



## **DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE POISSON OBTIDO PELOS ENSAIOS DE TRAÇÃO UNIDIRECIONAL E TORÇÃO PURA EM LIGA DE ALUMÍNIO 6351-T6**

SAMUEL ISAEL NICOLAU DOS SANTOS<sup>1</sup>, SÍLVIO APARECIDO VERDÉRIO JÚNIOR<sup>2</sup>, CELIO CAMINAGA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Programa PIBIFSP/PACTec, IFSP Campus Araraquara – [i.samuel@aluno.ifsp.edu.br](mailto:i.samuel@aluno.ifsp.edu.br)

<sup>2</sup> Docente, Instituto Federal de São Paulo Campus Araraquara - [silvioverderio@ifsp.edu.br](mailto:silvioverderio@ifsp.edu.br) (Coorientador)

<sup>3</sup> Docente, Instituto Federal de São Paulo Campus Araraquara - [caminaga@ifsp.edu.br](mailto:caminaga@ifsp.edu.br) (Orientador)

**Área de conhecimento (Tabela CNPq):** 3.03.04.03-2

**RESUMO:** Os materiais utilizados em projetos estruturais são submetidos a diversos tipos de esforços, quando em serviço. No processo de dimensionamento de peças e produtos é necessário conhecer as propriedades mecânicas dos materiais, tanto para o dimensionamento utilizando o método de cálculo analítico, como para simulações pelo Método por Elementos Finitos (MEF). Muitas dessas propriedades mecânicas são determinadas na região elástica de deformação, como o módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e tensão de escoamento. Essas informações são utilizadas no projeto da peça, a fim de dimensionar e prever que as deformações não excedam a fase elástica, evitando uma deformação permanente (plástica), fratura ou fadiga em baixo ciclo, se submetidos a esforços cíclicos. Esse trabalho de pesquisa realizou ensaios de tração unidirecional e de torção pura em barras de alumínio (liga T6351) para determinar o coeficiente de Poisson, empregando a equação para cálculo do módulo de elasticidade transversal, que se correlaciona com o módulo de Young (módulo de elasticidade longitudinal). Os resultados obtidos demonstram que a metodologia utilizada é uma alternativa viável a outros métodos, apresentando resultados de propriedade de coeficiente de Poisson muito próximos aos descrito da literatura especializada. Acredita-se que outros ensaios devam ser conduzidos comparando as metodologias para determinação dessa propriedade.

**PALAVRAS-CHAVE:** coeficiente de Poisson; torção, tração; módulo de elasticidade; alumínio.

### **INTRODUÇÃO**

O ensaio de tração é o mais utilizado para a caracterização mecânica de matéria prima, principalmente por causa de sua facilidade de aplicação, e por fornecer os dados primordiais para um projeto ou fabricação (Garcia, 2012). Entre as informações que poder ser obtidas estão: limite de resistência a tração, tensão de escoamento, módulo de elasticidade longitudinal e módulo de resiliência.

O ensaio de torção pura geralmente não é utilizado para caracterização de matéria prima, embora seja um ensaio mecânico de fácil realização e que fornece informações importantes sobre as propriedades mecânicas dos materiais. O ensaio de torção pode ser conduzido de forma semelhante ao ensaio de tração, preso em duas garras (uma fixa e outra móvel) com a aplicação de um momento de torção, fornecendo um gráfico de tensão de cisalhamento versus deformação angular (Souza, 1982).

O presente estudo investigou e determinou o coeficiente de Poisson em corpos de prova de alumínio liga, utilizando os ensaios de tração unidirecional e torção pura. Para a realização do trabalho foi necessário preparar as amostras e realizar os ensaios propostos; analisou-se as curvas obtidas dos ensaios na região elástica de deformação e extraiu o módulo de elasticidade longitudinal (E) e módulo de elasticidade transversal (G); e correlacionou essas propriedades para determinar o coeficiente de Poisson.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quando um corpo de prova de metal é carregado por uma tensão de tração, é provocada uma deformação resultante na direção da tensão aplicada. Assumindo que essa deformação resultante ocorre no eixo z de um sistema cartesiano, então tem-se  $\varepsilon_z$ , desta forma os outros dois eixos (x e y) perpendiculares a tensão aplicada sofrerão deformações laterais, respectivamente  $\varepsilon_x$  e  $\varepsilon_y$  (Callister, 2016).

