

ANÁLISE DA TEMPERABILIDADE DO AÇO ABNT 8620 PELO ENSAIO JOMINY

Maria Juliana S. Maia¹, Manoel Quirino Da S. Júnior²

Resumo: Os aços são de extrema importância em grandes áreas de construção seja civil ou naval. Vários estudos relacionados a eles são de grande importância. Devido a essa importância foi estudado meios de adequar às propriedades dos aços para conferir características desejadas para especificação final de um determinado projeto. Após estudos foi comprovado que os tratamentos térmicos são de importância fundamental para que as especificações aconteça isto porque eles têm como objetivo alterar suas propriedades, com uma combinação de aquecimento e resfriamento sobre uma determinada velocidade de resfriamento, tempo, temperatura e atmosfera. O tratamento de têmpera tem como objetivo aumentar a dureza, e aumentar a resistência mecânica e aumento da fragilidade. A têmpera é realizada com o aquecimento até atingir sua austenitização, e logo em seguida um brusco resfriamento. O fator que pode afetar a têmpera é a temperabilidade do aço estudado isso porque a temperabilidade está totalmente ligada a presença de carbono e a presença de ligas estando presente no aço. Um dos métodos utilizados para análise da temperabilidade é o ensaio Jominy, para realização deste ensaio é utilizado um corpo de prova para validação do ensaio e sua forma de medir dureza é bem simples. Após realização do ensaio foi medido as durezas ao longo do corpo de prova para cada face, e com ajuda da micrografia ótica foi realizado o estudo da granulometria tanto na extremidade como ao longo do corpo de prova, apresentando grãos pequenos na extremidade e grãos maiores longe da extremidade.

Palavras-chave: Tratamentos térmicos. Têmpera. Temperabilidade. Ensaio Jominy.

1. INTRODUÇÃO

O aço é um dos produtos mais versáteis do mundo, sendo utilizado desde embalagens de alimentos até na fabricação de grandes estruturas da construção civil ou naval. A vasta utilização desse material se deve a sua versatilidade no que se referem as suas propriedades mecânicas, isso, aliado ao seu baixo custo quando comparado a outros materiais metálicos. As propriedades dos aços estão ligadas a fatores como sua composição química e microestrutura, o que torna determinado aço propício para algumas aplicações e inadequado para outras (UNIANCHIETA, 2007).

A microestrutura do aço pode ser modificada por meio de tratamentos térmicos. Os tratamentos térmicos são um conjunto de operações de aquecimento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de esfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhes características determinadas. Podemos dizer, ainda, que os tratamentos térmicos têm como objetivo a alteração de diversas propriedades determinando especificações finais do produto (CHIAVERINI, 2008). Os tratamentos são uma das principais ferramentas utilizadas para adequar as propriedades mecânicas dos aços a devidas aplicações. Podemos resumir que os tratamentos térmicos têm como finalidade tornar mais fácil ou mesmo possíveis determinadas etapas do processo produtivo ou, melhorar as propriedades do produto final.

Segundo Silva e Mei (2010), os tratamentos térmicos têm como principais objetivos a remoção de tensões, aumento ou diminuição da dureza, aumento da resistência, melhorar a ductilidade e a usinabilidade, melhorar a resistência ao desgaste, melhorar a resistência à corrosão e ao calor e modificação as propriedades elétricas e magnéticas. Em geral, a melhoria de uma ou mais propriedades vem seguido de prejuízo de outra propriedade. No presente trabalho, será analisado a temperabilidade do aço ABNT 8620 por meio do ensaio Jominy.

1.1 Objetivos

Este trabalho visa avaliar a temperabilidade do aço ABNT 8620, através do ensaio de temperabilidade Jominy.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Tratamentos Térmicos

¹ Graduando em Ciência e tecnologia na UFERSA, Campus Mossoró, RN.

² Engenheiro Mecânico, Professor do Centro de engenharias da UFERSA, Campus Mossoró, RN.

