

## CARACTERIZAÇÃO DO ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO PARA PROJETO MECÂNICO DE UMA BICICLETA AQUÁTICA

Mateus Turíbio e Silva Moreira, turibioengmec@gmail.com<sup>1</sup>

Bruno Ferreira dos Santos, brunoferreiradosantos13@hotmail.com<sup>1</sup>

Rosemberg Carlos Vicente, rberg.engmec@gmail.com<sup>2</sup>

Daniel Oliveira de Lima, daniel.lima@ifrj.edu.br<sup>1-2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Metrologia, Instituto Federal do Rio de Janeiro – IFRJ, Rua Sebastião Lacerda, s/nº, centro, Paracambi - RJ, Brasil

**Resumo.** O objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades mecânicas do termoplástico Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) para projetos mecânicos, utilizando os ensaios de microdureza e tração para observar e analisar os resultados obtidos. Para a realização deste estudo, foram utilizados corpos de prova do ABS impressos em impressora 3D. As amostras foram indentadas com a carga especificada de 100gf e as medições foram feitas no próprio microdurômetro. Após o ensaio de microdureza, foram feitos ensaios de tração nos corpos de prova, para a obtenção das tensões limite de escoamento, de resistência e de ruptura. Após os ensaios, foram feitas as conversões das tensões obtidas pelo equipamento para a tensão verdadeira, que leva em consideração a diminuição da área da seção transversal do corpo de prova durante o ensaio. Os valores encontrados no ensaio de tração, pós-conversão, foram comparados com os valores aproximados de tensão de escoamento encontrados no ensaio de microdureza, que foram obtidos por meio da relação de Tabor.

**Palavras chave:** ABS, Microdureza, Vickers, Tração.

**Abstract.** The objective of this work is to evaluate the mechanical properties of the thermoplastic Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) for mechanical projects, using microhardness and tensile tests to observe and analyze the obtained results. For this study, ABS test specimens printed on a 3D printer were used. The samples were indented with a specified load of 100gf, and the measurements were taken using the microhardness tester itself. After the microhardness test, tensile tests were performed on the specimens to determine the yield strength, ultimate strength, and rupture strength. After the tests, the stresses obtained from the equipment were converted to true stress, which considers the reduction in the cross-sectional area of the specimen during the test. The values obtained from the tensile test, after conversion, were compared with the approximate yield strength values obtained from the microhardness test, which were derived using Tabor's relation.

**Keywords:** ABS, Microhardness, Vickers, Tensile.

### 1. INTRODUÇÃO

As tecnologias de Manufatura Aditiva (MA), com a impressão 3d proporcionam uma série de benefícios em comparação aos métodos convencionais de fabricação. Entre essas vantagens, pode ser citado a redução do tempo entre o desenvolvimento do projeto e a produção, a possibilidade de criar geometrias complexas, a diminuição da quantidade de componentes necessários e a redução do desperdício de materiais. O uso da extrusão por fusão é um dos mais comuns, que consiste em um material polimérico que é aquecido e forçado através de um bico de impressão. O material depositado solidifica rapidamente e é aplicado ao corpo impresso camada por camada, permitindo a produção de objetos de geometrias complexas (Cole et al. 2016).

Saber quais são as propriedades mecânicas de um material plástico é de suma importância quando ele for utilizado em algum projeto, pois estas propriedades mecânicas mudam conforme o método de impressão, temperatura e condições específicas que o material pode ter sido submetido anteriormente (Ramezani Dana et al. 2019).

Na ciência dos materiais, a dureza é uma propriedade dos sólidos que indica sua resistência à deformação plástica localizada. Essa característica é comumente testada por meio de abrasão ou indentação, demonstrando a capacidade de um material de "riscar" outro. Os ensaios de dureza, microdureza e nanodureza são métodos não destrutivos utilizados para medir essa resistência. Os ensaios de dureza convencionais determinam a dureza média do material como um todo, sem focar em fases específicas. Nesses testes, aplicam-se cargas em quilograma-força (kgf) para realizar as indentações. Já os ensaios de microdureza operam em escala microscópica, com indentações da ordem de micrômetros. As técnicas

mais utilizadas, Vickers e Knoop, empregam cargas em grama-força (gf) por um tempo determinado em um único grão do material, medindo-se depois o tamanho da marca deixada pela indentação. Quando é necessário avaliar a dureza em escalas ainda menores que a de um grão, realizam-se ensaios de nanodureza. Nesse caso, a indentação ocorre em escala nanométrica, geralmente pelo método de Berkovich, no qual se aplica uma força em milinewtons (mN) (Callister Jr., W. D. 2008).

