

Capítulo II – Manufatura e validação de um tribômetro linear recíproco

Janaina Fracaro de Souza Gonçalves⁷

Adriana Giseli Leite Carvalho⁸

RESUMO

O principal objetivo da tribologia é analisar o comportamento dos fenômenos relacionados ao atrito e ao desgaste. Para essa avaliação, é necessário utilizar um equipamento chamado tribômetro. Nesse contexto, o presente trabalho visa fabricar um tribômetro do tipo esfera sobre plano, oferecem diversas vantagens para a indústria. Esse equipamento possibilita a realização de simulações realistas em diversas situações em que não é viável conduzir testes no local real. Dessa forma, é possível reduzir os custos relacionados à criação de protótipos em escala real, evitando danos a peças de alto valor e facilitando a fabricação com o objetivo final de produzir produtos melhores a um custo menor. Além disso, essa tecnologia contribui para o aprimoramento de diversos tipos de lubrificantes, resultando em produtos com alta performance no cotidiano de todos. O trabalho em questão utiliza conceitos de projeto para a manufatura do tribômetro do tipo esfera sobre plano. Para validar o equipamento, foram conduzidos ensaios de acordo com os requisitos da norma ASTM G133, a fim de avaliar o seu desempenho e comparar os resultados com os testes realizados utilizando a liga de alumínio 7075 como corpo de prova e o aço cromo AISI 52100 com dureza de 60 HRC para a esfera. Durante os ensaios, o equipamento demonstrou estabilidade, evidenciando a eficiência da utilização da plataforma Arduino nesse tipo de aplicação. Além disso, foram obtidos resultados satisfatórios para o coeficiente de atrito, com média de 0,53 para a liga de alumínio.

Palavras-chave: Fabricação. Desgaste. Lubrificante. Atrito. Simulação.

MANUFACTURE AND VALIDATION OF A LINEAR RECIPROCATING TRIBOMETER ABSTRACT

The main objective of tribology is to analyze the behavior of phenomena related to friction and wear. For this evaluation, it is necessary to use equipment called a tribometer. In this context, this work aims to manufacture a ball-on-plane tribometer, which offers several advantages for industry. This equipment makes it possible to carry out realistic simulations in various situations where it is not feasible to conduct tests on site. In this way, it is possible to reduce the costs associated with creating full-scale prototypes, avoiding damage to high-value parts and facilitating manufacturing with the ultimate aim of producing better products at a lower cost. In addition, this technology contributes to the improvement of various types of lubricants, resulting in products with high performance in everyone's daily life. The work in question uses design concepts

⁷ Docente da UTFPR - Campus Londrina, janainaf@utfpr.edu.br

⁸ Docente UniSENAIPR -Campus Londrina, adriana.carvalho@sistemafiep.org.br

to manufacture a ball-on-plane tribometer. To validate the equipment, tests were carried out in accordance with the requirements of ASTM G133 in order to assess its performance and compare the results with tests carried out using 7075 aluminum alloy as the test body and AISI 52100 chrome steel with a hardness of 60 HRC for the ball. During the tests, the equipment showed stability, demonstrating the efficiency of using the Arduino platform in this type of application. In addition, satisfactory results were obtained for the coefficient of friction, μ .

Key words: Manufacturing. Wear. Lubricants. Friction. Simulation.

1 INTRODUÇÃO

Análises de danos ou falhas em diferentes setores requerem o uso de equipamentos de simulação em laboratórios, chamados de tribômetros. A obtenção das propriedades de atrito e desgaste dos materiais é um desafio para a indústria, pois os materiais se comportam de maneiras diferentes devido a suas propriedades mecânicas. Normas são seguidas na construção de tribômetros específicos para cada fenômeno tribológico, garantindo a validade dos experimentos.

