

Artigo

Desenvolvimento de uma câmara térmica para caracterização eletrotérmica de ligas com efeito de memória de forma

Alisson Luiz de Medeiros ^[1], Zoroastro Torres Villar ^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semiárido; alisson.l Luiz.15@live.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semiárido,

Data da defesa: 17/junho/2022.

Resumo: Devido a alta demanda no mercado da engenharia em desenvolver materiais com capacidades regenerativas, ou seja voltar a seu estado inicial mesmo depois de uma deformação plástica, encontramos os materiais com efeito de memória de forma SMA (shape Memory Alloys). As principais ligas que possuem esse efeito são de cobre-zinco, ouro-cádmio e níquel-titânio, por possuírem uma ampla aplicação desde a aplicação em equipamentos mecânicos até na área da medicina, necessitamos estudar estes elementos e compreendê-los da melhor forma possível. Existem vários ensaios utilizados nos laboratórios, porém o método mais comum e mais preciso é o método de Resistência e Temperatura (RET), onde uma amostra é posta a um ciclo térmico, que permite observar o comportamento do material com a variação de temperatura. A realização deste ensaio requer um aparato que comporte uma amostra em um recipiente fechado e que tenha um fluxo de fluido frio e quente passando pela amostra. Ao final de todo o projeto podemos observar claramente, a redução do tempo necessário para a caracterização de um fio com memória de forma.

Palavras-chave: Regenerativa; Memória de forma; Caracterização eletrotérmica.

Abstract: Due to the high demand in the engineering market to develop materials with the ability to “regenerate”, that is, to return to its initial state after plastic deformation. These are the materials with SMA (shape Memory Alloys) shape memory. As the main alloys that have this effect are copper-zinc, gold-cadmium and nickel-titanium, as they have a wide application from an application on mechanical equipment to the field of medicine, we need to study these elements and understand them in the possible. There are several tests used in laboratories, but the most common and most accurate method is the Resistance and Temperature (RET) method, where a sample is put through a thermal cycle, which allows observing the behavior of the material with the variation of temperature. The performance of this test requires an apparatus that holds a sample in a closed container and that has a flow of cold and hot fluid passing through the sample. At the end of the project, we can clearly observe the reduction in the time required for the characterization of a wire with shape memory.

Key-words: Regenerative; shape memory; electrothermal characterization

1. INTRODUÇÃO

Os materiais utilizados na engenharia têm passado por grandes evoluções nos últimos tempos. Devido à necessidade dos projetos que estão cada dia mais sofisticados e exigem materiais com características cada vez mais específicas que suportem as solicitações mecânicas exigidas durante o seu uso. Os materiais já existentes e conhecidos da engenharia como aço carbono, ligas de aço, alumínio, madeira e cerâmicas, por exemplo, não oferecem algumas características específicas exigidas em determinados projetos [1].

Com isso as ligas de memória de forma (LMF), também conhecidas como Shape memory alloys (SMA), são materiais de base metálica que possuem resposta ativa, ou seja, podem voltar ao seu estado inicial ou se

“regenerar” após a sua deformação, através de uma mudança de condição como temperatura, pressão, tensão da qual a liga esteja sujeita [2] Estes efeitos estão ligados a estrutura cristalina do material que são dependentes as variações decorrentes do ambiente que estão sendo utilizados. As estruturas ativas ou compósitas inteligentes podem ser obtidas através da introdução de fios ou lâmina de LMF em uma matriz metálica ou polimérica. [3]

De acordo com [4]. Uma LMF que se encontra em um ambiente cuja temperatura esteja abaixo de sua temperatura de transformação, irá apresentar um limite de elasticidade muito baixo podendo ser facilmente trabalhado e ser posto a qualquer forma que seja necessário mantendo facilmente a forma requerida. No entanto quando a LMF é sujeita a temperaturas elevadas, ou seja, acima da temperatura de transformação, sua estrutura cristalina sofre varias alterações provocando o retorno a seu estado inicial.