Em ciência dos materiais, o ensaio de tração, é um procedimento onde um corpo de prova é submetido a uma carga de tração que aumenta progressivamente ao longo de seu eixo longitudinal, causando deformação até que ocorra a fratura. Durante o teste, as extremidades do corpo de prova são fixadas nas garras do equipamento de ensaio. A máquina de tração é projetada para alongar a amostra a uma velocidade constante, enquanto mede simultaneamente a carga aplicada por meio de uma célula de carga, e o alongamento resultante. Este tipo de ensaio de tensão-deformação é destrutivo, pois a amostra sofre deformação permanente e, na maioria dos casos, se rompe. Os dados obtidos são registrados graficamente ou por computador, relacionando a força aplicada com o alongamento. Os resultados desse ensaio são essenciais para determinar as propriedades mecânicas do material analisado (Callister Jr., W. D. 2008).

O intuito deste trabalho é caracterizar o Acrilonitrila Butadiene Estireno (ABS) para o projeto mecânico de uma Bicicleta aquática que está sendo desenvolvida no Laboratório de Metrologia do Instituto Federal do Rio de Janeiro, campus Paracambi, investigando algumas propriedades mecânicas, com enfoque na tensão de escoamento, comparando os valores encontrados no ensaio de tração com aproximações feitas por ensaios de microdureza Vickers. O ABS será utilizado em conectores, que estão representados em cor azul na Fig. 1.

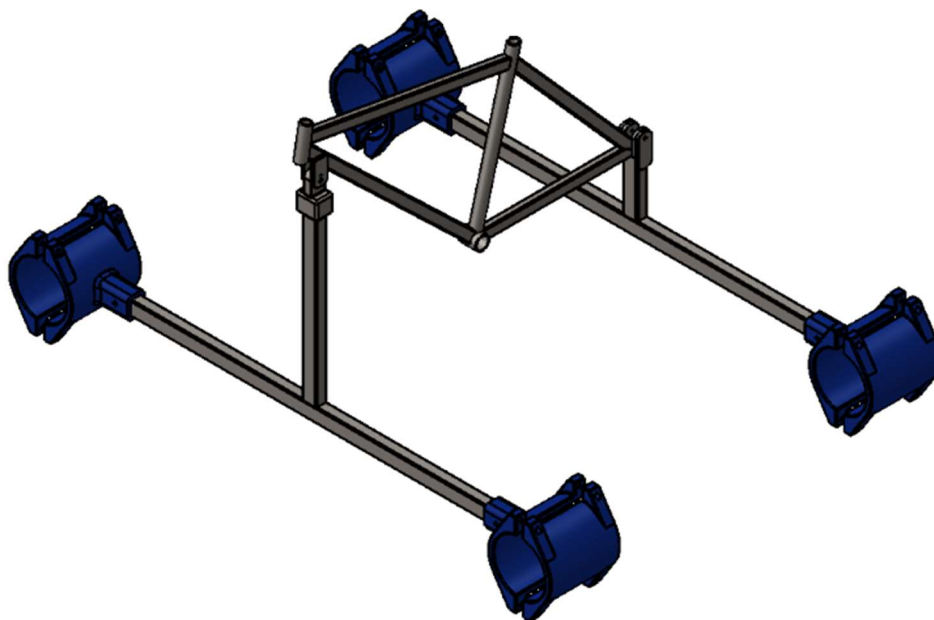


Figura 1. Conectores impressos em ABS

## 2. MATERIAIS E METODOLOGIA

Esta seção descreve os materiais utilizados e a metodologia empregada para a realização deste trabalho, que tem como objetivo caracterizar o ABS para sua aplicação em um projeto mecânico de uma bicicleta aquática, desenvolvida no Laboratório de Metrologia do IFRJ campus Paracambi. A Fig. 2 ilustra um fluxograma que detalha o processo de execução das atividades deste estudo.

