



ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE VERGALHÕES DE AÇO SAE 1018 SUMETIDOS A ENSAIOS DE TRAÇÃO EM DIFERENTES TEMPERATURAS

STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF SAE 1018 STEEL REBAR SUBJECTED TO TENSILE TESTS AT DIFFERENT TEMPERATURES

Laryssa Coutinho^{1*}, Pedro Q. Santiago², Ana A.C Alcanfor³, Mauro A.C Florez⁴

1 – Laboratório de Ensaios em Materiais (LEM), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

2 – Laboratório de Ensaios em Materiais (LEM), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

3 – Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

4 – Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

laryssacoutinho@alu.ufc.br

RESUMO

Os vergalhões de aço desempenham um papel crucial na construção civil, sendo utilizados como elementos estruturais em concretos armados para suportar cargas e garantir a estabilidade das estruturas. Os ensaios de tração nesses materiais permitem avaliar sua resistência e seu comportamento sob tensão. No entanto, há uma carência significativa de estudos que explorem as propriedades mecânicas de vergalhões em temperaturas diferentes da temperatura ambiente que podem afetar significativamente as propriedades mecânicas do aço. Nesse contexto, os ensaios de tração em diferentes temperaturas permitem avaliar as mudanças nas propriedades mecânicas para garantir a segurança e durabilidade das estruturas. O presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento mecânico de vergalhões de aço SAE 1018 quando submetidos a ensaios de tração a diferentes temperaturas bem como realizar uma análise microestrutural, fractográfica e de microdureza. A partir dos dados obtidos, observou-se que a tensão máxima diminui gradativamente com o aumento da temperatura, enquanto a deformação plástica dos vergalhões aumentou. Além disso, houve um crescimento de grãos que diminuiu a dureza do material facilitando sua deformação e, também, verificou-se que o material apresentou fratura dúctil em todas as temperaturas.

Palavras-chave: ensaios de tração – comportamento mecânico – vergalhões de aço

ABSTRACT

Steel rebars play a crucial role in the construction industry, being used as structural elements in reinforced concrete to support loads and ensure the stability of structures. Tensile tests on these materials allow for the assessment of their strength and behavior under stress. However, there is a significant lack of studies exploring the mechanical properties of rebars at temperatures other than room temperature, which can significantly affect the mechanical

properties of steel. In this context, tensile tests at different temperatures enable the evaluation of changes in mechanical properties to ensure the safety and durability of structures. The present work aims to study the mechanical behavior of SAE 1018 steel rebars when subjected to tensile tests at different temperatures, as well as to perform microstructural, fractographic, and microhardness analyses. From the obtained data, it was observed that the maximum stress gradually decreases with increasing temperature, while the plastic deformation of the rebars increases. Furthermore, there is grain growth that reduces the material's hardness, making it more prone to deformation, and it was also found that the material exhibited ductile fracture at all temperatures.

Keywords: *Tensile tests - mechanical behavior - steel rebars*

INTRODUÇÃO

Entre os materiais de construção, o aço tem uma posição de relevo: combina resistência mecânica, trabalhabilidade, disponibilidade e baixo custo. Assim sendo, é fácil compreender a importância e a extensão da aplicação dos aços em todos os campos da engenharia [1].

Uma parte significativa do consumo mundial de aço compreende os aços estruturais, essa classificação engloba basicamente vergalhões para reforço de concreto, barras, chapas e perfis. Seu consumo aumenta significativamente quando ocorre expansão na construção e da infraestrutura em geral [2].

Os vergalhões de aço são amplamente utilizados na construção civil para compensar a baixa resistência a tração do concreto. Esse material é responsável por suportar cargas e garantir a estabilidade estrutural [3].

As propriedades mecânicas do aço AISI-SAE 1018, como dureza (126 HB), fluência (370 MPa), resistência mecânica (440 MPa), módulo de elasticidade (205 GPa) e usinabilidade (76%), entre outras, o tornam ideal para uma ampla gama de aplicações incluindo a fabricação de vergalhões para construção civil. Embora, outros aços possam superar suas propriedades mecânicas, esse material possui produção mecanizada eficiente e baixo custo de produção [4].

