

## ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO ABNT 1020 APÓS TRATAMENTO TERMOQUÍMICO DE CEMENTAÇÃO REALIZADO EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Luiz Henrique Alves Leles

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. luizhenriqueleles@outlook.com

Sebastião José de Souza Barros

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. sebastiaojsb@hotmail.com

Sérgio Mateus Brandão

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. sergio.brandao@unievangelica.edu.br

Rosemberg Fortes Nunes Rodrigues

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. rosemberg.rodrigues@unievangelica.edu.br

### Resumo

O aço é uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, utilizada amplamente em diversos ramos da indústria, o que está diretamente relacionado com suas características de resistência, dureza e tenacidade. Os tratamentos térmicos e os tratamentos termoquímicos são processos que modificam a microestrutura do material para obter melhora de suas propriedades. Este trabalho visou abordar as mudanças observadas na microestrutura do aço ABNT 1020 e as melhorias de suas propriedades mecânicas após aplicação de cementação sólida e normalização, expondo os resultados encontrados por meio dos ensaios de dureza Rockwell e de Impacto Charpy. Para a realização, foi utilizada uma barra de aço ABNT 1020, usinada em 32 corpos de prova conforme o formato padrão. A para ensaio de impacto Charpy, os quais também foram usados para aplicação do ensaio de dureza Rockwell. A cementação foi realizada em três temperaturas de austenização distintas, 850 °C, 900 °C e 950 °C. Após a cementação, os corpos de prova passaram pelo processo de normalização, retornando ao forno por 920 °C, por cerca de 25 minutos e, em seguida, sendo resfriados à temperatura ambiente. Para o ensaio de Charpy, os corpos foram inseridos na máquina de impacto, utilizando o parâmetro 150J de energia. Por fim, realizou-se o ensaio de dureza, utilizando o padrão de dureza Rockwell 68. Os resultados de impacto demonstraram que o grupo submetido à cementação a 850 °C foi o que apresentou maior média de resistência ao impacto, devido à menor dureza recebida e ao melhor aproveitamento da normalização. Também foi verificada maior tenacidade no grupo submetido a uma temperatura maior, de 900 °C, enquanto o grupo tratado a 950 °C na cementação obteve uma mudança maior na estrutura em relação aos demais. No grupo que não passou por tratamento térmico, o teste de dureza verificou uma convergência com os valores sugeridos por catálogos comerciais. Já nos grupos que receberam tratamento, observou-se maiores valores de dureza, o que se deve ao processo de cementação, conferindo maior concentração de carbono superficial. Após os procedimentos, conclui-se que a cementação e a normalização são tratamentos térmicos viáveis para o aumento da dureza e tenacidade, podendo ser aplicados em peças que requeiram dureza e resistência. Com isso, tais peças, especialmente as manufaturadas em aço ABNT 1020, poderão resistir aos impactos sem que se rompam, evitando problemas como desgaste superficial, rompimento, entre outros.

**Palavras-Chave:** aço ABNT 1020; tratamentos térmicos e termoquímico; cementação.

### 1. Introdução

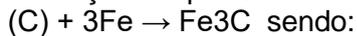
O aço, liga metálica ferrosa constituída basicamente de ferro e carbono, é um material que há muito tempo vem sendo utilizado amplamente pelo ser humano em todas as áreas da sociedade. Seu uso está empregado em diversos ramos da indústria, desde a metalúrgica, automotiva, construção civil, bélica, farmacêutica, naval, aeronáutica, espacial e muitas outras. Segundo dados do Instituto Aço Brasil, a produção de aço bruto recuou 8% em 2019 para 32,6 milhões de toneladas, sendo o Brasil o 9º país que mais produz

aço em estado bruto no mundo. Dentre os principais setores que mais utilizaram o aço no país, destacam-se a construção civil com 37,6%, a automotiva com 24,1% e o setor de bens de capital com 20,5% [1].