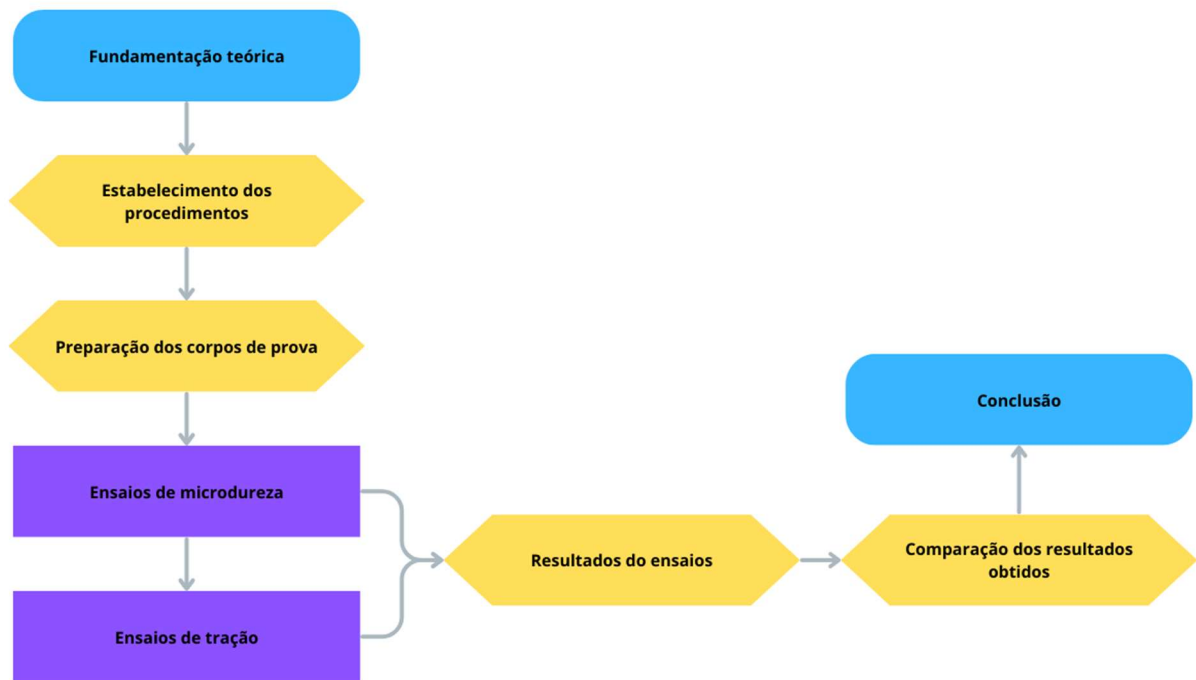


Figura 2. Fluxograma das atividades

Foram utilizadas amostras de Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) neste estudo. As amostras foram modeladas em 3D CAD (Computer Aided Design) utilizando o software NX da Siemens (Bertoni et al., 2014), seguindo as especificações da norma (ASTM D638-01 2001). A Fig. 3 apresenta as dimensões utilizadas na modelagem, que correspondem aos materiais classificados como plásticos rígidos ou semi-rígidos pela norma.

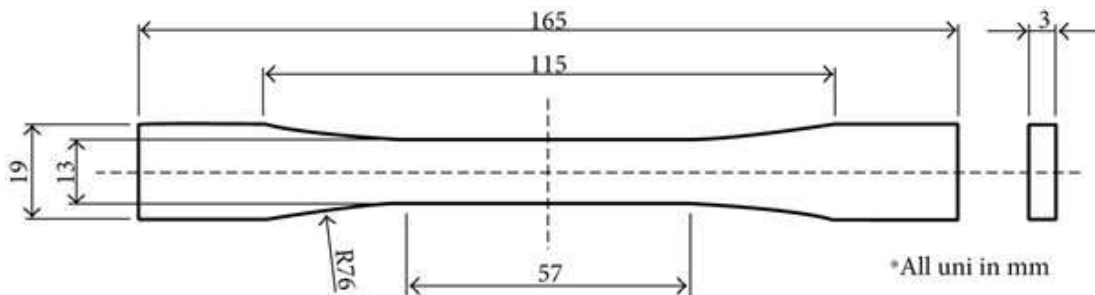


Figura 3. Dimensões do corpo de prova para ensaios de tração em plásticos rígidos ou semi-rígidos. Todas unidades em mm

Os corpos de prova foram impressos em uma impressora 3D GTMax 3D, de modelo Core A2V2, utilizando as temperaturas de impressão de todas as camadas de 230°C e a temperatura da mesa de 130°C.

