

## **ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS PARA DIVERSOS TRATAMENTOS TÉRMICOS DO AÇO ASTM A182 F22**

V. A. DANTAS\*; M. Q. SILVA JÚNIOR; A. V. R. GOMES

Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFERSA  
Rua São Francisco, 1674. Santa Delmira, Mossoró – RN. CEP 59615-035  
\*victorandrade.dantas@hotmail.com

### **RESUMO**

O aço ASTM A182 F22 é um material bastante utilizado na indústria petrolífera em aplicações diversas como válvulas, flanges, cabeças de poço e conectores. Para tais aplicações são necessárias propriedades que aliem dureza e tenacidade. Com isso, no presente trabalho foi feito um estudo sobre a variação de propriedades mecânicas de dureza e tenacidade desse aço quando submetido aos tratamentos térmicos de têmpera a 950°C com resfriamento em água a 25°C, recozimento por 2h a 900°C e normalização com resfriamento a ar forçado de uma temperatura de 950°C até 30°C. Observou-se uma variação significativa nas medidas dessas propriedades a partir desses tratamentos térmicos, sendo a condição temperada a mais dura e menos tenaz e a condição recozida a mais macia e mais tenaz. Estas variações provam que este material pode ser submetido a diferentes aplicações, variando apenas o tratamento térmico que é realizado no mesmo.

Palavras-chave: ASTM A182 F22, Dureza, Charpy.

### **INTRODUÇÃO**

O aço atualmente é a liga ferrosa mais importante para aplicações estruturais e mecânicas. Em geral, peças que são fabricadas com esse material precisam ser submetidas a diversos tipos de tratamentos térmicos para que atinjam valores desejáveis de ductilidade, tenacidade, resistência, dentre outras propriedades. Para que se entenda as variações destas, precisa-se conhecer sua composição química e, portanto, analisar minuciosamente o que acontece em sua microestrutura.

A aplicação de uma peça ou elemento estrutural exige o conhecimento sobre em qual meio serão utilizados, a quais esforços estarão submetidos, etc. Feita esta análise, pode-se então fazer a seleção do aço mais adequado para a situação, descrevendo sua composição química e o tratamento térmico ao qual ele deve ser submetido para que o mesmo forneça o desempenho desejado.

O ASTM A182 F22 é projetado para aplicações em altas temperaturas, especialmente para plataformas de produção petrolífera offshore (fora da terra), sendo normalmente utilizado em aplicações sob pressão como em válvulas, flanges, cabeças de poço e conectores. Para tal aplicação, é necessário que o material utilizado possua certos valores de propriedades mecânicas que possam resistir às elevadas pressões as quais são submetidas.

Não existem muitos artigos ou estudos acerca desse tipo de aço, nem das alterações de suas propriedades mecânicas quando submetidos a tratamentos térmicos. Visto isso, este trabalho visa realizar experimentos com amostras desse material sendo submetidas a tratamentos térmicos de têmpera, recozimento e normalização através de microscopia ótica, ensaios de impacto, dureza e microdureza para que as variações de suas propriedades mecânicas possam ser estudadas.

No presente trabalho serão apresentados os resultados dos ensaios não destrutivos e destrutivo realizados nas amostras do ASTM A182 F22 com diferentes tratamentos térmicos, bem como uma análise do que estes dados representam para cada diferente configuração apresentada a partir dos tratamentos realizados.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas amostras da liga ASTM A182 F22 fornecida pelo então docente da UFERSA George Luiz Gomes de Oliveira. A tabela I mostra uma análise da composição química desta peça por emissão ótica na Universidade Federal do Ceará – UFC com o objetivo de identificar os elementos de liga que ali estavam presentes. Tais peças foram cortadas em uma máquina de disco de corte em dimensões que dependiam das suas finalidades. As amostras que seriam analisadas ao microscópio para que depois fossem realizadas as análises de dureza e microdureza foram cortadas em amostras de tamanho unificado medindo aproximadamente 30x20x15mm cada. Já as amostras que eram

destinadas ao ensaio destrutivo de impacto (ensaio Charpy) foram dimensionadas seguindo a norma NBR 6157 com um entalhe em V, sendo usinadas na fresadora.

