

DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO E REALIZAÇÃO DO ENSAIO JOMINY MONITORADO, PARA OBTENÇÃO DAS CURVAS DE RESFRIAMENTO

Luiz Gustavo Ronchi Peruch, Fábio Peruch

luizgustavoperuch@live.com, fabio.peruch@satc.edu.br

Faculdade SATC, Engenharia Mecânica, Rua Pascoal Meller, 73, CEP 88.805-380-

CP 362 – Criciúma – SC – Brasil

Resumo

Os materiais metálicos vem tendo uma grande utilização industrial e até mesmo em alguns setores que antes eram ocupados por outros tipos de materiais, e o estudo sobre sua aplicação e características também cresceu com sua utilização, e com isso os ensaios de temperabilidade também cresceram, os principais o ensaio *Jominy e Grossman*, o ensaio *Jominy* é um tipo de ensaio que visa analisar a formação da martensita depois de um resfriamento em uma das extremidades do corpo de prova, sendo esse o principal tipo de ensaio de temperabilidade e neste trabalho foi desenvolvido um equipamento para realização do ensaio *Jominy* em materiais metálicos, vai fazer parte do equipamento também um sistema de aquisição de dados monitorado por *Labview* e coletando os dados com placas de aquisição Arduino, afim de obter curvas de resfriamento dos materiais metálicos que forem passar pelo ensaio *Jominy*.

Palavras Chave: *Jominy*, Temperabilidade, Curvas de Resfriamento.

1. Introdução

O ensaio *Jominy* é um dos métodos de ensaio mais utilizados para avaliação da temperabilidade de um material metálico, sendo assim, muito utilizado na indústria para testes de análise de formação de martensita nos materiais, e com o auxílio de um sistema de aquisição de dados qualifica muito mais este tipo de ensaio, e na Faculdade SATC ainda não possuía de um equipamento para de realizar este tipo de ensaio.

Com a crescente da instrumentação e aquisição de sinais para os ensaios mecânicos, e outros tipos de ensaios na engenharia, surgiu a ideia de desenvolver um equipamento capaz de realizar o ensaio de temperabilidade *Jominy* e ao mesmo tempo, para qualificar mais ainda este tipo de ensaio, instrumentando esse processo com o intuito de plotar gráficos das curvas de aquecimento e resfriamento do material, utilizando termopares, placas de aquisição e monitorando isso com um software de programação em blocos chamado *Labview*.

Sendo assim após o desenvolvimento o equipamento estará apto a realizar o ensaio *Jominy* e plotando os gráficos das curvas de aquecimento e resfriamento, com isso ficando disponível para as ABP's das disciplinas ligadas ao estudo de materiais, assim, contribuindo com a aprendizagem dos próximos acadêmicos da Faculdade SATC e de outros parceiros.

Esse projeto ainda pode ajudar outros acadêmicos que precisarem realizar o ensaio *Jominy* em seu TCC ou até mesmo para fins industriais como para a empresa que trabalha ou até mesmo para sua própria empresa se for um empreendedor.

E essa continuidade de utilização do equipamento engrandece mais ainda a realização deste trabalho, já que terá uma continuidade e uma utilidade posterior.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Temperabilidade

Pode-se dizer que a temperabilidade de um aço é o grau de afinidade que ele tem de formar a martensita ao longo de toda peça, quando esta, submetida ao tratamento térmico de têmpera ou á algum ensaio de temperabilidade. É observado na Fig. 1 as características da martensita após aplicação das taxas de resfriamento.



Figura 1: Estrutura Martensítica (Fonte: Vila Nova 2013)

A Fig. 1 mostra a estrutura cristalina característica da martensita de um determinado material que passou pelo tratamento térmico de têmpera, onde a formação da martensita que é uma forma do aço frágil e dura, é evidente.

Para ser um aço de boa temperabilidade não basta apenas formar martensita em sua superfície ou onde as taxas de resfriamento são maiores, ele precisa formar a martensita em toda sua extensão da peça e em certa profundidade também (Vila Nova 2013).

Existem alguns fatores que podem ter influência em um aço ter boa temperabilidade, pode-se dizer que o principal fator para um aço ter boa temperabilidade é a quantidade de carbono (C) que ele possui, ou seja, quanto maior o teor de carbono o aço possui maior vai ser sua temperabilidade.

Sendo assim os aços de alto teor de carbono tem uma tendência maior em formar a martensita num tratamento térmico, do que os aços de médio carbono, e mais ainda quando comparados com os de baixo teor de carbono. Alguns aços que tem altíssima temperabilidade muitas vezes não precisam de uma velocidade de resfriamento muito elevado, com médias e até baixas velocidades de resfriamento, esses aços, adquirem alta quantidade de formação de martensita, (Vila Nova 2013).

Esses aços que tem grande facilidade em formar martensita em sua estrutura conseguem também formar essa martensita em camadas mais espessas assim aumentando sua resistência mecânica.

Os principais fatores que influenciam na temperabilidade dos aços são o teor de carbono, o teor e classes de elementos de liga, temperatura e tempo de Austenitização, tamanho de grão

austenítico, meio de resfriamento (velocidade) e geometria da peça a ser tratada termicamente, (Unesp 2016).

2.2 Ensaio de Temperabilidade

Com o avanço dos estudos sobre os diferentes tipos de materiais em especial os aços, tratando sobre sua composição química, elementos de liga, microestrutura e condições de resfriamento, tornou-se necessário a criação de métodos de ensaios com o intuito de classificar os aços quanto a sua temperabilidade, (Scheidemantel 2014).

Muitos ensaios para comprovar a temperabilidade foram criados e desenvolvidos, porém existem dois métodos principais, o método Grossmann e o método *Jominy*, este último foi escolhido para realização deste trabalho, por ser o mais utilizado na indústria e nas áreas de pesquisa.

2.2.3 Método Jominy

Segundo Souza (2008), o ensaio Jominy, que pode ser chamado também como o método de resfriamento de uma extremidade, que foi desenvolvido por Jominy e Boegehold é um ensaio (teste) muito utilizado não só para fins didáticos mas também com aplicação industrial onde é visado a avaliação da temperabilidade de um material.

O estudo da velocidade de resfriamento nos aços, durante um tratamento térmico, é de grande importância já que é responsável por alterar características mecânicas como por exemplo dureza e resistência mecânica (Rios, 2016) .

Na Fig. 2 é detalhado o processo do ensaio demonstrando o dispositivo utilizado.

