



Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica - UAEE

Marianne Bianca de Melo Bezerra

**Relatório Estágio Supervisionado:
Laboratório Embeddeb**

Campina Grande, Brasil
28 de abril de 2021

Marianne Bianca de Melo Bezerra

Relatório Estágio Supervisionado: Laboratório Embeddeb

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a conclusão do curso em Engenharia Elétrica.

Áreas de Concentração: Instrumentação Eletrônica

Orientador: Jaidilson Jó Silva, D.Sc.

Campina Grande, Brasil

28 de abril de 2021

Marianne Bianca de Melo Bezerra

Relatório Estágio Supervisionado: Laboratório Embeddeb

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a conclusão do curso em Engenharia Elétrica.

Aprovado em:

Jaidilson Jó Silva, D.Sc.
Orientador

Saulo Oliveira Dornellas Luiz, D.Sc.
Convidado

Campina Grande, Brasil
28 de abril de 2021

*Dedico este trabalho à minha, Maria Melo, a paiho, Eraldo César (in memoriam), às
minhas irmãs, Raila Natasha e Beatriz Emanuely.*

Agradecimentos

Agradeço à Deus e à minha família por tudo.

Aos meus amigos e amigas que foram de grande importância durante toda minha graduação. Em especial aos que, em meio ao caos que estamos vivendo, permaneceram me apoiando, incentivando e oferecendo afeto, vocês foram luz durante esse último ano. À Wis que, além de uma amiga especial, me acompanhou durante a realização do estágio.

Agradeço ao meu professor e orientador Jaidilson Jó pelo apoio, disponibilidade e incentivo que me deu durante os últimos anos de graduação.

*"Lança o barco contra o mar
venha o vento que houver
e se virar, nada."
O velho e o mar - Rubel*

Lista de ilustrações

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Fotografia do Laboratório Embedded. | 2 |
| Figura 2 – Curva de histerese e temperatura de transição para LMF. | 4 |
| Figura 3 – Extensômetros de resistência elétrica. | 4 |
| Figura 4 – Representação da ponte de <i>Wheatstone</i> | 5 |
| Figura 5 – Representação da ponte de <i>Wheatstone</i> utilizada no projeto em questão. | 5 |
| Figura 6 – Representação da estrutura física da plataforma experimental. | 6 |
| Figura 7 – Foto do circuito eletrônico da plataforma experimental. | 6 |
| Figura 8 – Diagrama de blocos do sistema de aquisição dos dados. | 7 |
| Figura 9 – Diagrama do circuito de condicionamento e de ajuste de ganho da tensão medida pela ponte de <i>Wheatstone</i> | 8 |
| Figura 10 – Diagrama do circuito do <i>driver</i> de corrente. | 8 |
| Figura 11 – Diagrama do circuito de medição de tensão da LMF. | 9 |
| Figura 12 – Imagem da interface Humano-Máquina. | 10 |
| Figura 13 – Relação das tensões na saída do <i>AmpOp</i> e os valores medidos diretamente na liga com o valor do <i>duty cycle</i> | 12 |
| Figura 14 – Simulação do circuito de medição de tensão. | 13 |
| Figura 15 – Curva de Histerese da fase Austenita. | 14 |
| Figura 16 – Curva de Histerese da fase Martensita. | 15 |
| Figura 17 – Curva do aquecimento da fração da fase austenita | 15 |
| Figura 18 – Curva do resfriamento da fração da fase austenita | 16 |
| Figura 19 – Curva do aquecimento da fração da fase austenita | 16 |
| Figura 20 – Curva do resfriamento da fração da fase martensita | 17 |
| Figura 21 – Curva de deslocamento x Corrente. | 18 |
| Figura 22 – Curva de deslocamento x Corrente. | 18 |

Lista de tabelas

| | |
|--------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Valores medidos | 11 |
|--------------------------------------|----|

Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|----------|---|
| DAQ | Data Aquisition |
| Emdedded | Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva |
| EMF | Efeito de Memória de Forma |
| LMF | Liga de Memória de Forma |
| AmpOp | Amplificador Operacional |
| GF | Fator de Medida (Gauge Factor) |
| NI | National Instruments |
| UFCG | Universidade Federal de Campina Grande |

Sumário

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Laboratório Embedded | 1 |
| 1.2 | Objetivos | 2 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 3 |
| 2.1 | Liga de Memória de Forma | 3 |
| 2.2 | Medição de Deformação | 4 |
| 2.3 | Plataforma Experimental | 5 |
| 2.3.1 | Sistema Mecânico | 6 |
| 2.3.2 | Sistema Eletrônico | 6 |
| 2.3.3 | Interface Humano-Máquina | 9 |
| 3 | ATIVIDADES DESENVOLVIDAS | 11 |
| 3.1 | Inspeção dos circuitos | 11 |
| 3.2 | Ensaio Experimentais | 13 |
| 3.2.1 | Resistência variável | 13 |
| 3.2.1.1 | Levantamento da curva de histerese | 14 |
| 3.2.1.2 | Aquecimento e resfriamento | 15 |
| 3.2.2 | Característica deslocamento x corrente | 17 |
| 3.2.3 | Relação entre Resistência Fixa e Resistência Variável | 18 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 20 |
| | REFERÊNCIAS | 21 |

1 Introdução

A disciplina Estágio Supervisionado tem como objetivo proporcionar a(o) graduanda(o) em Engenharia Elétrica experiências práticas que auxiliem no desenvolvimento de suas habilidades profissionais.

Com as atividades desenvolvidas durante o estágio, espera-se que o aluno solidifique os conhecimentos práticos e teóricos que foram aprendidos durante o período da graduação. E assim, ao término do curso, torne-se capacitado para exercer a profissão com competência e as habilidades requeridas para a atuação.

Sendo assim, neste relatório são descritas as atividades realizadas pela graduanda Marianne Bianca de Melo Bezerra durante o estágio supervisionado de 180 horas no Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva (Embedded). O estágio foi realizado entre o período de 22 de fevereiro e 09 de abril de 2021, sob orientação do professor Jaidilson Jó da Silva e supervisão do professor George Acioli Junior. As atividades desenvolvidas englobam implementação de componente de *hardware* e testes de integração de *software* e *hardware*.

O estágio foi realizado como apoio à atividade de pós-graduação da aluna de mestrado Wislayne Dayanne Pereira da Silva, na área Processamento da Informação, com a proposta de dissertação intitulada de Caracterização e Modelagem de um Atuador de Liga de Memória de Forma, realizada sob orientação dos professores Ângelo Perkusich e Jaidilson Jó da Silva.

1.1 Laboratório Embedded

O laboratório Embedded desde 2005 integra o grupo de laboratórios do Centro de Engenharia Elétrica e Informática (CEEI) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no Campus Campina Grande na Paraíba. Na figura 1 é apresentada a estrutura física do laboratório.



Figura 1 – Fotografia do Laboratório Embedded.

1.2 Objetivos

O objetivo neste estágio é auxiliar uma aluna da pós-graduação em Engenharia Elétrica no desenvolvimento das atividades práticas, tendo foco principal na parte de instrumentação eletrônica. As principais atividades são listadas a seguir:

- Estudar sobre Liga de Memória de Forma;
- Inspeccionar os circuitos eletrônicos utilizados para medição;
- Realizar ensaios experimentais e aquisição dos dados.

2 Fundamentação Teórica

As atividades foram desenvolvidas utilizando o atuador Liga de Memória de Forma, sendo assim, fez-se necessário um estudo teórico sobre os principais componentes utilizados no desenvolvimento da pesquisa do mestrado na qual a estagiaria trabalhou.

2.1 Liga de Memória de Forma

As Ligas de Memória de Forma (LMF) são constituídas por materiais metálicos que tem a capacidade de recuperar a forma original, quando submetidos a variações de temperatura, após sofrerem deformações. Essa característica é denominada de Efeito de Memória de Forma (EMF) (SILVA, 2019).