Tabela I - Composição química do aço ASTM A182 F22 por emissão ótica.

<b>ASTM A182 F22</b>								
<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>Al</b>
0,12	0,17	0,40	0,012	0,04	2,25	0,06	0,93	0,024

Depois de cortadas, as peças foram levadas para um forno do modelo 07120 da fabricante JUNG, onde seriam realizados diferentes tratamentos térmicos. As temperaturas para os tratamentos térmicos foram determinadas através da consulta ao diagrama de fases Fe-Fe<sub>3</sub>C que consta na literatura (COSTA E SILVA, 2010). A influência de cada elemento de liga foi levada em consideração para a temperatura de austenitização de cada amostra.

As amostras que foram submetidas à têmpera foram inseridas ao forno quando a sua temperatura interna era de aproximadamente 950°C. Essas continuaram dentro da máquina por 15 minutos, sendo retiradas e logo em seguida inseridas e agitadas dentro de um reservatório de água a 25°C.

O tratamento de normalização foi feito em um ambiente inicial semelhante ao da têmpera. O forno estava pré-aquecido a uma temperatura de 950°C quando as amostras foram inseridas em seu interior, onde permaneceram por 15 minutos. Logo em seguida, foram submetidas a um resfriamento forçado com um soprador de ar.

No recozimento as amostras permaneceram por 2 horas dentro do forno que estava pré-aquecido com uma temperatura de 900°C. Logo em seguida o forno foi desligado e as peças continuaram no interior da máquina para que esta e as amostras resfriassem de maneira lenta, sob uma taxa de resfriamento quase que constante. O aço permaneceu no interior do forno por 16 horas.

## METALOGRAFIA E ENSAIOS DE MICRODUREZA E DUREZA

A metalografia das peças tratadas e não tratadas termicamente se fez necessária para que, com a aferição de cada microestrutura, fosse possível explicar os comportamentos apresentados nos ensaios destrutivo e não destrutivos, além de aferir a eficácia de cada tratamento térmico.

## **Preparação das amostras**

Após tratadas termicamente, as amostras foram lixadas e polidas na lixadeira/politriz modelo Aropol 2V da marca Arotec. As lixas seguiram uma sequência de granulometria de 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 e 1200. Ao fim deste último desbaste, as amostras passaram por um polimento com alumina 1  $\mu\text{m}$ .

## **Ataque das amostras**

Primeiramente as peças temperadas sofreram um ataque com Nital 2%. Com o intuito de testar a eficácia deste ataque, as amostras foram levadas ao microscópio ótico com aumentos de 500 e 1000 vezes. Posteriormente, foi utilizada uma outra substância para o ataque químico, que foi desenvolvida com base no trabalho de Villarinho *et al.*, 2010, e é composta de 2 ml de ácido fluorídrico, 5 ml de ácido nítrico e 30 ml de ácido acético glacial.

## **Microscopia ótica**

Foram realizadas as análises ao microscópio ótico modelo GX51 da fabricante Olympus nas peças temperadas, recozidas, normalizadas e sem nenhum tratamento com aumentos de 200, 500 e 1000 vezes. As imagens foram captadas e processadas pelo programa ANALYSIS GETIT.

## **Análise de microdureza**

A análise de microdureza foi realizada no equipamento HMV-2E da marca Shimadzu Corporation com uma carga unificada para todas as amostras no valor de 245 mN (~25 gF). Para cada microestrutura foram realizadas 25 identificações com um identador de diamante em diferentes locais das peças.

