

## INFLUÊNCIA DA TÊMPERA EM SOLUÇÕES SALINAS DE NaCl NA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DO AÇO HADFIELD

Alfredo Marques dos Santos<sup>1</sup> (IC), Renata Neves Penha (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá.

**Palavras-chave:** Aço Hadfield. Têmpera. Resistência ao impacto. Soluções salinas.

### Introdução

A têmpera do aço Hadfield tem função primordial para o aprimoramento de suas propriedades mecânicas, entre elas está a resistência ao impacto. O principal objetivo deste trabalho foi analisar a influência de meios salinos de NaCl na resistência ao impacto deste material.

Foram preparadas amostras na geometria para ensaio Charpy em três soluções diferentes: 0% de NaCl, 1% NaCl e 3% de NaCl. Como metodologia para identificação das variações utilizou-se o ensaio Charpy e fractografia.

### Metodologia

Para possibilitar que a análise das propriedades resultantes dos tratamentos térmicos de desejo deste trabalho fosse acurada, fez-se o tratamento térmico de recozimento no material que dará origem as amostras. Esse procedimento foi realizado com a material antes do processo de usinagem dos corpos de prova, o qual foi levado ao forno de resistência elétrica que foi previamente aquecido a temperatura de 1150 °C, dessa forma há austenitização de toda a micro estrutura do material. O tempo de encharque foi de 3,5 horas, após isso o forno foi desligado e o material resfriou-se dentro do forno lentamente. Após isso o material foi usinado, dando origem a 15 amostras. A geometria definida para o ensaio Charpy foi conforme a norma E23 (ASTM, 2013). Afim de eliminar tensões residuais da usinagem que pudessem interferir nos procedimentos posteriores, realizou um processo de normalização, onde os corpos de prova foram aquecidos em forno de resistência elétrica à 1050 °C, com tempo de encharque de 1 hora, após esse período foram resfriados ao ar livre.

No procedimento de têmpera foram definidas 3 soluções contendo 0%, 1% e 3% de cloreto de sódio. As amostras foram aquecidas até 1050 °C e resfriadas rapidamente com agitação. O processo foi realizado em 5 amostras para cada solução. Posteriormente ao tempera, realizou-se o ensaio Charpy, dessa forma obtendo-se a energia absorvida do material devido ao impacto. Em seguida,

fez-se fractografias das amostras, utilizando um estereoscópio, para classificar a fratura, onde foram obtidas imagens com 6,7x, 8x, 10x e 15x de aumento. Por fim, realizou-se a medida dos maiores pontos de maior deformação plástica após o ensaio com o uso de um micrômetro analógico.

### Resultados e discussão

A Tab.1 e a Fig.1 mostram os valores obtidos no ensaio de impacto, além de valores de média e desvio padrão. Observa-se que com o aumento da concentração de NaCl na água a energia absorvida pelas amostras aumento. Outro ponto importante de se analisar é que há uma queda considerável nos valores de desvio padrão da amostra de dados.

A explicação para esses dados é que com uma maior quantidade de sal na solução utilizada como meio de têmpera o fenômeno de rompimento da camada de vapor formada é mais eficiente, aumentando a taxa de resfriamento do processo (MESSIAS, 1998). Com isso fica evidenciado tanto o aumento da energia de impacto em 26%, quando comparado a solução com 0% de NaCl com a contendo 3% de NaCl.

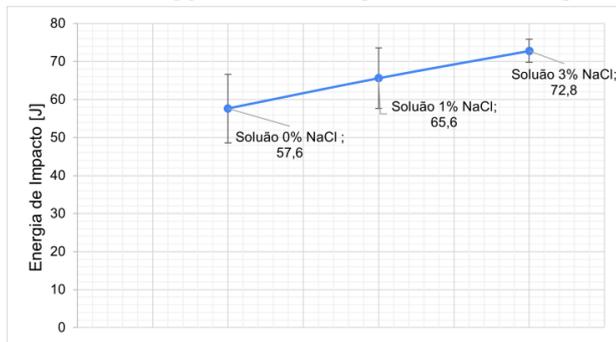
Em relação ao desvio padrão, observa-se a diminuição de 66%. Este dado evidência que a dispersão dos dados ficou menor e permite maior reprodutibilidade do processo, e consequentemente, maior qualidade da têmpera. Dessa forma, tendo em vista os dados de ensaio Charpy, evidência-se que há maior eficácia da têmpera, que pode estar relacionada a formação de microestrutura austenítica e menor formação carbeto (T ECZA; SOBULA, 2014).

Tab. 1 – Resultado obtidos no Ensaio Charpy.

Amostra	Solução 0% NaCl	Solução 1% NaCl [J]	Solução 3% NaCl [J]
	Energia de Impacto [J]	Energia de Impacto [J]	Energia de Impacto [J]
1	58	60	76
2	42	66	72
3	64	70	70
4	62	56	70
5	62	76	76
Média	57,6	65,6	72,8
Desv. Padrão	8,99	7,92	3,03

Fonte: Autor

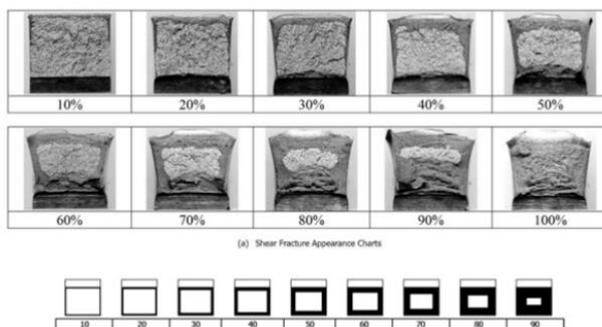
Fig. 1 – Gráfico da média dos resultados das amostras do Ensaio Charpy com seus respectivos desvios padrão.



