

# **INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE RESFRIAMENTO NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DO AÇO SAE 1020**

*Leandro Barbosa do Prado*<sup>1</sup>

*Daniel Fernando Silva*<sup>2</sup>

## **RESUMO**

As propriedades mecânicas dos aços são analisadas por muitos anos, e a resistência mecânica é a características mais exigidas em aços, com isso, diversas avaliações em laboratórios com corpos de provas são elaboradas para alcançar maiores alteração. Os resultados necessitam do tratamento térmico realizado após a sua fabricação, já que o tratamento térmico em um aço a certa temperatura e a condição com que ele é resfriado terá uma ação na sua resistência mecânica. O atual projeto tem como objetivo analisar através de teste de flexão a resistência do aço SAE 1020 sem tratamento térmico, tratado termicamente com diferentes tipos de resfriamento e com diferentes tipos de temperaturas. Os ensaios de flexão comprovam que os métodos de resfriamento possuem uma grande influência na resistência à flexão do material, conseguindo fazendo com que o mesmo aumente a sua resistência mecânica, deixando o material menos dúctil. Conclui-se que, para obter um material mais resistente, em um determinado projeto, precisa-se submeter um tratamento térmico e resfriá-lo à água ou óleo.

Palavras-chave: deformação, SAE 1020, teste de flexão, temperatura, água, óleo.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO.

<sup>2</sup> Orientador, Mestre em Engenharia da Manutenção.

# 1 INTRODUÇÃO

Vários materiais são utilizados na engenharia, dentre eles, os aços possuem um amplo valor na determinação de construção de estruturas metálicas e vale ressaltar também, que ele é um dos materiais mais utilizados na engenharia mecânica, entre eles o aço SAE 1020, que é um dos aços mais comercializados, sendo sujeito a diversos tipos de esforços, com isso, surgiu a necessidade de se fazer o controle de qualidade, a qual pode-se salientar o tratamento térmico, com a normalização forçada e a forma de resfriamento do aço, como fatores decisivos, no aumento da resistência mecânica do material.

Diante destas manifestações, sobre o tratamento térmico e o ensaio de flexão, o atual projeto tem como objetivo explorar e comparar a resistência mecânica de um aço comercial, no caso o aço SAE 1020, sem tratamento térmico, isto é, como ele sai diretamente de fábrica e é comercializado, e com tratamento térmico com diferentes tipos de resfriamento, e analisar esses resultados.

## 1.1 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo a norma da ABNT NBR NM 87:2000 (2000), para se obter a classe do aço, são observados os dois primeiros algarismos e os dois últimos algarismo que possuem o objetivo de informar o teor médio empregado de carbono dividido, por 100. Exemplo: aço 1020 entende-se (os dois primeiros algarismos no caso 10, tem sua a classificação de aço carbono e os dois últimos algarismos 20, que refere a percentual de médio de carbono 0,20%). De acordo com a norma admite-se, uma variação de 0,05% carbono com tolerância (entre 0,18% e 0,23%).

Chiaverini (1986), afirma que os aços contam com ligas de ferro-carbono e também elementos residuais, em sua composição, resultando em seu processo de fabricação.

Segundo Segato (2013), através do seu ponto de vista, o uso do aço 1020 em fabricação de peças no mercado, utilizam-se processos térmicos e mecânicos, que modificam a sua microestrutura, atuando em seu desempenho, possibilitando-se a confiabilidade e uma segurança futura.

De acordo com Machado (2002), a normalização é definida, por um resfriamento relativamente lento (alguns minutos, dependendo do tamanho da peça) com início, desde uma temperatura de 100% de austenização cerca de 900 °C, essa temperatura depende da

composição do aço. O produto dessa reação é a formação de ferrita e de perlita.

De acordo com Brunatto(2016) a normalização traduz-se a um tipo de recozimento com o resfriamento contínuo do material sendo feito ao ar e não dentro do forno. O objetivo da normalização é refinar a microestrutura, quando se compara à obtida, no recozimento pleno. Na atual situação o super-resfriamento é apresentado pelo gradiente de temperatura ( $\Delta T$ ), no qual a austenita é resfriada em uma condição de metaestabilidade, abaixo da zona crítica, tornando-se uma condição de fora de equilíbrio. Em outro contexto o super-resfriamento age como força motora para a nucleação da fase em transição, atuando diretamente na taxa de formação de núcleos estáveis da nova fase.