## **Análise de dureza**

Os ensaios de dureza foram realizados em um durômetro modelo HR-300 da marca Mitutoyo. Para cada uma das quatro diferentes amostras foram realizadas 25 identificações com identadores de aço (para as peças recozidas) e diamante (para as demais peças) com cargas de 100 e 150 kgF, respectivamente.

## ENSAIO DE IMPACTO

As peças foram usinadas e ensaiadas segundo a norma NBR 6157 com um entalhe em V, medindo 55x10x10mm com uma altura de entalhe de 8mm. Somente depois da usinagem é que foram realizados os tratamentos térmicos nas amostras. Logo em seguida, as mesmas passaram por um processo de limpeza superficial com uma escova de aço para que estivessem prontas para serem ensaiadas.

Para cada diferente microestrutura foram realizados 4 ensaios Charpy. A amostragem não pôde ser maior desta vez devido ao volume limitado de material que se tinha para a usinagem dos corpos de prova. A máquina utilizada foi o modelo JB-W300A da fabricante TIME em uma temperatura ambiente de 25°C sendo o procedimento experimental com base na norma NBR 6157.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizados todos os experimentos citados anteriormente, foram realizados os ensaios não destrutivos e destrutivo para o material em questão. Os resultados de cada experimento foram analisados e serão mostrados a seguir.

## MICROSCOPIA ÓTICA

Primeiramente foi analisada a peça temperada com o ataque químico de Nital 2%. A partir desta análise foi constatado que não era possível identificar a microestrutura com clareza, sendo necessário que as peças fossem atacadas novamente, com outra substância. A figura 1a mostra que tal mistura, composta em sua maioria por ácido acético glacial, foi suficiente para que fosse possível visualizar a predeterminação dos grãos a crescerem em forma agulha ao microscópio ótico, com um aumento de 1000 vezes. No entanto, por não ter uma concentração suficiente de carbono, a martensita não pode ser vista com clareza.

A amostra normalizada foi então observada ao microscópio ótico. Tal microscopia se mostrou mais heterogênea que a têmpera com o mesmo ataque utilizado nas demais amostras. Na figura 1b é possível observar a característica microestrutural do ASTM A182 F22 quando tratado por normalização com ar forçado. A ferrita (grãos claros) e a perlita (grãos escuros) são observadas nesta imagem.

Depois verificou-se a microestrutura da amostra no estado em que foi entregue, ou seja, sem nenhum tratamento térmico. Pela figura 1c fica evidenciado que os grãos apresentaram direções de crescimento totalmente aleatórias e presença de precipitados. A ferrita e a perlita são facilmente distinguidas nesta imagem.

Por último foi observada, ao microscópio ótico, a microestrutura da peça recozida. Esta apresentou pelo menos três diferentes tipos de colorações em seus grãos, representando diferentes distribuições de elementos químicos ao longo da amostra. A figura 1d apresenta, com um aumento de 200 vezes, a distribuição heterogênea dessas diferentes colorações ao longo da amostra.

Tal análise comprova que os tratamentos realizados foram eficazes no que diz respeito à variação microestrutural. Posteriormente será analisado se estes mesmos tratamentos também surtiram o efeito esperado nos ensaios realizados.