O EMF pode ser apresentado no material na forma: caminho simples (*one way*), no qual o material recupera sua forma original ao ser submetido ao aumento da temperatura, porém, se for submetido à diminuição da temperatura, ele não consegue recuperar a forma original de forma espontânea, precisando de uma variação mecânica para deformá-lo novamente; ou pelo caminho duplo (*two way*), no qual o material tem a capacidade de deformar e recuperar a forma original através da variação da temperatura, aquecendo e resfriando, respectivamente (SILVA, 2019).

Sob o EMF, as ligas possuem duas fases: a austenita que apresenta a forma cristalina cúbica ou corpo centrado em altas temperaturas e a martensita que apresenta uma estrutura tetragonal, ortorrômbica ou monoclinica em baixas temperaturas. A transformação de uma fase para outra é denominada direta ou inversa. Da fase austenita para a martensita, ao resfriar a LMF na ausência de carga aplicada, é denominada transformação direta e, na forma reversa, da fase martensita para austenita, ao aquecer a LMF, é denominada transformação inversa (LAGOUDAS, 2008).

Na figura 2 é apresentada a ilustração das transformações das fases por um laço de histerese. A transformação se inicia na fase austenita com a temperatura inicial de martensita (M_s), sendo concluída na temperatura final de martensita (M_f), após esta variação de temperatura, a liga estará totalmente transformada na fase martensita desorientada (transformação direta). Aquecendo a liga da temperatura inicial de austenita (A_s) à temperatura final de austenita (A_f), a transformação ocorre da fase martensita para austenita (transformação inversa) (SILVA, 2019).

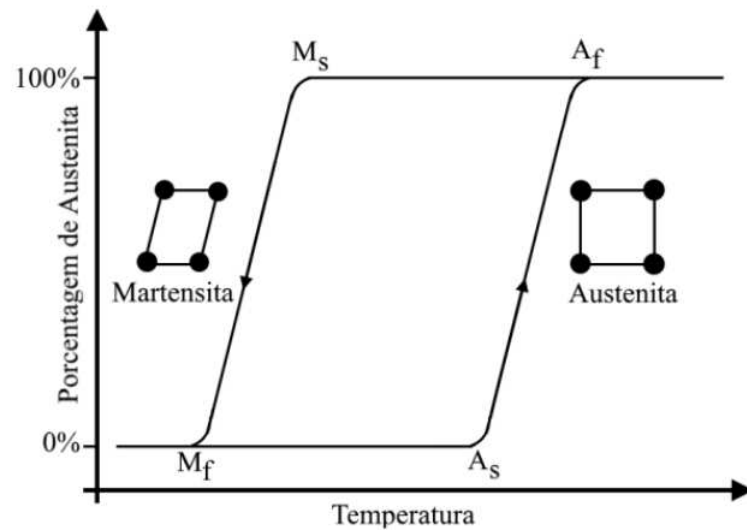


Figura 2 – Curva de histerese e temperatura de transição para LMF.

2.2 Medição de Deformação

A deformação é uma grandeza física que relaciona uma variação do comprimento do material (ΔL) ao comprimento original (L) (Eq. 2.1). Podendo ser denominada de tração ou compressão, deformação positiva e negativa, respectivamente.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.1)$$

Os extensômetros de resistência elétrica (Fig. 3) são dispositivos eletrônicos que permitem medir deformação física de um material, variando o valor da resistência elétrica quando sofrem deformação. Eles são constituídos de uma grade de laminais metálicas disposta em uma camada adesiva que deve ser fixada na superfície que se deseja medir a deformação (SILVA, 2019).

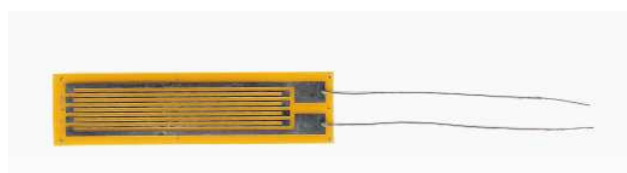


Figura 3 – Extensômetros de resistência elétrica.

A medição da resistência dos extensômetros é realizada utilizando uma ponte de *Wheatstone* (Fig. 4), na qual, pelo menos um dos braços resistivos é composto por um extensômetro.

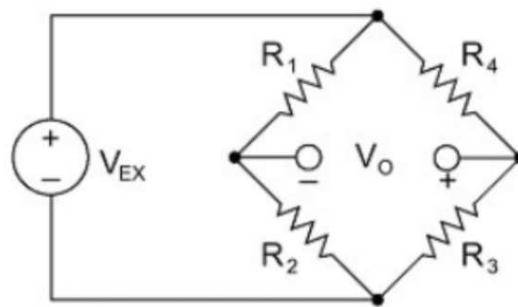


Figura 4 – Representação da ponte de *Wheatstone*.

Aplicando as leis da física e análise de circuitos, tem-se que a deformação (ϵ) será proporcional á tensão de saída (V_0) (Eq. 2.2)

$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \cdot V_{ex} \quad (2.2)$$

No projeto em estudo, foram utilizados dois extensômetros nos braços resistivos em oposição, conforme apresentado na figura 5.

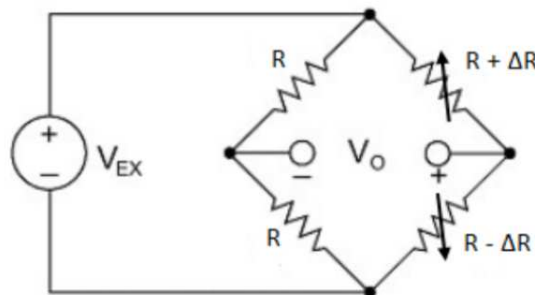


Figura 5 – Representação da ponte de *Wheatstone* utilizada no projeto em questão.

Sendo assim, a tensão de saída é dado por:

$$V_0 = \frac{V_{EX}}{2} \cdot \left(\frac{\Delta}{R} \right) \quad (2.3)$$

2.3 Plataforma Experimental

A plataforma experimental foi desenvolvida por Lima (2008) e otimizada por Pequeno (2012), Campos (2018), Barroso (2019) e Silva (2019). Sendo composta por o sistema mecânico, sistema eletrônico e a interface humano-máquina. Com ela é possível realizar a análise do comportamento da deformação e a resistência do atuador LMF, através da variação da corrente elétrica.

2.3.1 Sistema Mecânico

O sistema mecânico é composto por uma estrutura metálica, apresentada na figura 6, na qual o fio da LMF é conectado na parte superior fixa até a extremidade livre da viga. Os extensômetros são fixados na extremidade da viga, na parte superior e inferior. Dessa forma, a deformação do fio é refletida na viga e medida pelos extensômetros.

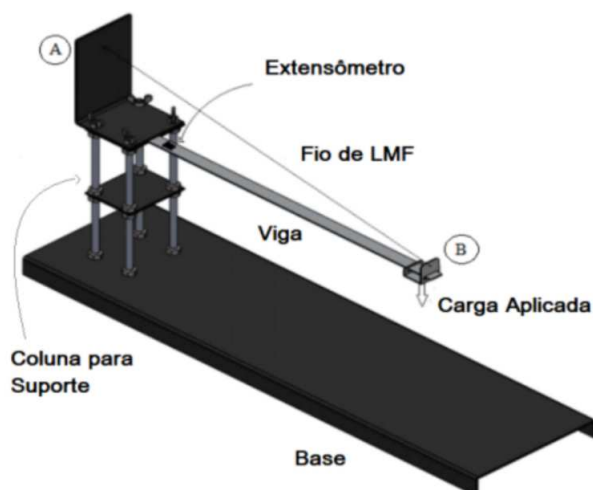


Figura 6 – Representação da estrutura física da plataforma experimental.

