

CHAPTER X

MECHANICAL PERFORMANCE OF COMMERCIALLY AVAILABLE COPPER, STEEL, ALUMINUM, AND HIGH-DENSITY POLYMER

DESEMPENHO MECÂNICO DE COBRE, AÇO, ALUMÍNIO E POLÍMERO DE ALTA DENSIDADE DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE

DOI: 10.51859/amplla.sset.2224-10

Thalita Dayane de M. M Sabino ¹
Ueslei Silva Nunes ²

¹ Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - UFRN. ORCID 0009-0002-4418-6647.

² Professor Substituto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN – Campus São Paulo do Potengi. ORCID 0000-0001-9534-9632.

ABSTRACT

In this study, tests were conducted on commercial metallic and polymeric materials to evaluate their mechanical properties. The Vickers microhardness was determined for pure copper, pure aluminum, and steel, while the tensile strength was measured for high-density polyethylene (HDPE) and aluminum. The results obtained were compared with existing literature, highlighting differences and similarities in mechanical properties.

Keywords: Polymer. Copper. Aluminium. Microhardness. Tensile strength.

RESUMO

Neste estudo, foram realizados ensaios em materiais metálicos e poliméricos comerciais para avaliar suas propriedades mecânicas. A microdureza Vickers foi determinada para cobre puro, alumínio puro e aço, enquanto a resistência à tração foi medida em polímero de alta densidade (PEAD) e alumínio. Os resultados obtidos foram comparados com a literatura existente, destacando diferenças e semelhanças nas propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Polímero. Cobre. Alumínio. Microdureza. Resistência à tração.

1 INTRODUÇÃO

A escolha do material adequado desempenha um papel fundamental na engenharia e na indústria. Cada material possui propriedades mecânicas distintas que determinam seu comportamento sob diferentes condições de aplicação. Compreender e avaliar essas propriedades é essencial para garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho otimizado de um projeto. Para isso, são realizados ensaios, como o de resistência à tração, que permitem caracterizar como os materiais se comportam, revelando informações cruciais sobre sua capacidade de suportar cargas antes de falhar. Esses dados são fundamentais não apenas para a seleção inicial de materiais,

mas também para a otimização contínua de processos e a melhoria de produtos em diversas aplicações industriais e de engenharia. Dessa maneira, avaliar as propriedades mecânicas dos materiais possibilita conhecer e selecionar aquele mais adequado para uma aplicação específica, levando-se em consideração a segurança, durabilidade e custo.

O ensaio de resistência à tração pode ser usado para descrever as diferentes propriedades mecânicas dos materiais, que são relevantes para a concepção de projetos. Nesse ensaio, uma amostra é normalmente deformada até que se rompa, através da aplicação de uma carga de tração uniaxial ao longo do eixo central de um espécime. Além de avaliar o limite de resistência à tração, que indica a máxima carga que o material pode suportar antes da falha, este ensaio também fornece informações sobre a ductilidade ou fragilidade do material. Um material que sofre uma deformação plástica relativamente pequena, ou nenhuma deformação plástica até a fratura, é denominado frágil (Callister & Rethwisch, 2020). Por outro lado, deformações plásticas maiores apontam para um comportamento dúctil. Esta distinção é crucial para determinar a adequação dos materiais em diferentes aplicações industriais e estruturais, influenciando diretamente na segurança e na eficiência dos projetos.

Ademais, existem outras propriedades mecânicas importantes a serem consideradas, como a dureza. Essa propriedade refere-se à resistência de um material e à deformação plástica localizada, como uma pequena indentação (marca ou depressão superficial em um material) ou um risco (Callister & Rethwisch, 2020).

Métodos como o ensaio de microdureza Vickers são utilizados para medir a dureza em escalas microscópicas, fornecendo informações sobre a capacidade do material de resistir à penetração. Este ensaio é particularmente útil para avaliar a capacidade de um material de suportar cargas concentradas sem deformações plásticas significativas, complementando assim os dados obtidos pelo ensaio de resistência à tração. A análise combinada desses testes oferece uma visão abrangente das características mecânicas dos materiais, essencial para a escolha apropriada em aplicações industriais, de engenharia e de pesquisa.