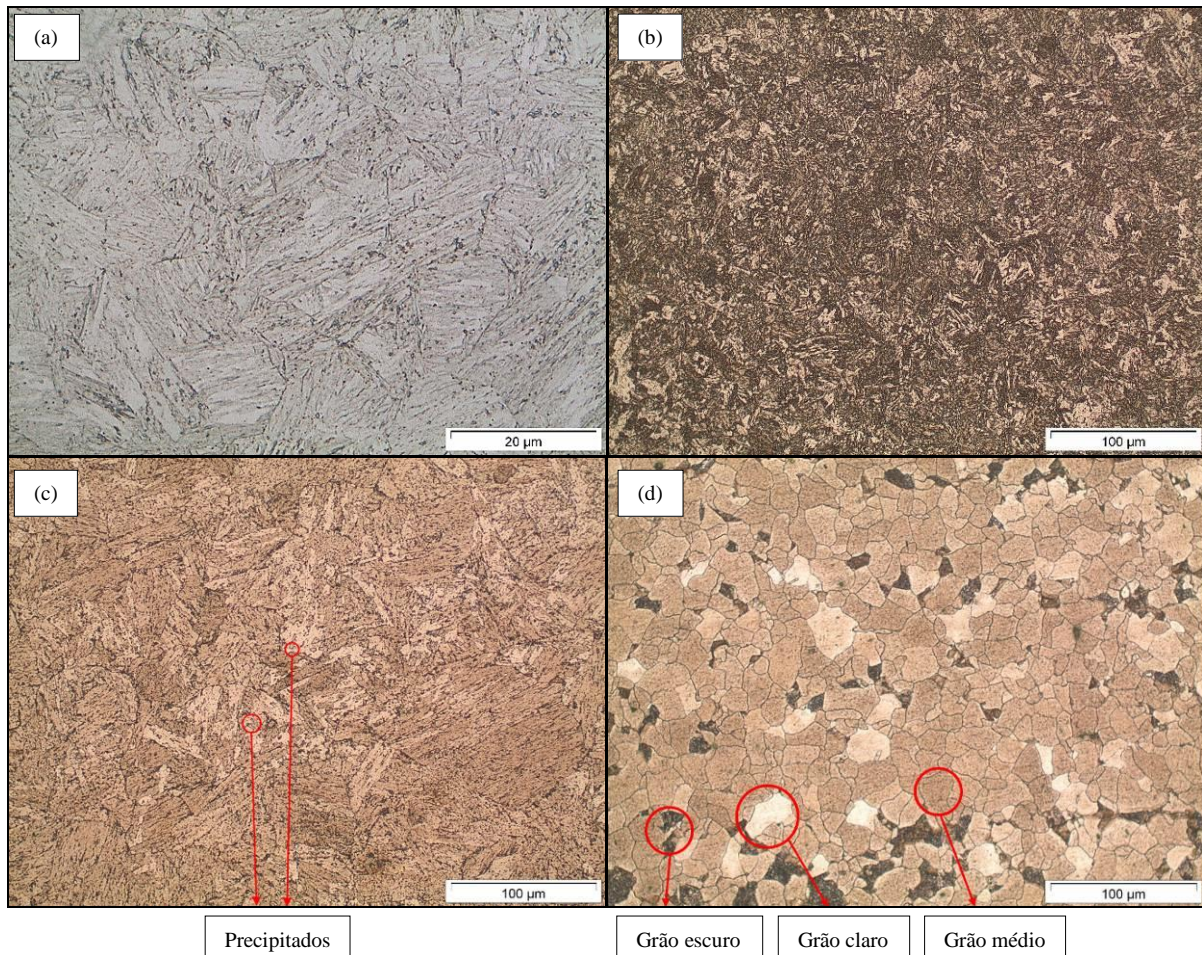


Figura 1 - Microscopia ótica da peça temperada com aumento de 1000 vezes (a); Microscopia ótica da peça normalizada com aumento de 200 vezes (b); Microscopia ótica da peça sem tratamento com aumento de 200 vezes (c); Microscopia ótica da peça recozida com aumento de 200 vezes (d).



## ENSAIO DE MICRODUREZA

Os ensaios de microdureza se fizeram necessários pela heterogeneidade de algumas amostras, como por exemplo a recozida, que apresentara pelo menos três microestruturas diferentes que, provavelmente, apresentariam durezas diferentes, bem como a presença de precipitados em algumas outras amostras.