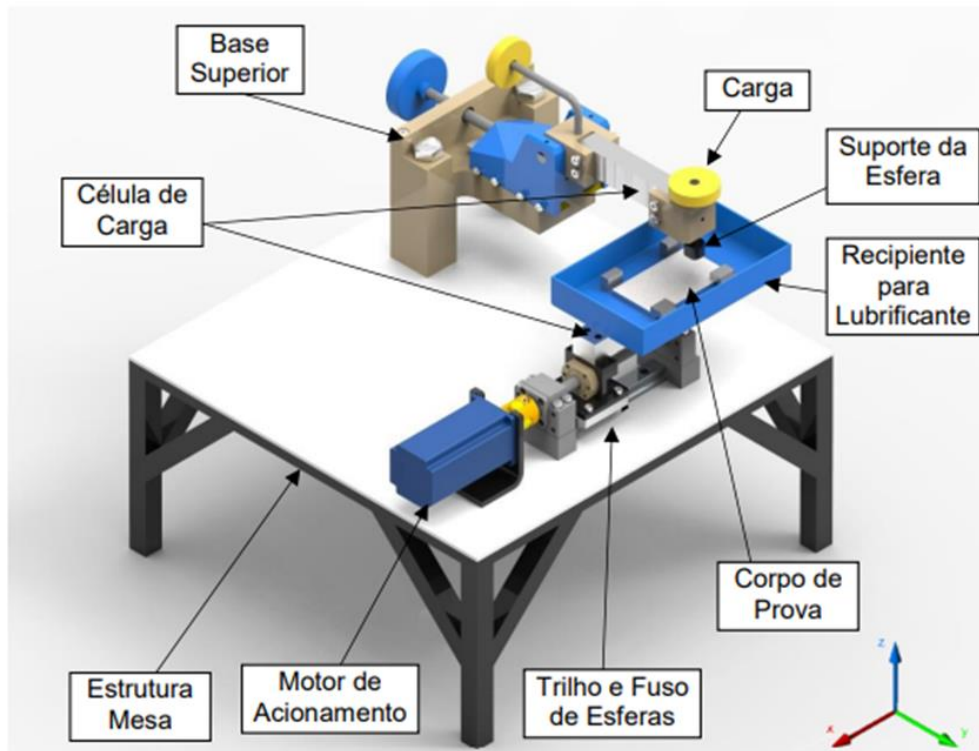
Uma bancada de avaliação de desgaste e atrito em movimentos lineares será útil para o laboratório de tribologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A norma ASTM G133 (2016) descreve um tribômetro de deslizamento recíproco, no qual um pino desliza sobre um corpo de prova fixo em uma estrutura, sendo monitorado por instrumentos que medem variáveis como velocidade, temperatura, força e ciclos.

2 METODOLOGIA E MATERIAIS

Para a manufatura do equipamento, foram utilizados diferentes projetos realizados para fabricação de um tribômetro linear recíproco. Emerim (2018) realizou um projeto utilizando conceito de análise de falha e simulação pelo método de elementos finitos. Para o atual projeto, foram realizadas algumas simplificações para a manufatura das peças e também para obter uma montagem mais simples e facilitar a utilização do equipamento. Contudo, respeitando toda a dinâmica e resistência dos componentes.

A Figura 1 mostra o projeto CAD realizado por Emerim (2018) o qual foi utilizado como base desse projeto.

Figura 1. Projeto CAD tribômetro linear recíproco.



Fonte: (EMERIM, 2018).

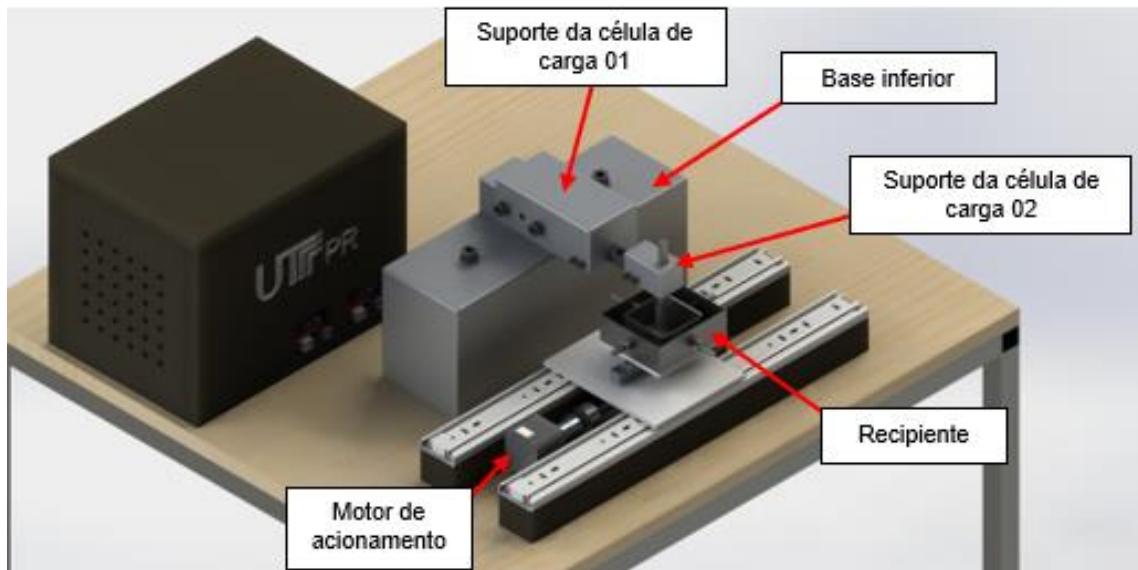
A peças utilizadas na composição estrutural do equipamento, foram fabricadas em alumínio 7075 utilizando fresadora semiautomática. As dimensões das peças estão listadas na Tabela 1 e indicadas na Figura 2 a seguir.