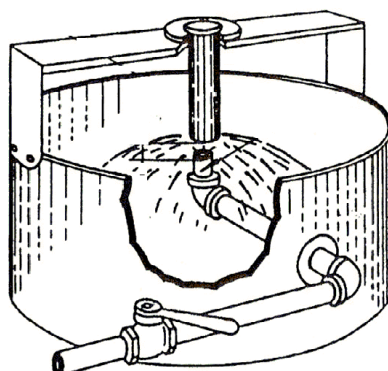


Figura 2: Ensaio *Jominy* detalhado (adaptado de Scheidemantel, 2014)

A Fig. 2 ilustra como funciona o ensaio de temperabilidade *Jominy*, onde o dispositivo construído segue as norma regulamentadora do ensaio, que é a norma ASTM A255, onde consta todas as informações para que o procedimento de ensaio seja executado.

E neste trabalho além do desenvolvimento do dispositivo o intuito é obter as curvas de resfriamento através da instrumentação.

2.3 Corpo de Prova

O corpo de prova segundo norma ASTM A255 (2014) tem, 4" de comprimento, 1" de diâmetro e assegurando um meio para deixa-lo na posição vertical para realização do ensaio e o mesmo será de aço SAE 4140, A Fig.3 mostra o corpo de prova.

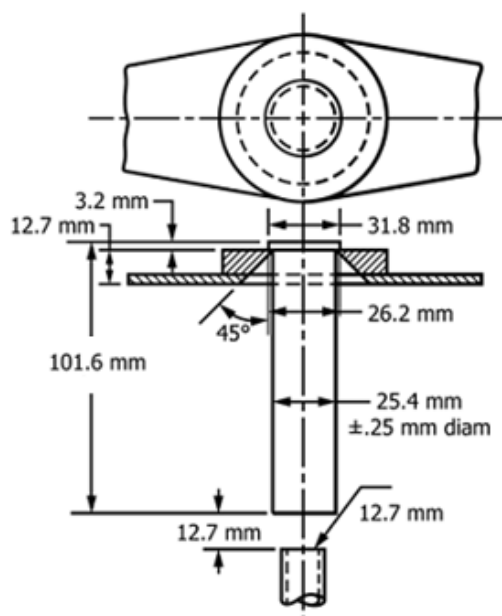


Figura 3: Corpo de prova e suas dimensões em milímetros (adaptado de ASTM A255)

A Fig.3 mostra as especificações e medidas do corpo de prova, assim mostrando como devemos operar, segundo corpo de prova e dispositivo.

2.4 Aço SAE 4140

Este tipo de aço é classificado como sendo de médio carbono, tendo uma grande empregabilidade industrial, emprega-se em situações que exijam tensões de escoamento entre

410 MPa e 965 MPa, e trabalha até uma temperatura de 480° C, passando disso começa a perder suas propriedades mecânicas, (Silva, 2012)

Segundo (Silva, 2012), outras características são a má soldabilidade e uma média usinabilidade, porém a característica mais importante para a escolha por esse material no desenvolvimento deste trabalho é sua boa temperabilidade, já que será utilizado no ensaio de temperabilidade *Jominy*,

2.5 Software Labview

Com a crescente da instrumentação alguns engenheiros começaram a utilizar este auxílio em seus ensaios, com o intuito de procurar entender melhor o que está acontecendo e assim conseguindo ter um estudo mais abrangente sobre o material corpo de prova ensaiado.

O *Labview*, *software* utilizado neste trabalho, é um software que permite uma comunicação com o usuário por meio de uma programação em blocos, programação esta que funciona graficamente sendo que cada bloco possui sua biblioteca e funções, podendo ser utilizado em diversas circunstâncias, como por exemplo para aquisição de dados de volume de um recipiente, distância de uma peça até um sensor e para medição e controle de temperatura como utilizado neste trabalho (INSTRUMENTS, 2006).

O mesmo consiste em um painel frontal onde faz a comunicação com o usuário, plotando os gráficos e mostrando os indicadores e os controles que são especificados também no painel frontal, assim como os canais utilizados da placa de aquisição. Já o diagrama de blocos apresenta toda programação em blocos que foi desenvolvida.

2.5 Curvas de Resfriamento e Curva TTT

A Fig.4 ilustra as curvas de resfriamento obtidas em um ensaio de temperabilidade *Jominy*:

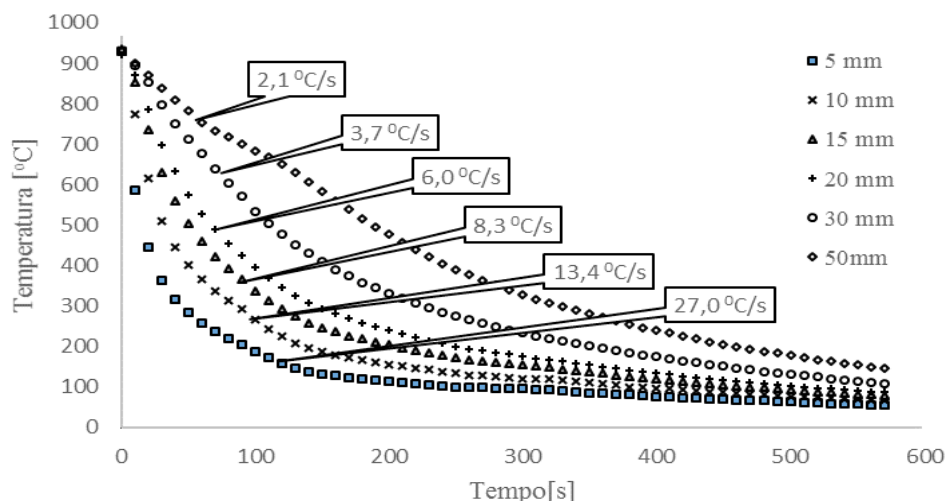


Figura 4: Gráfico das curvas de resfriamento do ensaio *Jominy* (Fonte: Fernandes, 2014)

A Fig.4 ilustra bem as curvas de resfriamento obtidas neste tipo de ensaio, à direita do gráfico aquelas medidas em milímetros são as distâncias dos termopares da base que esta em contato com a água, cada termopar com sua respectiva curva, (Fernandes, 2014).

Pode servir também como um comparativo com as curvas que serão obtidas pelo dispositivo construído neste trabalho, observando que na base do corpo de prova (5 mm) onde a taxa de resfriamento é maior nota-se que a curva entra numa temperatura de equilíbrio mais rapidamente que as outras.