Pôde ser observado no microdurômetro que os grãos claro e médio obtiveram as durezas com faixas muito próximas uma da outra, com médias de 187,12HV e 183,24HV e desvios-padrão de 21,56HV e 17,20 HV, respectivamente. Já os grãos mais escuros apresentaram uma maior dispersão de resultados, com faixas entre 456HV e 643HV, que pode ser explicado pela maior precipitação de carbono em um grão do que em outro. A média e o desvio padrão desta configuração foram 539,48HV e 48,97HV, respectivamente.

Esta similaridade de resultados entre os grãos claros e médios fez com que fosse levantada a hipótese de que estes teriam a mesma dureza, estatisticamente falando. Foi então realizado um teste de hipótese para a diferença entre essas duas médias, utilizando seus desvios-padrão, seguindo a literatura (MONTGOMERY e RUNGER, 2012). Foram levantadas as hipóteses  $H_0$  e  $H_1$  para as situações descritas em (A).

$$H_0 : \mu_A - \mu_B = 0 (\mu_A = \mu_B) \quad H_1 : \mu_A - \mu_B \neq 0 (\mu_A \neq \mu_B) \quad (A)$$

A inferência na diferença das duas médias foi então realizada levando em consideração um intervalo de confiança de 99,9% ( $\alpha = 0,001$ ). Pretende-se rejeitar  $H_0$  se as médias da dureza dos dois grãos forem diferentes, sendo  $P < \alpha$ . O cálculo do  $Z_0$  é apresentado em (B).

$$Z_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{187,12 - 183,24 - 0}{\sqrt{\frac{21,56^2}{25} + \frac{17,20^2}{25}}} = 0,7034 \quad (B)$$

Uma vez que  $Z_0 = 0,7034$ , o valor de  $P$  é  $P = 1 - \Phi(0,7034)$ , onde  $\Phi(0,7034) = 0,7673$ . Logo  $P = 1 - 0,7673 = 0,2327$ . Como  $P > \alpha$ , rejeita-se  $H_1$  para  $\alpha = 0,001$ . Conclui-se, dessa forma, que as médias dos grãos claros e médios se equivalem.

Inferiu-se ainda a diferença entre as médias dos grãos claros e escuros, para que fosse comprovado estatisticamente que os dois tinha médias diferentes. Para tal

análise foi utilizado novamente o teste de hipótese de diferença de médias com um desvio padrão conhecido, baseado na literatura (MONTGOMERY e RUNGER, 2012). Foram levantadas as hipóteses  $H_0$  e  $H_1$  para as situações descritas em (C).

$$H_0 : \mu_A - \mu_B = 0 (\mu_A = \mu_B) \quad H_1 : \mu_A - \mu_B \neq 0 (\mu_A \neq \mu_B) \quad (C)$$

Foi utilizado um intervalo de confiança de 99,9% ( $\alpha = 0,001$ ) para este teste. Pretende-se então rejeitar  $H_0$  caso as médias entre os grãos claros e os grãos escuros forem diferentes para o intervalo de confiança descrito, sendo  $P < \alpha$ . O cálculo do  $Z_0$  é apresentado em (D).

$$Z_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{539,48 - 187,12 - 0}{\sqrt{\frac{48,97^2}{25} + \frac{21,56^2}{25}}} = 32,927 \quad (D)$$

Uma vez que  $Z_0 = 32,927$ , o valor de  $P$  é  $P = 1 - \Phi(32,927)$ , onde  $\Phi(32,927) = 1$ . Logo  $P = 1 - 1 = 0$ . Como  $P < \alpha$ , rejeita-se  $H_0$  para  $\alpha = 0,001$ . Logo conclui-se, com 99,9% de confiabilidade, que as médias dos grãos claros e escuros diferem.

Com o objetivo de levantar uma média de microdureza para a peça recozida, foi feita uma média ponderada das microdurezas obtidas com base na área apresentada por cada grão claro, médio e escuro da figura 1d. Foi utilizado o programa ImageJ para que fosse possível computar a área que cada uma dessas microestruturas representava em relação a área total da figura. Os resultados obtidos a partir desse *software* são apresentados na tabela II.