2.3.2 Sistema Eletrônico

O sistema eletrônico (Fig. 7) é subdividido em subsistemas: o circuito para medição da deformação utilizando os extensômetros, o atuador de LMF, o sistema de aquisição de dados utilizando o NI DAQ USB-6212 da *National Instruments*, os circuitos de condicionamento e de ajuste de ganho, o *driver* de acionamento do atuador e circuito de medição da tensão do atuador.

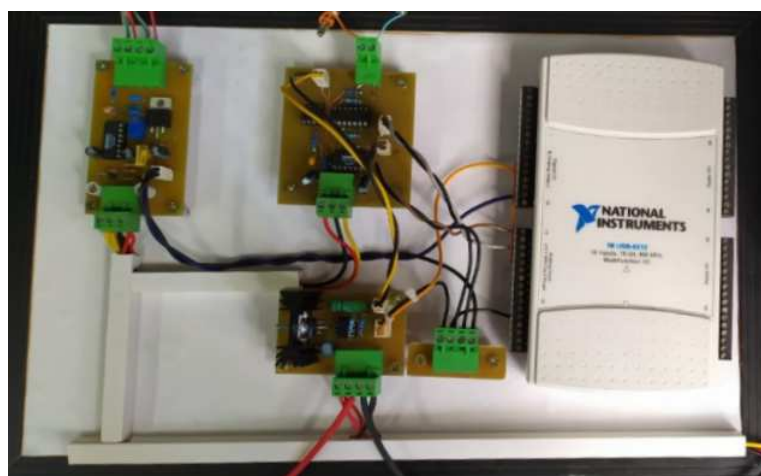


Figura 7 – Foto do circuito eletrônico da plataforma experimental.

Os extensômetros são fixados na extremidade da viga, um na parte superior e outra na parte inferior da mesma extremidade. Foram utilizados os extensômetros do modelo PA-06-125-BA-350-LEN da Excel Sensores, do tipo colável e possui resistência de 350Ω e fator de medida de 2,1. Foi utilizado o circuito meia ponte de *Wheatstone* para possibilitar a leitura da deformação, conforme apresentado na seção 2.2.

O atuador LMF utilizado é uma liga de NiTiNOL do tipo FLEXINOL TCF1140, fabricado pela Daynallo, Inc com 789mm de comprimento. Possui o efeito de memória de forma do tipo two-way e foi treinado termomecanicamente por Campos (2018).

O sistema de aquisição de dados é gerenciado pelo NI DAQ USB-6212 integrado com o ambiente LabVIEW para realizar a leitura e o processamento dos dados, bem como o acionamento do atuador. Na figura 8 é apresentado o diagrama de blocos referente a dinâmica da aquisição de dados do sistema.

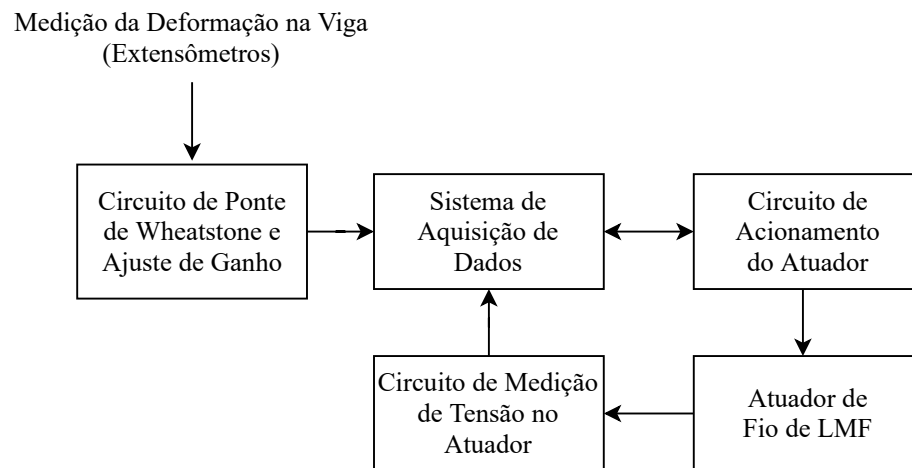


Figura 8 – Diagrama de blocos do sistema de aquisição dos dados.

O circuito de condicionamento e de ajuste de ganho para a medição da tensão de saída do circuito da ponte de *Wheatstone* foi implementado utilizando um amplificador de instrumentação INA101HP com ganho fixo de $931V/V$ para medir e amplificar a tensão da ponte e um filtro RC para eliminar oscilação e variação no valor da saída adquirido pelo DAQ, conforme apresentado na figura 9 (SILVA, 2019).

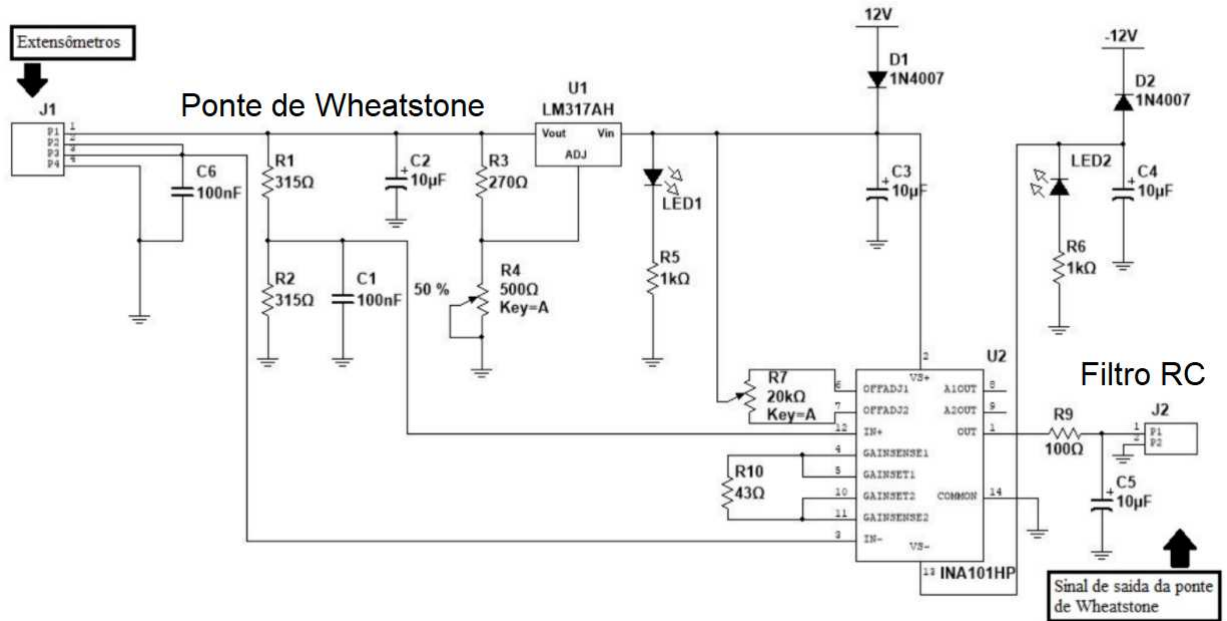


Figura 9 – Diagrama do circuito de condicionamento e de ajuste de ganho da tensão medida pela ponte de Wheatstone.

O atuador é acionado por um *driver* de corrente no qual o valor da saída é controlado pelo sinal DC proveniente do NI DAQ USB 6212, o diagrama do circuito é apresentado na figura 10 (SILVA, 2019).