Chiaverini (1986) afirma que velocidades superiores de resfriamento são capazes de ocasionar tensões internas demasiadas, empenamento as peças e até mesmo surgimento fissuras. Com o intuito de deixar as propriedades finais do aço, por meio de um tratamento térmico, com resfriamento menos drástico, procura-se um aço que possibilite obtenção de alta dureza, com menor velocidade de resfriamento.

Segundo Norton(2013), os diagramas de tensões-deformação não são realizados, com base no ensaio de tração, porque as disseminações de tensões na seção transversal, não são uniformes. A curva de tensão-deformação do ensaio de tração é utilizada, para prever falhas na flexão, pois as tensões de flexão são de tração no lado convexo e de compressão no lado côncavo da viga.

Malavolta (2005) afirma que no dobramento de perfis de chapas a peça sofre uma distorção geométrica após sua retirada da matriz que é comum de acontecer. Este efeito, denominado como retorno elástico, podendo ser prejudicial na montagem final acompanhado a outros componentes.

Conforme Chiaverini (1986), o processo de dobramento é definido como uma carga aplicada em uma peça, obtendo tensões de compressão e em outra parte de seção transversal se caracteriza a induzir tensões de flexão na parte restante.

De acordo Pfeil (2009) a ductilidade é denominada através da capacidade que o material tende a deformar, sob a atuação das cargas. Quando os aços dúcteis estão submetidos a tensões elevadas possuem a deformação plástica capazes de redistribuir as tensões. A ductilidade do material é obtida através, da deformação unitária residual posterior, a ruptura.

## 1.2 OBJETIVOS

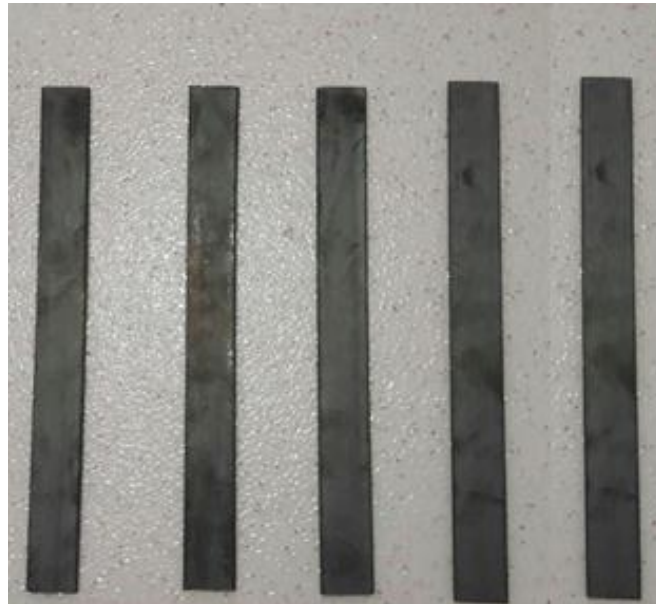
Avaliar a influência do método de resfriamento do aço 1020 na resistência à flexão, quando o mesmo for submetido ao tratamento térmico, por normalização forçada. Com objetivo de obter uma melhor resistência mecânica, melhor resistência a flexão e maior dureza do aço.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

O material estudado neste trabalho foi uma barra chata comercial de aço 1020. Para os ensaios de flexão foram cortados 5 corpos de provas, com as dimensões de 3,125 mm de espessura x 250 mm de comprimento x 25,4 mm de largura. A Figura 1 mostra os corpos de prova.

**FIGURA 1** - Corpos de Prova



Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

## 2.2 METODOLOGIA

Este estudo ocorreu no laboratório de Processos de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica, da Universidade de Rio Verde, o mesmo foi dividido nas etapas desenvolvidas a seguir.

Depois dos corpos de provas cortados de acordo com o item 2.1 deste trabalho, os mesmos foram encaminhados, para o tratamento térmico em um forno por resistência elétrica, e com alta capacidade de aquecimento. Pode-se analisar o forno na Figura 2.