Esta vasta utilização está diretamente ligada às características mecânicas do material, sendo a resistência, dureza e tenacidade as mais conhecidas, tais propriedades estão relacionadas com sua microestrutura, que é a estrutura específica do material em escala bastante reduzida. Esta microestrutura pode ser modificada por meio de processos conhecidos como tratamentos térmicos e tratamentos termoquímicos, que modificam a microestrutura do material a fim de obter uma melhora em suas propriedades físicas. Alguns processos de tratamentos que visam atingir melhorias no material podem ser citados:

Operações de aquecimento e de resfriamento controlados, que têm por objetivo afetar as características de aços e ligas especiais, são denominados tratamentos térmicos. Os tratamentos térmicos de aços e ligas englobam uma das mais amplas faixas de temperaturas dentre os processos industriais, variando desde o tratamento subzero (abaixo de 0°C) para estabilização, até a austenitização de aços rápidos, temperaturas que alcançam até 1280°C. Para atingir estas temperaturas, diversos equipamentos são utilizados e é também necessária a correta escolha dos materiais a serem usados para a diminuição da temperatura, seja ela brusca ou de forma lenta [2]. Diversos são os tipos e modos de tratamentos térmicos e alguns merecem destaque pela sua popularidade no mercado ou custo-benefício, dentre eles podem ser citados:

A cementação é um processo termoquímico que visa o endurecimento superficial dos aços, nesse tratamento o elemento principal é o carbono na forma de carvão ou outro pó rico em carbono. Os aços a serem cementados devem possuir carbono baixo, de modo que, quando aquecidos a elevadas temperaturas (de austenitização), na presença de um meio carbonetante, o carbono desse meio reage com o ferro do aço, de acordo com a reação simples:



**C** – Carbono

**Fe** – Ferro

Desse modo, a superfície do aço fica enriquecida de carbono até a profundidade que pode ser perfeitamente preestabelecida, permitindo, assim, a sua normalização posterior para aumento superficial da dureza e da resistência. Nesse processo as temperaturas variam de 850°C a 950 °C, porque, nessa faixa o ferro está na forma alotrópica gama que absorve e dissolve o carbono. [3]

A normalização, por sua vez, consiste no processo de aquecimento do aço a uma temperatura acima da zona crítica, seguido de resfriamento no ar. A normalização tem como objetivo refinar a granulação grosseira de peças de aço fundido principalmente; frequentemente, e com o mesmo fim, esse tratamento é aplicado em peças após serem laminadas ou forjadas. A normalização é ainda usada como tratamento preliminar à têmpera e ao revenimento, para produzir uma estrutura mais uniforme do que a obtida por laminação [4].

Todos esses processos citados são realizados para, de alguma forma, alterar e conferir as ligas do aço uma melhor aplicação na sua área. Dentro de todos os tipos de aços, é de amplo conhecimento que todos os aços contêm carbono. Este elemento confere propriedades de dureza e resistência ao ferro, porém, muitas vezes só o carbono não é suficiente para conferir à liga os requisitos necessários para aplicações específicas como o uso da liga como uma ferramenta mecânica que exige elevada dureza ou uma peça automotiva que exige elevada resistência, por exemplo. Dito isso, é possível separar os aços em 2 grandes grupos, o aço carbono e o aço liga. O aço carbono é formado pela liga de ferro com carbono, onde o teor de carbono nesse caso é inferior a 2,11%, são chamados de aço carbono todos os produtos derivados apenas da junção do ferro com o carbono. O aço liga, no entanto, contém, além das ligações entre ferro e carbono, outros elementos em proporções significativas que podem alterar as propriedades químicas ou mecânicas do material. Geralmente, os outros elementos adicionados à composição do aço são: manganês, níquel, cromo, molibdênio, vanádio, tungstênio e silício. Isso vai depender da propriedade que querem que o aço atinja [5].