Tabela II - Resultados da análise quantitativa da microestrutura recozida no *software* ImageJ

Grãos claros	Grãos médios	Grãos escuros
10,038%	78,121%	11,841%

A média de microdureza foi então realizada a partir das porcentagens das áreas, obtendo um valor médio de 225,81HV para a microdureza da peça recozida, como pode ser visto em (E).

$$\bar{X}_{rec} = A_{GC} * \bar{X}_{GC} + A_{GM} * \bar{X}_{GM} + A_{GE} * \bar{X}_{GE}$$

$$\bar{X}_{rec} = 0,10038 * 187,12 + 0,78121 * 183,24 + 0,11841 * 539,48 = 225,81HV \quad (E)$$



Foram realizados os ensaios de microdureza para as demais amostras, que apresentaram resultados bastante regulares, individualmente, e coerentes como um todo, uma vez que a recozida apresentou a menor dureza média, enquanto a temperada apresentou a maior dureza média. Os resultados destes ensaios são representados pelas médias e desvios-padrão na figura 2.

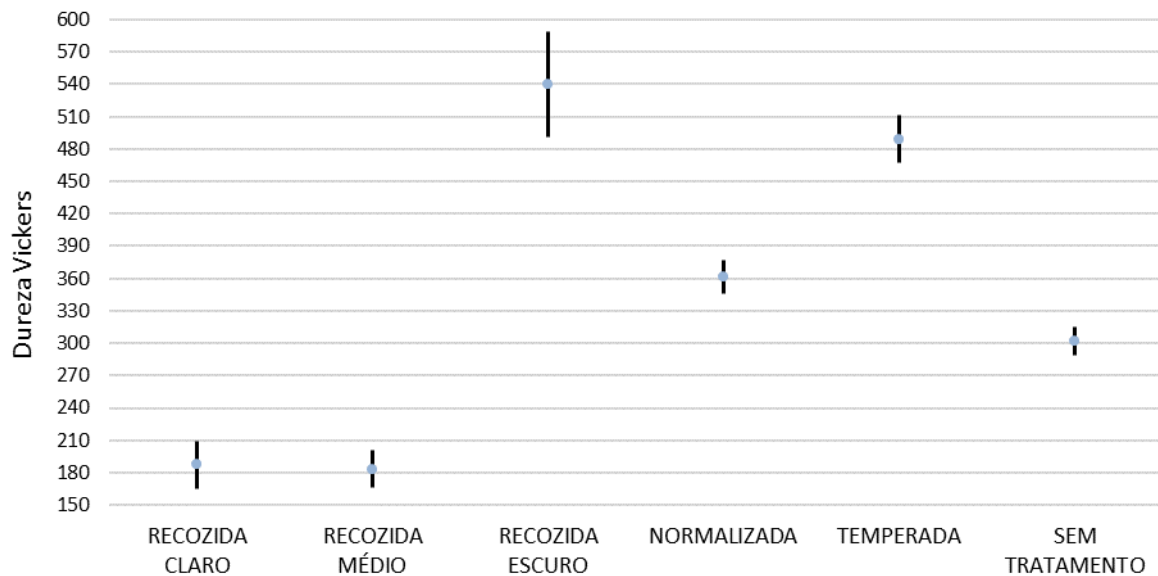


Figura 2 - Resultado da análise de microdureza para todas as peças com médias e desvios-padrão

## ENSAIO DE DUREZA

Uma vez obtidos valores de dureza em escalas micrométricas realizou-se o aferimento dessa grandeza em escala macrométrica. Estes valores se diferenciam dos anteriores, uma vez que a indentação não é mais realizada apenas em um grão, mas em vários grãos diferentes englobando também os seus contornos e precipitados.