**FIGURA 2** – Forno por resistência elétrica.

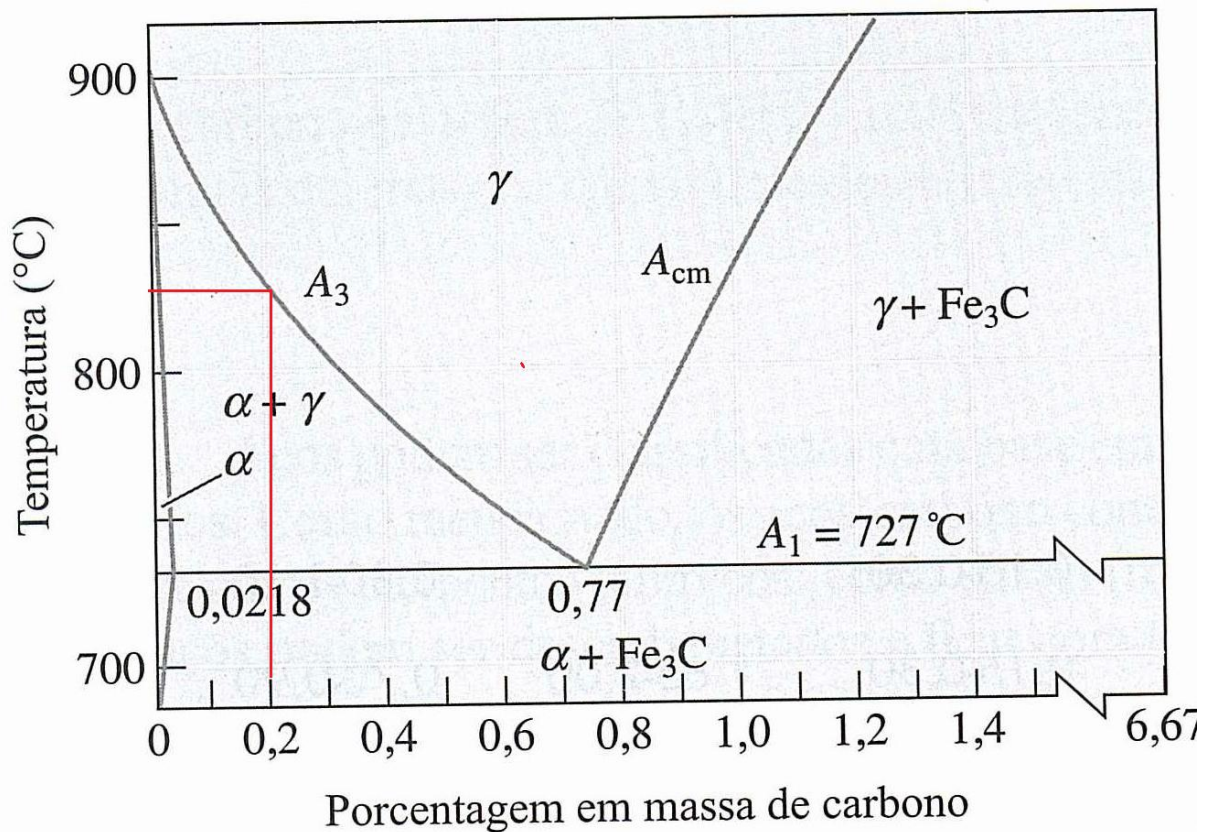


Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

A temperatura para tratamento térmico do aço 1020 foi escolhida de acordo, com as pesquisas feitas na literatura existente, a qual para que tenha uma alteração sensível da microestrutura dos aços de baixo carbono, Callister (2016) identifica que a 912 °C no diagrama de ferro-carbono, a ferrita, ou ferro  $\alpha$ , com estrutura CCC (cúbica de corpo centrado) apresenta transformação polifórmica, para austenita, ou ferro  $\gamma$ , com estrutura CFC (cúbica de face centrada).

Askeland (2014), também identifica que aços de baixo carbono começam a sofrer a transformação da ferrita, para austenita pura, na temperatura de 900 °C. Com o objetivo de aumentar a resistência mecânica, do aço à flexão. A transformação de fase é observada no diagrama de fases de Fe-Fe<sub>3</sub>C, destacado na Figura 3.