Segundo (TESTMAT, 2013) as curvas TTT (Tempo, Temperatura e Transformação), ajudam a prever as transformações de fases dos materiais que passaram por tratamento térmico, além de prever a dureza, e também em processos de soldagem ajudam a prever as fases presentes na zona afetada pelo calor (ZAC) muito importante em processos de soldagem, a Fig.5 mostra a curva TTT do aço SAE 4140:

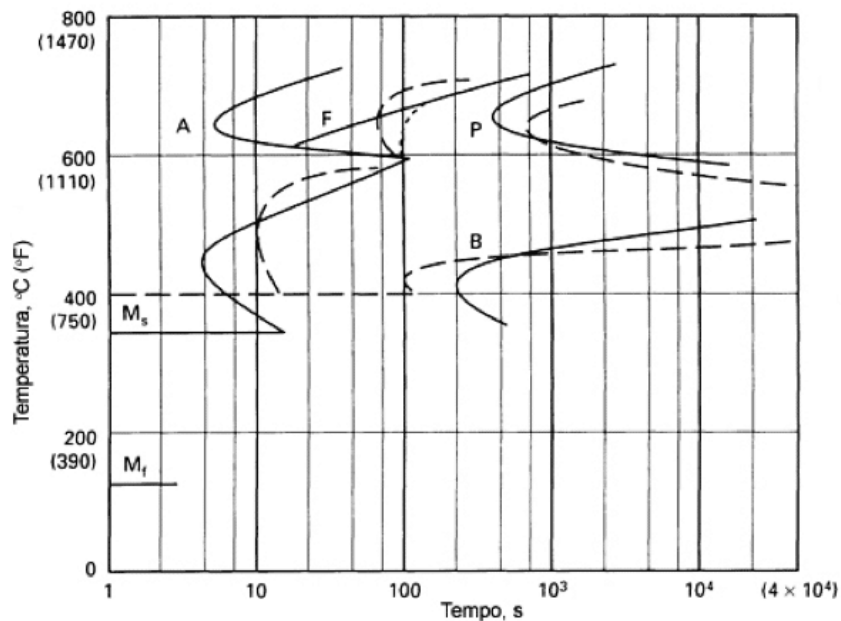


Figura 5: Curva TTT SAE 4140

A Fig.5 ilustra a o gráfico TTT do aço SAE4140 onde se analisa as fases presentes dependendo da temperatura e da velocidade de resfriamento que o aço em questão sofreu durante um tratamento térmico ou ensaio de temperabilidade.

3. Procedimento Metodológico

Neste tópico serão apresentados os procedimentos utilizados para construção da bancada de ensaio *Jominy* e aquisição de dados durante o ensaio.

3.1 Desenvolvimento do Dispositivo

Primeiramente foi desenvolvido um tanque para o equipamento de ensaio, esse tanque veio a partir de um latão que foi cortado para que ficasse com uma altura de 500mm, altura essa estipulada para o melhor conforto e facilidade na hora do ensaio.

Além do tanque foi desenvolvido um suporte para apoiar o corpo de prova a 900° C esse suporte foi cortado e soldado nas medidas especificadas na Fig.6, além das chapas no meio do suporte foi cortado e soldado um ressalto circular, que junto com a chapa formam 12,7 mm de espessura, medida essa especificada na norma, (ASTM A255, 2014).

A tubulação do dispositivo de ensaio possui 1/2" de diâmetro como especifica a norma, a tubulação e seus componentes além dos diversos materiais utilizados no dispositivo estão listados na Tab.1:

Tabela1: Materiais Utilizados na fabricação do dispositivo.

Item	Quantidade	Dimensões
Tubulação Galvanizada	2 metros	1/2"
Tubo Quadrado (Metalon)	6 metros	30x1,25 mm
Chapa de Aço SAE 1020	3	4,76x40x70 mm
Curvas	4	1/2"
Luva	1	1/2"
União	1	1/2"
Registro Esfera	1	1/2"
Espigão	2	1/2"

A vista principal do desenho do dispositivo de ensaio está na Fig.6:

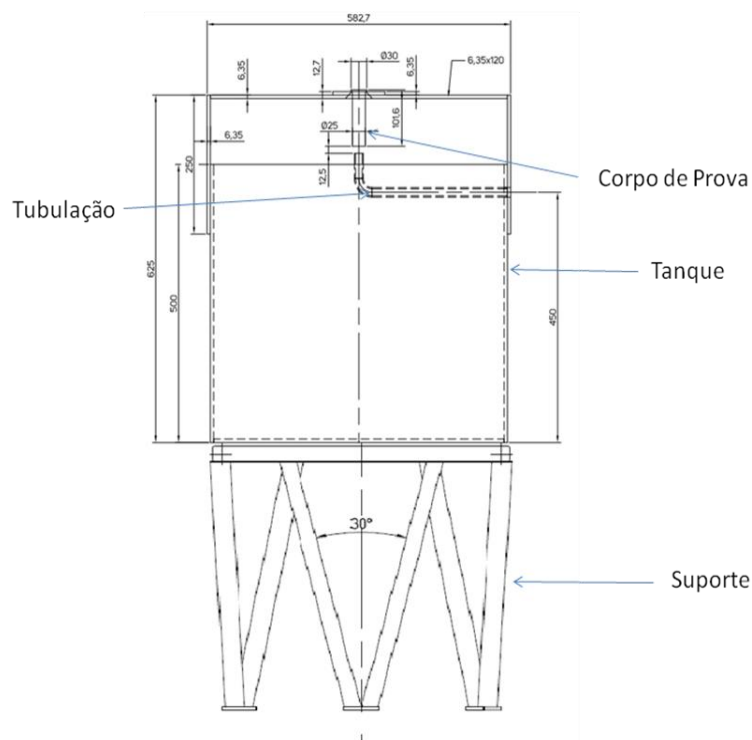


Figura 6: Desenho do dispositivo Jominy com as respectivas dimensões.

A Fig. 6 é um croqui desenvolvido no *software Auto Cad* para a construção do dispositivo *Jominy*, afim de reduzir o tempo de construção e a sobra de materiais utilizados.

O tanque do dispositivo foi construído a partir de um latão utilizado para armazenamento de óleo lubrificante, a tubulação do dispositivo foi adquirida de aço galvanizado DIN 2440, onde essa escolha se justifica pela boa resistência a oxidação deste material, já que irá circular água pela tubulação. Essa tubulação possui um diâmetro de ½” conforme a norma ASTM A255.