Semelhantemente ao ensaio de microdureza, a peça que apresentou a maior dureza média foi a temperada, seguida pela normalizada e sem tratamento, sendo a recozida, novamente, a amostra mais macia entre todas. Os resultados destes ensaios são representados pelas médias e desvios-padrão na figura 3.

## ENSAIO DE IMPACTO

O ensaio destrutivo de impacto foi realizado com o objetivo de mensurar a tenacidade das peças em questão. Como já foi citado anteriormente, não foi possível

obter uma amostragem maior do que 4 ensaios por peça devido à limitação de material que se tinha, ficando então, a peça sem tratamento com 2 ensaios realizados, enquanto as demais ficaram com 4 valores obtidos. Os resultados das médias e desvios padrão de cada amostra a partir desta análise podem ser encontrados na tabela III.

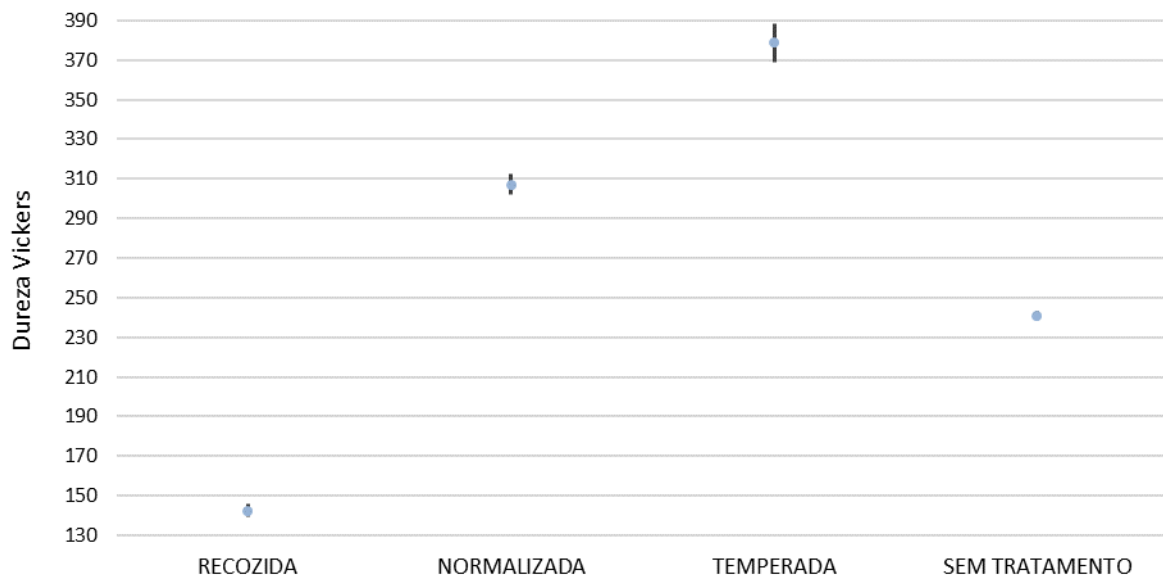


Figura 3 - Resultado da análise de dureza para todas as peças com médias e desvios-padrão

Tabela III - Resultados obtidos no ensaio de Charpy em um ambiente a 25 °C

	Sem tratamento	Recozimento	Normalização	Têmpera
<b>Média</b>	156 J	84 J	72 J	54 J
<b>Desvio padrão</b>	32	7,12	18,83	7,48

A partir destes resultados pode-se afirmar que a peça sem nenhum tratamento possui a maior tenacidade dentre todas as outras amostras e as peças tratadas termicamente seguiram uma proporcionalidade inversa entre a tenacidade e a dureza, o que era esperado, graças às tensões produzidas durante os tratamentos térmicos.

Um resumo das médias dos valores encontrados é apresentado na tabela IV, onde pode ser observado que a peça temperada se apresenta como a mais dura e menos tenaz, a peça recozida se mostra a mais macia e a amostra como entregue se mostrou a mais tenaz.