Fonte: Autor

Com a finalidade de caracterizar o tipo de fratura observada no ensaio, fez-se diversas imagens das fraturas do teste Charpy, e foram caracterizadas segundo a norma E23-18, o padrão comparativo é a Fig. 2.

Fig. 2 – Percentual de fratura cisalhante.



Fonte: (ASTM, 2013)

Não houve diferenças significativas quando são analisadas às fractografias, sendo todas caracterizadas com 40% de fratura cisalhante. As imagens 3a, 3b e 3c são, respectivamente, amostra 1 solução 0% de NaCl, amostra 2 solução 1% de NaCl e amostra 2 solução 3% de NaCl, todas com aumento de 6,7x. Essa foram escolhidas com base em seus valores de energia de impacto se aproximarem da média de cada condição de resfriamento.

Fig. 3 – Gráfico da média dos resultados das amostras do Ensaio Charpy com seus respectivos desvios padrão.



Fonte: Autor

Na Fig. 4, observa-se que há o aumento da deformação plástica nas extremidades das amostras conforme há o aumento da concentração de NaCl na solução. A Tab. 2 mostra as medidas feitas nessas regiões. A maior variação de dimensão da amostra após o teste Charpy, ou seja, pelo medida da largura da amostra antes e após o ensaio. Observa-se nas amostras que foram temperadas na solução com 3% de sal. Isso relaciona-se diretamente com a possível menor formação de carbeto na têmpera, o que aumenta a capacidade de deformação plástica do material, pois se há a formação de carbeto nos contornos de grãos há a fragilização do material (JAFARIAN et al., 2021).

Tab. 2 – Maior deformação plástica das amostras após ensaio Charpy.

Média da variação por deformação plástica [mm]	
Solução 0% NaCl	0,603
Solução 1% NaCl	0,610
Solução 3% NaCl	0,789

Fonte: Autor

## Conclusões

Perante o exposto é possível observar que a influência de meios salinos na têmpera do Aço Hadfield quanto a resistência ao impacto varia positivamente com o aumento da concentração de NaCl na solução utilizada como meio de resfriamento.

Observa-se que a energia absorvida devido ao impacto no ensaio Charpy evoluiu em 26% quando comparados os meios de água pura e com solução salina de 3% de NaCl. Outro ponto importante destacado é que a qualidade da têmpera do material evoluiu de maneira significativa também, isso é mostrado por meio da diminuição de 66% do desvio padrão dos valores obtidos com o ensaio Charpy, com o mesmo comparativo anterior. Com isso destaca-se que o processo se torna mais robusto para reprodutibilidade e repetitividade.

Quando se analisou a fratura dos corpos de prova não foi possível notar expressivas diferenças entre as amostras temperadas em diferentes meios com a metodologia utilizada. Dessa forma, seria interessante alguma variação no método para melhor detecção das possíveis variações, como por exemplo utilização de Microscópio Eletrônico de Varredura para futuras análises.

Por fim, este trabalho apresentou a consolidação de indicadores de suma importância para a aplicação do Aço Hadfield, a resistência ao impacto, e como é possível alterar essa propriedade com meios poucos complexos e de baixo custo, podendo levar a benefícios de evolução de propriedades e qualidade para sua utilização.

### Agradecimento

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família por todo suporte para meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Não posso deixar de lembrar da grande Prof<sup>ª</sup>. Renata Neves Penha que me deu a oportunidade e suporte para desenvolver este trabalho e me desenvolver profissionalmente.

Deve-se destacar também o CNPq que me forneceu a bolsa viabilizando a pesquisa e as empresas Mahle e Indústria de Material Bélico do Brasil - IMBEL por terem fornecido serviços e equipamentos para que as atividades descritas nesse relatório fossem realizadas.

### Referências

AGUNSOYE, J. O.; TALABI, S.; BELLO, O. Wear characteristics of heat-treated hadfield austenitic manganese steel for engineering application. **Advances in Production Engineering & Management**, University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Production, v. 10, n. 2, p. 97, 2015.

ASM, S. H.-S. L.-A. Asm handbook, volume 1, properties and selection: Irons, steels, and high performance alloys section: Carbon and low-alloy steels. v. 1, 1993.

ASTM, E. 23-12c. **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials,** Standards, v. 1, p. 1–25, 2013.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos.** [S.l.]: Abm, 1977

INFOMET. **Aços-manganês austeníticos.** 2021. Disponível em: <<https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudoler.php?codConteudo=100>>. Acesso em: 27 setembro 2021.

JAFARIAN, H.; SABZI, M.; ANIJAN, S. M.; EIVANI, A.; PARK, N. The influence of austenitization temperature on microstructural developments, mechanical properties, fracture mode and wear mechanism of hadfield high manganese steel. **Journal of Materials Research and Technology**, Elsevier, v. 10, p. 819–831, 2021.

MESSIAS, F. E. **Análise da influência da concentração e temperatura nas características de resfriamento das soluções do sal AWS-20 usados na têmpera.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 1998.

SABZI, M.; FARZAM, M. Hadfield manganese austenitic steel: a review of manufacturing processes and properties. **Materials Research Express**, IOP Publishing, v. 6, n. 10, p. 1065c2, 2019.

SANT, S.; SMITH, R. A study in the work-hardening behaviour of austenitic manganese steels. **Journal of materials science**, Springer, v. 22, n. 5, p. 1808–1814, 1987.

TŁECZA, G.; SOBULA, S. Effect of heat treatment on change microstructure of cast high-manganese hadfield steel with elevated chromium content. **Archives of Foundry Engineering**, v. 14, 2014.