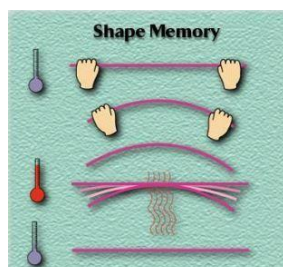


Figura 1. Demonstração de uma LMF [1]

Como podemos observar claramente na figura 1, o comportamento da LMF que pode se “regenerar” quando é submetido a uma mudança de condição de temperatura. A aplicação das ligas com memória de forma são bastante variadas e com seu desenvolvimento podemos encontrar vários caminhos para sua utilização. Podemos encontrar as LMF em tubos, válvulas, aparelhos dentários e próteses.

Na saúde, a liga de NiTi vem trazendo resultados bastante promissores devido sua característica de biocompatibilidade com o corpo humano, a principal aplicação nesta área é a produção de stents-endopróteses, figura 2 que são extensores de veias coronárias para pacientes cardíacos. Já na indústria podemos a LMF é empregada em elementos de máquinas e equipamentos térmicos, unidades de microssistemas de robôs industriais como sensores e atuadores.

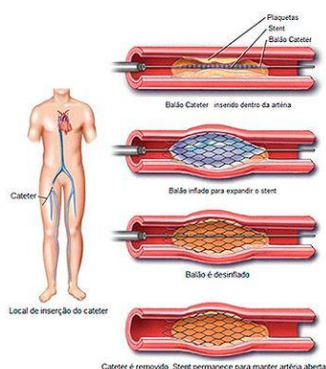


Figura 2. Aplicação de LMF no corpo humano [4]

A partir da escolha do material para um projeto é necessário estudá-lo e analisá-lo de forma com que se obtenha o máximo de propriedades possíveis daquele elemento. Isso é feito através da caracterização, que um conjunto de técnicas de identificação e avaliação da microestrutura, assim determinando as propriedades físicas e mecânicas dos materiais, (resistência a tração, dureza, escoamento, fadiga, resistência elétrica, resistência a compressão, elasticidade e etc). Determinado todas essas características podemos analisar e aplicar o material ao projeto.

De acordo com [5] Um dos métodos mais difundidos nos laboratórios de engenharia de materiais é o ensaio térmico de resistência x temperatura (RET), esse sistema nos permite observar e medir o comportamento do material com a variação da temperatura. O ensaio funciona da seguinte forma, na amostra a ser ensaiada é fixado quatro fios com distâncias iguais, os fios da extremidade é fornecido uma corrente

continua mínima, para que não ocorra superaquecimento por efeito joule, já os dois fios do meio da amostra captam a diferença de potencial durante o ciclo térmico, este ciclo é feito através de um banho térmico, onde a amostra é aquecida e resfriada dentro de faixas de temperatura necessárias para que a transformação de fase do material ocorra.

Algumas pesquisas mostram que este processo mais preciso para materiais inteligentes. Através do banho térmico consegue-se a caracterização das temperaturas de transformação de fase e a histerese térmica de ligas com memória de forma (LMF) que trabalham em uma faixa específica de temperatura, determinada de acordo com a limitação do sistema de trabalho [5].

Os equipamentos disponíveis no laboratório de projetos da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), requerem um tempo elevado para realizar o processo de caracterização de aproximadamente 2h sendo eles o banho ultratermostático SL 152 solab e o banho ultratermostático N1040 novatecnica, tornando inviável a análise de várias amostras em um curto espaço de tempo.

Tendo em vista o longo tempo necessário para a realização do ensaio, buscamos neste projeto diminuir o tempo total do ensaio, tornando viável a execução de vários ensaios em um curto espaço de tempo. E como consequência deste trabalho também é esperada uma maior precisão nos resultados devido ao manuseio da amostra que ficará dentro de um recipiente fechado, não sendo necessária a transferência de um banho para outro.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Fabricar e validar uma câmara termoregulável para caracterização eletrotérmica de ligas com efeito de memória de forma.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenhar todo o sistema especificando seus elementos (os dois banhos, tubulações, válvulas de fluxo, cuba);
- Realizar a compra dos materiais e fabricação do sistema;
- Validar o sistema com uma caracterização de fio de NiTi.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido e executado nos laboratórios do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) campus Mossoró. A metodologia para este trabalho seguiu de acordo com as etapas mostradas no fluxograma da figura 3. Tendo como propósito organizar as ideias e elaborar um planejamento e uma ordem de execução das tarefas e etapas de todo o projeto.