Se a tensão de tração aplicada for uniaxial (somente na direção z) e o material for isotrópico, então  $\varepsilon_x = \varepsilon_y$ . A razão entre as deformações lateral e axial é utilizada para determinar o coeficiente Poisson, conforme Equação 1. O sinal negativo está incluído na expressão para que sempre o coeficiente de Poisson seja positivo, já que as deformações longitudinal e transversal são opostas (Callister, 2016).

$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \quad (1)$$

Sendo:

$\nu$  = coeficiente de Poisson [adimensional].

$\varepsilon_x$  = deformação na direção “x” [adimensional].

$\varepsilon_y$  = deformação na direção “y” [adimensional].

$\varepsilon_z$  = deformação na direção “z” [adimensional].

De acordo com diversos autores (Callister, 2016; Hibbeler, 2010; Souza, 1982), para os materiais isotrópicos, os módulos de cisalhamento e de elasticidade longitudinal estão relacionados entre si e com o coeficiente de Poisson, de acordo com a expressão (2):

$$E = 2 \cdot G(1 + \nu) \quad (2)$$

Sendo,

E: módulo de elasticidade longitudinal, ou módulo de Young.

G: módulo de elasticidade transversal ou módulo de rigidez.

Para a maioria dos metais segundo Callister (2016), o módulo de elasticidade transversal é estimado conforme a Equação 3, desta maneira, se o valor de um dos módulos é conhecido, o outro pode ser aproximado.

$$G \cong 0,4 \cdot E \quad (3)$$

O coeficiente de Poisson é um parâmetro fundamental em diversas aplicações de engenharia, pois influencia diretamente o comportamento mecânico e estrutural dos materiais sob carregamento. Sua importância torna-se evidente em estudos como o de Tao *et al.* (2024), que investigaram a substituição de barras de aço convencionais por barras com coeficiente de Poisson negativo (NPR), com o objetivo de melhorar o desempenho sísmico de colunas curtas, mostrando um melhor desempenho nas estruturas exibindo maior capacidade de cisalhamento e maior eficiência na dissipação de energia, o que indica um comportamento mais dúctil e resistente a falhas.

Várias literaturas apresentam as propriedades: módulos de elasticidade transversal e longitudinal, e o coeficiente de Poisson para vários materiais metálicos (Callister, 2016; Hibbeler, 2010; Souza, 1982). Contudo, os cálculos de componentes de máquinas precisam de valores mais próximos da realidade para resultados mais precisos. O uso de software de MEF (Métodos de Elementos Finitos) requer a representação correta do comportamento mecânico de cada componente, necessitando de dados de entrada precisos para a qualidade dos resultados de análises de tensão e deformação (Knop *et al.*, 2015).

Para determinar as propriedades mecânicas em tração, um método utilizado é a análise da curva tensão versus deformação de engenharia (Souza, 1982). A tensão normal de tração ( $\sigma$ ) é definida pela Equação (4):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (4)$$

Sendo,

F: é a carga instantânea aplicada em uma direção perpendicular à seção transversal.

A<sub>0</sub>: área da seção transversal original antes da aplicação de qualquer carga.

A deformação de engenharia é uma grandeza adimensional, ou seja, não possui unidades. Em muitos casos, essa propriedade deve ser expressa em porcentagem, bastando multiplicar o valor da deformação por 100, desta forma expressando a deformação em alongamento percentual (Souza, 1982). O módulo de elasticidade longitudinal (E) pode ser determinado pela Lei de Hooke conforme a Equação (5) (Garcia, 2012).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (5)$$

Sendo:

$\sigma$  = tensão normal de tração.

$\varepsilon$  = deformação linear na direção do carregamento da tensão.