Os tratamentos térmicos dos aços englobam umas das mais amplas faixas de temperatura dentre os processos industriais, variando desde o tratamento subzero (temperaturas abaixo de 0°C) para estabilização, até austenitização de aços rápidos, a 1280 °C. Além disso, diversas taxas de resfriamento são empregadas, visando permitir a obtenção da exata estrutura desejada (Silva e Mei, 2010). Os tratamentos térmicos são frequentemente utilizados para alterar as propriedades dos materiais, através de aquecimento e resfriamento subsequente, levando em conta a temperatura, tempo de tratamento, meio de resfriamento e velocidade do resfriamento (SHACKELFORD, 2008).

Ainda, segundo Chiaverini (2008), os tratamentos térmicos são um conjunto de operações de aquecimento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de esfriamento, têm como objetivo a alteração de diversas propriedades determinando especificações finais do produto. Sendo uma das principais ferramentas utilizadas para adequar as propriedades mecânicas dos aços a devidas aplicações. Os principais tratamentos térmicos são: Recozimento, Normalização, Têmpera, Revenimento. Os principais objetivos dos tratamentos térmicos:

- Remoção de tensões;
- Aumento ou diminuição da dureza;
- Aumento da resistência mecânica;
- Melhora da ductilidade e da usinabilidade;
- Melhora da resistência ao desgaste;
- Melhora da resistência à corrosão
- Melhora a resistência ao calor;
- Modificação das propriedades elétricas e magnéticas;

Permitem estudar as microestruturas presente nos aços, que estão sendo tratados. Para analisar as fases são utilizados tanto os diagramas de fase, quanto as curva de tempo, temperatura e transformação (curvas TTT) que apresentam informações sobre a microestrutura. Tais diagramas são úteis para prever transformações de fase e microestruturas que resultam dessas transformações (DUBIELA, 2016).

2.2 Têmpera

A têmpera consiste em aquecer o aço para austenitização, posteriormente, resfriar o aço logo após sua austenitização, a uma velocidade suficientemente rápida para evitar outras transformações não desejáveis como as transformações perlíticas e bainíticas,.

O aquecimento se dá através de uma temperatura critica acima da linha eutetóide. Com a finalidade de se obter a fase austenita, podendo variar dependendo das propriedades mecânicas que se deseja obter, a mesma tem como objetivo aumentar a dureza, e aumentar a resistência mecânica tendo como consequência a diminuição da ductilidade, Aumento da fragilidade e Aumento da resistência ao desgaste. A têmpera é alcançada em diferentes temperaturas, dependendo de sua composição, levando sempre em consideração o teor de carbono e a presença de ligas, considerando a taxa de resfriamento no qual o aço foi submetido.

Para cada aço uma temperatura de aquecimento e resfriamento diferente, sob uma velocidade de resfriamento relativamente rápida, controlando assim o tempo de permanência da peça em seu aquecimento e resfriamento. Desta forma a têmpera é a formação da austenita para uma fase martensita que é resultante de uma transformação no estado sólido na ausência da difusão, isto é, a reação depende somente da temperatura. Como consequência do resfriamento rápido, o retículo cristalino da austenita sofre um corte chamado de cisalhamento típico nas transformações martensíticas, (ASKELAND; PHULÉ, 2011). A martensita dos aços tem a microestrutura mais dura e mais resistente e, ela tem ductilidade desprezível, tendo sua dureza dependente do teor de carbono, (CALLISTER 2013).

Ainda segundo Júnior (2010), a transformação martensítica é o nome dado a um tipo de mudança de fase que ocorre no estado solido por nucleação e crescimento, de modo adifusional. As martensitas foram observadas primeiramente nos aços que, após uma têmpera, sofrem uma transformação de uma estrutura cúbica de face centrada (CFC) para uma estrutura tetragonal de corpo centrado (TCC). A fase estável em altas temperaturas foi denominada Austenita e a fase estável em baixas temperaturas foi denominada Martensita, enquanto a mudança de fase foi denominada de transformação martensítica, representada na fotomicrografia da Figura 1, após a transformação da austenita para martensita.

¹ Graduando em Ciência e tecnologia na UFERSA, Campus Mossoró, RN.

² Engenheiro Mecânico, Professor do Centro de engenharias da UFERSA, Campus Mossoró, RN.

Figura 1 - Fotomicrografia da estrutura martensítica.



Fonte: CALLISTER, 2013.