Os ensaios de microdureza Vickers foram conduzidos com uma carga de 100gf. O equipamento conta com uma ponta de diamante em forma de pirâmide, que é pressionada contra a superfície do material, gerando uma indentação por meio de uma carga fixa pré-definida. A carga é mantida por 10 segundos após ser atingida, assegurando a formação adequada da indentação no material. A carga de aplicação foi definida conforme a norma (ASTM E384-22, 2022).

Após os ensaios de microdureza, os valores de HV (Dureza Vickers) foram convertidos para MPa (Mega Pascal) utilizando a Eq. (1):

$$1HV = 9,807MPa \quad (1)$$

Para fazer a conversão dos valores de microdureza em valor de tensão limite de escoamento, que é a tensão necessária para dimensionamento do projeto, foi utilizado fator de conversão proposto por Tabor (Tabor, 2000), fator este já utilizado

em outros trabalhos com plásticos para a conversão de tensão de escoamento, como em (Flores et al, 2000). O fator de conversão é descrito conforme a Eq. (2), onde HV representa a microdureza e Y a tensão de escoamento.

$$1HV = 3Y \quad (2)$$

Os ensaios de tração foram realizados em um equipamento da marca Shijin, modelo WDW 100E3, seguindo os padrões de execução da norma (ASTM D638-01, 2001), com uma velocidade de tração de 1 mm/min, a mínima exigida para garantir a obtenção de resultados claros e precisos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A carga de 100gf escolhido no ensaio de microdureza imprimiu no material uma indentação de tamanho satisfatório, permitindo medições precisas por meio do microscópio do microdurômetro. Imagens obtidas em microscópio óptico (MO) evidenciaram a uniformidade das indentações, conforme ilustrado na Fig. 4. As duas diagonais das indentações são claramente visíveis, permitindo uma medição precisa do operador.

Além disso, observou-se a presença de duas fases distintas no material: uma fase mais lisa e uniforme, onde se localiza a indentação 1, e uma fase mais irregular, onde se localiza a indentação 2. Todos os valores de microdureza obtidos em regiões semelhantes à da segunda indentação foram desconsiderados, pois divergiam muito dos valores de microdureza para ABS encontrados na literatura.



Figura 4. Indentações feitas no corpo de prova. Objetiva de 20x. Imagens em MO

Para encontrar as indentações de forma mais rápida no microscópio óptico, foi utilizada uma metodologia onde uma marcação é feita manualmente por caneta marca-texto na amostra, e as indentações são feitas dentro do perímetro definido com esta marcação, como mostra a Fig. 5.

