



ESTUDO DA TENACIDADE AO IMPACTO DE AÇOS BAIXA LIGA SUBMETIDOS À PROTEÇÃO CATÓDICA

Pablo V. da Silva^{1*}, Gabrielly L. Tiburtino¹, Davi do N. Silva¹, Paula R. S. Araújo¹,
Adiana N. Silva¹

*1 - Departamento de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-árido. (UFERSA),
Caraúbas/RN, Avenida Universitária “Leto Fernandes”, Sítio Esperança II, Zona Rural
CEP: 59780-000, Caraúbas/RN – Brasil
pablosilva.cills@gmail.com*

RESUMO

Aços baixa liga tem sido empregados em componentes soldados da indústria offshore, com desempenho satisfatório, no entanto alguns componentes apresentaram falhas, catastróficas e de natureza frágil, mesmo em aplicações com carregamentos inferiores ao limite de escoamento dos materiais. Atualmente existe um consenso quanto ao fato dessas falhas estarem associadas a combinação entre processamento térmico e atuação do hidrogênio nessas soldas. Neste trabalho, analisou-se a tenacidade ao impacto dos aços de baixa liga, AISI 8630 e ASTM A182 F22, para as condições sem e com proteção catódica. Ambos os aços, no estado forjado, passaram por Tratamento Térmico de Alívio de Tensão (TTAT) que ocorreu à 677°C, com duração de 2 e 6h, respectivamente, para o AISI 8630 e o ASTM A182 F22. A tenacidade foi avaliada por meio de ensaio de impacto do tipo Charpy. A hidrogenação dos corpos de prova ocorreu à -1100 mV_{ERC}, durante 168h, em solução aquosa de NaCl. O efeito do TTAT foi avaliado por meio de ensaio de dureza Vickers, ambos os aços atenderam aos critérios de dureza especificados pela norma NACE MR 0175. O aço 8360 hidrogenado apresentou redução de 12% na tenacidade, sugerindo ocorrência de fragilização nesse material. Já com relação ao aço ASTM A182 F22 a tenacidade não apresentou alteração significativa. Os corpos de prova de impacto revelaram, predominância do mecanismo de fratura frágil e dúctil para os aços AISI 8630 e ASTM 182 F22 respectivamente. Os resultados obtidos denotam que, para as condições de processamento térmico e proteção catódica aplicados, o aço ASTM A182 F22 se mostra mais promissor para aplicações em ambientes sob ação do hidrogênio.

Palavras-chave: *Proteção catódica, Charpy, Fractografia, Tratamento térmico*

INTRODUÇÃO

O estudo da relação entre microestrutura e propriedades mecânicas dos materiais é importante, visto que nos projetos o material selecionado ou desenvolvido deve garantir um melhor desempenho. Nesse sentido, pode-se citar as descobertas no setor petrolífero onde tem-se uma demanda por materiais com melhor comportamento mecânico, principalmente, quanto a presença do hidrogênio, pois na extração em águas profundas, há a presença de agentes agressivos como o H₂S, além de altas solicitações mecânica e térmica^(1, 2).

Dependendo das características microestruturais os aços ARBL podem aliar boas propriedades mecânicas, tanto em termos de resistência quanto de tenacidade, e têm sido utilizados no setor de petróleo e gás³. No entanto, na presença do hidrogênio estes aços têm se comportado de maneira frágil, principalmente, quando sua microestrutura apresenta carbonetos, dentre outros o de Ferro com microconstituente martensítico⁵. Neste estudo avalia-se o comportamento de tenacidade ao impacto dos aços AISI 8630 e ASTM A182 F22, ambos no estado forjado e com Tratamento Térmico de Alívio de Tensão (TTAT), assim como submetidos a proteção catódica. O aço ASTM A182 F22 vem se destacando nas aplicações *offshore* já que a redução no teor de carbono desse aço tende a reduzir a presença da martensita, consequentemente o torna promissor em aplicações onde há presença de hidrogênio⁴, visto que martensita é um microconstituente que favorece a fragilização induzida pelo hidrogênio⁵.