Para o ensaio de torção, no regime elástico, a tensão de cisalhamento varia proporcionalmente à deformação angular, de forma semelhante à relação tensão-deformação descrita pela Lei de Hooke para o esforço de tração. Sendo o módulo de elasticidade transversal (G) calculado pela Equação (6):

$$G = \frac{M_t \cdot L}{J \cdot \theta} \quad (6)$$

Sendo,

M<sub>t</sub>: Momento de torção.

L: comprimento livre do corpo de prova entre garras.

J: momento de inércia polar para secção circular.

$\theta$ : ângulo de torção em radianos.

Diversos trabalhos utilizam o coeficiente de Poisson para diferentes aplicações, desde em investigação de propriedades elásticas de compósitos termo estruturais, com viés para indústria aeronáutica e aeroespacial (Ribeiro *et al.*, 2008), até a estudos de aplicação de MEF em Ortodontia, em avaliação da distribuição do estresse na interface entre o ligamento periodontal e o osso alveolar (Knop *et al.*, 2015).

## METODOLOGIA

A matéria-prima foi adquirida com quatro barras cilíndricas de alumínio com 1,5 metros cada. Dessa forma, realizou-se medição e corte de 12 corpos de prova (cp) no total, sendo distribuídos da seguinte forma: 6 cps para ensaio de tração e 6 cps para ensaio de torção. As amostras destinadas ao ensaio de tração e torção possuíam 200 mm e 320 mm respectivamente. A composição da matéria prima está apresentada na Tabela 1.

**TABELA 1 – Composição Química das matérias-primas em porcentagem de massa para a liga de alumínio T6351-T6.**

Material	Composição em porcentagem (%)				
	Mn	Mg	Si	Cu	Al
Alumínio T6351-T6	0,40 - 0,80	0,40 - 0,81	0,70 - 1,3	$\leq 0,10$	95,9 -98,5

Fonte: Matweb, 2025.

## Ensaio de Tração Unidirecional

Para a realização do ensaio de tração foi utilizado uma Máquina de Ensaios Universais EMIC, modelo DL10000, capacidade de carga de 100 kN e com sistema de aquisição de dados por meio do software Tesc versão 1.10 (presente em um computador acoplado à máquina). O sistema de fixação das amostras foi por mordentes. Também foi utilizado extensômetro (50 mm) para determinar com maior precisão o módulo de elasticidade longitudinal (E). Os corpos de prova foram fixados com um comprimento entre garras de 100 mm. A

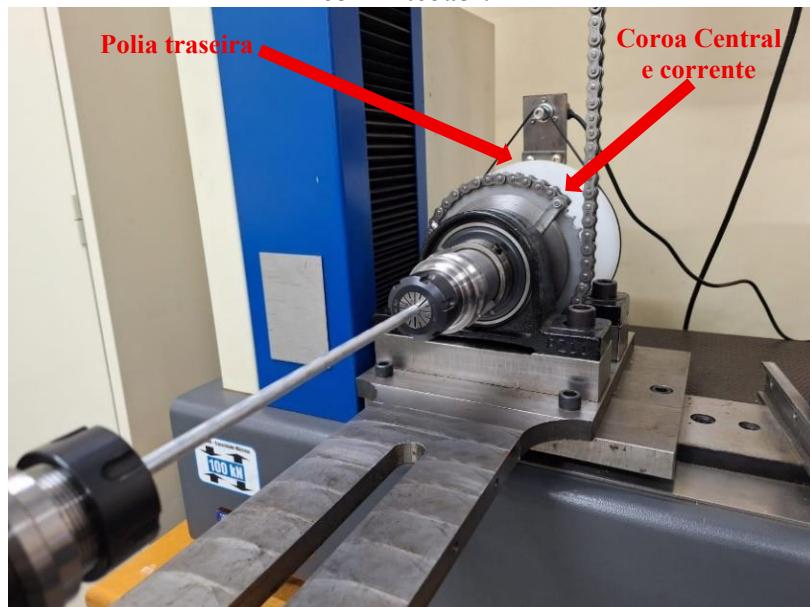
condução do ensaio será conforme a norma ABNT NBR ISO 6892-1: 2024. A velocidade de ensaio empregada foi de 5 mm/min.