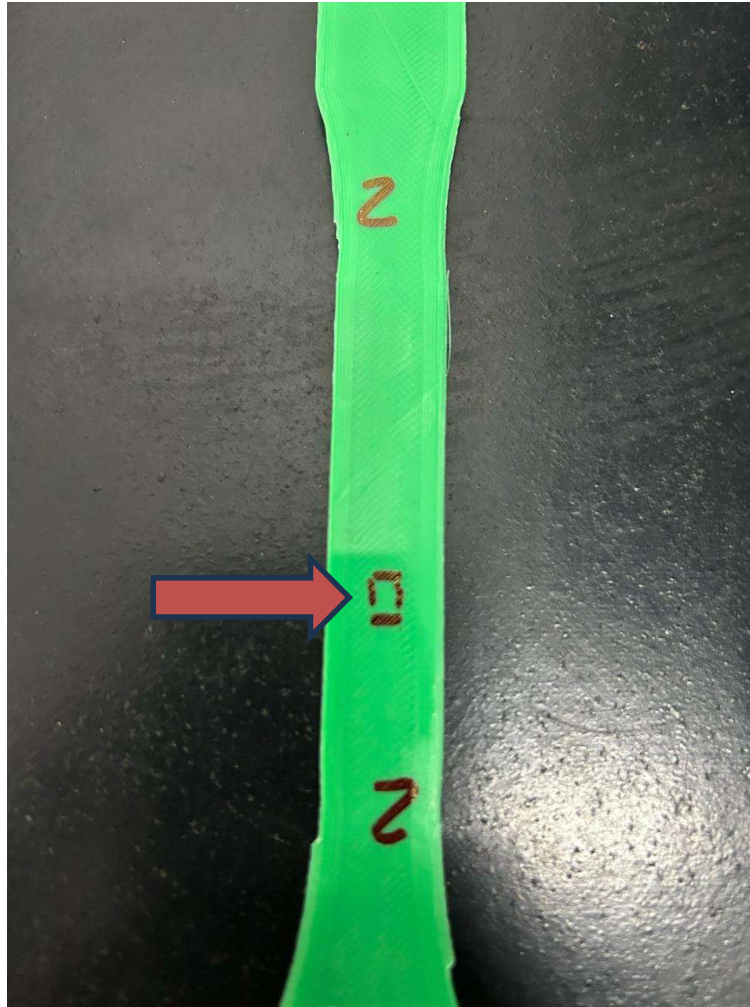


Figura 5. Marcação manual feita no corpo de prova com caneta marca texto

No total, foram realizadas 30 indentações, com 5 medições em cada um dos 3 corpos de prova analisados para microdureza. O valor médio de microdureza, obtido por meio da média ponderada de todos os valores medidos, foi de 11,42 HV, equivalente a 112,00 MPa, que encontra-se dentro da faixa esperada, conforme visto em (Vishal et al. 2019).

O valor médio da tensão limite de escoamento determinado foi de 37,33 MPa, que está dentro dos valores observados na literatura, conforme observado em (Khuong et al. 2014).

Os valores encontrados no ensaio de tração foram tratados utilizando uma correção de 0,2% para encontrar a tensão de escoamento, conforme prevê a norma. A Fig. 6 mostra os valores encontrados e o gráfico de tensão x deformação plotado em um dos corpos de prova analisados.