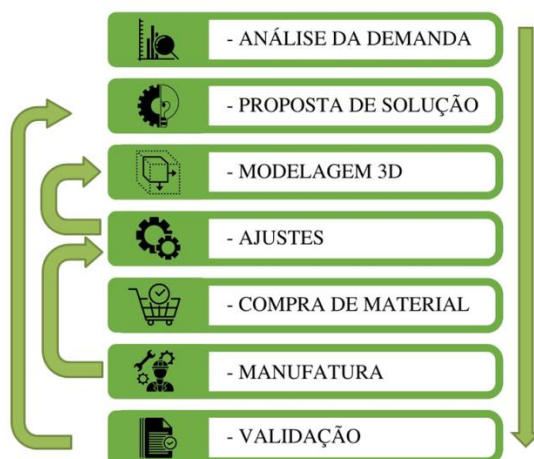


Figura 3. Fluxograma, Autoria própria 2022

3.1 ANALISE DA DEMANDA

A primeira etapa deste projeto foi a análise da demanda, que consistiu em verificar a necessidade da comunidade acadêmica em realizar a caracterização de fios de NiTi, a fim de realizar estudos sobre o material. Com isso podemos observar que o tempo necessário para a realização da caracterização é muito elevado, surgindo assim a necessidade de um sistema que realize o processo em menos de 2h.

3.2 MODELAGEM 3D

Com a proposta de solução em mãos, foi iniciado a modelagem 3D, utilizando o software SolidWorks, que é uma ferramenta amplamente utilizada no ramo da engenharia para desenhos e ilustrações em 3 dimensões. Com isso podemos dispor de uma visão detalhada de todo o projeto e adotar correções caso seja necessário.

Através da modelagem 3D, temos uma visão ampla de todo o sistema, com isso podemos observar detalhadamente a montagem e consequentemente corrigir falhas e problemas que possam interferir no funcionamento ou dificultar o processo de manufatura. Nas figuras 4, 5 e 6 podemos observar os principais componentes do sistema.

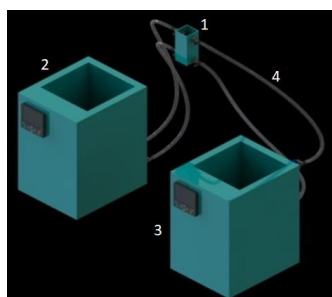


Figura 4. Modelagem 3d, Autoria própria 2022.

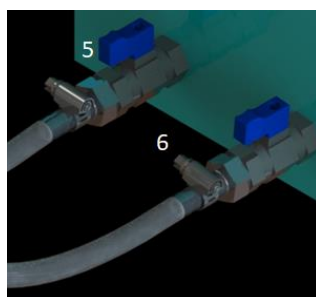


Figura 5. Modelagem 3d, Autoria própria 2022.

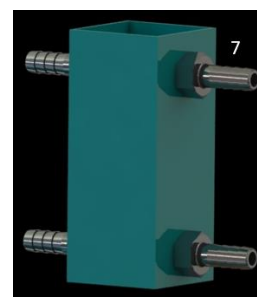


Figura 6. Modelagem 3d, Autoria própria 2022.

1. Cuba acrílica: Sua função é acomodar a amostra durante o ensaio;
2. Banho frio: responsável pela preparação, armazenamento e bombeamento do fluido frio.
3. Banho quente: Responsável pela preparação, armazenamento e bombeamento do fluido quente.
4. Mangueiras: Sua função é interligar os componentes e transportar o fluido.
5. Torneira: Responsável em controlar o fluxo de fluido para que não haja uma grande turbulência dentro da cuba.
6. Abraçadeira metálica com regulagem: Responsável em manter fixo as mangueiras no espigão.
7. Espigão macho: Responsável pela conexão da mangueira com a cuba.

3.3 AJUSTES

Através da modelagem 3D, podemos observar alguns detalhes que deveriam ser remodelados e adequados à necessidade do projeto, tais como o tipo e diâmetro das mangueiras inicialmente projetado para 1/2" foi readequado para 3/8".

