

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 4340 TEMPERADO E REVENIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS

Moacir Dela Penha Banho Junior, moacirdelapenha@hotmail.com¹

Ricardo Cardoso Soares, eng.mec.ricardocardoso@gmail.com¹

Nauro Barbosa Neves, eng.nauroneves@gmail.com¹

Wesley Resende dos Santos, wesleyresende22@gmail.com¹

Iara Maria Barros de Deus Leal, iaragim@hotmail.com¹

André Ferreira do Vale, andredovale95@gmail.com¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Praça da Liberdade, 1597, Centro. Teresina-PI, CEP: 64000-040

Resumo: A maior parte das peças presentes nos equipamentos industriais, são usadas em condições agressivas diariamente, logo é essencial o melhoramento de suas propriedades mecânicas afim de diminuir os efeitos causados por esses esforços, assim aumentando sua vida útil. Os corpos de prova utilizados nesse trabalho passaram pelos tratamentos térmicos de têmpera e revenido, sendo realizado posteriormente ensaios de tração e dureza para avaliar, principalmente, o limite de resistência a tração, o limite de escoamento e a dureza do material. Os dados obtidos com a curva tensão-deformação foram comparados ao da literatura especializada e buscou-se aqui fazer uma correlação entre eles, concluindo-se que a temperatura de revenido influi nas propriedades mecânicas do material e é um parâmetro importante para as características finais desejadas.

Palavras-chave: Aço SAE 4340; Revenido; Propriedades mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescente mercado industrial é sempre necessário e bem-vindo o aparecimento de novos materiais com melhores propriedades e com menores custos possíveis, para que os processos industriais sejam realizados em menor tempo e custo.

É percebido no âmbito industrial que a maioria dos equipamentos que estão sujeitos a grandes impactos ou esforços contínuos acabam sofrendo desgaste e pôr fim a fratura. Então é necessário um material com uma elevada resistência mecânica e significativa dureza para que o material que compõe o equipamento não chegue a atingir a zona plástica e não sofra com os mecanismos de desgaste existentes.

Nesse contexto, o aço SAE 4340 se destaca por suas principais características que são: alta resistência mecânica, elevada temperabilidade e alta tenacidade. Entretanto, possui baixa soldabilidade e usinabilidade, por isso, seu uso em áreas que necessitam dessas propriedades deve ser avaliado com cautela.

Sua aplicação se dá principalmente em componentes para sistemas mecânicos, como eixos, bielas e virabrequins na indústria aeroespacial, automobilística, de máquinas e equipamentos.

A utilização dos aços na indústria na maioria das vezes requer um determinado tratamentos térmico para a melhoria de determinadas propriedades, mas com perda de outras.

De acordo com CHIAVERINI (2002), os tratamentos térmicos são um conjunto de operações de aquecimento e resfriamento, sob condições controladas, para alterar a sua estrutura cristalina. Essa mudança na estrutura irá conferir ao aço uma mudança mais ou menos perceptível nas suas propriedades, gerando as mais diferentes características necessárias para o usuário.

Entre os objetivos dos tratamentos térmicos, os principais são:

- Remoção de tensões (devidos a esfriamentos, trabalho mecânico ou outra causa);
- Aumento ou diminuição na dureza;
- Aumento da resistência mecânica;
- Melhora na ductibilidade;
- Melhora na usinabilidade;

- Melhora na resistência ao desgaste;
- Melhora das propriedades de corte;
- Melhora da resistência ao calor.

CHIAVERINI (2002), afirma ainda que dentre os mais variados tratamentos térmicos visando as mais diferentes propriedades, a têmpera é amplamente usada atualmente por conta das características finais que ela gera. O processo consiste em aquecer o aço até a temperatura de austenitização, que geralmente está entre 815°C e 870°C e após é feito um rápido resfriamento, e o meios de resfriamento mais comuns são: água, água com sal ou aditivos cáusticos, óleo e soluções aquosas de polímeros.