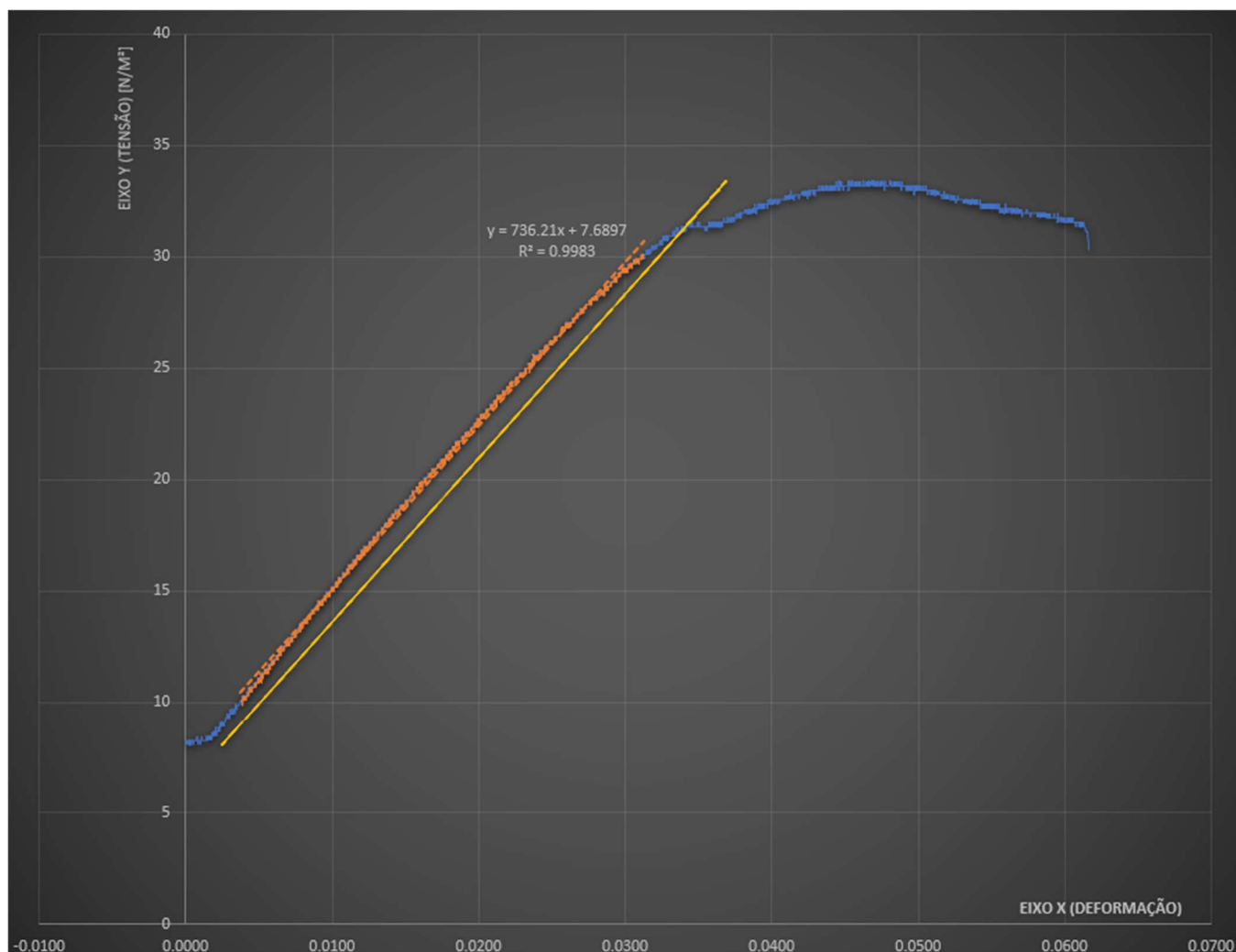


Figura 6. Gráfico tensão x deformação

Todos os dados foram tratados e a média ponderada encontrada para os valores de tensão de escoamento dos corpos de prova foi de 31.28 MPa. Os valores médios encontrados para tensão máxima e tensão de ruptura foram, respectivamente, 32.99 MPa e 30.29 MPa.

#### 4. CONCLUSÕES

- Os valores encontrados para a tensão de escoamento no ensaio de tração são satisfatórios e estão dentro do esperado.
- Os valores encontrados com a aproximação para a tensão de escoamento no ensaio de microdureza são satisfatórios e estão dentro do esperado.
- O valor de tensão de escoamento encontrado pela aproximação de microdureza é 19,34% maior em relação ao valor encontrado nos ensaios de tração.
- Os valores utilizados para o dimensionamento do ABS no projeto serão os encontrados no ensaio de tração.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro fornecido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao IFRJ campus Paracambi por fornecer seus laboratórios para a realização deste trabalho.

Aos prezados amigos Bruno Ferreira dos Santos e Rosenberg Carlos Vicente pelas contribuições na execução deste trabalho.

Ao estimado docente, Daniel Oliveira de Lima, pelas orientações, ajudas e ensinamentos.

## 6. REFERÊNCIAS

- ASTM International, 2001. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM D638-01, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM International, 2022. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials. ASTM E384-22, West Conshohocken, PA, USA.
- Bertoni, Marco, Alessandro Bertoni, Henk Broeze, Gilles Dubourg, e Clive Sandhurst. 2014. “Using 3D CAD Models for Value Visualization: An Approach with SIEMENS NX HD3D Visual Reporting”. *Computer-Aided Design and Applications* 11 (3): 284–94. <https://doi.org/10.1080/16864360.2014.863492>.
- Cole, Daniel P., Jaret C. Riddick, H. M. Iftexhar Jaim, Kenneth E. Strawhecker, e Nicole E. Zander. 2016. “Interfacial Mechanical Behavior of 3D Printed ABS”. *Journal of Applied Polymer Science* 133 (30). <https://doi.org/10.1002/app.43671>.
- Callister Jr., W. D. 2008. Ciência e engenharia de materiais. Rio de Janeiro: LTC Editora.
- Flores, A, F. J Baltá Calleja, G. E Attenburrow, e D. C Bassett. 2000. “Microhardness studies of chain-extended PE: III. Correlation with yield stress and elastic modulus”. *Polymer* 41 (14): 5431–35. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00755-7](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00755-7).
- Khuong, Tran Linh, Zhao Gang, Muhammad Farid, Rao Yu, Zhuang Zhi Sun, e Muhammad Rizwan. 2014. “Tensile Strength and Flexural Strength Testing of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Materials for Biomimetic Robotic Applications”. *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering* 20: 11–21. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JBBBE.20.11>
- Ramezani Dana, H., F. Barbe, L. Delbreilh, M. Ben Azzouna, A. Guillet, e T. Breteau. 2019. “Polymer additive manufacturing of ABS structure: Influence of printing direction on mechanical properties”. *Journal of Manufacturing Processes* 44 (agosto):288–98. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.06.015>.
- Saroha, Vishal, B. S. Pabla, e Sukhdev Singh Bhogal. 2019. “Characterization of ABS for Enhancement of Mechanical Properties”. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* 8 (10): 2164–67. <https://doi.org/10.35940/ijitee.J9379.0881019>.
- Tabor, David. 2000. *The Hardness of Metals*. OUP Oxford.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.