A forma de fixação dos espigões, inicialmente definido com porcas e foi readequado para resina epóxi. Devido a dificuldade de montagem das porcas dentro da cuba.

Também foi readequado a forma de fixar as mangueiras nos espigões, inicialmente foi definida com abraçadeiras tipo automotiva, sendo readequada para abraçadeira de metal com regulagem.

3.4 COMPRA DE MATERIAL

Seguindo o cronograma podemos, após a etapa de ajustes temos em mãos todo o material necessário para a execução do projeto, listado a baixo.

- Cuba de acrílico 1 unidade tamanho 120mm x 50mm x 50mm;
- Mangueiras 3/8" 3,4m;
- Torneiras tipo Jardinagem 4 unidades;
- Espigão macho 3/8" 4 unidades;
- Abraçadeira metálica com ajuste 3/8" 8 unidades;
- Fita veda rosca 5m;
- Resina epóxi;
- Fluido térmico;
- Sistema de aquisição de dados;

- Banho quente 1 unidade;
- Banho frio 1 unidade.

3.5 MANUFATURA

A etapa de manufatura, foi realizada toda a montagem do sistema na bancada do laboratório de projetos mecânicos da UFERSA.

3.6 VALIDAÇÃO

A validação do sistema, deu por meio do ensaio de uma amostra de NiTi.

4. Resultados

Tomando como base a demanda de realizar a caracterização eletrotérmica dentro do laboratório da UFESA. Foi elaborada uma proposta de um sistema que acomoda uma pequena amostra de fio em um recipiente fechado e que dentro desse recipiente tenha um fluxo de fluido que possa variar de quente para frio de forma controlada em um curto espaço de tempo.

O gráfico 1, representa uma caracterização (RET) de uma amostra de NiTi, feita com os equipamentos já existentes no laboratório de projetos da UFERSA, o banho frio e o banho quente que estão separados e necessita que a amostra seja transportada manualmente de um banho para outro. Podemos observar o comportamento do fio durante a variação da resistência elétrica com a variação de temperatura. O gráfico 2 mostra que todo o ciclo dura em torno de 85 minutos para ser concluído, sendo este um tempo muito elevado para este ensaio.

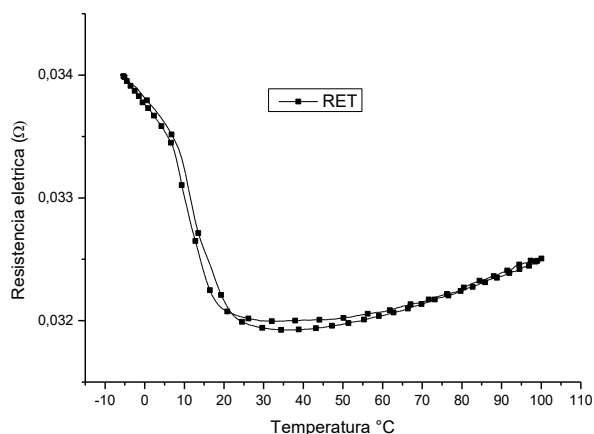


Gráfico 1. Ensaio RET, autoria própria

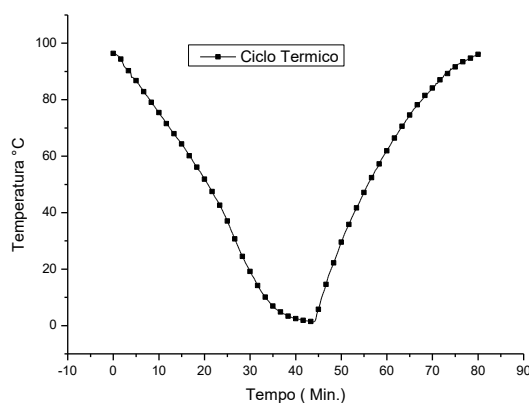


Gráfico 2. Temperatura x tempo, autoria própria

Com esta solicitação de projeto, foi desenvolvido um sistema de forma ilustrativa figura 7, de dois banhos térmicos, o primeiro com fluido frio podendo chegar a -10°C e o segundo um banho quente podendo chegar à temperatura de 100°C , cada um deles possui uma bomba em anexo para que o fluido seja bombeado para cuba acrílica, onde fica armazenada a amostra do ensaio.