No entanto, a maioria dos estudos existentes concentra-se nas propriedades mecânicas a temperatura ambiente desse componente estrutural, deixando uma lacuna significativa de conhecimento sobre seu comportamento em temperaturas diferente da temperatura ambiente.

De acordo com o estudo de HERNANDEZ et al observou-se que elevar a temperatura até atingir o estado de austenização em um aço AISI – SAE 1018 permite que este apresente características mais definidas, como: maior módulo de elasticidade, maior resistência a tração e maior tensão de escoamento devido à fase martensítica.

É nesse contexto que se insere o objetivo deste trabalho que tem como propósito analisar o comportamento mecânico dos vergalhões de aço SAE 1018 quando submetidos a ensaios de tração em diversas temperaturas, levando em consideração a influência de sua microestrutura. Entender como esses materiais se comportam sob tais condições é essencial para garantir a segurança e a integridade das estruturas construídas, principalmente em situações em que estão sujeitas a variações térmicas e sobrecargas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho consiste em vergalhões CA-60, fabricados com aço baixo carbono SAE 1018 e com diâmetro de 5 mm. As amostras são de um mesmo lote, a composição química (Tabela 1) foi fornecida pela fabricante.

Elemento	C	Mn	Si	P (máx)	S (máx)
% p	0,18	0,70	0,22	0,028	0,027

Tabela 1: Composição em %p do vergalhão

Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaio em Materiais (LEM) da Universidade Federal do Ceará (UFC), utilizando a máquina de ensaios universais EMIC DL-1000, figura 1, equipada com forno seguindo as normas regulamentadoras. [5, 6 e 7]



Fig. 1 – Máquina de Ensaio Universais EMIC DL – 1000 como forno resistivo acomplado.

Os ensaios foram realizados em 8 temperaturas (T_{am} , 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C) com o objetivo de se obter os dados para elaboração das curvas Tensão $\times$ Deformação. Em cada uma das temperaturas o ensaio foi realizado em triplicata para garantir a confiabilidade dos resultados experimentais. Foram ensaiados 24 corpos de prova (CP), com comprimento de medida inicial (L_0) de 650 mm. As matrizes de dados obtidos foram utilizadas para a construção de gráficos Tensão $\times$ Deformação mediante programa computacional na linguagem Python desenvolvido no LEM.

Metalografia

Após o ensaio de tração, as amostras foram cortadas e embutidas a quente. O procedimento de preparação de amostras para metalografia consistiu no lixamento utilizando lixas de 80, 120, 220, 320, 400, 600, 1200 mesh utilizando água como agente lubrificante. O polimento foi realizado com pasta de diamante aplicada em pano de polimento de 6,3 e 1 μ e com água destilada e detergente neutro como lubrificantes. Já o ataque químico foi realizado com Nital 2% com imersão da peça durante 10 segundos seguido da secagem primária e

secundária. Em seguida, foi realizado a micrografia utilizando um microscópio ótico Leica DMI 3000 M.

Ensaio de Microdureza

O ensaio de microdureza foi realizada com auxílio do microdurômetro Shimadzu HMV-2. Foram realizadas 5 medições para cada corpo de prova. O ensaio é realizado na seguinte sequência: selecionar o script adequado, posicionar o corpo de prova, zerar a medição, aplicar a carga, realizar a medição das diagonais e aguardar o resultado da medida.

Ensaio de Fractografia

Após os ensaios de tração, a região da fratura foi cortada com auxílio da cortadora metalográfica. As amostras com comprimento de cerca de 2mm foram submetidas a ataque químico com Nital 2% durante 1 s para remover a oxidação da região fraturada. Em seguida, foram realizadas fractografias com auxílio do estereoscópio Olympus SZ61TR equipado com guia de luz modelo LG – PS2. Além disso, foram realizadas 10 medidas de diâmetro da superfície da fratura em cada amostra utilizando o estereoscópio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 mostra as curvas *Tensão x Deformação* obtidas através das matrizes de dados de cada ensaio.