Portanto, ao escolher um material para uma aplicação específica, é crucial considerar não apenas suas propriedades mecânicas intrínsecas, mas também como essas propriedades podem ser influenciadas pelo ambiente de operação. Dessa forma, uma análise abrangente que inclui tanto os ensaios mecânicos quanto a avaliação das condições de serviço garantirá uma seleção mais informada e eficaz,

prolongando a vida útil dos materiais e garantindo a segurança e a confiabilidade dos projetos.

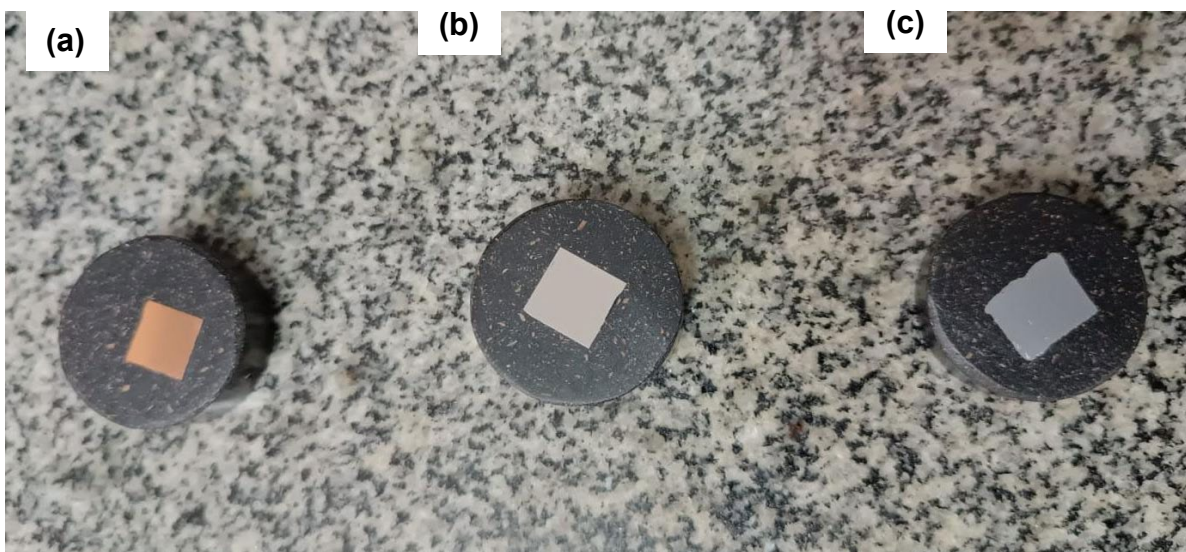
Neste manuscrito serão demonstrados os desempenhos do cobre puro, alumínio puro e aço comerciais quando submetidos ao ensaio de microdureza Vickers. Além disso, será demonstrada a resistência à tração de um polímero de alta densidade (PEAD), e uma peça de alumínio.

2 MATERIAIS E METODOS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram ligas de cobre, aço, alumínio puro e um polímero de alta densidade (PEAD). Para a realização do ensaio de microdureza Vickers, as amostras de cobre, aço e alumínio puro (Figura 1) foram submetidas a ataque químico com Nitinol a 5%. Em seguida, foi aplicada uma carga de 50 gramas-força por um período de 15 segundos. A carga foi aplicada em três locais diferentes, com uma separação de 0,5 microns entre cada ponto de aplicação. O ensaio foi realizado utilizando um microdurômetro HVM2, da Shimadzu.