Um dos fatores que influencia a têmpera é a temperabilidade de cada aço, pois a temperabilidade está associada ao endurecimento do aço durante o processo de têmpera. Em que nos remete que para cada aço temos uma temperabilidade diferente, desta forma adquirindo uma dureza diferente para cada face de um corpo de prova.

2.3 Temperabilidade Dos Aços

A temperabilidade é associada à capacidade de endurecimento do aço durante o resfriamento rápido (têmpera), ou seja está associada ao grau de transformação austenita em martensita no processo de resfriamento (têmpera) em um componente de aço com uma dimensão específica. Foi estabelecida que esta quantidade de martensita a ser controlada correspondesse a formação de pelo menos 50% da fase martensita a uma determinada profundidade da peça temperada. Desta forma, dois aços podem ter a mesma dureza superficial (associada ao teor de C), porém temperabilidades diferentes (função dos teores de C, elementos de liga e tamanho de grão austenítico (SCHEIDEMANTEL, 2014)).

A temperabilidade é uma das propriedades mais importante em relação à capacidade de um aço em adquirir uma alta dureza, tendo como técnicas: taxa de resfriamento crítico ensaio Grossmann e por último o ensaio Jominy, mas um aço de temperabilidade elevada é aquele que endurece ou que forma martensita, não apenas na superfície, mas em elevado grau ao longo de todo o seu interior (Chiaverini 2008). Destacando como principais fatores que influenciam a temperabilidade:

- Teor de Carbono
- Teores e classes de elementos de liga
- Temperatura e tempo de Austenitização
- Tamanho de Grão Austenítico
- Meio de Resfriamento
- Geometria da peça a ser temperada

Dentre os dois métodos para o ensaio de temperabilidade, o mais casual e mais fácil trabalhabilidade e o Jominy o qual será abordado no respectivo trabalho.

2.3.1 Ensaio de Temperabilidade Jominy

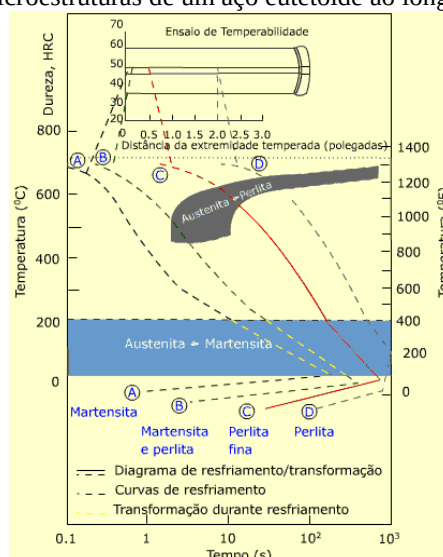
Através do ensaio Jominy é possível traçar curvas de temperabilidade para o aço, essas curvas de temperabilidade podem ser usadas para garantir a adequação de um aço específico para um dado meio de têmpera. Ou de maneira inversa, pode ser determinada a adequação de um procedimento de têmpera para uma dada liga.

Para uma maior rapidez no teste de temperabilidade o ensaio Jominy é mais adequado, pois o mesmo irá trabalhar com uma única barra de uma polegada de diâmetro por quatro polegadas de comprimento. (JÚNIOR, 2017). Utilizando um único corpo de prova é gerada uma ampla faixa de velocidades de resfriamento, o resultado é que cada posição da superfície do corpo-de-prova resfriará com uma velocidade diferente sofrendo diferentes transformações, variando assim a dureza ao longo do corpo de prova, como mostrado na Figura 2 (COLPAERT, 2008).

¹ Graduando em Ciência e tecnologia na UFERSA, Campus Mossoró, RN.

² Engenheiro Mecânico, Professor do Centro de engenharias da UFERSA, Campus Mossoró, RN.

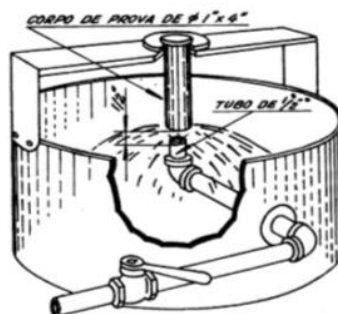
Figura 2 - Formação das microestruturas de um aço eutetoide ao longo do corpo de prova Jominy.