Após o ensaio de tração foi analisado o módulo de elasticidade longitudinal, sendo esse utilizado na comparação com os resultados do ensaio de torção. Essa análise foi realizada utilizando uma planilha de cálculo, Microsoft® Excel.

### Ensaio de Torção Pura

Para a realização do ensaio de torção foi utilizado um dispositivo de ensaio, conforme apresentado nas Figuras 1 e 2, acoplado a Máquina de Ensaios Universais EMIC, modelo DL 10000, capacidade de carga de 100 kN. Na Figura 1 destaca a polia traseira acoplada ao *Encoder* para a medição do ângulo de rotação e a coroa central acoplado a uma corrente para a movimentação do dispositivo.

**FIGURA 1 – Dispositivo de ensaio de torção pura acoplado a máquina universal de ensaios juntamente com *Encoder*.**



Fonte: Próprio autor (2025).

A Figura 2 destaca o sistema de aquisição auxiliar. Devido as pequenas cargas que serão aplicadas durante o ensaio, foi utilizada uma célula de carga de 100 kgf para maior precisão da medição da carga. Para leitura e aquisição da carga também foi o sistema de aquisição de dados por meio do software Tesc versão 1.10. O ângulo de rotação foi medido por um sistema de medição auxiliar (com emprego de um *Encoder*) para uma maior precisão na aquisição dos dados da rotação. A velocidade de rotação empregada foi de 0,96 rpm.

Para a fixação dos corpos de prova nas pinças de fixação, foram introduzidas 40 mm em cada extremidade, resultando em uma distância livre entre pinças de 240 mm. Após os ensaios, as curvas obtidas pelo sistema de aquisição da máquina universal de ensaios e do sistema auxiliar foram exportadas em arquivo .txt, e analisadas utilizando uma planilha de cálculos, Microsoft® Excel.

**FIGURA 2 – Dispositivo de ensaio de torção com o sistema de aquisição auxiliar.**



Fonte: Próprio autor (2025).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos ensaios de torção, foi realizado o cálculo do módulo de elasticidade transversal ( $G$ ) empregando as Equação 6. Em seguida, foi determinada a média aritmética e o desvio padrão da amostra, conforme apresentados na Tabela 2.

A análise foi realizada com cinco corpos de prova, uma vez que ocorreu um erro de captura de dados do *Encoder* pelo sistema de aquisição auxiliar, o que resultou na perda das informações do sexto corpo de prova. Dessa forma, a análise considerou apenas os cinco corpos de prova válidos.

**TABELA 2 – Módulo de elasticidade transversal dos corpos de prova em liga de alumínio 6351-T6.**

Propriedade	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Média	Desvio padrão
<b>Módulo de Elasticidade Transversal (MPa)</b>	26843,57	25359,83	28479,64	27495,44	24071,86	<b>26450,07</b>	<b>1562,775</b>

Fonte: Próprio autor (2025).

Foram realizadas as análises dos corpos de prova submetidos ao ensaio de tração, empregando as Equações 4, 5 e 6 para determinar o módulo de elasticidade longitudinal ( $E$ ) de cada corpo de prova. A Tabela 3 apresenta a média aritmética e o desvio padrão da amostra ensaiada em tração unidirecional.

**TABELA 3 – Módulo de elasticidade longitudinal dos corpos de prova em liga de alumínio 6351-T6.**

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média	Desvio padrão
<b>Módulo de Elasticidade (MPa)</b>	67851,44	68175,67	69169,31	69203,14	66880,18	64881,73	<b>67693,58</b>	<b>1629,846</b>

Fonte: Próprio autor (2025).

O módulo de elasticidade transversal médio de 26450,07 MPa e o módulo de elasticidade longitudinal de 67693,58 MPa, foram obtidos experimentalmente pelos ensaios de torção pura e

tração unidirecional. Esses valores estão semelhantes aos apresentados por diversos autores (Callister, 2016; Souza, 1982; Shackelford, 2008) para o alumínio puro, para ligas de alumínio em geral (Dieter, 1986) e também para a liga de alumínio 6351-T6 (Matweb, 2025).