Os ensaios de tração foram realizados em amostras de PEAD e alumínio utilizando um equipamento Autograph AG-X da Shimadzu, com uma faixa de precisão da célula de carga de 1/500 a 1/1. Durante os ensaios, foi aplicada uma carga de 10 N, com velocidades de 0,5 mm/min para o PEAD e 30 mm/min para o alumínio.

Figura 1 - Amostras submetidas ao ensaio de microdureza Vickers. (a) cobre; (b) alumínio; aço (VND).



Fonte: Autoria própria.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de microdureza Vickers e resistência à tração, permitindo uma comparação de suas propriedades mecânicas e suas implicações para aplicações práticas.

3.1 Microdureza Vickers

Os resultados de microdureza apresentados pelo aço, alumínio e cobre são demonstrados na Tabela 1. O aço VND e o cobre apresentaram dureza média de 333 HV, e 97,43 HV, respectivamente. A diferença significativa entre a dureza média do aço VND e o cobre indica propriedades mecânicas distintas que impactam suas aplicações práticas. O aço VND, por ser muito mais duro que o cobre, pode ser utilizado em situações que exigem alta resistência ao desgaste e à deformação, como em componentes de máquinas que suportam grandes cargas ou sequência de impactos. Por outro lado, a dureza do cobre sugere uma maior maleabilidade, tornando-o ideal para aplicações onde a conformabilidade, condutividade e a ductilidade são mais valorizadas, como em cabos elétricos que necessitam ser moldados/dobrados durante a sua instalação.

Tabela 1 – Resultados de microdureza

Material	Microdureza
AçoVND	333,33 ± 10,20
Alumínio	48,56 ± 2,01
Cobre	97,43 ± 0,60

Fonte: Autoria própria.

O alumínio apresentou dureza média de 48,56 HV, sendo cerca de 586% e 100% inferior ao desempenho apresentado pelo aço e cobre analisados, respectivamente. O estudo de Lima *et al.* (2010), que foi realizado em ligas de alumínio AA6351, obteve resultados de dureza de 51 HV. Esta similaridade com a literatura reforça a consistência dos dados experimentais e confirma as características esperadas para ligas de alumínio.

O valor de dureza do alumínio indica que, embora o alumínio tenha uma dureza relativamente baixa, ele ainda é adequado para aplicações onde a leveza é mais importante do que a resistência ao desgaste. Para a escolha da aplicação desses

materiais na engenharia, além do desempenho mecânico, faz-se necessária uma análise de custo, bem como outras propriedades necessárias ao produto que se quer produzir.

3.2 Resistência à tração

Os resultados de resistência à tração são apresentados na Figura 2. O gráfico da relação tensão-deformação para uma liga de alumínio apresenta curva, um comportamento linear até aproximadamente 0,05 mm/mm de deformação (Figura 2a). Neste regime, a tensão é proporcional à deformação, seguindo a Lei de Hooke.