A têmpera tem o objetivo de aumentar a dureza e a resistência à tração, entretanto, o aumento da dureza só ocorre até uma determinada profundidade do material. Outras propriedades mecânicas também são alteradas pela têmpera, surgirá uma redução da ductilidade (baixos valores de alongamento e estrição), redução da tenacidade e o aparecimento de pequenas tensões internas, que podem gerar deformação, empenamento e fissuração.

CHIAVERINI (2002) ainda explica que outro tratamento térmico que é usado com frequência na indústria é o revenido, ele geralmente acompanha o processo de têmpera, pois elimina a grande parte dos inconvenientes que surgem com a têmpera. Além disso, ajuda a aliviar ou remover as tensões internas, corrige dureza excessiva e fragilidade, aumenta sua ductilidade e resistência ao choque. Outro fator importante do revenido é que ele deve ser realizado logo após a têmpera, assim diminuindo as perdas por ruptura (podem surgir se aguardar muito tempo para realizar o revenido).

Objetivando se criar mais dados quantitativos para a correta escolha das propriedades finais do material para determinada aplicação, este trabalho busca mostrar os resultados do ensaio de tração e de dureza, sendo ambos realizados de acordo com as normas vigentes, comparando com a literatura existente e com dados enviados de fabricantes.

2. METODOLOGIA

Os corpos de prova foram submetidos a ensaio de tração e foram confeccionados de acordo com a norma NBR 6892 de 2002 (Materiais metálicos - Ensaio de tração à temperatura ambiente). A figura 1 apresenta o modelo 2D com as dimensões do corpo de prova.

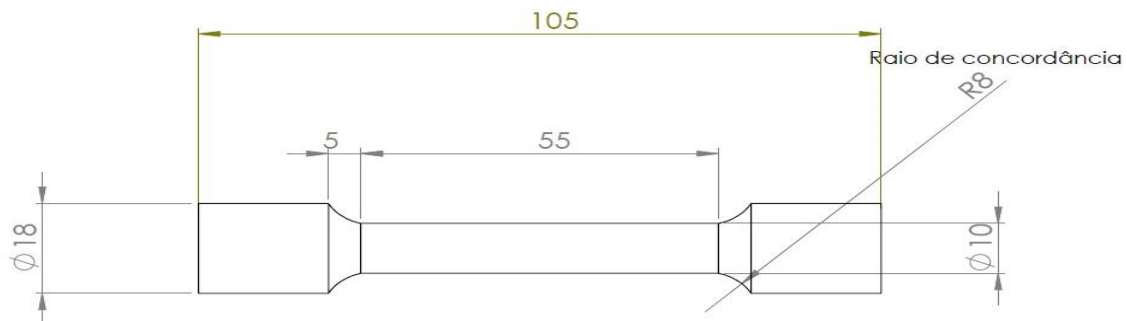


Figura 1. Dimensões do corpo de prova

O material utilizado foi o aço SAE 4340 fornecido pela empresa metalnisa no estado recozido com uma dureza média de 26,5 HRC. Com composição química apresentada na Tab. 1.

Tabela 1. Composição química do aço SAE 4340

Composição Química (%)	C	Mn	P máx.	S máx	Si	Ni	Cr	Mo
ABNT/SAE 4340	0,38 a 0,43	0,60 a 0,80	0,03	0,04	0,15 a 0,35	1,65 a 2,00	0,70 a 0,90	0,20 a 0,30

No catálogo do aço SAE 4340 da empresa GGD Metals é recomendado que a temperatura de têmpera deve ser entre 840 e 870°C, mantendo em temperatura por 1 hora para cada 25mm de espessura. Resfriar em óleo apropriado, com agitação e aquecido entre 40 e 60°C.

Há ainda informações sobre o revenido, que mostra que este deve ser realizado imediatamente após a têmpera quando a temperatura atingir cerca de 70°C. A temperatura de revenimento deve ser selecionada de acordo com a dureza desejada para o componente e, a temperatura de revenimento por no mínimo 1 hora para cada 25mm de

espessura. A Figura 2 apresenta valores de referência para qual a dureza desejada de acordo com cada temperatura de revenido diferente.