FIGURA 3 - Diagrama de fases Fe-Fe<sub>3</sub>C.



Fonte: Askeland, 2014.

Pode-se analisar por meio do diagrama que a linha vermelha em destaque para 0,2 % de peso de carbono, em que se encontra o aço 1020, e analisa-se que começa uma transformação de fase ferrítica, para a fase austenítica aproximadamente a 830 °C, mas pela literatura destacadas acima, a maioria trabalha, com a temperatura de aproximadamente 900°C. Para o estudo e o desenvolvimento dos testes práticos foi escolhida de início a temperatura de 850 °C, para que não se afaste muito, em relação a temperatura de 900 °C determinada, em literatura, e também adotou-se 900 °C.

Na literatura considera que durante o processo de normalização, que é o aquecimento do aço acima da zona crítica, ou seja, acima de 750 °C, para cada 10 mm de espessura, o aço deve ser mantido aquecido por 15 minutos, como o material apresenta-se com espessura de 3.125 mm, pode-se concluir então que o tempo de aquecimento necessário para este material seja aproximadamente de 4 minutos e 6 segundos para que se tenha 100 % austenita em sua estrutura.

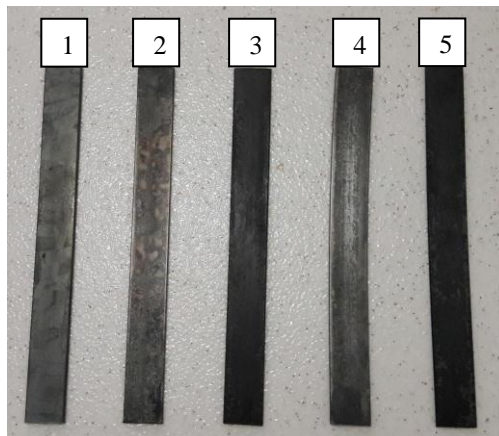
Adotou-se o seguinte procedimento para o processo de normalização forçada.

- 1 Corpo de prova aço SAE 1020 sem tratamento térmico (comercial);
- 1 Corpo de prova aço SAE 1020 tratado termicamente à 850 °C e resfriado em água;
- 1 Corpo de prova aço SAE 1020 tratado termicamente à 850 °C e resfriado em óleo;
- 1 Corpo de prova aço SAE 1020 tratado termicamente à 900 °C e resfriado em água;
- 1 Corpo de prova aço SAE 1020 tratado termicamente à 900 °C e resfriado em óleo.

Depois da normalização forçada por aquecimento, durante o período de 4 minutos e 6 segundos, os corpos de provas foram retirados do forno e resfriados em água e óleo, esse processo de resfriamento rápido (forçado ou bruscamente) é chamado de têmpera, mas as literaturas destacam que em aços de baixo teor de carbono, no caso específico do aço 1020, o material de estudo, o processo de têmpera não influencia na mudança de microestrutura de um aço de baixo teor de carbono.

Na Figura 5 observa-se os corpos de provas sem tratamento térmico e com tratamento térmico, para serem realizados os devidos ensaios de flexão.

**FIGURA 4** – Corpos de Prova para ser realizado o ensaio de Flexão

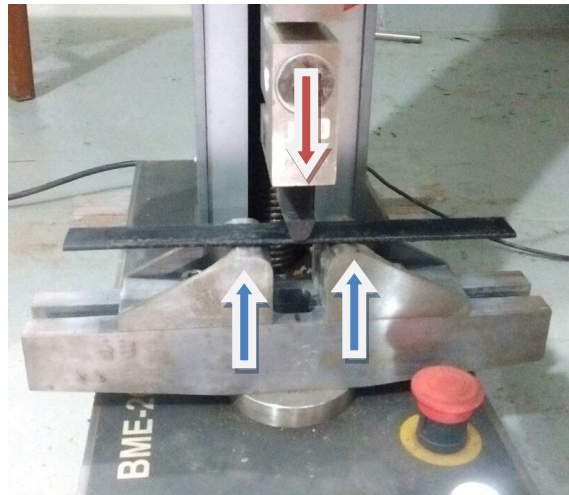


Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

Ao iniciar a segunda fase, os corpos de prova foram conduzidos à máquina de flexão ao mesmo tempo um dos corpos de prova, que não passou pelo processo de tratamento térmico que foi utilizado como teste de controle, que também irá ser submetido ao ensaio de flexão, para se obter os seguintes resultados.