METODOLOGIA

Os materiais empregados no desenvolvimento deste trabalho, foram os aços AISI 8630 e ASTM A182 F22, ambos no estado forjado. Na Tabela 1, tem-se as composições químicas destes aços obtidas por Espectroscopia Emissão Óptica (OES).

Tabela 1: Composição química dos aços 8630 e F22

Material Analisado (%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe	Al
AISI A182	0,32	0,31	0,81	0,007	0,005	0,79	0,69	0,34	0,05	Bal.	-
ASTM A182 F22	0,17	0,14	0,35	0,01	0,01	0,04	2,11	0,93	0,04	Bal.	0,30

Os aços empregados na pesquisa passaram por um TTAT (Tratamento Térmico de Alívio de Tensão). Para o aço AISI 8630 os parâmetros para esse procedimento foram: taxa de aquecimento de 20 °C/min, temperatura máxima de 677 °C (± 10 °C), tempo de duração da temperatura de 2 horas e resfriado ao ar⁷. Já para o ASTM A182 F22 empregou-se os mesmos parâmetros de aquecimento e resfriamento do 8630, com a diferença que o tempo de duração na temperatura que foi de 6 horas⁸.

O processo de proteção catódica foi derivado de um sistema por corrente impressa⁵, com eletrólito aquoso de 3,5% de NaCl, sendo empregado: potencial de proteção com -1100 m V_{ERC}; pH 8,2; o anodo inerte de titânio puro; e o tempo de hidrogenação por 168 horas na temperatura ambiente (aproximadamente 23 °C).

Nos ensaios de impacto utilizou-se corpos de prova do tipo Charpy, foram confeccionados doze corpos de prova (seis para o AISI 8630 e seis para o ASTM 182 F22), sendo o ensaio executado a temperatura ambiente com pêndulo de 300J em máquina da marca Time e modelo JB-W300A, para as condições sem e com proteção catódica.

Nos ensaios de dureza utilizou-se Durômetro Mitutoyo HR – 320MS, estes ensaios foram executados, conforme norma ASTM E18¹⁰ empregando o ensaio Rockwell na escala B (HRB), em seguida, converteu-se os valores para dureza Vickers. Foram realizadas, no mínimo, 3 indentações para cada material.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação da proteção catódica por 168h verificou-se ausência de corrosão aparente nos corpos de prova de impacto, demonstrando eficiência do aparato empregado. Na Figura 1 tem-

se os resultados dos ensaios de impacto dos aços AISI 8630 e ASTM A182 F22, nas condições sem e com proteção catódica. Estes valores correspondem a média e o desvio padrão.

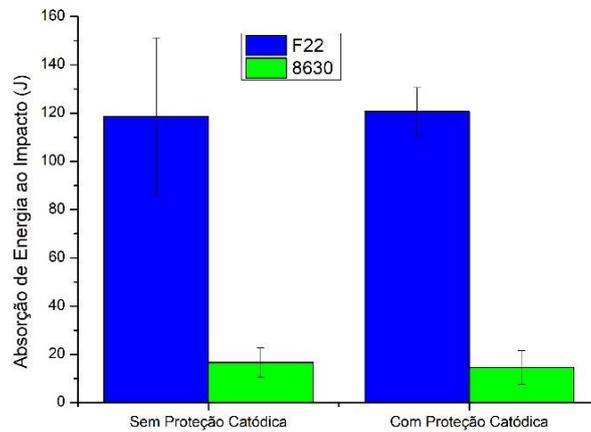


Figura 1: Resultados dos Ensaios de Impacto dos aços AISI 8630 e ASTM 182 F22, sem e com proteção catódica

Considerando o gráfico da Figura 1 observa-se que o aço AISI 8630 (coluna verde) na condição sem proteção catódica apresentou uma tenacidade ao impacto média de 16,67 J, enquanto o valor médio de tenacidade com proteção catódica foi 14,67 J, ou seja, houve uma redução na média de energia de impacto de 12%, após realização da proteção catódica. Considerando os valores de desvio padrão para ambos os casos, ou seja, sem e com proteção catódica, tem-se respectivamente, 6,03 e 7,02, sugerindo que o processo de proteção catódica não induziu fragilização ao aço.