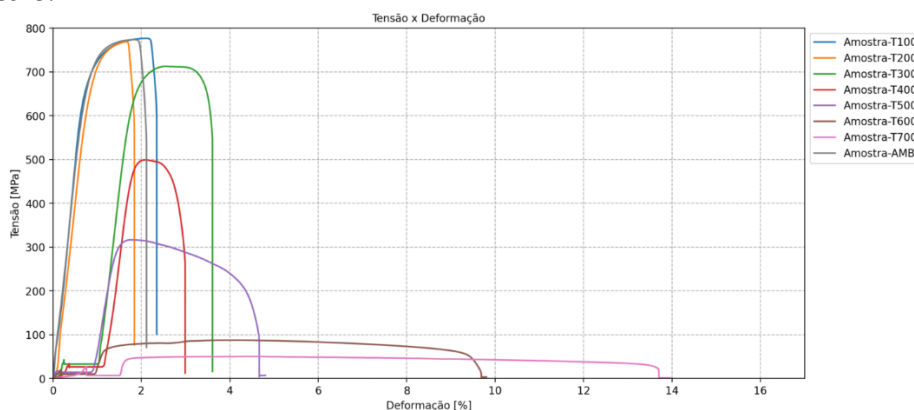


Fig. 2 – Curvas tensão x deformação obtidas para cada temperatura

Na temperatura ambiente, o material apresenta o comportamento típico de materiais metálicos: apresenta uma região elástica inicial onde a tensão aumenta linearmente com a deformação e após o limite de proporcionalidade entra na região de escoamento plástico no qual a tensão aumentará de forma constante com a deformação até atingir o ponto de ruptura. Nas temperaturas de 100°C e 200°C temos um comportamento semelhante ao da temperatura ambiente. Nas temperaturas de 300°C a 500 °C, a tensão máxima diminui gradualmente à medida que a temperatura aumenta, tornando o material mais suscetível a deformação.

Nas temperaturas de 600°C e 700°C, o material sofre significativa redução da resistência mecânica. Isso se deve ao amolecimento causado pela temperatura elevada, o que leva a uma diminuição acentuada na tensão máxima que o material pode suportar antes da ruptura. Ou seja, a deformação plástica é mais pronunciada e a ruptura ocorre com menos tensão. As curvas tensão x deformação nessas temperaturas se assemelham ao comportamento típico dos materiais poliméricos.

Através da análise metalográfica foi possível observar a microestrutura do aço 1018 para cada uma das temperaturas em estudo, conforme apresentadas na figura 3. A microestrutura desse material consiste em ferrita α e perlita. À medida que a temperatura aumenta, ocorre o crescimento dos grãos que causa aumento na deformação. Nas temperaturas de 600° e 700°C observa-se uma microestrutura predominantemente ferrítica com grãos ainda maiores, tornando os grãos mais macios e suscetíveis a deformações plásticas.