Realizou-se os ensaios nos corpos de prova, em uma máquina de ensaio de flexão universal BME-20 kN. O equipamento utilizado que encontra-se no laboratório de ensaios mecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde – UNIRV. A Figura 5 mostra a máquina realizando-se os ensaios.

**FIGURA 5** – Máquina universal de ensaio de flexão.



Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

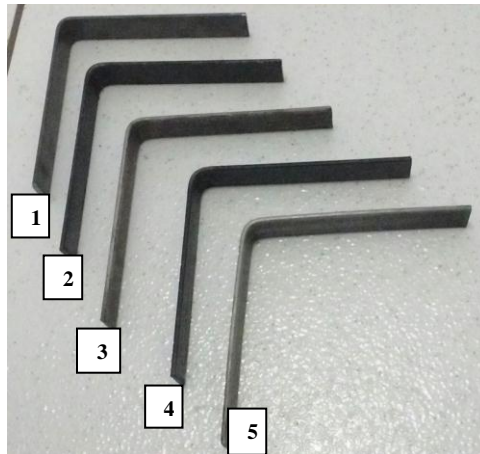
Os ensaios de flexão foi realizado de 3 apoios, segundo a norma ABNT NBR ISSO 6153 (1988), com isso realizou-se um estudo dos resultados fornecidos, pelo software da máquina.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Analisando-se os resultados obtidos, inicialmente avaliou os corpos de provas sem tratamento térmico, acompanhados com os corpos de prova tratados termicamente, A Figura 6 mostra a sequência numerada, tem-se primeiramente o corpo de prova sem tratamento térmico (1), o segundo com tratamento térmico à 850 °C resfriado no óleo (2), o terceiro com tratamento térmico à 850 °C resfriado à água (3) o quarto com tratamento térmico à 900 °C e resfriado no óleo (4) e o quinto com tratamento térmico à 900 °C e resfriado à água.



**FIGURA 6** – Corpos de provas após o ensaio de flexão.



Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

Inicialmente realizou para cada tipo de corpo de prova um ensaio de flexão. Analisando-se os seguintes resultados, como mostra o gráfico na Figura 6, na qual não foi realizado tratamento térmico, servindo como base de comparação e controle, em relação aos ensaios de flexão, com os outros corpos de prova, que foram submetidos ao tratamento térmico, por normalização forçada, as Figuras 6, 7 (a) e (b) e 8 (a) e (b) representam os respectivos gráficos.

**FIGURA 6** – Tensão x Deformação do corpo de prova de controle

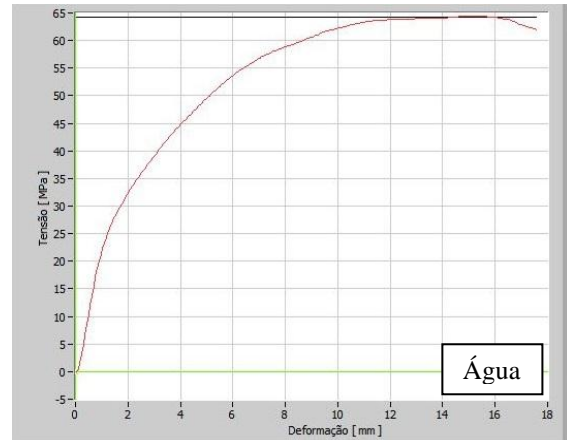
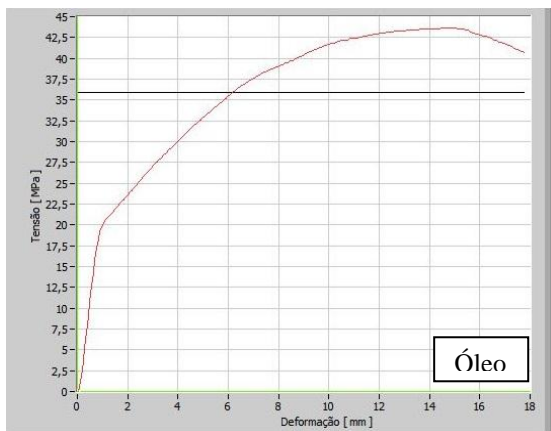