O suporte do tanque fica melhor representado na Fig.7.

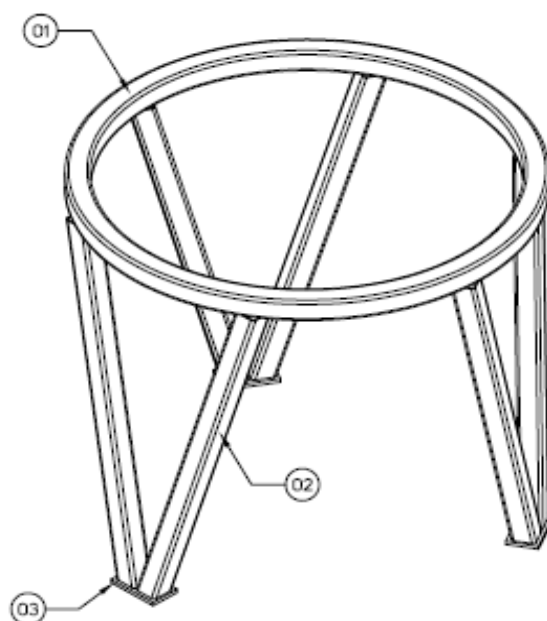


Figura 7: Suporte tanque de resfriamento (01) Arco, (02) Pés, (03) Chapa 1020.

A Fig. 7 mostra o suporte do tanque de resfriamento e lista seus componentes principais arco, pés e a chapa 1020.

O suporte possui uma altura também de 500 mm, fechando com o tanque 1 metro de altura, essa altura foi pensada, para como dito antes, tornar o processo do ensaio mais prático, confortável e seguro já que a peça sairá do forno a 900° C, e necessitando de uma praticidade na hora de retirar o corpo de prova do forno e colocar no dispositivo de ensaio.

3.4 Corpo de prova *Jominy*

O corpo de prova utilizado é de aço SAE 4140 fundido, foram fundidos 3 corpos de prova onde serão utilizados nos ensaios realizados para validação do equipamento construído.

Na Fig. 8 estão representados os corpos de prova fundidos para posterior usinagem.



Figura 8: Corpos de prova fundidos SAE 4140.

A Fig.8 mostra os corpos de prova de aço SAE 4140 fundidos ainda sem a usinagem nas medidas especificadas.

Na Fig. 9 mostra o corpo de prova nas medidas conforme Norma regulamentadora:

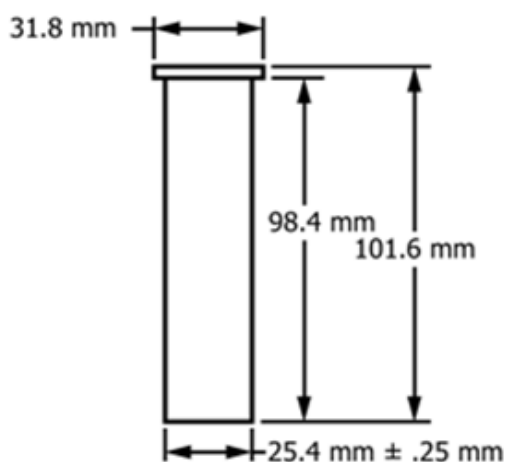


Figura 9: Dimensões do corpo de prova (ASTM A255, 2014).

A Fig. 9 mostra que este corpo de prova foi usinado conforme norma (ASTM A255, 2014), é um corpo de prova cilíndrico com um ressalto de diâmetro maior para que fique preso no dispositivo de ensaio, esse ressalto possui um diâmetro de 31,8 mm e o diâmetro menor do corpo de prova possui 25,4 mm ou 1”, seu comprimento é de 101,6 mm ou 4 “, medidas essas que foram respeitadas e seguidas nos ensaios.

O aço SAE 4140 foi escolhido pela boa temperabilidade, e o grande interesse em estudar esse material, que tem uma grande aplicabilidade graças as suas características, visando resultados relevantes com o ensaio.

3.5 Termopares De Coleta

Foram utilizados primeiramente 2 termopares do tipo K para fazer os testes preliminares do programa dentro e fora do forno. Os termopares possuem uma sonda de 600 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro como se fosse uma lança, que fica alojada nos furos feito nos corpos de prova, o cabeamento possui 1500 mm (1,5m) com o intuito de facilitar o transporte do forno até o dispositivo de ensaio.

Estes termopares foram produzidos para suportar uma temperatura de até 980 °C para que não ocorra nenhum imprevisto durante o ensaio. Termopares esses feitos sob encomenda para que atenda todos os requisitos que o ensaio vai proporcionar, a Fig.10 mostra os termopares de coleta no momento do aquecimento no forno:

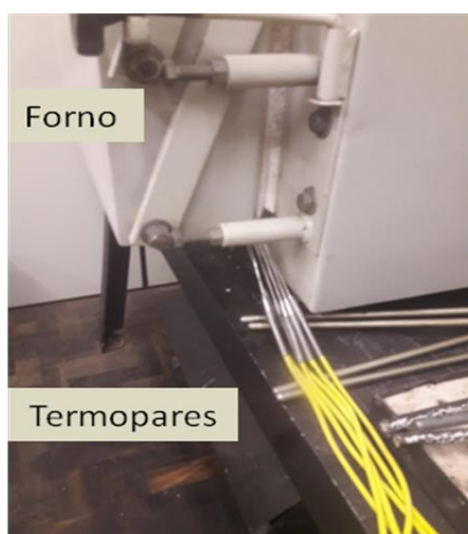


Figura 10: Termopares de Coleta

3.6 Módulo Max 6675

O Max 6675 é uma espécie de digitalizador de sinais de termopares do tipo K, possui uma resolução de $0,25^{\circ}\text{C}$, e consegue ler temperaturas de até 1024°C , possui um custo acessível e uma grande utilidade para experimentos que necessite de leitura de temperatura

Ele foi utilizado em conjunto com uma placa de aquisição Arduino Mega 2560 que será descrito logo em seguida, as principais características do módulo Max6675 são descritas a seguir:

- Resolução de $0,25^{\circ}\text{C}$;
- Digitalizador de sinais para termopares do tipo K;
- Leituras de temperaturas de até 1024°C ;
- Custo acessível.