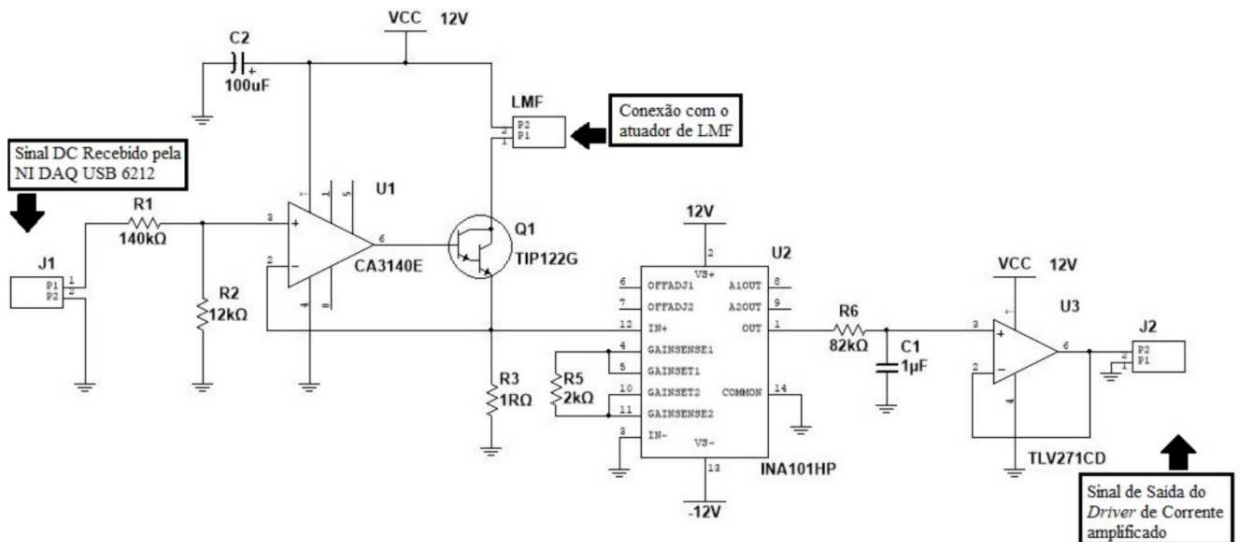


Figura 10 – Diagrama do circuito do *driver* de corrente.

Por fim, para medir a tensão no atuador de LMF foi utilizado um circuito de medição diferencial no qual o amplificador diferencial apresenta o ganho de 1/3, conforme apresentado na figura 11 (SILVA, 2019).

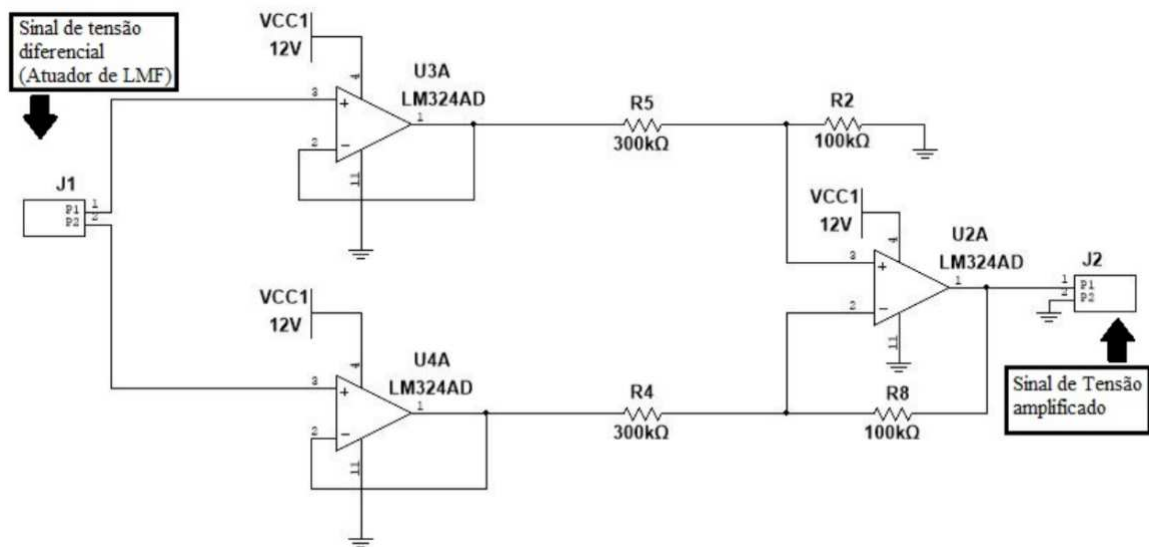


Figura 11 – Diagrama do circuito de medição de tensão da LMF.

2.3.3 Interface Humano-Máquina

A interface Humano-Máquina foi desenvolvida por Silva(2019) utilizando o *software* LabVIEW. Ela possibilita a interação entre o usuário e o sistema eletrônico, bem como a visualização dos dados durante os experimentos.

Na figura 12 é possível visualizar o painel frontal implementado no LabVIEW. As variáveis de entrada, fornecidas pelo usuário, são o Ciclo de Trabalho(%) e a Temperatura Ambiente(°C). Tendo essas informações, o *software* irá processar os dados adquiridos pelo DAQ e fornecer as informações sobre o experimento, gráfica e numericamente, para o usuário. Os dados dos experimentos são salvos em um arquivo .txt quando o usuário aciona o botão Gravar medidas.

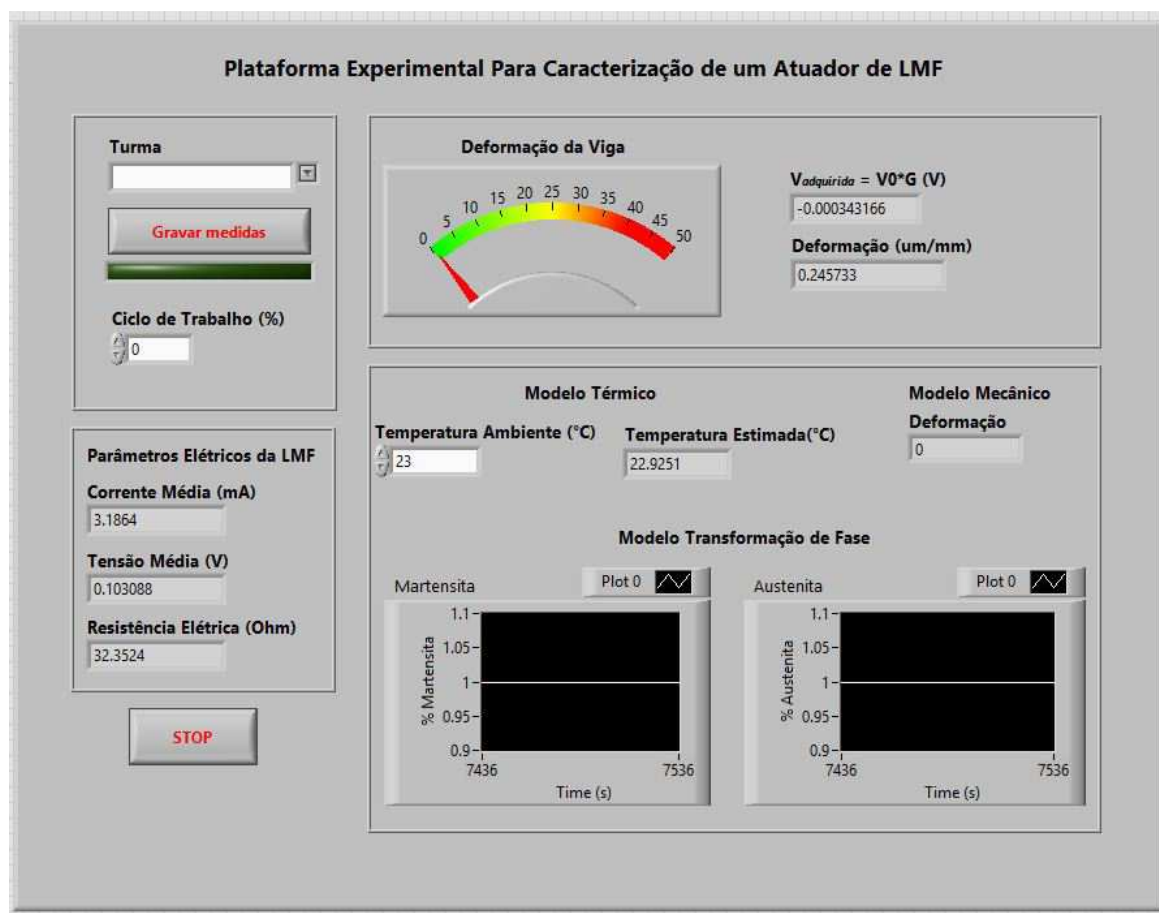


Figura 12 – Imagem da interface Humano-Máquina.