Máximo - tensão [ MPa ]	42,742
-------------------------	--------

Máximo - força [ kgf ]	340,483
------------------------	---------

Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

**FIGURA 7** – Diagramas Tensão x Deformação dos corpos de prova austenitizados a 850 °C (a) resfriado em óleo; (b) resfriado em água

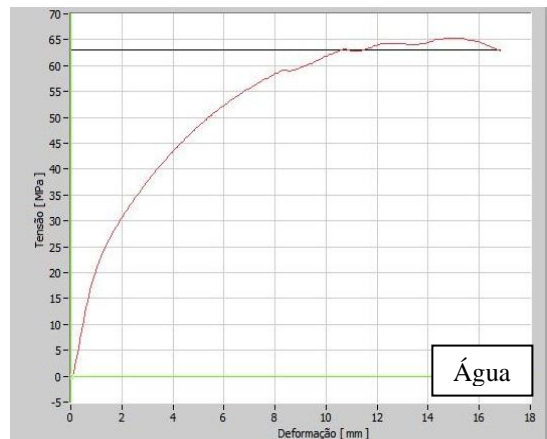
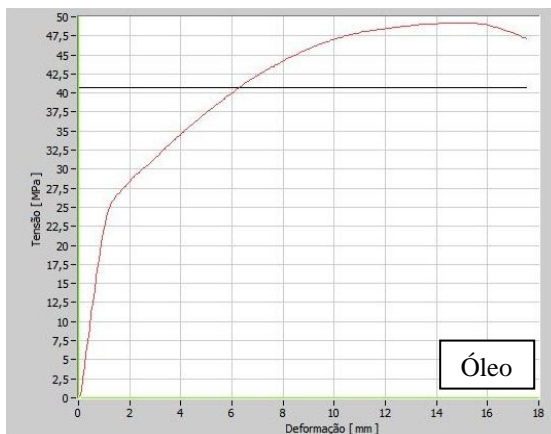


Máximo – tensão [ Mpa]	43,630
Máximo – força [ kgf]	339,973

Máximo – tensão [ Mpa]	64,440
Máximo – força [ kgf]	506,085

Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

**FIGURA 8** - Diagramas Tensão x Deformação dos corpos de prova austenitizados a 900 °C (a) resfriado em óleo; (b) resfriado e água



Máximo - tensão [ MPa ]	49,218
Máximo - força [ kgf ]	397,179

Máximo - tensão [ MPa ]	65,376
Máximo - força [ kgf ]	521,585

Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

Avaliando-se os gráficos nas Figuras 7 e 8 juntamente com a tabela 2, observou-se que a temperatura de austenitização do material a 850 °C e 900 °C não obteve influência significativa no resultado, observou-se que limites de tensões máximas (Mpa), não houve uma variação acentuada, quando se compara dentro do mesmo método de resfriamento (água ou óleo).

Já o método de resfriamento água e óleo tem grande influência na variação do resultado, onde o material possivelmente teve um refino de grão, com isso provavelmente obteve uma perlita mais fina, e o material ganhou uma maior dureza, melhor resistência mecânica e sendo menos dúctil.

Foi desenvolvido um Planejamento Fatorial, para obter melhores resultados como descrito na Tabela 1. Em seguida foi realizada uma Análise de Variância, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 1.** Planejamento Fatorial.

<i>Temperatura de austenitização (A)</i>	<i>Método de resfriamento (B) Óleo</i>	<i>Método de resfriamento (B) Água</i>
<i>850 °C</i>	43,63	64,44
<i>900 °C</i>	49,218	65,376

Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

**Tabela 2.** Análise de Variância

<i>Variável</i>	<i>SQ</i>	<i>Fi</i>	<i>MQ</i>	<i>F0cal</i>	<i>F0tab</i>	<i>Resultado</i>
<i>A</i>	10,640644	1	10,640644	1,966746983	7,71	<i>Não influência</i>
<i>B</i>	341,658256	1	341,658256	63,14987553	7,71	<i>Influência</i>
<i>AB</i>	5,410276	1	5,410276		7,71	
<i>Erro</i>	0	0				
<i>Total</i>	357,709176	7				

Fonte: Leandro Barbosa do Prado, 2017.