Tabela 1 - Relação de peças estruturais.

Componente	Dimensão (mm)
Base inferior	310 X 165 X 100
Motor de acionamento	48 X 43 X 61,5
Recipiente	90 X 80 X 30
Suporte da célula de carga 01	125 X 165 X 50
Suporte da célula de carga 02	30 X 30 X 50

Fonte: Autoria própria.

Figura 2. Montagem 3D do tribômetro.



Fonte: Autoria própria.

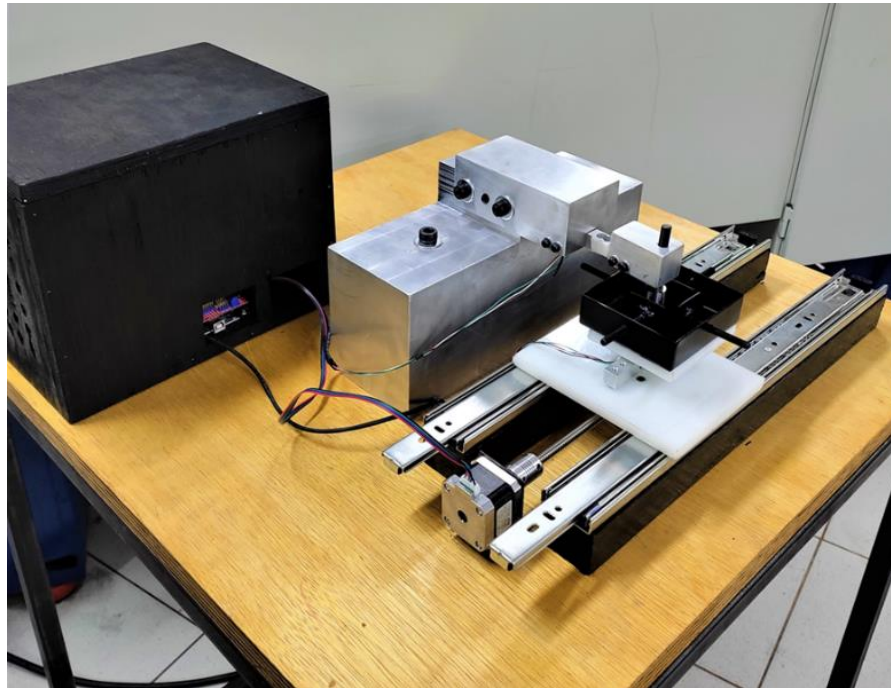
A construção da parte eletrônica do tribômetro é composta por duas placas de prototipagem rápida, devido à facilidade na programação e utilização. Uma das placas é utilizada para o funcionamento do motor de passo e coleta dos dados da força normal ao corpo de prova, utilizando a célula de carga na base inferior. A outra placa é responsável pela coleta da força de atrito nominal, medida durante o deslizamento do pino sobre o corpo de prova.

Junto com uma das placas, são necessários para o funcionamento do tribômetro um anteparo, comumente utilizado em usinagem CNC, juntamente com um driver de controle. Segundo Di Renna et. al. (2021), o Arduino é baseado em um microcontrolador programável, o que permite a fácil criação de diversos aplicativos diferentes. Além disso, o próprio dispositivo pode ser reutilizado através de nova programação. A sua programação é simplificada pela presença de diversas funções do dispositivo de controle, e a sintaxe é semelhante às linguagens de programação comumente usadas (C e C++).