Quanto à classificação, os aços podem ter diferentes nomes de acordo com a instituição que o regulamenta, as mais conhecidas instituições são a SAE, *Society of Automotive Engineers*<sup>1</sup>; AISI, *American Iron and Steel Institute*<sup>2</sup> e ASTM, *American Society for Testing Materials*<sup>3</sup>. O aço ABNT 1020, por exemplo, tem sua nomenclatura originada da SAE, a qual a ABNT baseou suas classificações. Os dois primeiros algarismos, ou seja, o 10 significa que os aços são simplesmente ao Carbono. A fração XX/100 indica o teor de Carbono em peso presente no aço [6]. Por exemplo, um aço SAE/AISI 1020 é um aço simplesmente ao Carbono, contendo entre 0,18 e 0,23%C em peso, é utilizado em engrenagens, eixos, virabrequins, pinos guia, anéis de engrenagem, colunas, catracas, capas, tubos entre outros. A resistência a tração do aço 1020 é de 420 MPa ou 60900 psi. É fácil manipular o aço SAE 1020 usando qualquer método convencional pois esta liga é bem dúctil. Além disso, o aço 1020 pode ser soldado com grande facilidade.

A realização de alguns ensaios pode mensurar e evidenciar as características mecânicas dos materiais, em especial o aço, seja a dureza, seja a tenacidade. O ensaio de impacto é um dos primeiros e é até hoje um dos ensaios mais empregados para o estudo de fratura frágil nos metais. Esse ensaio, às vezes denominado de ensaio de choque ou impropriamente de ensaio de ensaio de resiliência, é um ensaio dinâmico usado principalmente para materiais utilizados em baixa temperatura. A tendência de um material se comportar de maneira frágil é então medida pelo ensaio de impacto onde um corpo de prova é apoiado na máquina de ensaio, a qual um martelo é montado de maneira que sua energia cinética, no ponto de impacto, tenha um valor fixo e especificado. Assim, ao ser solto, o martelo rompe deve romper corpo de prova e sua altura alcançada é inversamente proporcional à energia absorvida para romper o corpo de prova. Ainda nesse sentido, a propriedade mecânica, denominada dureza, é largamente utilizada na especificação de materiais nos estudos, nas pesquisas mecânicas e metalúrgicas e na comparação de diversos materiais. Sob esse ponto de vista, um tipo de ensaio de dureza por penetração é o de Rockwell, introduzido em 1922 e que leva o nome do autor e leva algumas vantagens que fazem esse tipo de teste de dureza ser de grande uso internacional. O ensaio é baseado na profundidade de penetração subtraída da recuperação elástica devida à retirada de uma carga maior e da profundidade causada pela aplicação de uma carga menor. Os penetradores utilizados na dureza Rockwell são do tipo esférico ou cônico. O número de dureza é obtida em HR, que varia entre os padrões A, B e C, e corresponde a um valor adimensional [7].

Este aço, em específico, é comumente utilizado em diversos ramos da indústria. Assim, o presente artigo abordará as mudanças observáveis em sua microestrutura e as melhorias significativas de suas propriedades mecânicas obtidas através do tratamento termoquímico de cementação sólida, expondo os resultados que foram encontrados por meio dos ensaios de dureza Rockwell e de Impacto Charpy.

O presente artigo irá expor, por meio de gráficos, tabelas e imagens, os resultados dos ensaios de tração e testes de dureza Rockwell depois da aplicação da cementação sólida e normalização do aço ABNT 1020 bem como discutir os resultados obtidos e a pertinência de tais tratamentos.

## **2. Materiais e Métodos**

O experimento foi realizado no centro tecnológico da universidade Evangélica de goiás campus Anápolis (GO), onde foram utilizados: forno, máquina de ensaio de tração e de dureza e outros materiais como barra de aço e pó para enriquecimento de carbono.