Para o aço ASTM A182 F22 (coluna azul), observa-se que os valores da energia de impacto nos corpos de prova sem e com proteção catódica ficaram próximos, sendo respectivamente 118,6 J e 120,7 J, com um aumento 2% no valor médio com proteção catódica. Considerando estes resultados, juntamente com os valores de desvio padrão, que foram de 32,62 e 10,01, respectivamente, para as condições sem e com proteção catódica, observa-se que o aço ASTM A182 F22 manteve o nível de energia de impacto após ser submetido a proteção catódica, dessa forma percebe-se que o sistema de proteção catódica não favoreceu a fragilização do aço pelo hidrogênio.

Ainda com relação a Figura 1, comparando-se a tenacidade ao impacto dos aços ASTM A182 F22 e AISI 8630 tem-se que o aço AISI 8630 possui tenacidade ao impacto 86,20% inferior ao do aço ASTM A182 F22, o que já era esperado devido a composição química deste último aço. As imagens da superfície de fratura dos corpos de prova de impacto são apresentadas nas Figuras de 2 a 5, sendo apresentado primeiramente as imagens para o aço AISI 8630, Figuras 2 e 3, na sequência tem-se os resultados para o aço ASTM A182 F22, Figuras 4 e 5.

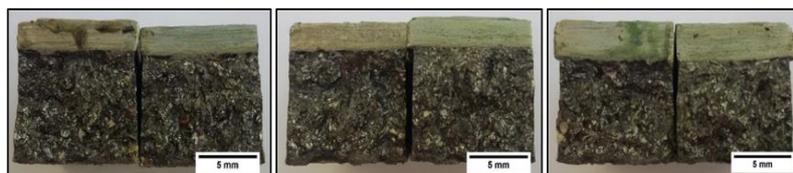


Figura 2: Superfície de fratura dos CPs de impacto do aço AISI 8630 sem proteção catódica.

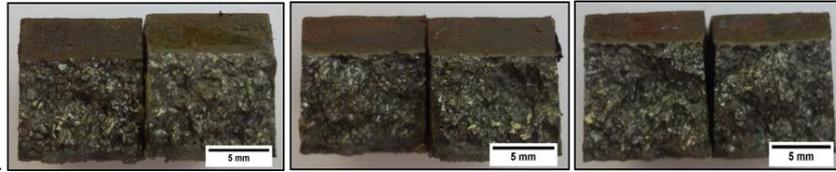


Figura 3: Superfície de fratura dos CPS de impacto do aço AISI 8630 sem proteção catódica

Para o aço AISI 8630 sem hidrogenação, Figura 2, observa-se que as superfícies de fratura não apresentaram deformação lateral apreciável, percebe-se um aspecto cristalino e falta de distorção das faces da seção transversal dos corpos de prova, estas características são associadas ao mecanismo de fratura frágil⁶ e corroboram com os resultados de tenacidade ao impacto. Na Figura 3, verifica-se que os CPs do aço AISI 8630 com hidrogenação apresentaram superfície de fratura similar a do material sem hidrogenação, com mecanismo de fratura frágil.

As imagens da Figura 4, aço ASTM A182 F22 sem hidrogenação, apresentaram superfície de fratura com presença de contração e expansão laterais, bem como aspecto fibroso, compatíveis com o mecanismo de fratura dúctil⁶, reforçando os resultados de tenacidade ao impacto. Nas imagens da Figura 5, aço ASTM A182 F22 com hidrogenação, observa-se comportamento equivalente ao do material sem hidrogenação. Dessa forma, pode-se afirmar que o mecanismo de fratura predominante em ambas as condições analisadas foi do tipo dúctil, demonstrando que as condições nas quais a proteção catódica foi empregada não favoreceu a fragilização por hidrogênio no material.

Figura 4: Superfície de fratura dos CPS de impacto do aço ASTM A182 F22 sem proteção catódica.