Esses componentes permitem um melhor controle do motor de passo, tornando possível atender aos parâmetros da norma ASTM G133. Todo esse conjunto eletrônico é alimentado por uma fonte de 250W de potência. Após realizar as adaptações nas montagens dos componentes estruturais e eletrônicos com base no

projeto de Emerim (2018), o equipamento estará pronto para utilização. A Figura 3 mostra o tribômetro em sua montagem final após a fabricação.

Figura 3. Montagem final do tribômetro.



Fonte: Autoria própria.

Para o procedimento experimental se faz a utilização da programação retirada da biblioteca do autor Kallhovd (2017). Em seguida, deve-se preparar o corpo de prova a ser testado, de acordo com as especificações da norma ASTM G133.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com o tribômetro linear recíproco ao longo dos ensaios realizados por meio do atrito entre alumínio 7075 e aço cromo 52100. Os dados coletados dos esforços, conforme procedimento experimental são comparados com a literatura para a validação do equipamento ao ser utilizado para avaliar o coeficiente de atrito utilizando o método de experimento sem utilização de qualquer lubrificante, de acordo com a norma ASTM G133. Sendo assim, com todos os parâmetros do tribômetro devidamente

configurados, o coeficiente de atrito cinético pode ser calculado a partir da Equação 1.

$$\mu_k = F/P \quad (1)$$

Onde:

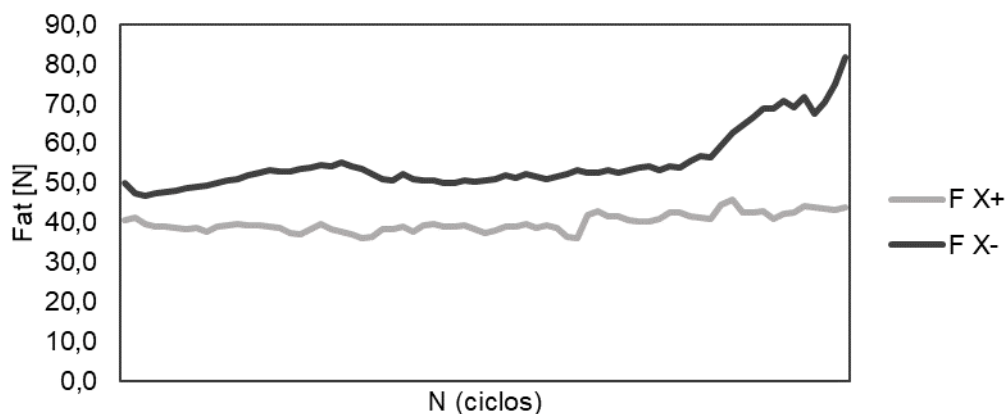
μ_k = coeficiente de atrito cinético;

F = força de atrito nominal, medida durante o deslizamento;

P = carga aplicada (força normal).

Para os ensaios realizados sem lubrificação, a norma ASTM G133 exige que a carga normal seja de 25 N, a qual foi adotada para os ensaios de validação do presente trabalho. Os resultados obtidos da célula de carga nominal, apresentam uma variação para ida e volta do movimento linear, como mostra a Figura 4.

Figura 4. Variação da força de atrito: teste 1.



Fonte: Autoria própria.

Essa variação foi observada em todos os cinco ensaios realizados e, para fins de cálculo, foi adotada a média das amplitudes obtidas. Sendo assim, a força de atrito nominal é calculada utilizando o valor médio e a aceleração padronizada do motor de passo. Após a realização dos ensaios, é possível comparar os resultados obtidos a partir da Tabela 2. Ao avaliar os ensaios por meio de uma análise estatística, os resultados apresentam uma variabilidade de 7% segundo seu coeficiente de variação determinado pela relação entre a média de 0,533 e, o desvio padrão dos coeficientes de atritos obtidos nos ensaios.

Tabela 2 - Resultados do coeficiente de atrito para a liga de Alumínio 7075 em contato com Aço Cromo 52100.