### **2.1 Materiais**

#### **2.1.1 Corpos de Prova**

Para a confecção dos corpos de prova foi utilizado uma barra de aço ABNT 1020, tabela de composição do material 01, usinada em 32 corpos de prova conforme o formato padrão A para ensaio de

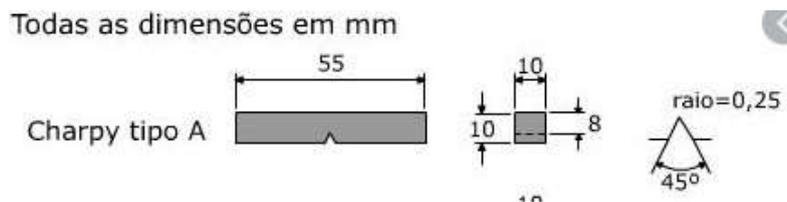
impacto por pêndulo Charpy regido pela norma ABNT NBR ISO 148 [8], esses também foram usados para a realização do ensaio de dureza Rockwell, regido pela norma ABNT NBR ISO 6508 [9].

Tabela 01: Composição e Propriedades do Aço ABNT/SAE 1020

Composição Química				Propriedades Mecânicas			
% C min-max	%M min-max	%P max	%S max	Dureza (HRB)	Resistência a Tração (Mpa)	Limite de escoamento (Mpa)	Impacto (J)
0,18 - 0,2	0,3 - 0,6	0,03	0,05	70	440	345	118

Fonte: Gerdau [10].

Figura 1: Dimensões do Corpo de Prova padrão A



Fonte: CIMM [11].

Figura 1: Corpo de Prova Usinado para os testes.



Fonte: Do autor.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Cementação

A cementação foi realizada em três temperaturas de austenização distintas, 850 °C; 900 °C e 950°C, respectivamente. Com a divisão das quantidades para cada temperatura de oito corpos de prova, seis para teste de Charpy e dois para o teste de dureza.

**Figura 2:** Pó de Cementação



Fonte: Do autor.

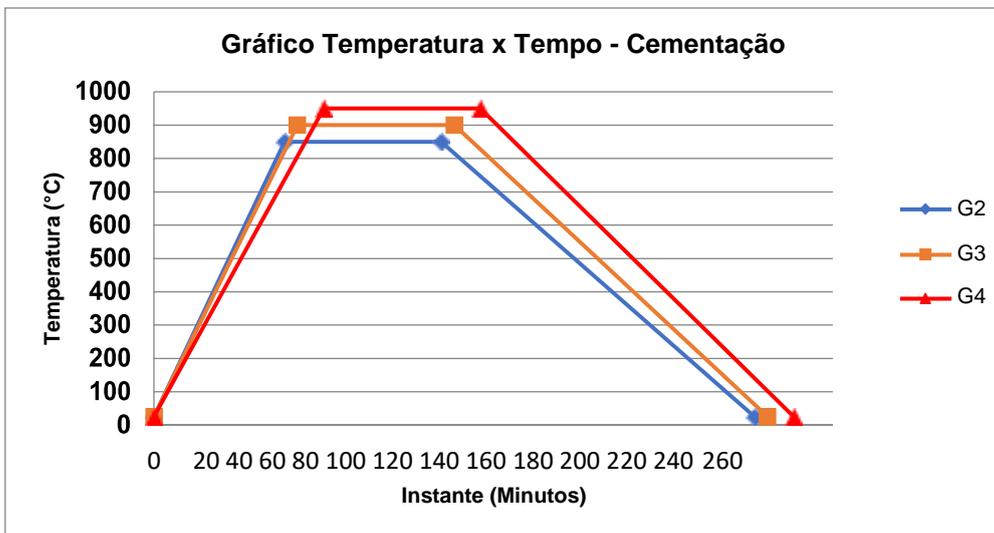
Primeiro, foram inseridos os corpos de prova do grupo G2 no forno Jung de modelo CBO 9613 com capacidade térmica de 1300°C a temperatura ambiente e aguardou-se que a temperatura de 850° fosse atingida. Após isso, os objetos foram mantidos a essa temperatura por 60 minutos e, após esse tempo, os corpos foram tirados do forno e submetidos a resfriamento no pó de cementação FL cementox, que é um composto que confere ao metal tratado, endurecimento superficial mantendo as características originais do núcleo, até que a temperatura ambiente fosse restabelecida. Repetiram-se os processos anteriores com os corpos dos grupos G3 e G4 à 900°C e à 950°, respectivamente. Após a finalização de todos os grupos, todos os corpos foram reservados para a realização do próximo tratamento.