Neste capítulo foram apresentados os conceitos utilizados como base teórica para o entendimento dos experimentos e a plataforma experimental na qual foram realizadas as atividades do estágio. No capítulo 3 são apresentadas as atividades desenvolvidas.

3 Atividades Desenvolvidas

A estagiaria foi designada a realizar atividades de apoio ao desenvolvimento de um projeto de pós-graduação. Sendo elas a inspeção de circuitos, realização de ensaios e levantamento das curvas das características do atuador.

Como o desenvolvimento do estágio foi focado na pesquisa com o atuador da liga de memória de forma, fez-se necessário um estudo teórico sobre as características desse componente. Essa análise foi apresentada na seção Fundamentação Teórica.

3.1 Inspeção dos circuitos

Para realizar os ensaios, foi necessário antes inspecionar o circuito de medição de tensão no atuador de tensão no atuador, pois foram relatadas oscilações nas aquisições realizadas pelo DAQ.

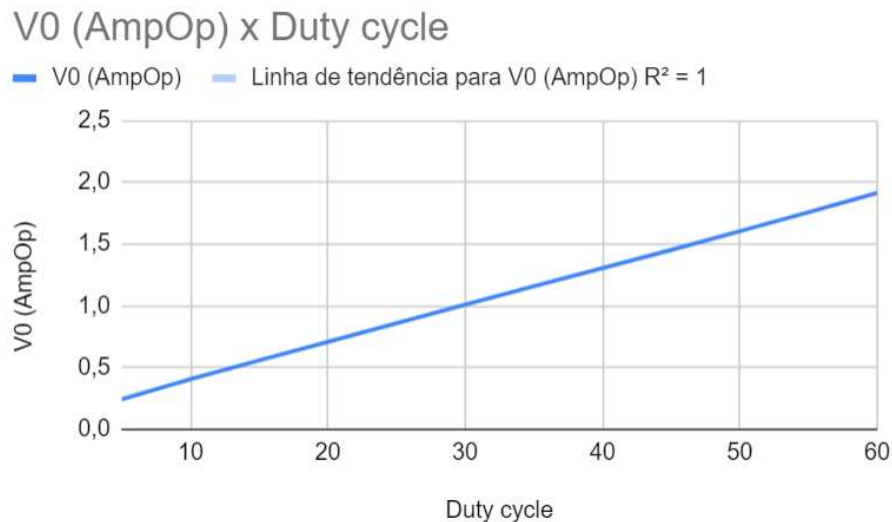
Na tabela 1 são apresentados os valores de tensão medidos ($V0_{(med)}$), tensão adquirida pelo DAQ ($V0_{(DAQ)}$) e tensão medida na saída do amplificador operacional ($V0_{(AmpOp)}$). Os valores medidos foram obtidos utilizando um multímetro na forma de medição de tensão diferencial diretamente na saída da liga, levando em consideração que os valores da saída do circuito tem um ganho de 3. Os valores adquiridos pelo DAQ são medidos utilizando a interface no labVIEW e os valores da saída do amplificador operacional também foram medidos utilizando o multímetro citado anteriormente.

| Duty Cycle | $V0_{(med)}$ | $V0_{(DAQ)}$ | $V0_{(AmpOp)}$ | Variação AmpOp | Variação DAQ |
|------------|--------------|--------------|----------------|----------------|--------------|
| 5% | 0,1933 | 0,230 | 0,220 | 0,027 | 0,037 |
| 10% | 0,3566 | 0,389 | 0,380 | 0,023 | 0,032 |
| 15% | 0,5200 | 0,537 | 0,530 | 0,010 | 0,017 |
| 20% | 0,6866 | 0,685 | 0,670 | 0,017 | 0,002 |
| 25% | 0,7566 | 0,833 | 0,820 | 0,063 | 0,076 |
| 30% | 1,0130 | 0,985 | 0,970 | 0,043 | 0,028 |
| 35% | 1,1966 | 1,141 | 1,130 | 0,067 | 0,056 |
| 40% | 1,1833 | 1,304 | 1,290 | 0,107 | 0,121 |
| 45% | 1,3600 | 1,471 | 1,460 | 0,100 | 0,111 |
| 50% | 1,5160 | 1,641 | 1,630 | 0,114 | 0,125 |
| 55% | 1,6833 | 1,806 | 1,790 | 0,107 | 0,123 |
| 60% | 2,0166 | 1,976 | 1,960 | 0,057 | 0,041 |

Tabela 1 – Valores medidos

Analisando esses valores, constata-se uma pequena oscilação nos valores medidos na saída do circuito ($V0_{AmpOp}$) e o valor que o DAQ recebe ($V0_{DAQ}$), sendo o valor

medido pelo AmpOp mais próximo do comportamento esperado (modelo linear), conforme apresentado no gráfico na figura 13.



(a) Tensão na saída do amplificador operacional.



(b) Tensão medida na liga.

Figura 13 – Relação das tensões na saída do AmpOp e os valores medidos diretamente na liga com o valor do *duty cycle*.

A interferência nas medições foi detectada, em um ponto de ligação direta, entre a saída do AmpOp e a entrada do DAQ. Para solucionar esse problema, foi proposto como a inclusão de um filtro RC ($R = 82K$ Ohms e $C = 1\mu F$) e um *buffer*. Pois o filtro RC (filtro passa baixas) é utilizado para evitar oscilação na medição provenientes das possíveis parcelas de frequências elevadas, e o *buffer* é utilizado para isolar a tensão da saída do filtro com a entrada analógica do DAQ, assim terá o sinal de saída aproximadamente o mesmo da entrada, garantindo poucas perdas e ganho unitário. (MALVINO e BATES, 2016).

A simulação do circuito proposto é apresentada na figura 14. Foram utilizadas duas fontes de tensão de entrada para simular o valor da tensão proveniente da liga.

