 54, n. 11, 2018.

DENG, Y.; LI, Z.; CHEN, J.; QI, X. The effects of the structure characteristics on Magnetic Barkhausen noise in commercial steels. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 451, p. 276–282, 2018.

- QIU, F.; JOVICEVIC-KLUG, M.; TIAN, G.; WU, G.; MCCORD, J. Correlation of magnetic field and stress-induced magnetic domain reorientation with Barkhausen Noise. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. p. 523, 2021.
- TAVARES, S. S. M. et al. Magnetic detection of sigma phase in duplex stainless steel UNS S31803. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 322, n. 17, p. L29–L33, 2010.
- OTÁROLA, T. et al. Embrittlement of a superduplex stainless steel in the range of 550-700 °C. **Engineering Failure Analysis**, v. 12, n. 6 SPEC. ISS., p. 930–941, 2005.
- SAHU, J. K., KRUPP, U., GHOSH, R. N., CHRIST, H. J., “Effect of 475°C embrittlement on the mechanical properties of duplex stainless steel”, *Mater. Sci. and Engineering A* 508 (2009), pp. 1-14, 2009.
- HIZLI, H.; GUR, C. H. Applicability of the Magnetic Barkhausen Noise Method for Nondestructive Measurement of Residual Stresses in the Carburized and Tempered 19CrNi5H Steels. **Research in Nondestructive Evaluation**, v. 29, n. 4 , p. 221–236, 2018.
- DENG, Y.; LI, Z.; CHEN, J.; QI, X. The effects of the structure characteristics on Magnetic Barkhausen noise in commercial steels,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 451, p. 276–282, 2018.
- STUPAKOV, A.; PEREVERTON, A.; NESLUSAN, M. Reading depth of the magnetic Barkhausen noise. I. One-phase semi-hard ribbons. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 513, 2020.
- FRANCO, F. A.; PADOVESE, L. R. Non-destructive scanning for applied stress by the continuous magnetic Barkhausen noise method. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 446, p. 231–238, 2018.

## 6 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Meta	Atividade	Especificação	Indicador(es) qualitativo(s)	Indicador físico		Período de execução	
				Unid.de Medida	Qtd.	Início	Término
1	1	<b>Revisão bibliográfica.</b> Revisão bibliográfica do período realizada.	<b>Estado da arte atualizado sobre os temas necessários ao desenvolvimento do projeto</b>		1	Previsto para 01/09/2022   <b>Iniciado em 01/09/2022</b>	Previsto para 31/01/2023   <b>Concluído em 31/01/2023</b>
1	2	<b>Preparação das amostras e Tratamento térmico</b> Amostras tratadas.	<b>Amostras tratadas.</b>		1	Previsto para 01/09/2022   <b>Iniciado em 01/09/2022</b>	Previsto para 30/09/2022   <b>Concluído em 30/09/2022</b>
1	3	<b>Aplicação de diferentes ondas emissoras</b> Melhor região de onda emissora determinada.	<b>Melhor região de trabalho determinada</b>		1	Previsto para 01/10/2022   <b>Iniciado em 01/10/2022</b>	Previsto para 31/01/2023   <b>Concluído em 31/01/2023</b>
1	4	<b>Análise dos resultados e publicações</b> Resultados analisados com base da literatura.	<b>Resultados obtidos e discutidos segunda a literatura.</b>		1	Previsto para 01/09/2022   <b>Iniciado em 01/09/2022</b>	Previsto para 31/01/2023   <b>Concluído em 31/01/2023</b>
2	1	<b>Revisão bibliográfica</b> Estado da arte atualizado.	<b>Estado da arte atualizado sobre os temas necessários ao desenvolvimento do projeto</b>		1	Previsto para 01/02/2023   <b>Iniciado em 01/02/2023</b>	Previsto para 30/04/2023   <b>Concluído em 30/04/2023</b>
2	2	<b>Acompanhamento da formação do constituinte fragilizante</b> Gráficos do acompanhamento do constituinte fragilizante.	<b>Gráficos com o a variação do RMS em função do tempo de tratamento.</b>		1	Previsto para 01/02/2023   <b>Iniciado em 01/02/2023</b>	Previsto para 30/04/2023   <b>Concluído em 30/04/2023</b>
2	3	<b>Análise dos resultados e publicações</b> Resultados analisados.	<b>Resultados obtidos e discutidos segunda a literatura.</b>		1	Previsto para 01/02/2023   <b>Iniciado em 01/02/2023</b>	Previsto para 30/04/2023   <b>Concluído em 30/04/2023</b>
3	1	<b>Revisão bibliográfica</b> Revisão atualizada	<b>Estado da arte atualizado sobre os temas necessários ao desenvolvimento do projeto</b>		0	Previsto para 01/04/2023   <b>Iniciado em 01/04/2023</b>	Previsto para 31/08/2023   <b>Concluído em 31/08/2023</b>
3	2	<b>Determinação da dureza</b> Medidas realizadas.	<b>Ensaio de durezas realizados com planilha de dados obtidos.</b>		1	Previsto para 01/04/2023   <b>Iniciado em 01/04/2023</b>	Previsto para 30/04/2023   <b>Concluído em 30/04/2023</b>

Meta	Atividade	Especificação	Indicador(es) qualitativo(s)	Indicador físico		Período de execução	
				Unid.de Medida	Qtd.	Início	Término
3	3	<b>Correlação entre ruído e dureza</b> Gráfico de correlação adicionado no relatório final	<b>Gráficos relacionando a com as medidas de RMS do sinal.</b>		1	Previsto para 01/04/2023   <b>Iniciado em 01/04/2023</b>	Previsto para 31/05/2023   <b>Concluído em 31/05/2023</b>
3	4	<b>Análise dos resultados e publicações.</b> Trabalho aceito no congresso internacional de engenharia mecânica	<b>Resultados obtidos e discutidos segunda a literatura</b>		1	Previsto para 01/04/2023   <b>Iniciado em 01/04/2023</b>	Previsto para 31/08/2023   <b>Concluído em 31/08/2023</b>
3	5	<b>Relatório final</b> Relatório final anexado	<b>Relatórios com os resultados discutidos segunda a literatura,</b>		1	Previsto para 01/05/2023   <b>Iniciado em 01/05/2023</b>	Previsto para 31/08/2023   <b>Concluído em 31/08/2023</b>

## 7 - PLANO DE APLICAÇÃO

Classificação da despesa	Especificação	PROEX (R\$)	DIGAE (R\$)	Campus proponente (R\$)	Total (R\$)
339018	Auxílio Financeiro a Estudantes	0	0	0	0
<b>TOTAIS</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## 8 - CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

Despesa	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
339018 - Auxílio Financeiro a Estudantes	400.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	400.00	400.00	400.00	400.00

## Anexo A

## MEMÓRIA DE CÁLCULO

CLASSIFICAÇÃO DE DESPESA	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	ATIVO
339018 - Auxílio Financeiro a Estudantes	Bolsa de iniciação a pesquisa	400	12	400.00	4800.00	Sim
<b>TOTAL GERAL</b>					<b>4.800,00</b>	