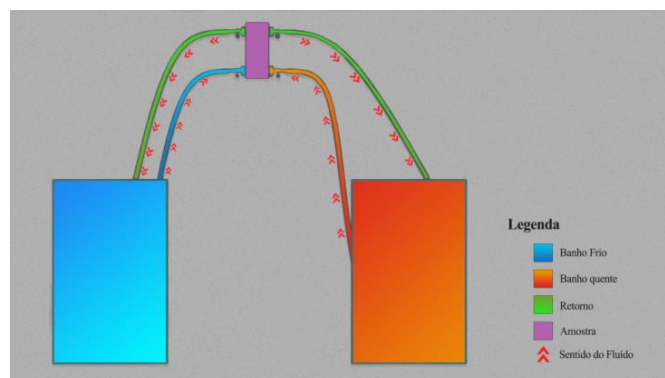


Figura 7. Esboço do sistema de ensaio, Autoria própria.

A cuba acrílica é responsável pelo acomodamento da amostra durante o ensaio, ela é fixada acima do nível dos banhos, pois a linha de retorno funciona por gravidade. A linha de alimentação de fluido é fixado na parte inferior da cuba, sendo fixo por um espigão macho e uma abraçadeira metálica com regulagem.

O ciclo inicia-se com o a preparação do fluido, que deve atingir sua temperatura de trabalho predeterminado pelo ensaio, logo após isto é posto a amostra dentro da cuba acrílica. O material a ser ensaiado está ligado a um sistema de aquisição de dados KEYSIGHT 34972A e KEYSIGHT E3633A figura 8 responsável em interpretar o curso do experimento. Com os fluidos na temperatura de trabalho, é possível bombeá-lo de forma controlada para dentro da cuba que contem a amostra, formando assim o ciclo necessário para a realização do ensaio.



Figura 8. Sistema de aquisição de dados, Autoria própria.

Após a modelagem 3D podemos observar analisar alguns itens planejados inicialmente, que deveriam ser modificados e ajustados levando em consideração três fatores que são a oferta do material no comercio local, a facilidade na hora da montagem e o custo do material.

Com todos os materiais descritos e ajustados ao projeto. Podemos realizar a compra dos itens necessários. A compra foi feita no comercio local da cidade de Mossoró-RN, em lojas de material de construção e casas de ferramentas. A compra foi realizada levando em consideração o custo de cada item necessário buscando sempre o menor valor dentro das especificações desejadas. O custo total do material foi de R\$147,18 com mostrado abaixo na tabela 1.

Tabela 1. Lista de materiais

Descrição	Quantidade	Valor
Fita veda rosca	1	R\$3,30
Resina epóxi	1	R\$7,00

Kit parafuso e bucha	1	R\$11,50
Espigão	5	R\$43,88
Abraçadeira de regulagem	8	R\$9,12
Torneira de jardinagem	1	R\$13,00
Mangueira cristal	4m	R\$20,88
Deposito acrílico	1	R\$38,50

Autoria própria, 2022

Em seguida podemos iniciar o processo de manufatura do projeto, que foi realizado no laboratório de projetos mecânicos da (UFRSA). O primeiro item a ser confeccionado foi a cuba acrílica Figura 9, seguindo as especificações da modelagem.



Figura 9. Cuba acrílica, autoria própria

Com dimensões de 120mm de altura, 50mm de largura e 50mm de comprimento, os furos para a entrada e saída de fluido são de 3/8", feito inicialmente com uma broca de 1/8" em seguida com uma de 1/4" e finalizando com broca de 3/8". Os furos estão posicionados em uma distancia de 15mm e 105mm de distancia com relação a base da cuba ate o centro do furo. Já com os furos feitos foi fixado o espigão com resina epóxi, figura 10 para que fosse possível a conexão com a mangueira. Uma fina camada de veda rosca foi colocada no espigão, eliminando qualquer possibilidade de vazamento de fluido.



Figura 10. Fixação do espigão na cuba, autoria própria.