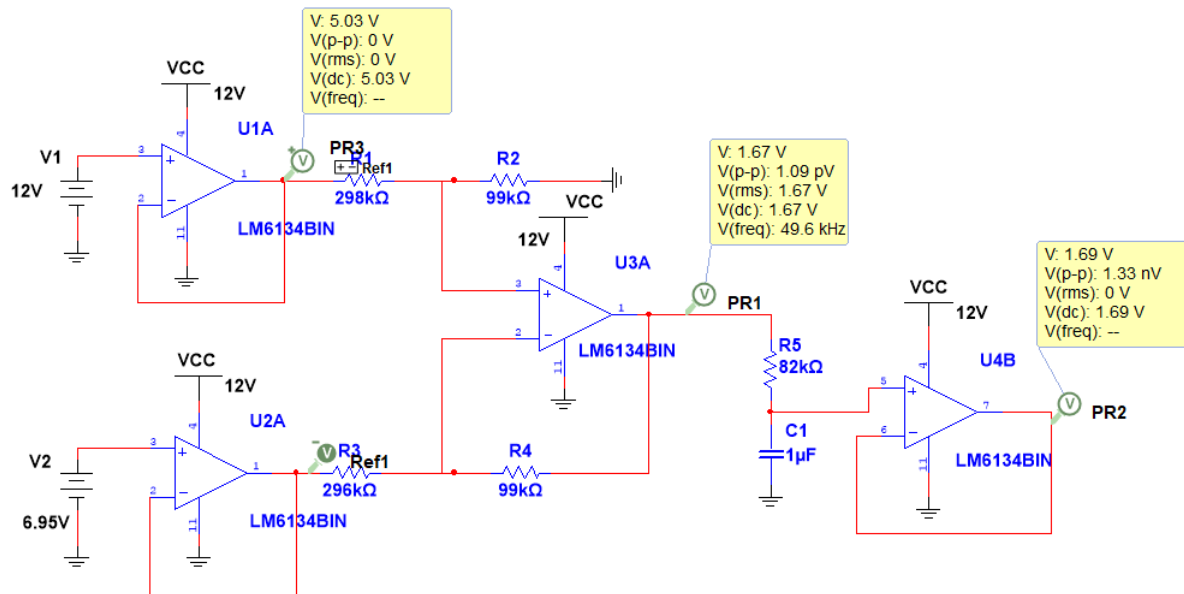


Figura 14 – Simulação do circuito de medição de tensão.

3.2 Ensaios Experimentais

A realização dos ensaios para o levantamento dos dados que serão utilizados na caracterização e modelagem da Liga de Memória de Forma foi uma das atividades designada para a estagiária. Com a finalidade de obter os dados referentes às principais características da Liga, como a corrente, tensão, deslocamento e as frações das fases austenita e martensita.

Os ensaios foram realizados utilizando a plataforma experimental e a interface humano-máquina desenvolvida pela mestranda. Os dados obtidos foram tratados utilizando o software *Matlab*, conforme apresentado a seguir.

3.2.1 Resistência variável

O ensaio experimental é realizado considerando o valor da resistência da liga como uma grandeza física variável. Para isso, no código do LabVIEW, calcula-se o valor da resistência da liga utilizando a Lei de Ohm com os valores de tensão e corrente medidos pelos circuitos durante o experimento.

O procedimento experimental foi realizado levando em consideração os valores de temperatura de transição da liga: temperatura inicial de austenita (A_s) é $55,4^{\circ}\text{C}$, temperatura final de austenita (A_f) é $66,8^{\circ}\text{C}$, temperatura inicial de martensita (M_s)

é 64,1°C e temperatura final de martensita (Mf) é 41,8°C, conforme apresentadas por BARROSO (2019).

O ensaio foi realizado da seguinte forma:

- Iniciou-se com a energização dos circuitos de medição e a execução da interface humano-máquina;
- variando o *duty cycle* em passos de 5% para aquecer a liga até 64,1°C;
- a cada passo do *duty cycle*, salvou-se os dados das medições;
- ao atingir 64,1°C, resfriou-se a liga, diminuindo o *duty cycle* em passos de 5
- ao atingir 41,8°C, aquecer a liga até 66,8°C
- finalizou o ensaio e desligou-se o sistema.

3.2.1.1 Levantamento da curva de histerese

O levantamento das curvas de histerese foi realizado utilizando os dados de temperatura e as frações das fases austenita e martensita para o aquecimento e resfriamento da liga. As curvas são apresentadas nas figuras 15 e 16, respectivamente.

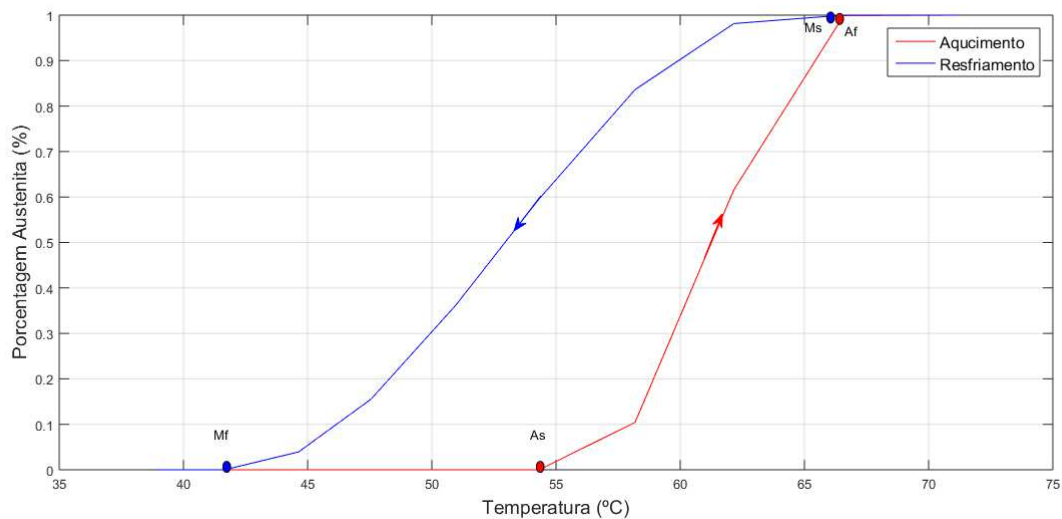


Figura 15 – Curva de Histerese da fase Austenita.

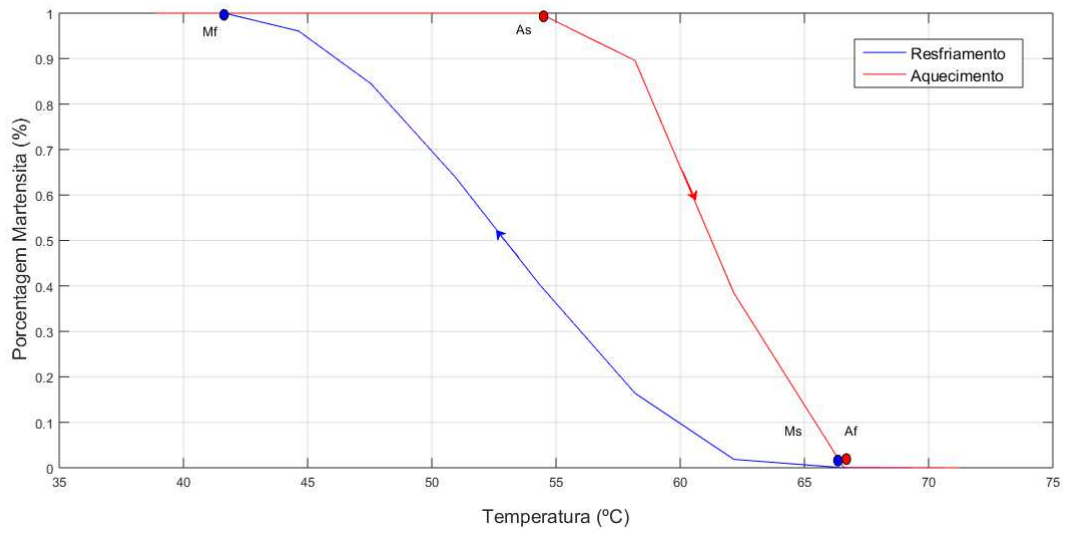


Figura 16 – Curva de Histerese da fase Martensita.

3.2.1.2 Aquecimento e resfriamento

Com os dados obtidos, foram levantadas as curvas de aquecimento e resfriamento para as frações das fases separadamente (Fig. 17, 18, 19 e 20).