**Figura 1:** Forno Jung CBO 9613



Fonte: Do autor.

Gráfico 1 – Temperatura e Tempo submetidos de cada grupo



## 2.2.2 Normalização

Depois de realizada a cementação, os corpos retornaram ao forno a 920°C por cerca de 25 minutos. Após esse período, as peças foram retiradas do forno e levados ao resfriamento à temperatura ambiente.

Depois de serem realizados a normalização com os corpos em temperatura ambiente, foi montado um gráfico de temperatura-tempo de todos os grupos submetidos aos processos térmicos.

## 2.2.3 Ensaio de Charpy

Para o ensaio de Charpy, foram inseridos os corpos na máquina de impacto Jinan Liangong modelo JB-300 com capacidade de medição de 150J/300J. Os corpos foram inseridos na posição horizontal com a face em V em posição contra o pêndulo. Após a configuração dos parâmetros, foi feito o impacto em cada um dos corpos para que fossem rompidos. Após o rompimento, foram anotados os valores de cada um grupo e gerado os gráficos 2, 3, 4 e 5, com os números obtidos em cada um dos testes por grupo.

Figura 3: Máquina de Teste de Impacto.



Fonte: Do autor.

#### **2.2.4 Ensaio de Dureza**

Foi escolhido o padrão de dureza Rockwell B para os ensaios devido o aço ABNT se tratar de uma ao brando (Com baixo teor de carbono). Foram selecionados 2 corpos de prova de cada grupo e em cada objeto foram feitas 5 medições longitudinais. Cada corpo foi medido individualmente ao teste no durômetro. A cada medição os valores foram anotados a fim de comparação entre os valores do grupo e do geral. Depois disso, foi realizada uma tabela com os valores encontrados em cada um dos grupos.

Figura 5: Durômetro de Bancada.



Fonte: Do autor.

### **3. Resultados e discussão**

#### **3.1. Ensaio de Impacto Charpy**

Os resultados dos ensaios de Charpy, estão apresentados nos gráficos 2 a 6. É notável que algumas medições desviaram bastante da média esperada, isso possivelmente se explica porque o tratamento de cementação não foi eficaz nesse corpo de prova.