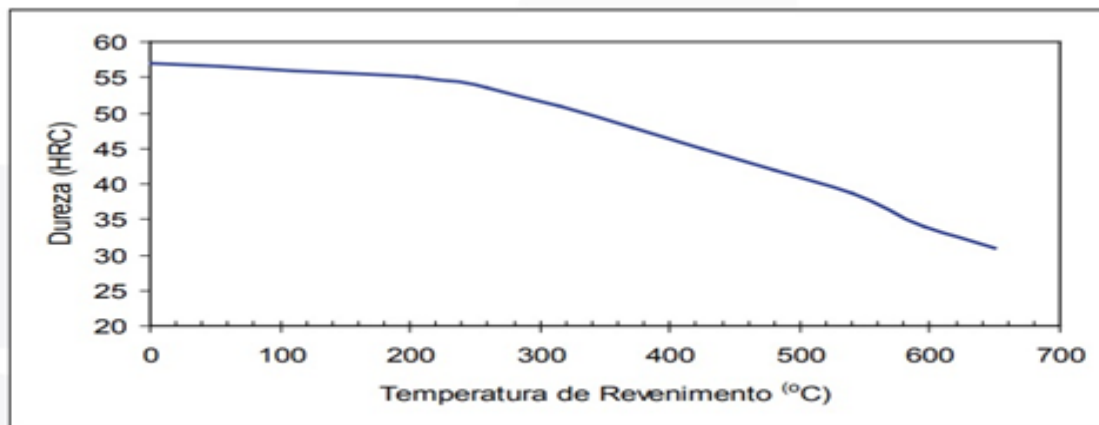


Figura 2. Gráfico dureza x temperatura de revenido (GGDMetals)

A têmpera teve a seguinte configuração utilizada: o aquecimento do corpo de prova (peça) até a temperatura de 870° C, sendo mantido a esta temperatura durante 25 minutos e seguido de um rápido resfriamento em óleo SAE W40. Esse padrão foi seguido nas três peças.

Para o revenido foram utilizadas três temperaturas diferentes conforme é mostrado na Tab. 2:

Tabela 2. Valores seguidos nos tratamentos térmicos

Corpo de prova	Temperatura da têmpera (°C)	Tempo de têmpera (minutos)	Temperatura do revenido (°C)	Tempo do revenido (minutos)
Peça 1	870	25	300	30
Peça 2	870	25	400	30
Peça 3	870	25	500	30

Após a realização dos tratamentos térmicos nos três corpos de prova, deu-se início aos ensaios de tração a temperatura ambiente, em que se utilizou a máquina universal de ensaios mecânicos em materiais, a SHIMADZU AG-X 250 kN, e a velocidade de ensaio utilizada foi a de 12,5 mm/min².

Para a análise da dureza, foi seccionado da extremidade do corpo de prova uma amostra de 10mm de comprimento. Foi utilizado um equipamento para medir a dureza em Rockwell na escala C, utilizando uma carga principal de 150 kg, com tempo de aplicação da carga de 15 segundos e o penetrador cônico de diamante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram ensaiados três corpos de prova em tração, com o carregamento sendo aplicado na direção axial da peça. As Figuras 3(a), 3(b) e 3(c) mostram o gráfico tensão-deformação gerado com o ensaio da peça 1, peça 2 e peça 3, respectivamente.