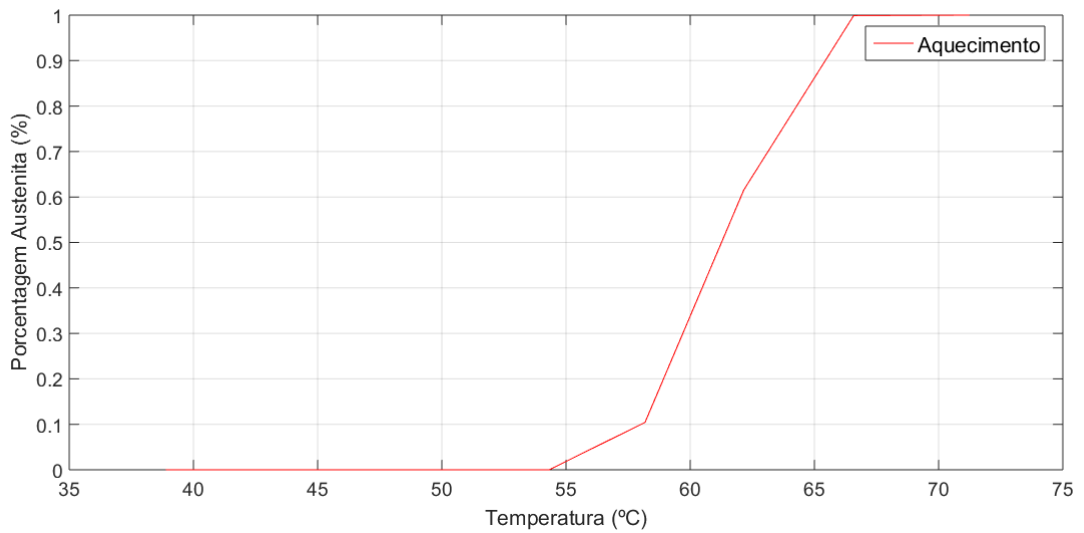


Figura 17 – Curva do aquecimento da fração da fase austenita

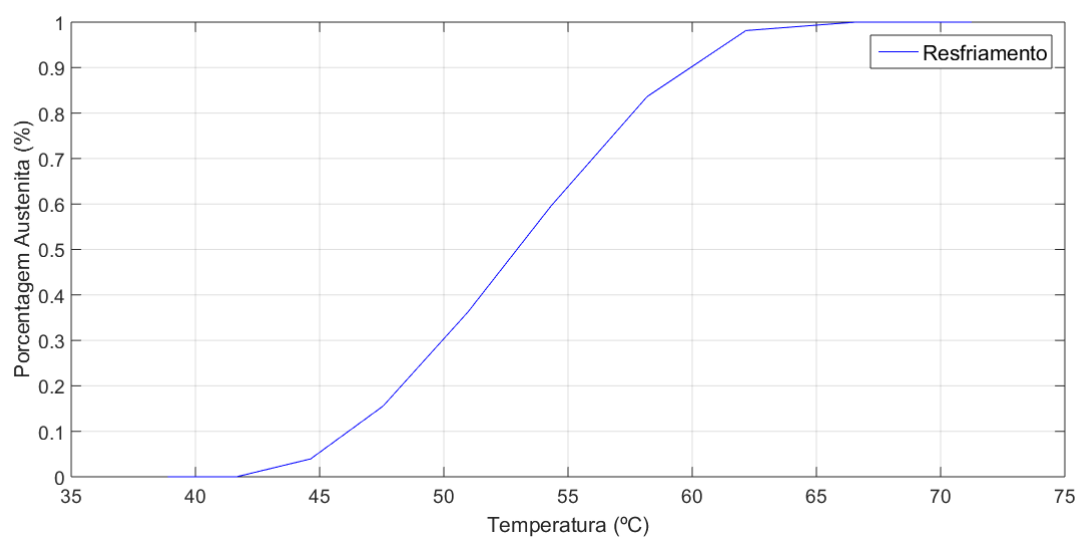


Figura 18 – Curva do resfriamento da fração da fase austenita

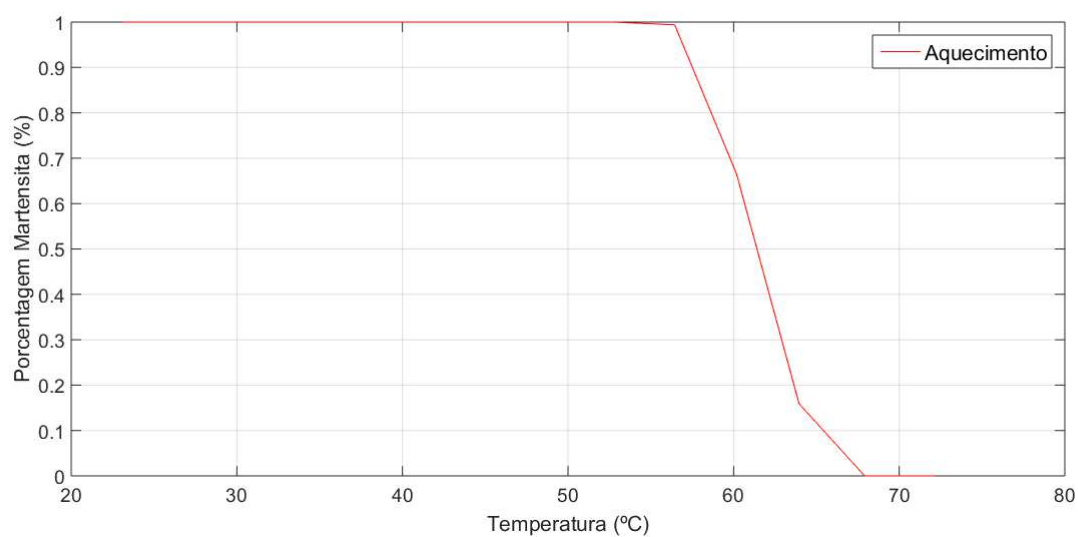


Figura 19 – Curva do aquecimento da fração da fase austenita

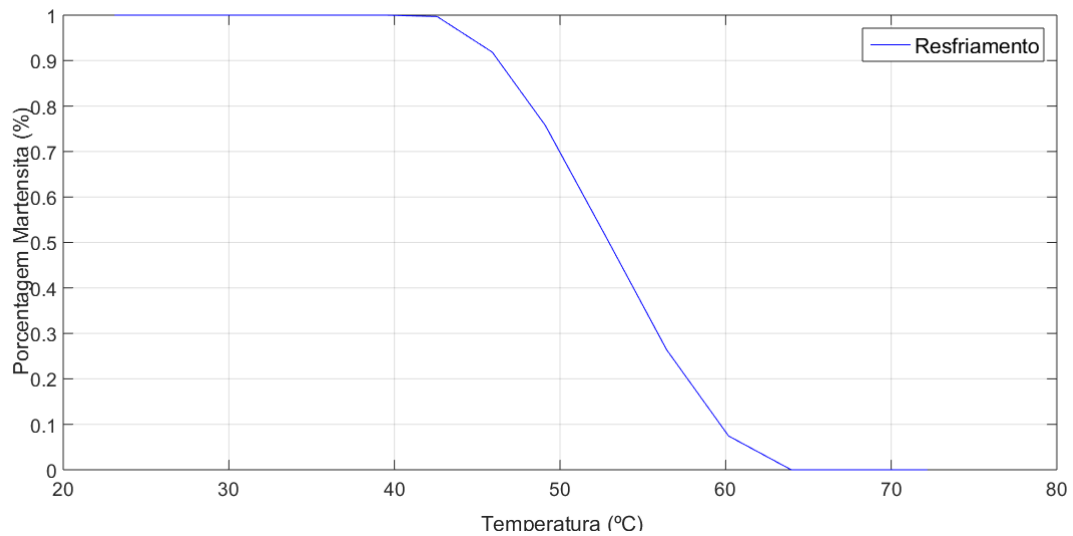


Figura 20 – Curva do resfriamento da fração da fase martensita

3.2.2 Característica deslocamento x corrente

A característica deslocamento da LMF é relacionada ao valor de deformação medido pelos extensômetros. A relação entre eles é apresentada na equação 3.1, na qual o valor 789 refere-se ao comprimento da liga utilizada na plataforma.

$$Deslocamento = 789 - \left(789 \cdot \frac{\epsilon}{100}\right) \quad (3.1)$$

O ensaio experimental para a obtenção dos dados referentes ao deslocamento da LMF em relação à corrente foi realizado da seguinte forma:

- Iniciou-se com a energização dos circuitos de medição e a execução da interface humano-máquina;
- variou-se o *duty cycle* em passos de 5%, iniciando em 0% até 100%;
- a cada passo do *duty cycle*, salvou-se os dados das medições;
- ao completar 100%, repetiu-se o processo inverso, ou seja, em passos de 5%, saiu de 100% até 0%;
- ao finalizar o ciclo, chegando em 0%, finalizou-se o ensaio e desligou-se o sistema.