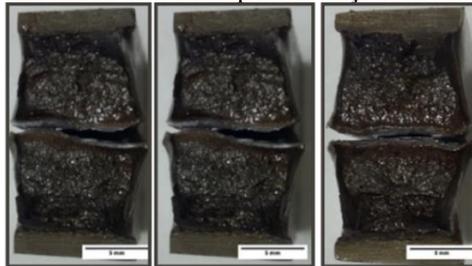
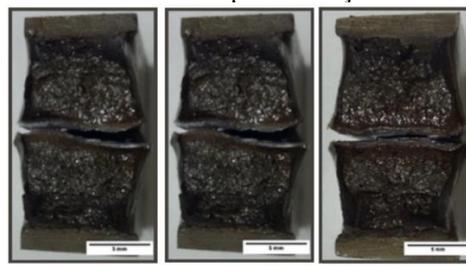


Figura 5: Superfície de fratura dos CPS de impacto do aço ASTM A182 F22 com proteção catódica.



Tanto o aço AISI 8630 quanto o aço ASTM A183 F22 não apresentaram alteração no mecanismo de fratura após o processo de catódica, sugerindo que, os parâmetros empregados no sistema de proteção catódica não favoreceram a fragilização por hidrogênio de ambos os materiais.

Pode-se afirmar também que, por possuir em sua composição um teor maior de Cr e Mo, valores mostrados na Tabela 1, o aço ASTM A182 F22 tende a apresentar alta estabilidade proporcionada pelos carbonetos estáveis presentes nos contornos de grão⁴, pois a adição de cromo e molibdênio, ao aço de baixo carbono, retarda a curva de transformação da ferrita-perlita, favorecendo a temperabilidade dos aços⁷.

Os valores médios de dureza Vickers para os aços AISI 8630 e ASTM 182 F22 foram próximos, sendo os valores médios de dureza Vickers de respectivamente, 200,81HV e 207,3HV para o AISI 8630 e ASTM A182 F22. Esses resultados demonstram que os parâmetros adotados para o TTAT dos aços AISI 8630 e ASTM A182 F22, garantiram que o atendimento do critério de dureza da norma NACE MR 0175, que especifica que a dureza não pode ultrapassar 250 HV, para materiais aplicados em ambientes contendo H₂S.

CONCLUSÕES

Este artigo teve como objetivo estudar o comportamento de tenacidade ao impacto dos aços AISI 8630 e o ASTM 182 F22 forjados e com TTAT, em condições sem e com processo de proteção catódica, avaliando-se assim uma possível fragilização induzida pelo hidrogênio proveniente desse sistema.

O sistema de proteção catódica que foi desenvolvido garantiu a não oxidação de ambos os aços. A tenacidade ao impacto média do aço ASTM A182 F22 com proteção foi maior do que na condição sem proteção. Logo, podemos deduzir que a proteção catódica não influenciou negativamente na absorção de energia de impacto. Em termos de fragilização induzida pelo hidrogênio a tenacidade ao impacto do aço AISI 8630 apresentou comportamento semelhante, assim pode-se deduzir que, para os parâmetros de proteção adotados, o processo não influenciou negativamente na tenacidade ao impacto de ambos os aços analisados.

Ao comparar a tenacidade ao impacto, nas condições de processamento térmico empregadas, dos aços ASTM A182 F22 e AISI 8630, observa-se que, o aço AISI 8630 possui uma tenacidade de 86,20% inferior ao aço ASTM A182 F22.

A fractografia dos aços após o ensaio charpy, demonstraram a natureza dúctil do aço ASTM A182 F22 e natureza frágil do aço AISI 8630, sendo esse comportamento independente do processo de proteção catódica.

A dureza tanto para o aço ASTM A182 F22 quanto para o aço AISI 8630 foram próximos, sendo eles, 207,3 HV e 200,81 HV respectivamente, demonstrando que ambos os aços atendem ao critério a norma NACE MR0175.

Por fim, considerando os parâmetros do processamento térmico e da proteção catódica que foram empregados, conclui-se que o aço ASTM A182 F22 se mostra promissor para emprego em componentes soldados para fins de aplicações no setor petrolífero.