Gráfico 2 – Resultado do Ensaio de Charpy do Grupo 1

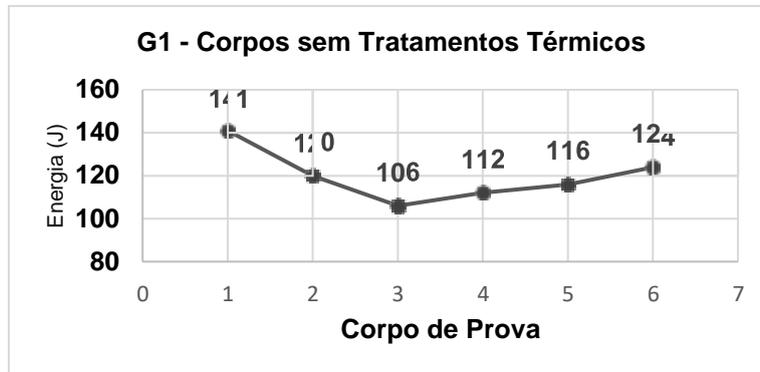


Gráfico 3 – Resultado do Ensaio de Charpy do Grupo 2

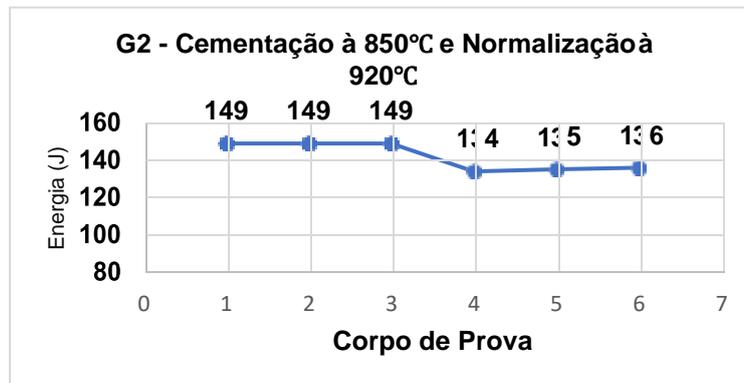


Gráfico 4 – Resultado do Ensaio de Charpy do Grupo 3

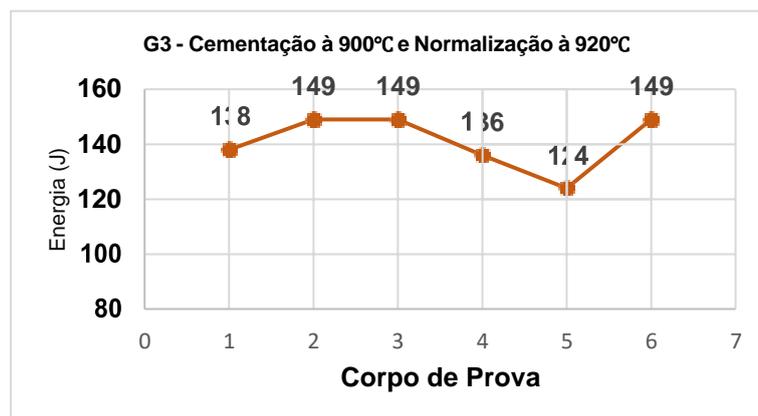


Gráfico 5 – Resultado do Ensaio de Charpy do Grupo 4

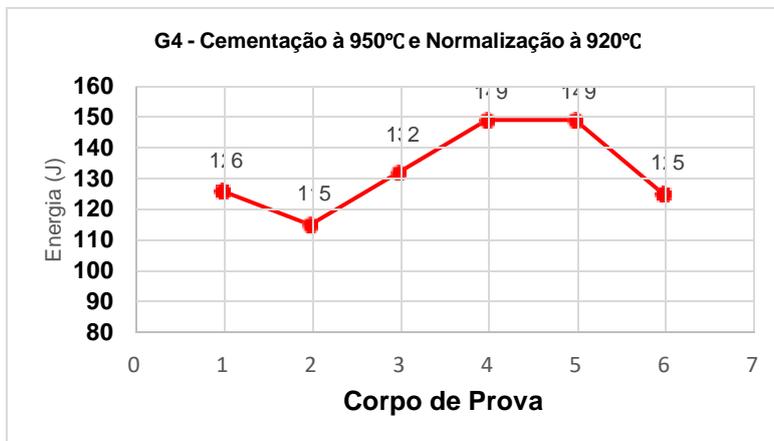
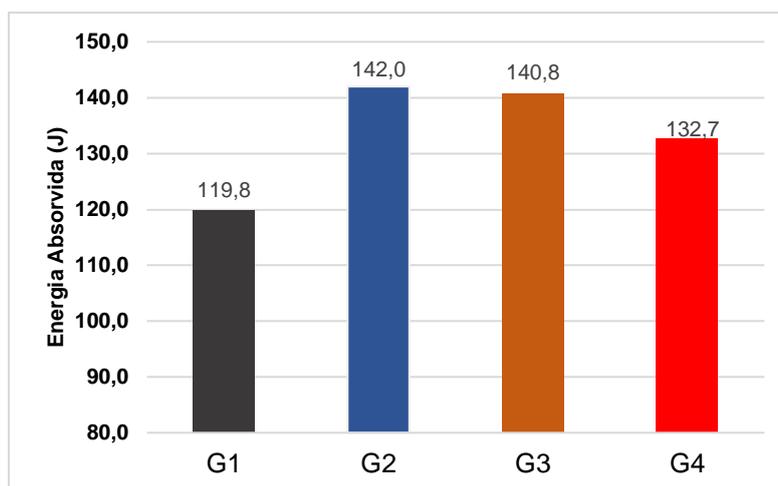