Empregando a Equação 2, foi calculado o coeficiente de Poisson médio que resultou em 0,2796. Esse valor diverge do alumínio puro apresentado por Callister (2016) e Garcia (2012) sendo 0,33 e 0,345 respectivamente. Além de diferir das ligas de alumínio descrito por Dieder (1986) com valor de 0,31. Para a verificação específica da liga de alumínio 6351-T6, foram consultadas as bases de dados MatWeb (2025) e MakeItFrom (2025), as quais indicam um coeficiente de Poisson de valor 0,33, diferente do resultado obtido experimentalmente. Também é possível estimar a relação entre os módulos de elasticidade transversal e longitudinal pela Equação 3, que resultou em 0,3907. Esse valor de relação está próximo ao estimado para a maioria dos metais descritos na literatura especializada (Callister, 2016; Garcia, 2012).

Os desvios encontrados entre os valores obtidos experimentalmente e os valores descritos na literatura, podem ser parcialmente atribuídos ao fato do material ensaiado provavelmente possuir propriedade anisotrópica, devido ao processo de fabricação. Esses desvios também podem ser resultado do método empregado nesta pesquisa científica, provenientes de possíveis erros na instrumentação para obtenção de dados dos ensaios.

## CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados, pode-se concluir que o coeficiente de Poisson obtido experimentalmente para a liga de alumínio 6351-T6 apresenta-se inferior ao alumínio puro e alumínio liga em comparação a literatura. A relação dos módulos de elasticidade transversal e longitudinal obtido pelo método empregado neste estudo foi semelhante ao descrito na literatura.

O método empregado neste estudo demonstrou ser uma alternativa metodológica para a determinação do coeficiente de Poisson. Entretanto, para uma melhor avaliação do método, é necessário realizar ensaios adicionais utilizando extensômetros longitudinal e transversal. A medição das deformações por meio de extensômetros oferece maior precisão e, consequentemente, uma determinação mais exata do coeficiente de Poisson, o que permitirá a validação dos resultados apresentados nesta pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Campus Araraquara, pelo fornecimento dos equipamentos e da força de trabalho. Ao Programa de Apoio à Ciência e Tecnologia (PACTec) pelo fornecimento da bolsa de iniciação científica ao aluno envolvido na pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 6892-1**, Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente, 79 p., 2024.
- CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. xxi ; 882 p.
- DIETER, George E. **Metalurgia mecânica**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. xxiii, 751 p.
- GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaios dos materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2012. 544 p.
- HIBBELER, R.C., **Resistência dos Materiais**, 7.ed., Pearson Prentice Hall, 2010, 637 p.
- KNOP, L., GANDINI JR., L.G. , SHINTCOVSK, R.L., SCHIAVON GANDINI, M.R.E.A., **Scientific use of the finiteelement method in Orthodontics**, Dental Press J Orthod., Mar-Apr, 20(2), pp.119-125, 2015.
- MAKEITFROM.COM. **6351-T6 Aluminum**. Disponível em: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6351-T6-Aluminum>. Data de Acesso: 29/10/2025.

MATWEB, MATERIAL PROPERTY DATA. **Aluminum 6351-T6; 6351-T651.** Disponível em: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ca1cf891973c4745b41677780dad6240>, Data de Acesso: 29/10/2025.

RIBEIRO, J.L.P. I ; GREGORI, M.L. I ; PARDINI, L.C. II, **Predição das propriedades elásticas de compósitos termoestruturais com reforço multidirecional**, Revista Matéria, v. 13, n. 1, pp. 33 – 48, 2008.

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 544 p.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos**. 5. ed. São Paulo: Blücher, 1982. 286 p.

TAO, Zhigang; YUE, Yi Lin; ELE, Manchao; YANG, Xiaojie; ZHENG, N. **The replacement of conventional steel bars by negative Poisson's ratio (NPR) steel bars to improve the seismic performance of short columns**. Engineering Structures, v. 317, p. 118968, 2024.