Número do ensaio	Coeficiente de atrito μ	Desvio da Média μ
1	0,592	0,0190
2	0,529	-0,0446
3	0,487	-0,0858
4	0,543	-0,0305
5	0,512	-0,0615

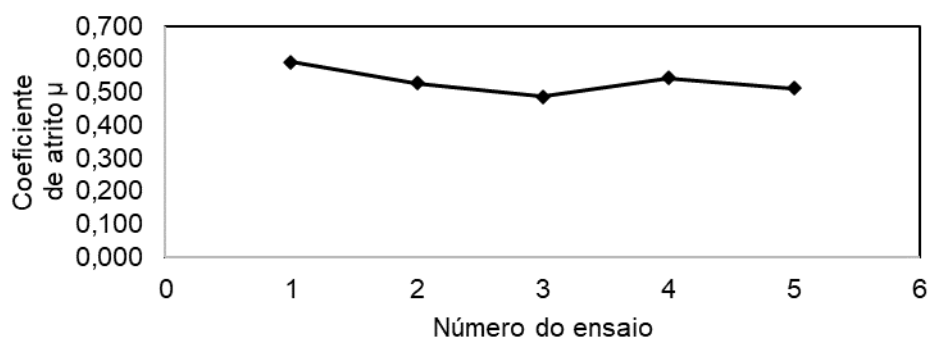
Fonte: Autoria própria.

Para observar o comportamento dos resultados em relação a uma distribuição normal, utilizando uma confiabilidade de 95%, obtém-se o resultado de limite de confiança de 0,045. Com isso, é possível prever alguma anormalidade em futuros ensaios, caso fujam dos limites estabelecidos.

A Figura 5 apresenta o comportamento dos resultados dos ensaios, onde fica visível uma tendência linear, levando à conclusão de que o equipamento traz uma estabilidade para mais de um ensaio utilizando parâmetros iguais.

Como pode ser observado, o coeficiente de atrito manteve-se próximo ao valor de 0,5. Faires (1976) apresentou em seu livro uma tabela comparativa dos coeficientes de atrito para alguns materiais quando estão em contato. Para o contato sem lubrificação entre alumínio e aço médio, o coeficiente de atrito cinético (μ_k) é aproximadamente 0,45.

Figura 5. Coeficiente de atrito μ .



Fonte: Autoria própria.

As principais causas para essa diferença constada são fatores como, os parâmetros utilizados para os ensaios, tratamento prévio dos corpos de prova, além dos materiais utilizados, os quais podem interferir na qualidade da coleta dos dados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi realizada a fabricação de um tribômetro linear recíproco do tipo esfera sobre plano.

Além da construção do equipamento, foram realizados ensaios para a validação dos resultados obtidos com o tribômetro. A análise realizada em cima dos esforços coletados, os quais, representam a direção do atrito e direção da carga normal a superfície do corpo de prova. Sendo assim, foi possível determinar o coeficiente de atrito para a liga de alumínio 7075 em contato com a esfera de aço cromo 52100 e, comparar os resultados com os obtidos por Faires (1976).

Durante a realização dos ensaios, uma das dificuldades encontradas, foi o posicionamento da carga normal, devido a quantidade de peso necessária para a sua realização.

O equipamento se comportou com muita estabilidade durante os ensaios, comprovando que os parâmetros utilizados, tanto na parte eletrônica, quanto na parte estrutural, foram suficientes para este tipo de estudo.

O tribômetro poderá ser utilizado em outros ensaios para avaliar propriedades de diferentes tipos de materiais, reduzindo os custos com fabricação de protótipos para a avaliação do material a ser aplicado, auxiliando na escolha do melhor lubrificante para redução de atrito, e assim, facilitará tomadas de decisões com base nos resultados que o tribômetro fornece.

REFERÊNCIAS

ASTM G133-05(2016). **Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

DI RENNA, R. B.; BRASIL, R. D. R.; CUNHA, T. E. B.; BEPPU, M. M.; FONSECA, E. G. P. **Introdução ao kit de desenvolvimento Arduino**. Orientador: Alexandre Santos de la Vega. 2021. 80 p. Programa de Educação Tutorial – PET (Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2021. Disponível em:

<http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/arduino/Tut_Arduino.pdf>
Acesso em: 10 mai. 2022.

EMERIM, M. S. **Projeto de um Tribômetro Linear Recíproco utilizando conceito de análise de falha e simulação pelo método de elementos finitos**. Orientador: Elvys Isaías Mercado Curi. 2018. 26 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade SATC, Criciúma, SC, 2018.

FAIRES, V. M. **Elementos Orgânicos de Máquinas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos, 1976.

KALLHOVD, O. **Library for the HX711 24-bit ADC for weight scales**. Versão 1.2.12. Bergen, Noruega. 17 sept. 2017. Disponível em:
<<https://www.arduino-libraries.info/authors/olkal>> Acesso em: 17 jan. 2022.