Gráfico 6 – Média dos resultados de Impacto



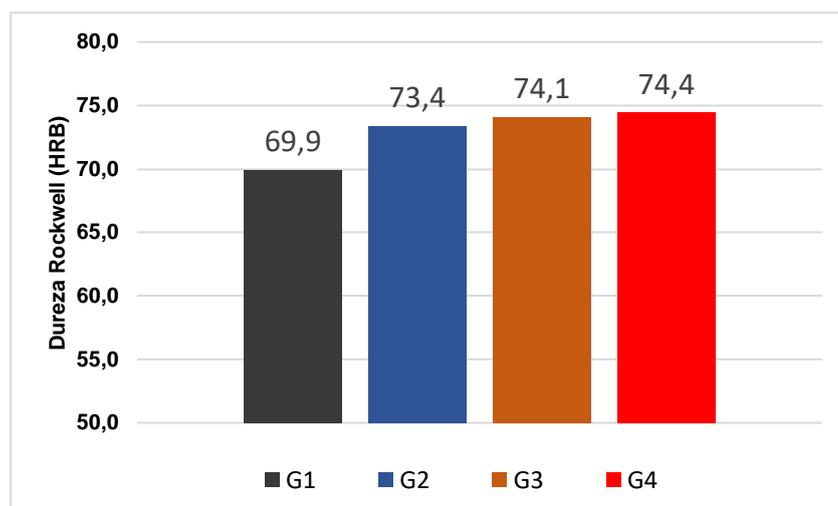
Ao analisar o gráfico 2, é possível verificar que os resultados de impacto obtidos foram condizentes com o especificado com os valores de catálogos de mercado [9]. Além disso, o grupo 1, submetido à cementação à 850°C foi o grupo que apresentou a maior média de resistência ao impacto, isso se deve à menor incorporação de dureza recebida e conseqüentemente ao melhor aproveitamento do tratamento de normalização. Não diferente, o grupo 3 também apresentou uma maior tenacidade em relação ao grupo 1, porém inferior ao grupo 2, isso se deve ao fato deste grupo ter sido submetido a uma temperatura maior, 900°C, que o grupo 2. Além disso, o grupo 4 apresentou também uma maior tenacidade em relação ao grupo 1, sem tratamento, porém este apresentou valores de tenacidade menores que os outros grupos tratados. Esse grupo foi levado à uma temperatura de 950°C no tratamento de cementação, o que indica que obteve uma mudança maior em sua estrutura que os demais e assim não sendo normalizado tanto quanto os outros grupos.

### 3.2. Ensaio de Dureza

Tabela 3: Resultados dos Ensaios de Dureza Rockwell B

ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL									
Grupo	Corpo	Ensaio 1 (HRB)	MÉDIA	MÉDIA GRUPO	Desvio Padrão				
G1	CORPO 1	69,44	67,44	71,44	71,44	71,44	70,2	69,9	1,8
	CORPO 2	71,44	61,44	71,44	71,44	72,44	69,6		4,6
G2	CORPO 1	73,44	72,44	73,44	73,66	72,66	73,1	73,3	0,5
	CORPO 2	73,44	73,44	73,66	73,44	73,44	73,5		0,1
G3	CORPO 1	74,44	74,44	73,66	74,44	73,66	74,1	74,2	0,4
	CORPO 2	74,44	74,22	73,66	74,44	74,22	74,2		0,3
G4	CORPO 1	74,44	74,66	74,44	74,44	74,22	74,4	74,4	0,2
	CORPO 2	74,22	74,44	74,66	74,44	74,44	74,4		0,2