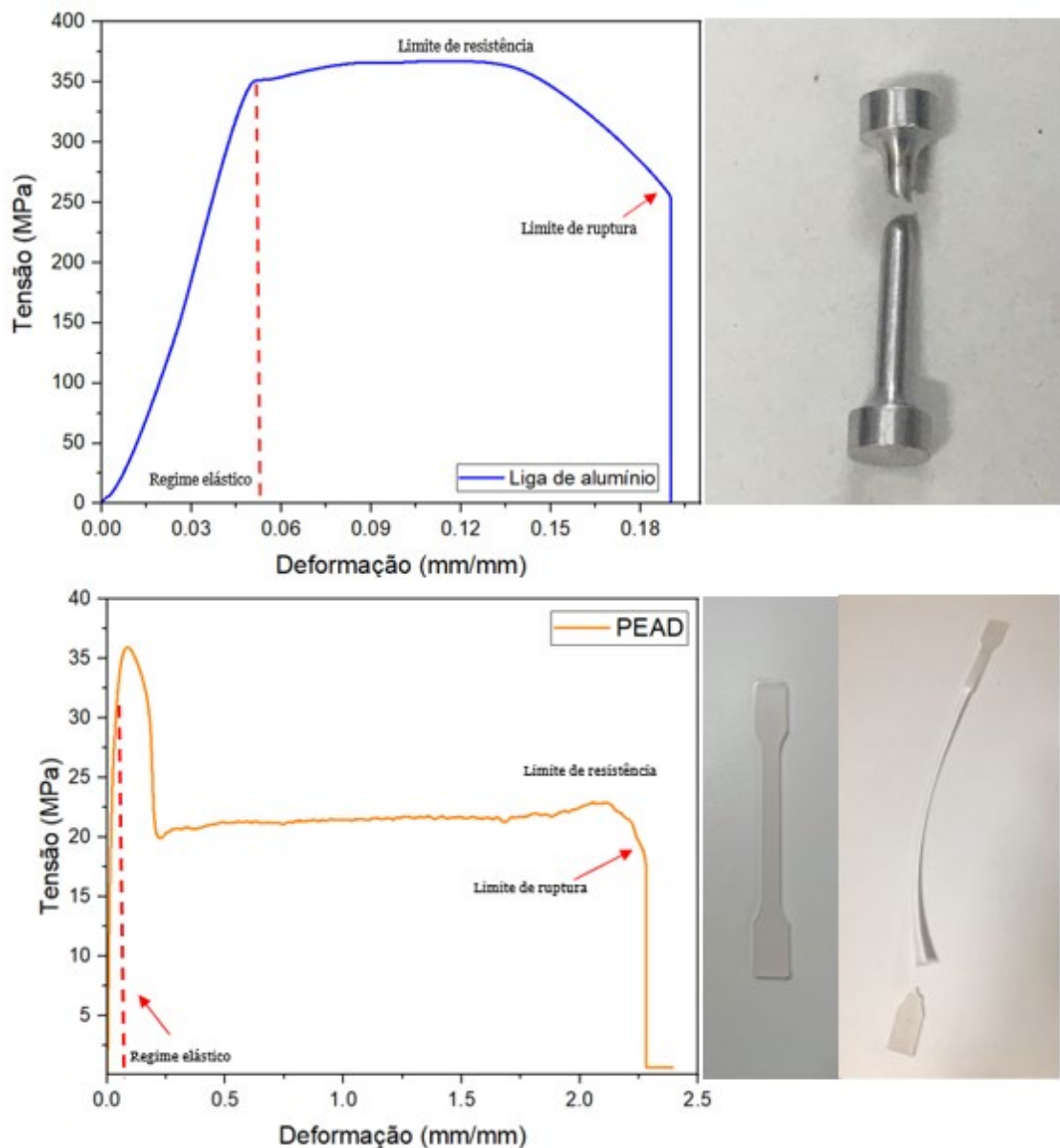
O comportamento deixa de ser linear em torno de 350 MPa de tensão. Neste ponto, o material atinge o seu limite de escoamento, onde ocorre deformação plástica, e as deformações não são mais reversíveis. Posteriormente, a curva se achata e continua a aumentar até atingir o pico máximo (aproximadamente 367 Mpa). Após o ponto de tensão máxima, a curva começa a decrescer até a ruptura final.

A discrepância entre o valor de resistência à tração encontrado no ensaio (em torno de 350 MPa) e o valor reportado por Callister e Rethwisch (2020) de 90 Mpa pode ser atribuída a diversos fatores, como variação da composição química da liga. Pequenas variações na quantidade e tipo de elementos de liga podem resultar em grandes diferenças nas propriedades mecânicas, incluindo a resistência à tração.

Na Figura 2c, é possível observar o comportamento da relação tensão-deformação para o PEAD. A porção inicial anterior a curva, até aproximadamente 0,03 mm/mm de deformação, é linear e encontra-se em regime elástico. No nível atômico, a deformação elástica de um material ocorre devido ao alongamento das ligações interatômicas e aos deslocamentos atômicos que a acompanham (Callister & Rethwisch, 2020). Após o ponto de escoamento, a curva apresenta uma redução na tensão, seguida de um platô relativamente constante até aproximadamente 2,0 mm/mm de deformação.