3.7 Programação em Arduino

O módulo Max 6675 foi conectado em conjunto com uma placa de aquisição Arduino Mega 2560, nessa placa foram ligados os 6 termopares em conjunto com o Max 6675

Para a elaboração do programa foi incluído a biblioteca do Max 6675 e logo depois representado as variáveis, uma por uma, de cada um dos 6 amplificadores, representando o nome e o local que ele está ligado na placa de aquisição, para finalizar foi acrescentado o “*print*” que gera a visualização ao usuário.

Além da programação temos as ligações físicas mostradas na Fig.11:

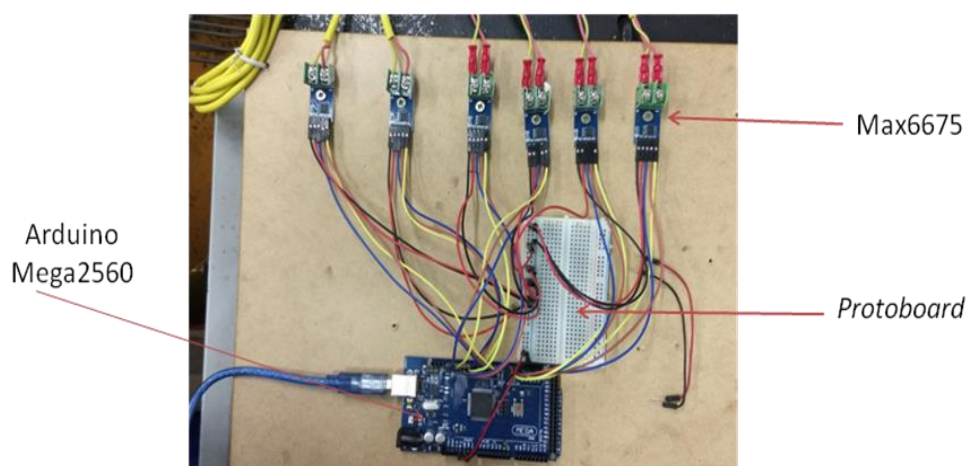


Figura 11: Ligações na placa de aquisição.

3.7 Posicionamento dos termopares

Após a confecção do corpo de prova conforme norma ASTM A255 (2014), foram feitas as furações no corpo de prova com o intuito de posicionar os termopares nesses furos para assim coletar os dados de temperatura.

A partir da base do corpo de prova (face resfriada pelo jato d'água) foram feitas as furações nas seguintes partes do corpo de prova como mostra a Tab.2:

Tabela 2: Distância Dos Corpos de Prova da Face Resfriada

Termopar	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Distância (mm)	5	15	25	35	45	55

Assim teremos 6 curvas obtidas durante o ensaio, cada curva será de uma dessas partes do corpo de prova, a Fig.12 mostra os termopares alojados no corpo de prova:

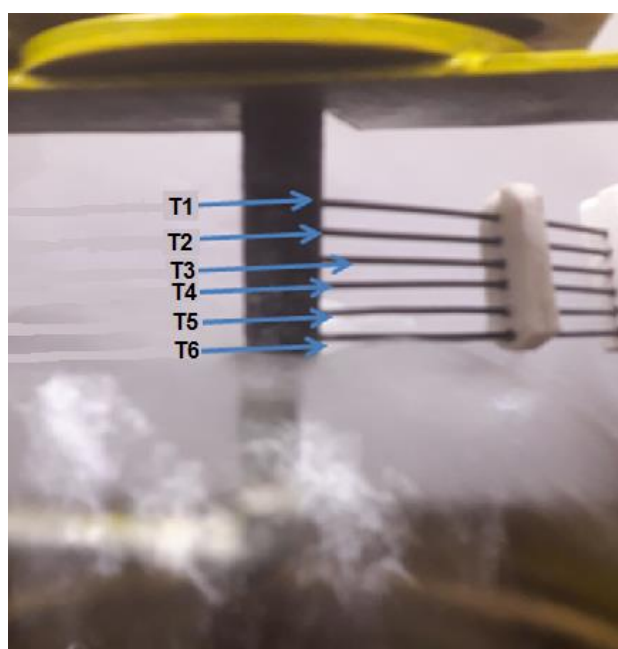


Figura 12: 6 termopares alojados no corpo de prova.

A Fig.12 mostra os 6 termopares, T1, T2, T3, T4, T5 e T6 de 3 mm de diâmetro, alojados no corpo de prova utilizado no ensaio, a furação foi de 3mm e uma parte deles ficou dentro do forno com o corpo de prova e outra fora como mostrou a Fig.10 anteriormente.

3.8 Aquecimento no Forno

O corpo de prova com os termopares alojados foi colocado dentro do forno até que fosse atingida uma temperatura de 900°C, após isso permaneceu nessa temperatura no forno por volta de 1 hora, afim de austenitizar o corpo de prova e equilibrar a temperatura dos termopares, para assim, passar pelo resfriamento..

3.9 Resfriamento no Dispositivo

Após esse tempo, o corpo de prova foi retirado do forno e posicionado no dispositivo de ensaio *Jominy* para que passe por um resfriamento em uma de suas faces, assim permanecendo por 10 minutos segundo norma, ASTM A 255 (2014).

Esse resfriamento em uma de suas extremidades tem o intuito de posteriormente avaliar a temperabilidade do material, já que pelo ensaio metalográfico podemos ver as fases formadas em diferentes pontos do corpo de prova ensaiado.

O dispositivo de resfriamento foi produzido seguindo as principais medidas da norma ASTM A 255, como por exemplo a distância do jato de água que sai da tubulação até a face resfriada da peça que mede 12,7 mm ou seja $\frac{1}{2}$ ".

4. Resultados e Análises

Neste tópico serão abordados os resultados obtidos com os ensaios realizados durante o desenvolvimento do trabalho.