Gráfico 7 – Resultado do Ensaio de Dureza Rockwell



No grupo 1, grupo que não houve tratamento térmico, os resultados dos testes de dureza apontaram para uma convergência com os valores de dureza sugeridos por catálogos comerciais como o da Gerdau [9]. Já no grupo 2, foi observado valores maiores de dureza, estes valores aproximadamente 5% superiores ao do grupo sem tratamento térmico, tal aumento se deve pelo tratamento de cementação a qual conferiu uma maior concentração de carbono superficial o que aumentou, dessa forma, a dureza. Além disso, os grupos 3 e 4 também acompanharam o aumento de dureza superficial em relação ao grupo 1 com aumentos de aproximadamente 6% e 6,5%, respectivamente. Assim, os resultados indicam que a cementação conseguiu conferir uma dureza superficial em todos os grupos submetidos à cementação e que esta dureza atingiu seu maior número quando o aço foi submetido à temperaturas superiores, grupo 4 com 950 °C, com dureza média de 74,4, ou seja, 6,5% superior ao aço ABNT SAE 1020 sem nenhum tratamento.

#### 4. Conclusão

Após a realização de todos os procedimentos, é possível concluir que a cementação e a normalização são tratamentos térmicos viáveis no que se refere ao aumento de dureza e tenacidade, respectivamente. Nesse viés, esses tratamentos podem ser aplicados em peças que requeiram, ao mesmo tempo, dureza e resistência. Dessa forma, engrenagens, ferramentas, brocas entre outras peças que são submetidas a um grande impacto superficial podem ser beneficiadas desses processos. Portanto, no cotidiano de diversos ramos da engenharia serão encontradas situações em que a reposição ou uma nova manufatura de uma peça se torne inviável e, com isso, a cementação em conjunto com a normalização pode ser aplicada para que se garanta uma maior dureza superficial e uma maior tenacidade. Assim, tais peças, especialmente as manufaturadas em aço ABNT SAE 1020, poderão resistir a esses impactos sem que se rompam e, dessa maneira, vários problemas de desgaste superficial, rompimento entre outros poderão ser evitados.

#### 5. Referências

- [1] INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário Estatístico 2019**. Disponível em: [acobrasil.org.br](http://acobrasil.org.br). Acesso em: 23 fev. 2021.
- [2] SILVA, A. L. V. D. C.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010. p. 83-83.
- [3] CHIAVERINI, V. **Tratamentos Térmicos das Ligas Metálicas** 2. ed. São Paulo: ABM, 2008. p. 109-110.
- [4] SPECTRU INSTRUMENTAL CIENTÍFICO LTDA. Tratamento Térmico dos Aços: **Recozimento, Normalização, Têmpera e Revenido**. Disponível em: <http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/tratamento.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- [5] GRUPO AÇO CEARENSE. **Conheça os principais tipos de aço e suas aplicações**. Disponível em: <https://www.grupoacocearense.com.br/blog/vender-mais/principais-tipos-de-aco/>. Acesso em: 2 mar. 2021.
- [6] SAE – SAE Internacional. **J403 - Chemical Compositions of SAE Carbon Steels**. Estados Unidos da América, nov. 2001.
- [7] SOUZA, S. A. D. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos: Fundamentos teóricos e práticos**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 1982. p. 79-116.
- [8] ABNT CATÁLOGO. **ABNT NBR ISO 148-1:2013**. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=305709>. Acesso em: 17 abr. 2021
- [9] ABNT CATÁLOGO. **ABNT NBR ISO 6508-1:2019**. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=419161>. Acesso em: 17 abr. 2021
- [10] GERDAU GERDAU. **Manual de Aços**. Disponível em: [https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo\\_acos\\_gerdau.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf). Acesso em: 20 mai. 2021.
- [11] CIMM – CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. **Teste Charpy**. Disponível em: [https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/6582-teste-charpy](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6582-teste-charpy). Acesso em: 9 abr. 2021.