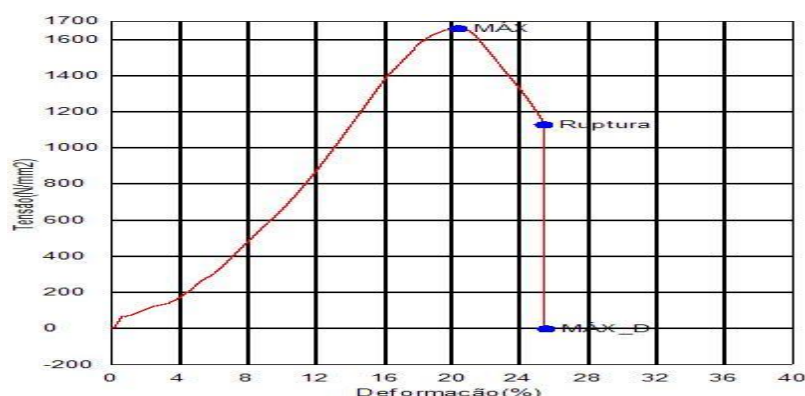


Figura 3(a). Gráfico tensão-deformação da peça 1

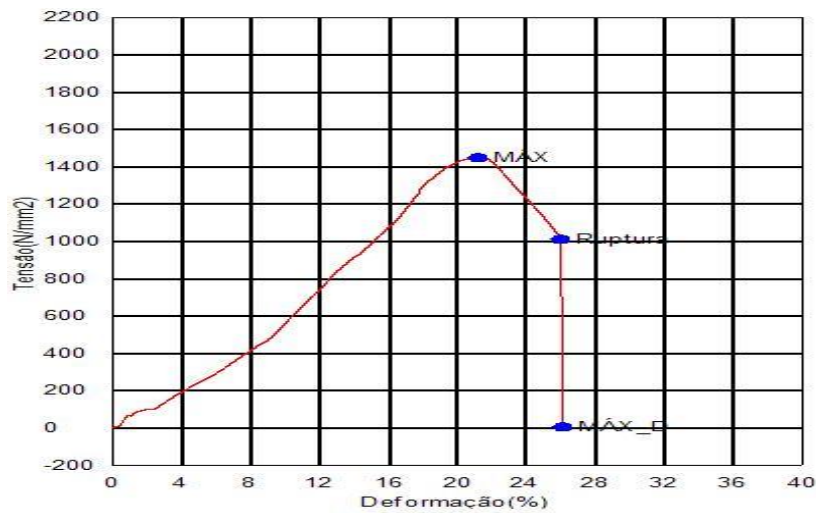


Figura 3(b). Gráfico tensão-deformação da peça 2

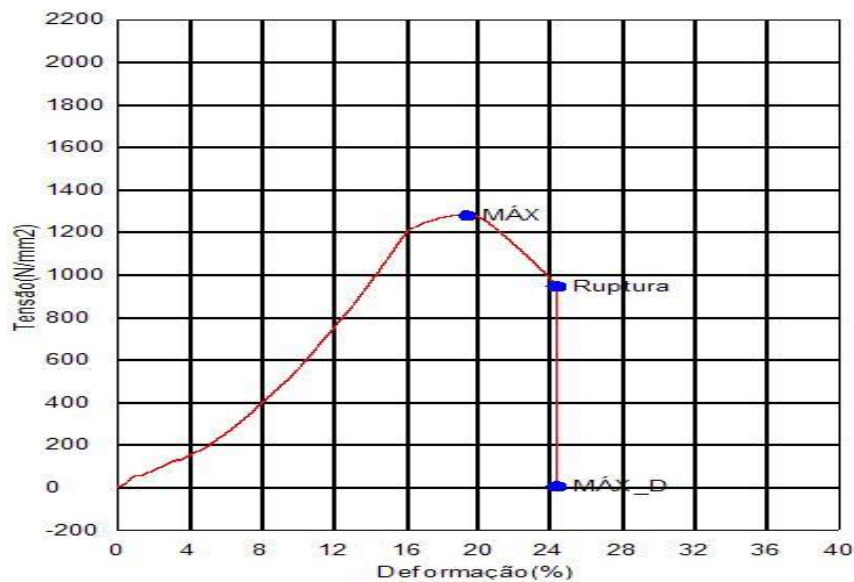


Figura 3(c). Gráfico tensão-deformação da peça 3

A empresa Villares Metals disponibiliza em seu catálogo um diagrama em que mostra a correlação das principais propriedades mecânicas do aço 4340 com as temperaturas de revenido, como é apresentado na Fig. 4. As propriedades: alongamento e estricção, são importantes quando se analisa qual a finalidade em que vai se usar o material.