REFERÊNCIAS

1. CARRASCO, Jorge Antônio Palma. **Aplicação de Modelos de Fratura Elástica e de Dano para a Simulação Numérica da Influência do Hidrogênio na Propagação de Trincas em Aços de Alta Resistência**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
2. ALMEIDA, José Gonçalves. **Influência do Hidrogênio na Tenacidade Quase Estática de uma Junta Soldada Dissimilar Constituída de Aços ARBL e Metal de Adição BS NA 21 (INCONEL 625)**. 2014. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
3. BATISTA, Valmir Rodrigues. **Efeito do processo de soldagem e da temperatura de preaquecimento sobre a susceptibilidade à fragilização por hidrogênio de juntas soldadas dissimilares utilizadas no setor offshore da indústria do petróleo**. 2016. 181 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande.
4. OLIVEIRA, G. L. G. **Soldagem dissimilar dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 para aplicações subaquáticas**: 2013. 205p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
5. SILVA, Adiana Nascimento; COSTA, Esdras Carvalho ; ALMEIDA, José Gonçalves De ; MACIEL, Theophilo Moura ; CAVALCANTE, Danielle Guedes De Lima ; PASSOS, Tibério

- Andrade Dos . **Effect of Hydrogen on the Mechanical Properties of ASTM A182 F22 and ASTM A36 Steels Welded Joint Using Inconel 625 as Filler and Buttering Metal.** MATERIALS RESEARCH, v. 25, p. 1, 2022.
6. GARCIA, Amari; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaio de Materiais.** 2^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 365 p. GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 6^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 360 p
 7. SILVA, Adiana Nascimento. **Análise do Efeito do Hidrogênio na Resposta de Tenacidade à Fratura em Junta Soldada Dissimilar.** 2018. 180 f. Tese (Doutorado) - Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba.
 8. CAVALCANTE, Fabricio José Nóbrega. **Influência do Hidrogênio na Tenacidade quase Estática de uma Junta Soldada Dissimilar Constituída De Aço AISI 8630m Amanteigado Com Er80s-D2.** 2014.127 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
 9. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. NACE MR0175/ISO 15156-2:2003 – **Petroleum and natural gas industries – Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production – Part 2: Cracking-resistant carbon and low alloy steels, and the use of cast irons,** 2003
 10. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1141-98, **Standard Practice for Preparation of Substitute Ocean Water.** West Conshohocken, 2008.

STUDY OF THE IMPACT TOUGHNESS OF LOW ALLOYED STEELS SUBMITTED TO CATHODIC PROTECTION

ABSTRACT

Low alloy steels have been used in welded components in the offshore industry, with satisfactory performance, however, some components have presented catastrophic failures and brittle nature, even in applications with loads lower than the yield strength of materials. Currently there is a consensus that these failures are associated with the combination of thermal processing and hydrogen action in these welds. In this work, the impact toughness of low alloyed steels, AISI 8630 and ASTM A182 F22, was analyzed for the conditions without and with cathodic protection. Both steels, in the forged state, underwent Stress Relief Heat Treatment (SRHT) that occurred at 677°C, lasting 2 and 6h, respectively, for AISI 8630 and ASTM A182 F22. The toughness was evaluated by means of a Charpy-type impact test. Hydrogenation of the specimens occurred at -1100 mSCE for 168h in aqueous NaCl solution. The effect of SRHT was evaluated using Vickers hardness testing, and both steels met the hardness criteria specified by the NACE MR 0175 standard. The hydrogenated 8360 steel showed a 12% reduction in toughness, suggesting the occurrence of embrittlement in this material. The ASTM A182 F22 steel, on the other hand, did not show significant changes in toughness. The impact specimens revealed a predominance of the brittle and ductile fracture mechanism for AISI 8630 and ASTM 182 F22 steels, respectively. The results obtained denote that, for the conditions of thermal processing and cathodic protection applied, ASTM A182 F22 steel shows more promise for applications in environments under hydrogen action.

Keywords: Cathodic Protection, Charpy, Fractography, Heat Treatment