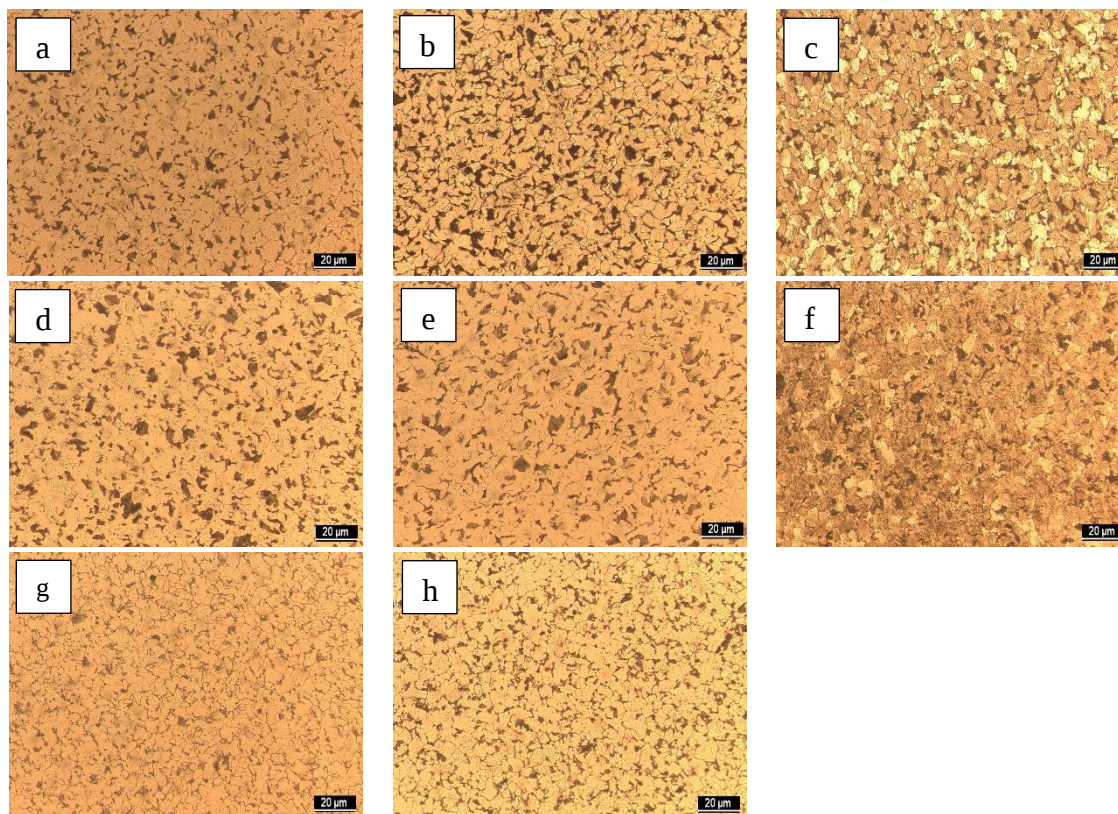


Fig. 3 – Imagem metalográfica com magnificação de 500x do aço SAE 1018 submetido a ensaios de tração nas temperaturas: a) ambiente, b) 100°C, c) 200°C, d) 300°C, e) 400°C, f) 500°C, g) 600°C e h) 700°C.

A tabela 2 revela o resultado médio de microdureza nas espécies analisadas. Devido ao crescimento dos grãos, verifica-se uma redução do valor de microdureza refletindo as mudanças microestruturais. O decréscimo é significativo à medida que a temperatura aumenta devido a desestabilização da microestrutura.

Temperatura	T _{Amb}	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
Microdureza (HV)	257	255	249	234	214	186	153	148

Tabela 2: Valores de microdureza HV

A figura 4 mostra as fractografias obtidas, infere-se que as amostras apresentaram fratura de natureza dúctil caracterizada pela superfície rugosa, ausência de trincas propagadoras, presença de “empescoçamento” e alongamento expressivo nas amostras. Nota-se que a medida que a temperatura aumenta, o diâmetro da superfície da fratura é reduzido.