4.1 Curvas de Resfriamento Comparando Dois Pontos (T1 e T2)

Como descrito na Tab.2 T1 estava á uma distância de 5 mm da base resfriada e T2 á 15 mm da base resfriada, a Fig.13 mostra as curvas de resfriamento desses dois pontos:

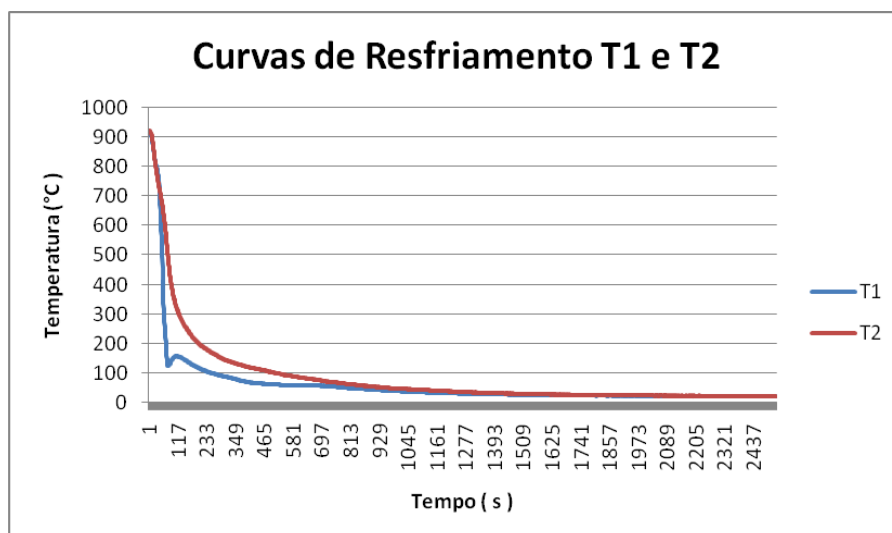


Figura 13: Curvas de Resfriamento T1 e T2.

Como um resultado esperado já desde o anteprojeto, a curva do termopar que estava mais próxima da face resfriada pelo jato de água chegou a temperatura ambiente mais rápido.

No instante que o resfriamento no dispositivo começa há uma redução brusca na temperatura nas duas curvas.

Até 700°C as curvas de resfriamento T1 e T2 são muito parecidas, a partir disso as diferenças começam a aparecer e T1 chega a temperatura ambiente mais rapidamente.

4.1.1 Curvas de Resfriamento Comparando Dois Pontos (T3 e T4)

Logo acima do termopar T2 temos os pontos T3 e T4 onde o termopar T3 está alojado á 25 mm da face resfriada e T4 a 35 mm como mostra a Tab.2, a Fig.14 mostra as curvas desses dois termopares:

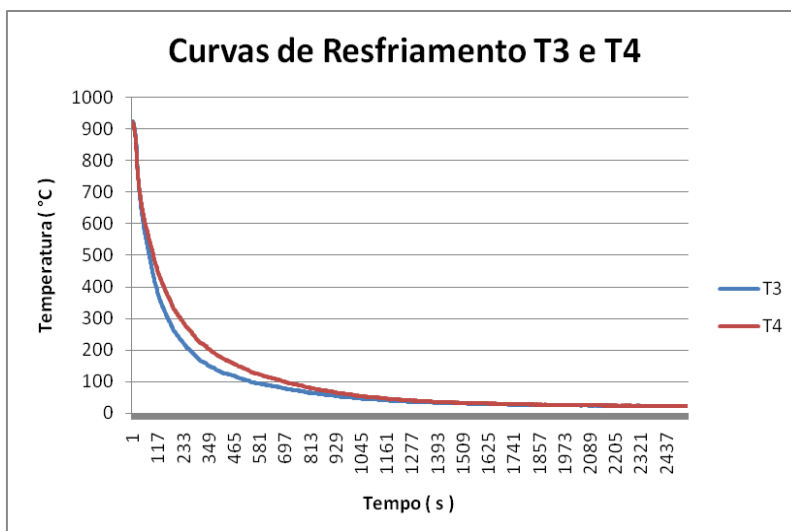


Figura 14: Curvas de Resfriamento T3 e T4

Um pouco mais afastados da face resfriada do corpo de prova obtiveram um equilíbrio em suas curvas até cerca de 600°C, equilíbrio um pouco mais longo que os citados anteriormente no tópico 4.1, porém mesmo com essa diferença de 100°C o tempo é muito curto, logo nota-se que T3 tem uma taxa de resfriamento maior.

A redução brusca vista em T1 e T2 nesse caso já foi menor.

4.1.2 Curvas de Resfriamento Comparando Dois Pontos (T5 e T6)

A Fig.15 mostra os pontos mais afastados da face que recebeu o jato de água, os pontos T5 e T6:

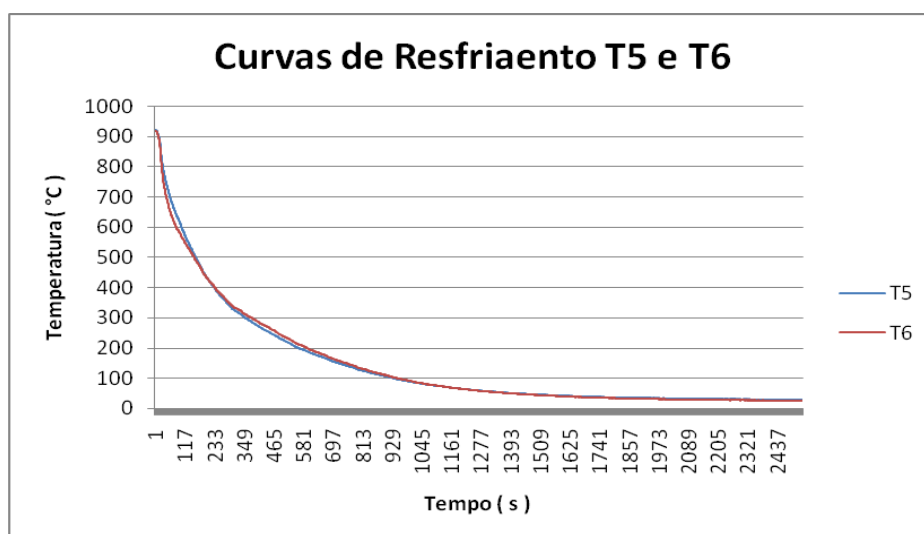


Figura 15: Curvas de Resfriamento T5 e T6

São os pontos mais afastados da face que passou pelo resfriamento logo as variações de temperatura foram menores assim, as curvas T5 e T6 se mostraram muito similares.

Nesses pontos já não temos uma redução de temperatura brusca no início do ensaio, pelo fato do afastamento desses termopares.

Já levaram um tempo maior para entrar na temperatura de equilíbrio em comparação com os outros pontos.