Analisando as Tabelas acima, em que (A) é a variação da temperatura e (B) o método de resfriamento, analisa o fator (A) variação da temperatura não interferindo nos resultados à flexão, devido as tempera ser muito próximas e ambas estão acima da zona crítica. Já o fator (B) método de resfriamento interferiu diretamente, no resultado dos ensaios de flexão, dividido meio ser um resfriamento brusco, e obteve um fino de grão ou seja uma perlita mais fina.

## **4. CONCLUSÕES**

Conclui-se, que de acordo, com o objetivo proposto, os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos, onde foi utilizado aço SAE 1020, constatando-se que o tratamento térmico de normalização forçada, em relação aos tipos de resfriamento (água e óleo), obteve uma grande variação, na resistência à flexão, sendo que o material adquiriu uma melhor resistência mecânica, maior dureza e conseqüentemente ficou menos dúctil.

Este método de tratamento de normalização forçada utilizando um aço comercial pode ser utilizado, em projetos futuros, um exemplo destes seria a aplicação de tratamentos, em engrenagens, com a obtenção de uma maior resistência mecânica, do material.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Brasil) (Org.). **ABNT NBR NM 87:2000:** Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química. 2000. Disponível em: <[pt.scribd.com/document/38571645/ABNT-1020](http://pt.scribd.com/document/38571645/ABNT-1020)>. Acesso em: 08 out. 2017.

ABNT (Brasil) (Org.). **Produtos metálicos- ensaio de dobramento:** nbr 6153. 1988. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/AlexandreSantos271/abnt-nbr-6153-1988>>. Acesso em: 01 out. 2017.

ASKELAND, Donald R. "**Ciência e Engenharia dos Materiais**"/Donald R. Askeland, Wendelin J. Wright; elaboração da versão SI D. K. Bhattacharya; tradução Solange Aparecida Visconti; revisão técnica Daniel Rodrigo Leiva. – São Paulo: Cengage Learning, 2014.

BRUNATTO, Silvio Francisco. **INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS AÇOS:** UFPR. 2016. Disponível em: <[ftp://demec.ufpr.br/disciplinas/TM052/Prof.Silvio/INTRODUÇÃO\\_AO\\_ESTUDO\\_DOS\\_AÇOS-Parte\\_4.pdf](ftp://demec.ufpr.br/disciplinas/TM052/Prof.Silvio/INTRODUÇÃO_AO_ESTUDO_DOS_AÇOS-Parte_4.pdf)>. Acesso em: 06 out. 2017.

CALLISTER. William, D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução** / William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch ; tradução Sergio Murilo Stamile Soares. - 9. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2016.il. ; 28 cm.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica:** materiais de construção mecânica. 1986. Disponível em: <[kaiohdutra.files.wordpress.com/2012/10/vicente-chiaverini-tecnologia-mecc3a2nica-vol-iii-materiais-de-construc3a7c3a3o-mecc3a2nica.pdf](http://kaiohdutra.files.wordpress.com/2012/10/vicente-chiaverini-tecnologia-mecc3a2nica-vol-iii-materiais-de-construc3a7c3a3o-mecc3a2nica.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2017.

MACHADO, Izabel F. Tratamentos térmicos e de superfície. **Prof. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Depto. de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos PMR**, 2002.

MALAVOLTA, Alexandre Tácito et al. Análise do retorno elástico em dobramentos de chapa via método dos elementos finitos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**. 2005.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. Bookman Editora, 2013.

PFEIL, Walter; PFEIL, MichÈle. **Estrutura de aço**. 2009. Disponível em: <ABNT (Brasil) (Org.). **Produtos metálicos- ensaio de dobramento:** nbr 6153. 1988. Disponível em: . Acesso em: 01 out. 2017.>. Acesso em: 01 out. 2017.

SEGATO, Danilo Luiz. **Análise da influência do grau de encruamento em aço AISI 1020 no potencial de repouso e taxa de corrosão em ácido clorídrico 0, 1 molar e ácido nítrico 0, 1 molar**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.