Fonte: CIMM, 2018.

Que segundo a norma ASTM A255-10 “*Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel*”, Este teste é mais comumente conhecido como o teste Jominy *End Quench*. O procedimento padrão utilizado no processo do ensaio Jominy consiste em um corpo de prova cilíndrico, de 25 mm de diâmetro por 100 mm de comprimento é aquecido até a temperatura austenítica entre 900°C a 930 °C por 30 minutos e, em seguida, por meio de um dispositivo dirige-se um jato de água, sob condições controladas de vazão, pressão e temperatura, contra uma das extremidades. Ele é constituído por um suporte para o corpo-de-prova na parte superior e por um sistema de resfriamento com água na parte inferior. Na Figura 3 é mostrada uma ilustração de um modelo simplificado. Após o resfriamento do corpo-de-prova, este é retificado e são feitas medidas de dureza ao longo de seu comprimento. Como ao longo do corpo de prova a taxa de resfriamento variar, pois o contato do corpo de prova com o fluido se dá primeira nas extremidades da peça, proporcionando assim uma variação quantos as microestruturas presentes para cada intervalo de leitura de dureza, desta forma o valor da dureza será maior junto da base (SOUZA, 2018).

Figura 3 - Modelo simplificado de um aparato de ensaio Jominy.



Fonte: NOVA, 2013.

2.4 Materiais e Métodos

Para a realização do ensaio Jominy foram utilizados um Durômetro Rockwell, modelo HR-300 da Mitutoyo, no Laboratório de Ensaios e Caracterização da UFERSA, o próprio equipamento Jominy, o protótipo construído por Francisco Alves Maia de Almeida Júnior, disponível no Laboratório de Soldagem da mesma instituição. Na Figura 4 está mostrado o Protótipo Jominy.

¹ Graduando em Ciência e tecnologia na UFERSA, Campus Mossoró, RN.

² Engenheiro Mecânico, Professor do Centro de engenharias da UFERSA, Campus Mossoró, RN.

Figura 4- Fotografia do Protótipo Jominy



Fonte: JÚNIOR, 2017.

Foi selecionado um aço de acordo com a classificação ABNT. O aço ABNT 8620, composição química mostrada na Tabela 1, ideal para peças que necessitam de uma resistência mecânica de 70 a 110 Kgf/mm² (700 a 1100 MPa ou N/mm²) no núcleo. Utilizado na fabricação de engrenagens de média ou pequena dimensão (METALS, 2018).

Tabela 1 - Composição química do aço ABNT 8620

Aços	C (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	Outros %
8620	0,20%	0,80%	0,55%	0,50%	0,20%	-----

Fonte: METALS, 2018.

Após confecciona o corpo de prova como especifica a norma ASTM 255, foi conduzido o aço para o forno Mufla, com sistema analógico de controle de temperatura, considerando as especificações de tempo e temperatura, segundo a norma ASTM 255. Colocado a amostra num forno, a temperatura de austenitização estar especificada na tabela 1 da norma, mantendo a esta temperatura durante 30 min, podendo variar até 35min sem afetar apreciavelmente os resultados, após austenitização, vem o resfriamento rapidamente a uma velocidade suficiente rápida por um jato de água como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Fotografia do corpo de prova durante o ensaio Jominy.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Para validação do ensaio foi realizado as medições de durezas, na escala Rockwell C, segundo especificações da norma ASTM 255, que esquematiza as posições das medidas ao logo do corpo de prova, para logo em seguida a construção do gráfico de temperabilidade, dureza versus distância. Foram realizadas medições em duas faces do corpo de prova para medição de dureza.

¹ Graduando em Ciência e tecnologia na UFERSA, Campus Mossoró, RN.

² Engenheiro Mecânico, Professor do Centro de engenharias da UFERSA, Campus Mossoró, RN.

Para a análise microscópica foi utilizado um Microscópio Óptico invertido Olympus GX51 com o Software analySIS getIT.

2.5 Resultados e Discussões

Foram realizadas as medições de dureza em duas faces do corpo de prova para se ter um comparativo de medidas de dureza. Foram feitas duas tabelas, uma para cada face em relação a distância jominy em polegadas, logo em seguida o levantamento dos gráficos para as duas medidas. Está mostrado nas Tabelas 2 e 3 as medidas de dureza.