Percebe-se que para o aço em estudo, a maior diferença entre os valores do limite de resistência a tração e do limite de escoamento é visto quando é realizado um revenido a 300°C. Essa diferença é de aproximadamente a 10% e ela será usada para determinar os valores aproximados dos limites de escoamento a partir dos limites de resistência a tração obtidos nos ensaios de tração.

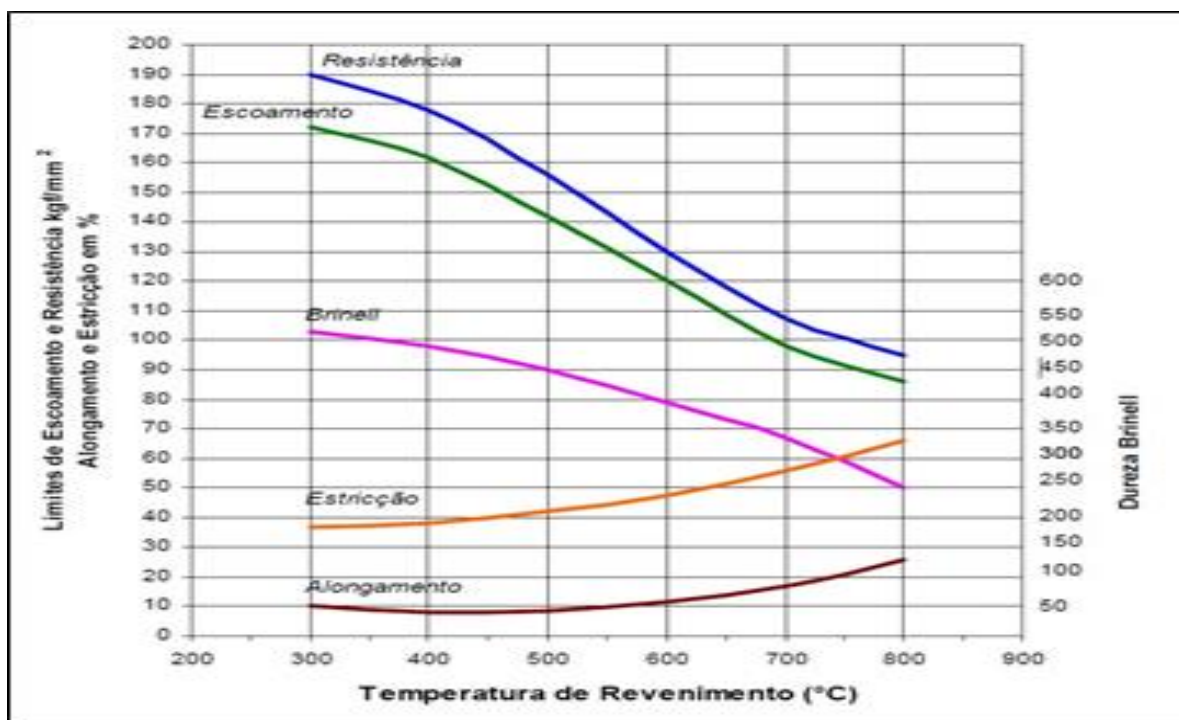


Figura 4. Diagrama das propriedades mecânicas do aço SAE 4340 (VILLARES METALS)

A Tabela 3 apresenta o valor máximo aproximado por interpolação dos limites de resistência a tração encontrados nesse estudo, os valores de dureza encontrados e, para o limite de escoamento, será apresentado na tabela o valor corrigido pelo fator mencionado no parágrafo anterior, ou seja, será diminuído de 10% o valor da resistência a tração. Para fins de comparação, também é mostrado valores aproximados do limite de resistência a tração e dureza, obtidos na Fig. 4.