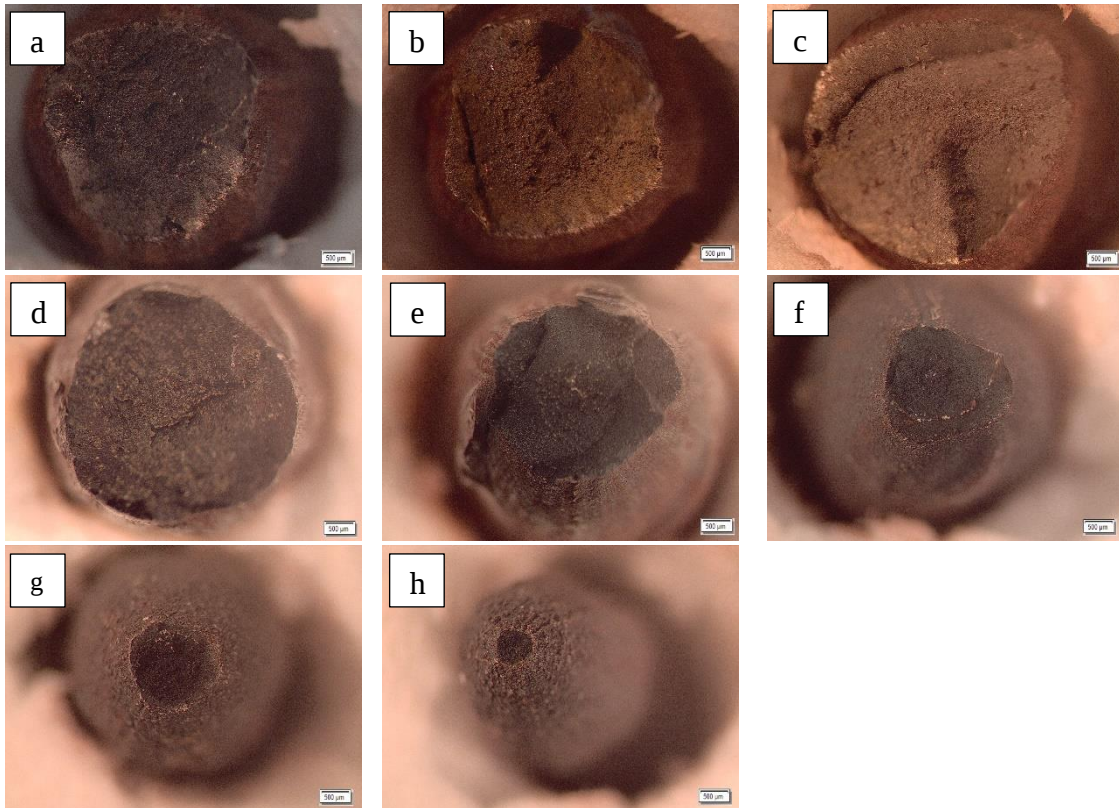


Fig. 4 – Fractografias com magnificação de 45x do aço SAE 1018 submetido a ensaios de tração nas temperaturas: a) ambiente, b) 100°C, c) 200°C, d) 300°C, e) 400°C, f) 500°C, g) 600°C e h) 700°C.

A tabela 3, mostra as medidas médias do diâmetro da superfície da fratura. Nota-se que os diâmetros diminuem com o aumento da temperatura devido ao aumento do alongamento dos vergalhões.

Temperatura	T _{Amb}	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
Diâmetro (mm)	3,50	3,45	3,38	3,27	3,04	2,01	1,37	0,63

Tabela 3: Diâmetros da superfície da fratura

CONCLUSÕES

Conforme os resultados alcançados, conclui-se que:

- 1 – A tensão máxima diminui gradativamente com o aumento da temperatura, enquanto a deformação plástica dos vergalhões aumenta;
- 2 – A microestrutura apresenta crescimento de grãos à medida que a temperatura aumenta, contribuindo para a diminuição da resistência mecânica e tornando o vergalhão mais macio;
- 3 – A microdureza revela diminuição da medida de dureza conforme a temperatura aumenta;
- 4 – Os vergalhões apresentaram fratura dúctil, com superfície de fratura rugosa, ausência de trincas propagadoras, presença de “empescoçamento” e alongamento expressivo nas amostras. O diâmetro da superfície da fratura diminuiu com o aumento da temperatura.

REFERÊNCIAS

- [1] CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. 7a. ed. São Paulo: ABM, 2005.
- [2] COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4a. ed. São Paulo: Blücher, 2008.
- [3] FIGUEIREDO, A. Aço para Componentes de Concreto. In: Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário. São Paulo: ABTC, 2008. p. 178.
- [4] HERNADEZ, M. et al. Microstructure and mechanical properties correlation for the steel: A comparative methodology of educational research for physics and mechanical engineering trainings. *International Journal of Physical Sciences*, v. 12, n. 23, p. 322–328, 16 dez. 2017.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6892-1: Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6892-2: Materiais metálicos — Ensaio de tração Parte 2: Método de ensaio à temperatura elevada. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.