Tabela 2- Medidas de dureza versus Distancia Jominy, 1 face.

Distância Jominy (pol)	Dureza (HRC)
1/16"	36,5
1/8"	33,6
3/16"	35,1
1/4"	30,4
5/16"	28,5
3/8"	26,7
7/16"	25,4
1/2"	23,1
9/16"	21,7
5/8"	20,9
11/16"	20

Fonte: Autoria própria, 2018.

Tabela 3 - Medidas de dureza versus Distancia Jominy, 2 face.

Distância Jominy (pol)	Dureza (HRC)
1/16"	36,7
1/8"	30,4
3/16"	26,7
1/4"	24,8
5/16"	22,6
3/8"	20

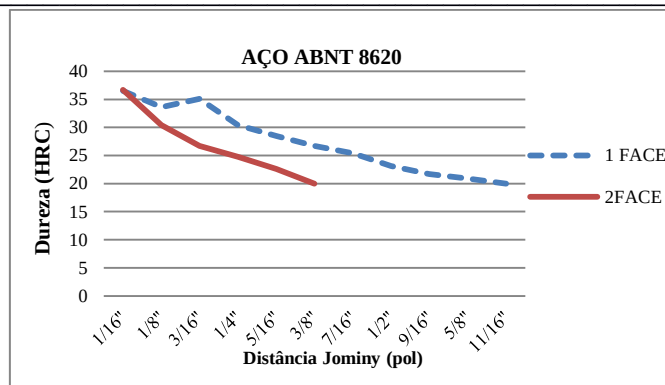
Fonte: Autoria própria, 2018.

Diante das medidas e tomando como base as literaturas podemos observar pequenas variações entre as duas faces e suas medidas de durezas relativas, verificando uma pequena diminuição na segunda face que apresentou menos medições ao longo de sua região.

Gráfico 1- Curvas de temperabilidade do aço ABNT 8620 da primeira e da segunda face.

¹ Graduando em Ciência e tecnologia na UFERSA, Campus Mossoró, RN.

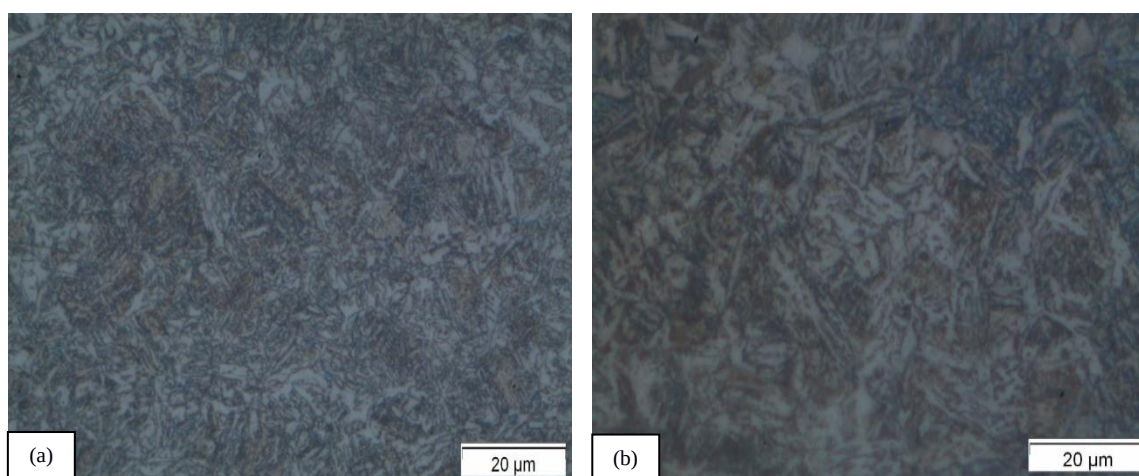
² Engenheiro Mecânico, Professor do Centro de engenharias da UFERSA, Campus Mossoró, RN.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Com ajuda da metalografia podemos a granulometria, podendo variar ao longo das extremidades como mostrado na Figura 6 nas imagens seguintes:

Figura 6- Micrografia ótica da 1 face para (a) na extremidade, para (b) longe da extremidade.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Com ajudar da micrografia ótica, foi observado que a extremidade apresentou grãos pequenos quando se comparar o tamanho dos grãos longe da extremidade, pois longe da extremidade apresentou grãos maiores.