Na sequência foi feito o posicionamento dos banhos térmicos na bancada e após isso foi fixado a cuba acrílica na parede com buchas e parafusos tamanho 6, a distancia da cuba com relação aos banhos térmicos foi de 250mm Para que fosse possível o retorno do fluido através da gravidade.

O próximo passo da montagem do sistema, foi o posicionamento e montagem das mangueiras que foram cortadas com 650mm, 855mm, 835mm e 968mm respectivamente e com isso foram fixadas nos pontos de entrada e saída de fluido dos banhos e da cuba, finalizando a montagem do sistema, mostrado na figura 11.

A cuba acrílica foi fixada na parede com uma abraçadeira feita da própria mangueira com buchas e parafusos, com uma distancia mínima de 350mm da superfície do banho térmico para que fosse possível o retorno de fluido para dentro do banho térmico. A distancia entre os banhos foi feita de acordo com o espaço disponível na bancada nao interferindo no funcionamento do ensaio.

A montagem de todo o sistema foi feita sem nenhum problema, utilizando ferramentas simples como chave de fenda, brocas, furadeira e laminas para corte.

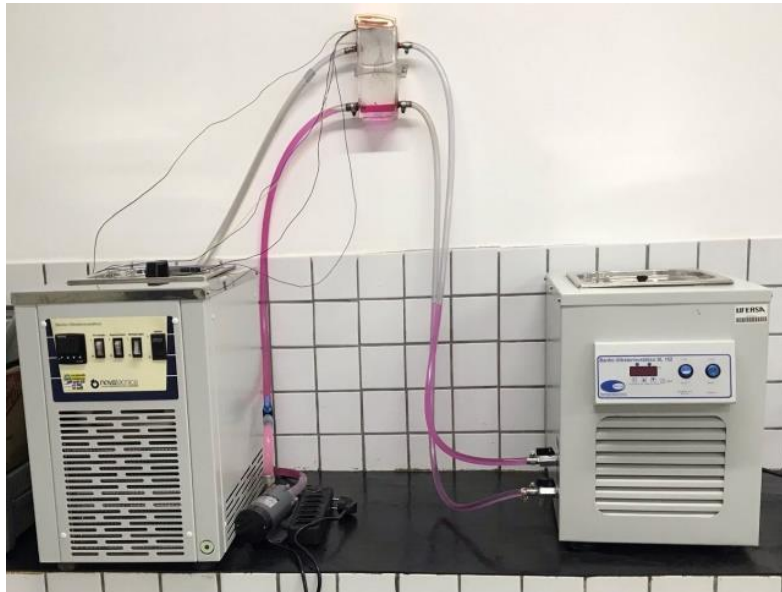


Figura 11. Montagem final, autoria própria.

A validação do sistema, se deu através da realização de uma caracterização eletrotérmica de uma amostra de fio de NiTi. Tendo como parâmetro de comparação os ensaios realizados anteriormente, que tinham tempo estimado de aproximadamente 85 min.

Já com o sistema montado podemos iniciar o processo de caracterização. O gráfico 3 nos mostra o processo inicial da caracterização com a preparação dos banhos. O tempo levado para que os banhos atinssem a temperatura de trabalho, com tempo de 50 minutos. A linha azul nos mostra o tempo de resfriamento do banho, a linha preta representa a amostra que está em temperatura constante pois, não está submerso no fluido e a linha vermelha representa o banho quente.