Tabela IV - Resumo dos resultados encontrados nos ensaios realizados

	<b>Não tratada</b>	<b>Temperada</b>	<b>Recozida</b>	<b>Normalizada</b>
<b>Microdureza (HV)</b>	302,2	489,2	225,81	361,04
<b>Dureza (HV)</b>	241,12	378,55	142,70	306,77
<b>Tenacidade (J)</b>	156	54	84	72

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foram testados 3 diferentes tratamentos térmicos no aço ASTM A182 F22, de maneira a modificar sua microestrutura e, portanto, suas propriedades mecânicas, sendo eles têmpera, recozimento e normalização. Cada amostra foi analisada ao microscópio ótico para verificar a eficácia destes tratamentos e só então foram realizados ensaios de impacto, dureza e microdureza, nos mesmos.

Os ensaios não destrutivos apresentaram boa conformidade entre si, onde os resultados obtidos no ensaio de microdureza e na microscopia ótica foram importantes para avaliar os encontrados no durômetro. As médias entre microdureza e dureza foram próximas umas das outras para um mesmo tratamento térmico e tal similaridade foi importante quando os valores encontrados no ensaio destrutivo de impacto tiveram que ser analisados, uma vez que tais tratamentos fazem com que o material apresente valores inversamente proporcionais de dureza e tenacidade.

Os resultados apresentaram que a amostra temperada se mostrou a mais dura e menos tenaz, enquanto a recozida se mostrou a mais macia e tenaz dentre as peças tratadas termicamente. Isso mostra que o aço ASTM A182 F22 pode ser utilizado em uma gama de aplicações que exigem valores desde 142HV (peça recozida) até 378HV (peça temperada), para a dureza, ou desde 58J (peça temperada) até 156J (peça como entregue), alterando somente o seu tratamento térmico.

Tais resultados servirão para consulta, seja por parte de empresas que utilizam este material em seu ambiente de trabalho ou pela comunidade científica.

## REFERÊNCIAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **A182/A182M:** Standard Specification for Forged or Rolled Alloy and Stainless Steel Pipe Flanges,

- Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature Service. West Conshohocken: ASTM, 2005
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6157: Materiais metálicos – Determinação da resistência ao impacto em corpos de prova entalhados simplesmente apoiados.** Rio de Janeiro: ABNT, 1980
  3. CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
  4. COSTA E SILVA, André L. V.; MEI, Paulo R. **Aços e ligas especiais.** 3ª edição. São Paulo: Blucher, 2010.
  5. MONTGOMERY, Douglas C. e RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
  6. SOUZA, Sérgio A. **Composição Química dos Aços.** São Paulo: Edgard Blucher, 1989.
  7. VILLARINHO, D.; ROESE, P.; FERREIRA, C.; SCHAEFFER, L. Caracterização parcial de liga Nitinol atuador através de pontos críticos de transformação de fases utilizando calorimetria diferencial de varredura. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1–10, 2010.

## **MECHANICAL PROPERTIES STUDY FOR DISTINCT THERMAL TREATMENTS OF ASTM A182 F22 STEEL**

### **ABSTRACT**

ASTM A182 F22 steel is a widely used material in the oil industry in different applications, such as valves, flanges, wellheads and connectors. Such applications require properties that combine hardness and toughness. Thus, in this paper the variation of mechanical properties of hardness and toughness was studied by submitting the ASTM A182 F22 steel to heat treatments of tempering at 950°C with cooling in water at 25°C, annealing for 2 hours at 900°C and normalizing with forced air cooling from a temperature of 950°C to 30°C. There was a significant variation in these properties measurements from such heat treatments, being the tempered condition the hardest and least tenacious and the annealed condition the softer and the most tenacious. Such variations prove that this material can be subjected to different applications only varying the heat treatment that was performed.

Keywords: ASTM A182 F22, Hardness, Charpy.