O ponto onde a curva atinge a tensão máxima antes de cair abruptamente (indicando a ruptura do material), ocorre em torno de 22 Mpa. Esse resultado é semelhante ao encontrado em estudo realizado por Costa *et al.* (2016) em PEAD comercial e reciclado, que atingiram resistência de aproximadamente 25 Mpa em ambas as amostras, quando submetidas a esforços de tração.

Figura 2 – Ensaio de resistência à tração. (a) gráfico tensão x deformação da liga de alumínio; (b) corpo de prova metálico após ensaio; (c) gráfico tensão x deformação do



Fonte: Autoria própria.

Como o esperado, o módulo de elasticidade do polímero é muito menor que o do alumínio, o que indica ser um material menos rígido e mais flexível. Além disso, o ponto de escoamento ocorre a uma tensão muito inferior à do alumínio, indicando que o PEAD começa a deformar plasticamente sob tensões menores.

Um sistema ou parte dele que tenha sido deformado plasticamente (ou que tenha sofrido mudança permanente em sua forma), pode não ser capaz de desempenhar sua função conforme projetado. Dessa forma, é essencial conhecer o nível de tensão em que se inicia a deformação plástica de cada material (ou o ponto

em que ocorre o fenômeno de escoamento) (Callister & Rethwisch, 2020). Identificar este ponto é crucial, pois indica a máxima tensão que o material pode suportar enquanto ainda retorna à sua forma original após a remoção da carga.

No que tange à ductilidade, o PEAD apresentou um desempenho relativamente maior, permitindo que ele suporte maiores deformações antes da falha. Esse comportamento o torna ideal para aplicações onde a capacidade de absorver deformações são importantes. Por outro lado, uma resistência à tensão maior, torna o alumínio propício a aplicações que exigem melhores resistência mecânica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma avaliação das propriedades mecânicas de diferentes materiais metálicos e poliméricos comerciais, tais quais microdureza Vickers e na resistência à tração. As principais constatações foram:

- O PEAD apresentou um módulo de elasticidade significativamente inferior em relação ao alumínio, refletindo sua flexibilidade.
- O alumínio possui um comportamento elástico até cerca de 0,05 mm/mm de deformação. A tensão de ruptura foi de aproximadamente 367 MPa, confirmando a elevada resistência mecânica do material. No entanto, apresentou uma dureza média de 48,56 HV, que é significativamente inferior a apresentada pelo aço e o cobre.
- O aço VND e o cobre apresentaram dureza média de 333 HV e 97,43 HV, respectivamente.

Além das constatações mencionadas, é importante ressaltar que a escolha dos materiais para aplicações específicas deve considerar não apenas suas propriedades isoladas, mas também como eles se comportam em conjunto em sistemas compostos. A combinação de materiais com diferentes características mecânicas pode resultar em compósitos com propriedades otimizadas, como maior resistência, melhor absorção de impacto ou maior resistência ao desgaste.

Esse estudo destaca a importância de compreender as propriedades mecânicas de cada material para possibilitar a segurança, durabilidade e eficiência no design de produtos e estruturas.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba pelos equipamentos, instalações e fomento à pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

- Callister, W. D. Jr., & Rethwisch, D. G. (2020). *Ciência e engenharia de materiais - Uma introdução* (10ª ed.). Wiley.
- Costa, H. M. da, Ramos, V. D., Andrade, M. C. de, & Nunes, P. da S. R. Q. (2016). Análise térmica e propriedades mecânicas de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD). *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 26(especial), 75-81. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2104>
- Lima, D. R. S. de, Yurgel, C. C., & Schaeffer, L. (2010). Caracterização da evolução da microdureza Vickers no processo de forjamento de alumínio. In *Simpósio Brasileiro de Tratamento de Superfície (SBTF)*.