4.2 Curvas dos Gerais do Ensaio

No gráfico da Fig.16 foram abordados os resultados mais importantes deste presente trabalho, que valida o dispositivo de ensaio, já que o objetivo era o ensaio de 6 termopares afim de obter as curvas de resfriamento em 6 pontos diferentes do corpo de prova:

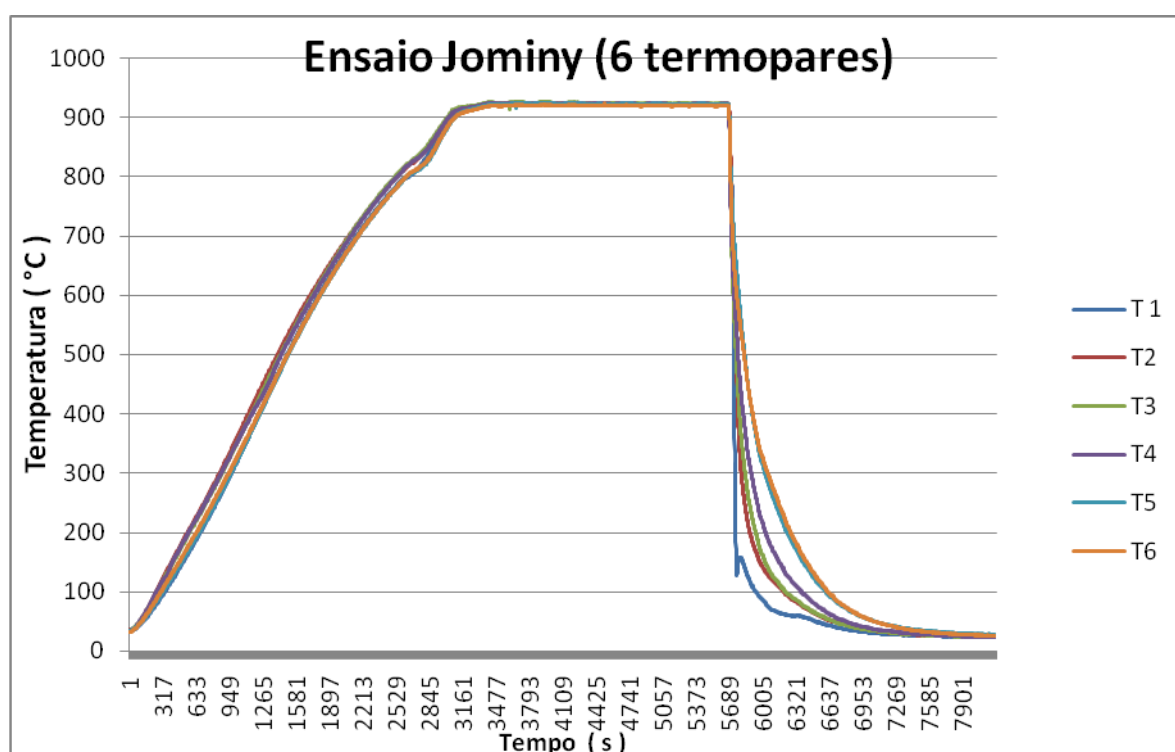


Figura 16: Ensaio Jominy com 6 termopares.

A Fig.16 mostra o gráfico de coleta e monitoramento completo realizado durante o ensaio, observa-se o aquecimento do corpo de prova com os termopares coletando em 6 pontos diferentes a temperatura, após este aquecimento o corpo de prova permaneceu a uma

temperatura de 900°C por 60 minutos afim de austenitizar o corpo de prova, e por fim tirando o corpo de prova do forno e resfriando no dispositivo.

4.2.1 Curvas de Resfriamento

As curvas de resfriamento dos 6 termopares são um dos objetivos principais deste presente trabalho, afim de testar o dispositivo desenvolvido e sistema de aquisição, a Fig.17 ilustra as curvas de resfriamento dos 6 pontos coletados, e comparando com resultados esperados de (Fernandes, 2014).

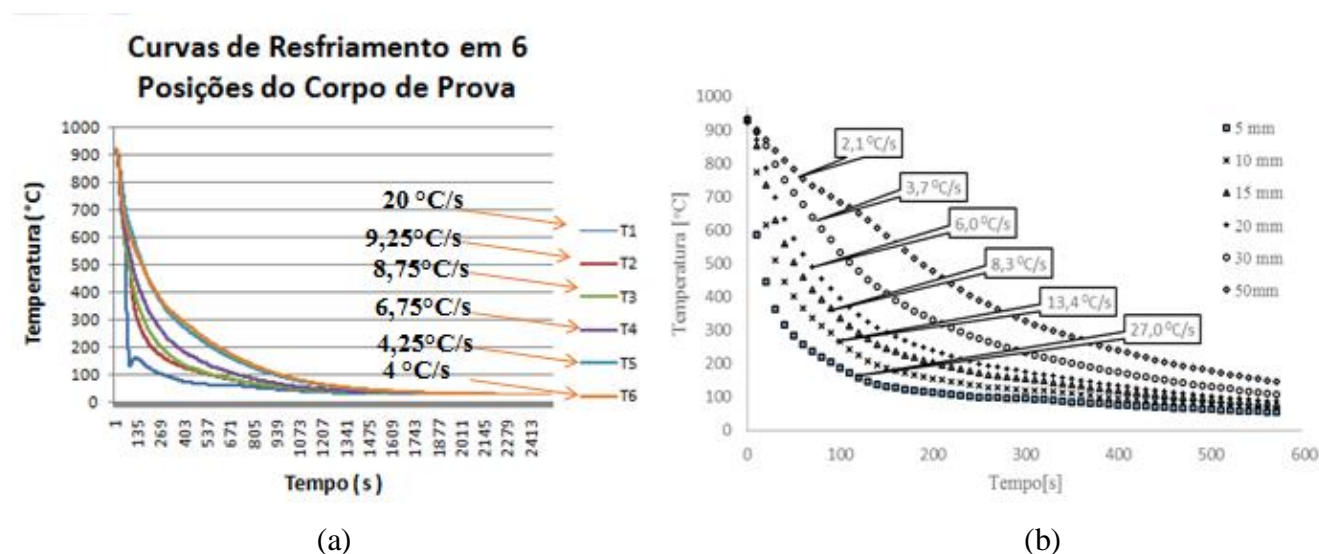


Figura 17: Taxas de Resfriamento, (a) do experimento, (b) da referência

Podemos observar na Fig.17 a grande variação de T1 para T2 em suas taxas de resfriamento, tanto no gráfico obtido neste trabalho quanto o da direita de (Fernandes, 2014), essas variações aconteceram por conta da proximidade de T1 com a face resfriada onde as variações são menores.

A partir destes pontos as taxas de resfriamento foram diminuindo a medida que vai se afastando da face resfriada. Onde fica claro em T5 e T6 que as taxas de resfriamento são muito próximas.