3. CONCLUSÕES

Como avaliado a microestrutura é afetada diretamente no resultado do tratamento térmico de têmpera, evidenciado com os resultados de dureza e a micrografia ótica. Avaliando o gráfico que mede a dureza em relação à distância de cada medida de dureza, ocorrendo um pico de crescimento na primeira face do corpo de prova, com ajudar do gráfico das curvas da temperabilidade foi notado que não há formação de martensita pois o mesmo apresenta medidas na faixa de 36 o que não é considerado que possa ter a presença da microestrutura martensítica.

Com as fotos metalográficas é notório a sua distorção em relação ao tamanho do grão, apresentando, na extremidade, uma granulometria mais refinada (grãos pequenos) com maior dureza quando comparada com a região mais longe da extremidade que apresenta grãos maiores, mais grosseiros, tendo menor dureza. Pode-se observar que a variação de dureza e de microestrutura está diretamente ligada às transformações de fases derivadas por variação no meio de resfriamento. Onde, na extremidade a extração de calor é bem mais rápida do que na região longe da extremidade.

Para uma melhor precisão de como a presença de carbono interfere e para trabalhos futuros seria um comparativo entre aços de pouca diferença em relação a carbono como por exemplos os aços ABNT 8620 e o aço 8630 ou 8640.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ Graduando em Ciência e tecnologia na UFERSA, Campus Mossoró, RN.

² Engenheiro Mecânico, Professor do Centro de engenharias da UFERSA, Campus Mossoró, RN.

- [1] JÚNIOR, F. A. M. A. **Construção De Um Protótipo e Validação De Uma Máquina Para Ensaios Jominy**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017. 42p.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **A255-10: Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel**. 10 ed. West Conshohocken, 2014.
- [3] ASKELAND, D. & PHULÉ, P. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- [4] CALLISTER, W.D., **Ciência e Engenharia dos Materiais, uma Introdução**, 7ª ed. Guanabara, 2012.
- [5] Centro universitário Padre Anchieta. **Ciência dos materiais – Aços carbono**. Unianchieta, Jundiá-São Paulo, 2007.
- [6] CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7 ed. São Paulo: Editora ABM, 2008.
- [7] CIMM. **O teste Jominy**. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6445-o-teste-jominy#.U8301vldUs7>. Acesso em: 01 ago. 2018.
- [8] COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. São Paulo: Blucher, 2008.
- [9] DUBIELA, Bruno Leonardo. **Construção do equipamento de ensaios de temperabilidade do tipo jominy empregando o aço sae 1045 como objeto de estudo**. 2016. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016. 44p.
- [10] METALS, Villares. ABNT 8620. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Construcao-Mecanica/Acos-para-Cementacao/VB20>> Acesso em: 01 ago. 2018.
- [11] Norma ABNT – **Aço – Determinação da temperabilidade (Jominy)** 01.012 – Norma NBR 6339 – OUT/1982.
- [12] NOVA, O. S. V. **Análise da temperabilidade de um aço abnt 1024 aplicado em vergalhão da empresa sinobrás s/a**. 2013. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Marabá, 2013. 48p
- [13] SCHEIDEMANTEL, R.. **Utilização de métodos teóricos para a avaliação da temperabilidade jominy de aços com diferentes composições químicas**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. 78p.
- [14] SILVA, A. L. V. C & MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**. São Paulo: Blucher, 2010.
- [15] JÚNIOR, M. Q. S. **Estudo da liga Cu-11,8 Al-XBe-0,3Ti (X = 0,5; 0,6; 0,7) processadas termomecanicamente**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2010. 98p.
- [16] SOUZA, D. A. **Anuário da produção de iniciação científica discente**. Disponível em: <<http://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/1055/1/artigo%2047.pdf>> Acesso em: 02 ago. 2018.

¹ Graduando em Ciência e tecnologia na Ufersa, Campus Mossoró, RN.

² Engenheiro Mecânico, Professor do Centro de engenharias da Ufersa, Campus Mossoró, RN.