



<b>Evento</b>	Salão UFRGS 2022: FEIRA DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DA UFRGS - FINOVA
<b>Ano</b>	2022
<b>Local</b>	Campus Centro - UFRGS
<b>Título</b>	Desenvolvimento de atuador para tribômetro com células de carga para medição das forças normal e de atrito
<b>Autor</b>	RÉGIS HENRIQUE DA SILVA SOUZA
<b>Orientador</b>	PATRIC DANIEL NEIS

**TÍTULO DO PROJETO:** Desenvolvimento de atuador para tribômetro com células de carga para medição das forças normal e de atrito.

**Aluno:** Régis Henrique da Silva Souza

**Orientador:** Patric Daniel Neis

## RESUMO

O tribômetro é um equipamento utilizado para medir propriedades tribológicas tais como atrito, desgaste e vibrações causadas pelo contato de corpos com movimento relativo. Atualmente, o laboratório de tribologia (LATRIB) possui um tribômetro do tipo pino sobre disco desenvolvido por Neis, 2012, o qual é composto por mecanismos de controle de carga, rotação, torque e temperatura que operam em circuito fechado. Nesse tribômetro o coeficiente de atrito é medido através do torque, força normal e raio de deslizamento, conforme a equação 1.

$$\mu = \frac{M}{RF_N} \quad (1)$$

onde  $\mu$  representa o coeficiente de atrito,  $M$  é o torque de frenagem [Nm],  $R$  é o raio de deslizamento [m] e  $F_N$  a força normal [N].

Existe incertezas referentes às medidas de força normal, torque e, conseqüentemente, o coeficiente de atrito, sendo o torque o mais substancial para essa incerteza, pois mesmo quando não há carga aplicada do pino sobre o disco existe medição do torque referente a inércia do sistema. Como demonstrado na tese de Neis, 2012, as maiores incertezas para o coeficiente de atrito ocorrem para as menores magnitudes de força e torque, sendo os extremos das incertezas iguais à  $\pm 29,07\%$  para a força normal de 50N e torque de 1Nm, e  $\pm 0,61\%$  para a força normal de 2500N e torque de 45Nm.

Assim, o presente projeto visa aumentar a precisão das medições, medindo a força normal e a força de atrito diretamente no sistema pino e disco, sendo a determinação do coeficiente de atrito dada pela equação 2. Desse modo, elimina-se o erro (incerteza) referente ao torque e ao raio de deslizamento do sistema.

$$\mu = \frac{F_{at}}{F_N} \quad (2)$$

onde  $\mu$  representa o coeficiente de atrito,  $F_{at}$  é a força de atrito [N] e  $F_N$  a força normal [N].

## RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

A configuração do atuador foi projetada para medir a força normal e de atrito utilizando transdutores de força (células de carga) conectados a um sistema de aquisição e controle de dados. Em um primeiro momento foram desenvolvidos o desenho do suporte das células de carga e a placa de ligação entre as mesmas. Para a realização dos desenhos foram tiradas as medidas do tribômetro necessárias para o correto encaixe do atuador. Logo em seguida foi realizado o desenho 3D nos softwares SolidWorks®, objetivando uma melhor visualização, e AutoCad® para o desenho técnico necessário na execução da etapa de usinagem.

A próxima etapa foi o experimento de calibração para verificação das medidas de forças através de variações de massas previamente conhecidas. Tal variação se deu através de 15 amostras (pesos mortos). Assim, a sensibilidade ideal encontrada foi

de 0,407mV/V representando o menor erro de medição experimental de aproximadamente 0,46%.

Por fim, foi calculada a nova incerteza de medição levando em consideração os equipamentos utilizados, sendo eles: 2 células de carga modelo SPL, uma com capacidade de 500N utilizada para medir a força normal, e outra com capacidade de 400N para medir a força de atrito, e para aquisição de dados foi utilizada uma placa de aquisição modelo ADS 1800 do fabricante Lynx®. Dos dados fornecidos pelos fabricantes, as células de carga possuem uma incerteza de 0,5% do fundo de escala, enquanto a placa de aquisição possui uma resolução de 24 bits, assim sua incerteza é igual à  $FM/2^{23}$ , onde FM é a faixa de grandeza medida e o número  $2^{23}$  faz referência a sua resolução, tendo 1 bit reservado para o sinal da tensão de entrada.

Considerando as incertezas das células de carga e do sistema de aquisição e controle de dados, a incerteza de medição instrumental associada a medição das forças normal e de atrito pode ser expressa pela equação 3.

$$U(G) = \sqrt{u^2(s) + u^2(sag)} \quad (3)$$

onde  $U(G)$  é a incerteza de medição instrumental [unidades da grandeza medida G],  $u(s)$  é a incerteza associada a célula de carga [unidades da grandeza medida G] e  $u(sag)$  é a incerteza associada à capacidade de resolução do sistema de aquisição e controles de dados [unidades da grandeza medida G].

A partir das especificações técnicas dos instrumentos utilizados, da equação 3 e considerando o fundo de escala de cada célula de carga é possível calcular a incerteza de medição instrumental associada a medição da força normal e da força de atrito, que valem, respectivamente,  $\pm 2,5$  N e  $\pm 2,0$  N.

Em relação a incerteza associada a medição do coeficiente de atrito é necessário utilizar a equação 4 juntamente com a equação 2 e os erros das forças normal e de atrito, assim obtém-se a equação 5. Aplicando valores de forças normal e de atrito nesta equação obtém-se o erro de medição do coeficiente de atrito. Desse modo, chega-se à conclusão de que considerando forças baixas, onde residem os maiores erros, e considerando que o maior atrito possível é igual a 2, atrito adesivo, se encontraria um erro igual a  $\pm 6\%$  para a medição do coeficiente de atrito.

$$U^2(f) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i)u(x_j)r(x_i, x_j) \quad (4)$$

onde f é uma função  $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , são as grandezas de entrada consideradas,  $u(x_i)$  e  $u(x_j)$  são as incertezas associadas as grandezas de entrada e  $r(x_i, x_j)$  é o coeficiente de correlação entre as grandezas de entrada  $x_i$  e  $x_j$ .

$$U(\mu) = \sqrt{\frac{6,25F_{at}^2}{F_N^4} - \frac{10F_{at}}{F_N^3} + \frac{4}{F_N^2}} \quad (5)$$

Em suma, eliminado o erro referente a medição do torque, sendo o torque da inércia do sistema o mais substancial, e o erro de medição referente ao raio de deslizamento teremos um ganho de precisão do sistema, sendo o erro do sistema antigo de  $\pm 27,28\%$  para a leitura do coeficiente de atrito no pior caso, e o erro do novo sistema igual a  $\pm 6\%$  para a leitura do coeficiente de atrito no pior caso, atrito adesivo. Desse modo, pode-se inferir uma melhor acurácia para o novo atuador do tribômetro.