Tabela 3. Valores obtidos com os ensaios realizados

Corpo de Prova	Limite de resistência a tração (MPa)		Dureza (HRC) – Média de 5 medições		Limite de Escoamento (MPa) - Corrigido
	Estudo	Comercial	Estudo	Comercial	
Peça 1	1658,57	1863,23	48,7	52,1	1492,71
Peça 2	1446,51	1745,58	40,3	50,5	1301,86
Peça 3	1281,05	1529,84	39,1	47,8	1152,95

A peça 1 foi a que obteve maior valor para limite de escoamento e de dureza, e um alongamento de em torno à 10%.

A peça 3 também obteve um alongamento próximo ao visto na peça 1, entretanto, os valores de limite de escoamento e dureza foram bem abaixo desta última. Portanto para aplicações em que se exigem maior carregamento na zona elástica a peça 1 é a mais recomendada.

A peça 2 obteve um valor menor para o limite de escoamento e de alongamento do que os vistos na peça 1. Caso necessária à sua utilização em algum equipamento, deve ser avaliada, com cautela, a microestrutura final e as tensões térmicas geradas pelos tratamentos térmicos utilizados na peça 2.

4. CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos nos ensaios de tração e de dureza e, correlacionando com a literatura e os dados do fabricante, observam-se valores bem próximos aos da literatura e condizentes com as características iniciais do material. Entretanto, pelo fato de o material disponibilizado para o estudo não pertencer a empresa Villares, tomada como referência nos dados comerciais, os valores encontrados no estudo quando comparados aos comerciais apresentados na tabela 3 apresentam erro na ordem de 10%.

5. REFERÊNCIAS

Anazawa, R. M., Et Al. Estudo Comparativo das Propriedades Mecânicas em Aços 4340 e 300m Submetidos A Tratamentos Térmicos Isotérmicos e Intercríticos. Revista Brasileira De Aplicações De Vácuo, V. 31, N. 1-2, P. 32-37, 2014;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6892: Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente. Rio de Janeiro. 2002;

Callister, Jr., W. D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. Revisão técnica Paulo Emílio Valadão de Miranda. 2. ed. Rio de Janeiro. LTC. 2011;

Chiaverini, V. Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7 ed. ampl. e rev. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002;

Ggdmetals. Disponível em: <http://www.ggdmetals.com.br/wp-content/uploads/2016/01/Construcao-Mecanica.pdf>. Acesso em: 10 de mar. 2018;

Lemos, G. V. B., et al. O efeito da velocidade de deformação no ensaio de tração em um aço SAE 4340. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM. 68., 2013. Belo Horizonte. Anais... São Paulo: ABM, 2013;

Villares Metals. Disponível em: http://www.villaresmetals.nl/portuguese/files/FT_15_V4340T.pdf. Acesso em: 10 de jan. 2018.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL SAE 4340 TEMPERATURE AND REVERSED AT DIFFERENT TEMPERATURES

Moacir Dela Penha Banho Junior, moacirdelapenha@hotmail.com¹

Ricardo Cardoso Soares, eng.mec.ricardocardoso@gmail.com¹

Nauro Barbosa Neves, eng.nauroneves@gmail.com¹

Wesley Resende dos Santos, wesleyresende22@gmail.com¹

Iara Maria Barros de Deus Leal, iaragim@hotmail.com¹

André Ferreira do Vale, andredoale95@gmail.com¹

¹ Federal Institute of Education, Science and Technology of Piauí, Praça da Liberdade, 1597, Center. Teresina-PI, CEP: 64000-040

Abstract. Most of the parts in industrial equipment are daily used in aggressive conditions, so it is essential to improve their mechanical properties in order to reduce the effects caused by these efforts, thus increasing their life. The testing bodies used in this work underwent the quenching and tempering heat-treatments, then traction and hardness tests were carried out to evaluate, mainly, the ultimate tensile strength limit, the yield limit and the hardness of the material. The data obtained with the stress-strain curve were compared to that of the specialized literature and it was sought to correlate them with the conclusion that the tempering temperature influences the mechanical properties of the material and is an important parameter for the desired final characteristics.

Keywords: SAE 4340 steel; Tempering; Mechanical properties.