Como descrito, em T1 a taxa de resfriamento foi muito alta e T2 caiu praticamente pela metade, nota-se essa diferença também nas curvas de T1 e T2 na distância entre uma e outra.

Da mesma forma em T5 e T6 onde as taxas foram muito parecidas, suas curvas também são muito parecidas, por ser os pontos mais afastados da face resfriada.

A Fig.17 ilustra graficamente as curvas de resfriamento em 6 pontos diferentes e assim finalmente validando o dispositivo, observasse também que o primeiro a atingir a temperatura ambiente foi T1 seguido por T2, T3, T4, T5 e T6.

4.3 Ensaio de Dureza nos 6 Pontos de Coleta do Corpo de Prova

Após as análises das curvas e taxas de resfriamento, foram efetuados os ensaios de dureza em um dos corpos de prova que foi separado para análise, foram efetuadas 7 medições de dureza neste corpo de prova como mostra a Fig.18:

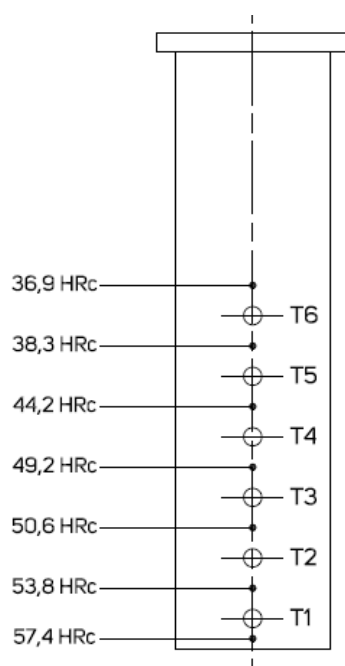


Figura 18: Durezas Após Ensaio *Jominy*.

Como mostra a Fig.18 a maior dureza está na medição feita abaixo de T1 e essa dureza vai diminuindo à medida que se afasta de T1 até chegar em T6, isso devesse as diferenças das taxas de resfriamento onde a maior taxa de resfriamento está em T1 e a menor T6.

Ou seja, onde as taxas de resfriamento são maiores ocorre um endurecimento maior no material durante o ensaio de temperabilidade *Jominy*.

5. Conclusão

Com a execução deste presente trabalho pode-se concluir que o dispositivo de ensaio *Jominy* desenvolvido, junto a instrumentação toda envolvida como descrito e explicado no

procedimento metodológico é capaz de executar o ensaio de temperabilidade *Jominy* além de coletar as curvas de aquecimento e resfriamento no dispositivo.

As variações das taxas de resfriamento de um ponto a outro mostraram que quanto mais próximo o ponto de coleta da face resfriada maior será sua taxa de resfriamento.

O sistema de aquisição se comportou bem durante o ensaio com exceção no monitoramento por *Labview* no momento do resfriamento que apresentava travamentos no programa, porém os dados coletados com o Arduíno se comportaram muito bem.

O ensaio de dureza realizado mostrou que as durezas são maiores nos pontos mais próximos da face resfriada, ou seja; onde as taxas de resfriamento são maiores.

Os termopares são capazes de continuar sendo utilizados para este tipo de ensaio, já que suportaram a temperatura de 900°C e tem um bom tempo de resposta, porém o diâmetro deles de 3 mm atrapalhou no manuseio durante o ensaio, sendo assim uma sugestão para futuros trabalhos seria a utilização de termopares com diâmetros menores.

Os módulos Max6675 mostraram que de forma simples e com eficiência são capazes de obter leituras de qualquer termopar do tipo K.

Outra alteração que pode ser feita é a utilização de placas de aquisição mais confiáveis, as placas arduino apesar de ter grande utilidade didática, placas com uma qualidade maior como as da *NATIONAL INSTRUMENTS* podem amenizar problemas, como por exemplo, de mau contato nos conectores e além de emitir resultados mais confiáveis.

Uma sugestão para trabalhos futuros é realizar o ensaio metalográfico e fazer o ensaio de dureza nas regiões de estudo (onde estão os termopares).

Os termopares utilizados resistiram aos ensaios e podem ser utilizados em trabalhos futuros, sabendo que resistem a uma temperatura de até 980°C segundo fabricante.

Agradecimentos

Quero agradecer a minha família por todo o apoio durante todo o processo, agradecimentos também ao Engenheiro Emerson M. Gonçalves pela ajuda com os corpos de prova e termopares.

6. Bibliografia

ASTM A255-10, “Standard Test Methods For Determining Hardenability of Steel”, Conshohocken, PA, 2014

Chiaverini, Aços e Ferros Fundidos. 7.ed. São Paulo: Editora ABM, 2008

Fernandes, 2014, “Caracterização das Microestruturas Obtidas por Meio de Ensaio Jominy Monitorado do Aço SAE 1026”, Cadernos UniFOA, Edição N°24.

Patrocínio, A. B., 1999, “Determinação De Velocidades Críticas de Têmpera em Aços Por Meio de Curvas de Resfriamento”, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos/ SP, Brasil, 6 p.

Rios, C. T., 2016, “Influência de Tratamentos Térmicos na Microestrutura e Propriedades Mecânicas do Aço SAE 4140”, 22° CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, pp. 5797-5808.

Scheidemantel, R. H., 2014, Utilização de Métodos Teóricos para a Avaliação da Temperabilidade Jominy de Aços com Diferentes Composições Químicas, Monografia de Graduação, Universidade Federal do Rio De Janeiro – UFRJ, Rio De Janeiro/RJ, Brasil, 11 p.

Souza, D. A., 2008, “Análise da Dureza e Microestrutura Formada Após Ensaio de Temperabilidade Jominy”, Anuário da Produção de Iniciação Científica Discente, Vol. XI, pp. 735-762.

Souza, O., 2013, Análise da Temperabilidade um Aço ABNT 1024 Aplicado em Vergalhão da Empresa SINOBRÁS S/A, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Do Pará – UFPA, Campus Marabá/ PA, Brasil, 21p.

TESTMAT, Tratamento Térmico e Gráfico da Curva TTT, disponível em <http://www.testmat.com.br/blog/2013/09/23/tratamento-termico-e-grafico-curva-ttt>, acesso em 15 de Abril de 2018.

UNESP São Paulo. Teperabilidade dos Aços Disponível em http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/lmcm1_aula8.pdf, Acesso em 15 de Setembro de 2017.