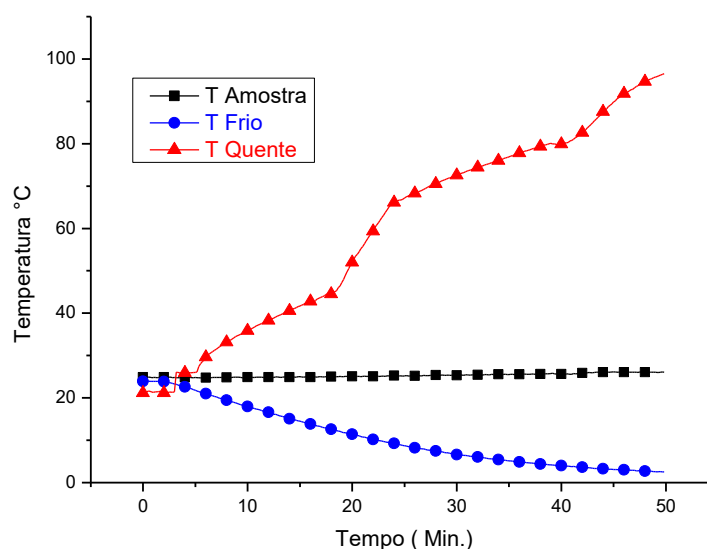


Gráfico 3. Temperatura x tempo, autoria própria

Após os banhos atingirem a temperatura de trabalho podemos iniciar o ciclo térmico da amostra gráfico 4, bombeando inicialmente o fluido quente para o recipiente com a amostra, podemos observar que a temperatura máxima de aproximadamente 80°C, é atingida em pouco tempo da mesma forma é o comportamento no sentido de resfriar atingindo uma temperatura de aproximadamente -5°C. Com este sistema podemos realizar o ciclo térmico em aproximadamente 15 min de acordo com o gráfico 4, sendo possível assim realizar vários ciclos em um curto período de tempo, controlando a temperatura de acordo com o planejado para o ensaio.

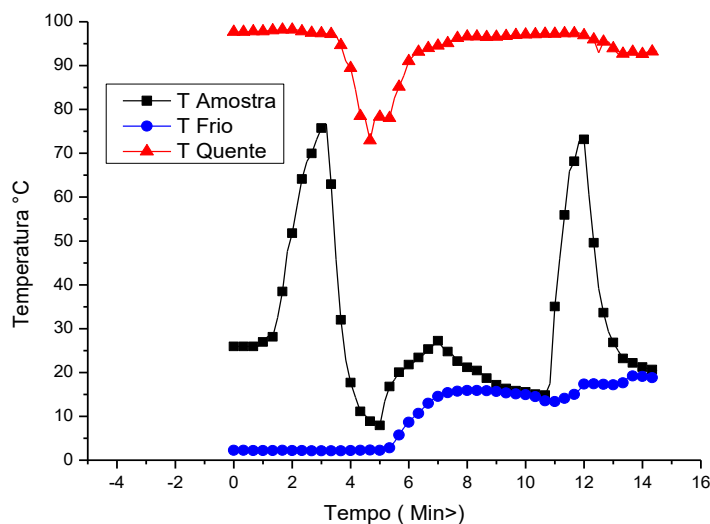


Gráfico 4. Temperatura x tempo, autoria propria

5. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo fabricar e validar uma câmara termoregulável para caracterização eletrotérmica de ligas com efeito de memória de forma. Os resultados mostraram que os objetivos foram atingidos de forma satisfatória.

Conseguimos através deste sistema uma redução de tempo que antes era 85 minutos para aproximadamente 15 minutos uma redução de 82,64% do tempo. após o tempo de preparação dos banhos térmicos podemos realizar vários ensaios de forma rápida, conseguimos observar estes resultados através da caracterização de uma amostra de NiTi.

Os resultados obtidos na caracterização RET feito com este projeto é equivalente aos obtidos nos equipamentos disponíveis no laboratório, sendo assim podemos concluir que todo esse projeto foi validado.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Silva, Karla Carolina Da. Caracterização de compósitos de matriz polimérica com ligas com memória de forma para aplicação em microatuadores. ATTNA Repositorio digital da UFPE. 2013.
- [2] OTSUKA, K.; WAYMAN, C.M.; Shape Memory Materials. Edited by K. Otsuka and C. M. Wayman, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1998p.
- [3] FERNANDES, F. M. B. Ligas com memória de forma. Departamento de Ciência dos Materiais / CENIMAT, Universidade Nova de Lisboa, 2003.
- [4] FRANCO, Luiz. Materiais inteligentes: Ligas metálicas que lembram?. Caracterizze, Disponível online <<https://www.caracterizze.com/blog/como-ligas-memoria-forma>> Acesso em 5 de abril de 2022.
- [5] REIS, Rômulo Pierre Batista dos. Desenvolvimento de um equipamento para caracterização térmica de atuadores de ligas com memória de forma usando o efeito termoelétrico. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.