Com os dados obtidos referentes à deformação, utilizando o software *Matlab*, obteve-se o comportamento do deslocamento da LMF que é apresentado na figura 21.

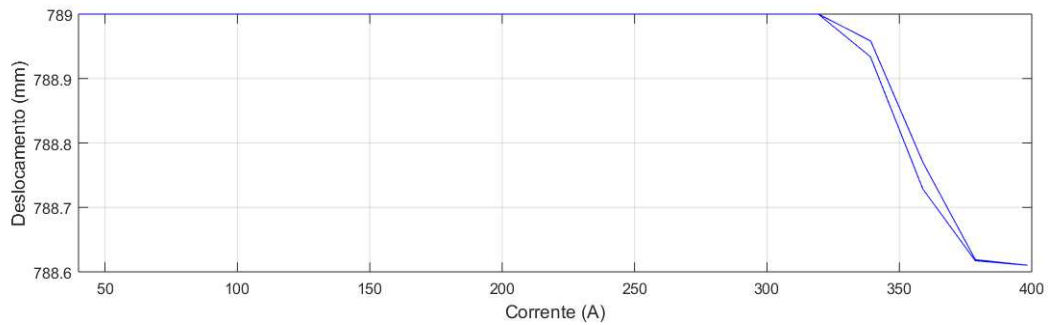


Figura 21 – Curva de deslocamento x Corrente.

3.2.3 Relação entre Resistência Fixa e Resistência Variável

Para possibilitar a mestrandia a análise da influência da resistência elétrica da LMF no comportamento da temperatura, foi solicitado à estagiária a realização de dois cenários de testes de aquecimento. O primeiro consistiu em realizar a variação do *duty cycle* de 5% a 100%, salvando aos dados a cada medição. Para esse caso, nenhuma alteração foi feita na VI do LABVIEW, na qual a resistência obtida da liga é usada como entrada do modelo de temperatura. Portanto, esse cenário de teste é referente à resistência Variável.

O segundo cenário consistiu em considerar a resistência como um parâmetro fixo no modelo térmico. Para isso foi necessário realizar alterações na VI do LABVIEW, na qual foi colocado como uma das entradas do modelo térmico uma constante de valor $22,881 \Omega$. Esse valor de resistência foi obtido da relação do material da liga que determina que a resistência da liga é aproximadamente $28 \Omega/\text{m}$ (BARROSO, 2019). Como a liga em estudo tem um comprimento de 789mm, o valor obtido para a resistência foi $22,881 \Omega$.

Com os dados adquiridos foi possível plotar as curvas resistência x temperatura para os dois cenários (ver Figura 22), conforme solicitado.

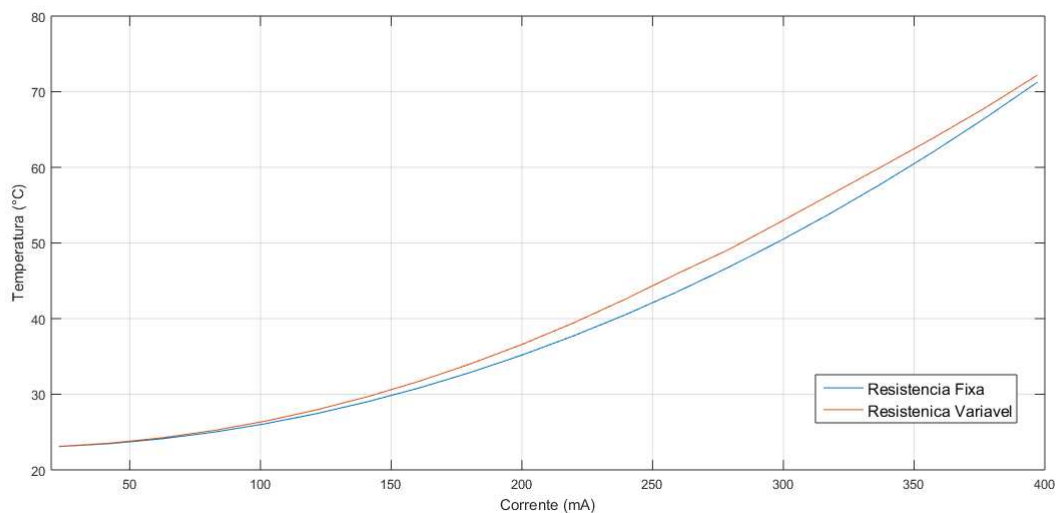


Figura 22 – Curva de deslocamento x Corrente.

Neste capítulo foram apresentadas as atividades realizadas durante o período do estágio, referentes à realização dos experimentos e inspeção do circuito. No capítulo 4 são apresentadas as considerações finais deste trabalho.

4 Considerações Finais

Neste relatório foram descritas as atividades realizadas, durante o estágio supervisionado, em apoio ao desenvolvimento de um projeto de pós-graduação. As atividades foram solicitadas pela aluna de pós-graduação, à autora do projeto, tendo como foco principal na realização dos ensaios para a obtenção dos dados que serão utilizados na dissertação de mestrado e na modelagem do atuador LMF.

Para a realização dos ensaios experimentais, foi necessário implementar uma pequena alteração no circuito da medição de tensão do atuador, o qual gerou um desempenho satisfatório. Os ensaios e os dados obtidos durante o estágio foram apresentados à autora do projeto de pós-graduação e a mesma demonstrou-se satisfeita com os resultados.

Com a realização dessas atividades, a estagiária pôde colocar em prática os conceitos aprendidos durante a graduação, principalmente nas disciplinas Eletrônica e Instrumentação Eletrônica.

Durante a realização das atividades, tiveram alguns imprevisto como o agravamento da pandemia pelo Covid-19 e o Decreto Estadual n. 41.120/2021 que impediram a realização das atividades presenciais durante a última quinzena do estágio.

Referências

- BARROSO, A. J. S. **Caracterização, modelagem e controle de um atuador de liga de memória de forma.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Agosto de 2019.
- LIMA, W. M. **Plataforma para análise comportamental de atuadores de ligas com memória de forma e para o controle de deformação de uma barra flexível.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Agosto de 2008.
- PEQUENO, A. A. P. **Aplicação de métodos de controle em uma estrutura ativa de viga engastada com atuador de liga com memória de forma.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Janeiro de 2012.
- CAMPOS, A. H. P. **Estratégias de controle aplicadas a um atuador de liga de memória de forma para o controle de deformação de uma viga engastada.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Julho 2018.
- SILVA, W. D. P. **Plataforma Experimental para Obtenção de Resistência Elétrica de um Atuador de Liga de Memória de Forma.** Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal de Campina Grande, Dezembro de 2019.
- LAGOUDAS, D.C. **Shape Memory Alloys - Modeling and Engineering Applications.** 1st edition. New York, NY 10013, USA: Springer, Springer Science+Business Media. 2008.
- MALVINO, A. BATES, D **Eletrônica: Volume II.** 8ª Edição. Porto Alegre - RS, Brasil: AMGH Editora Ltda. 2016.