

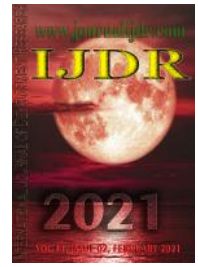


ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research
Vol. 11, Issue, 02, pp.44606-44611, February, 2021
<https://doi.org/10.37118/ijdr.21003.02.2021>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

CARACTERIZAÇÃO DE ATRITO ESTÁTICO E DINÂMICO ATRAVÉS DE PLANO INCLINADO COM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS

Ana Leticia Filgueiras Teles*, Romulo do Nascimento Rodrigues, Roberto de Araujo Bezerra and Pierre Lamary

Laboratory of Vibration, Mechanical Engineering Department, Federal University of Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 26th December, 2020
Received in revised form
09th December, 2020
Accepted 04th January, 2021
Published online 24th February, 2021

Key Words:

Coefficiente de atrito, Arduino, Tribometro, Plano inclinado, Educação em Engenharia Mecânica.

*Corresponding author:

Ana Leticia Filgueiras Teles,

ABSTRACT

O atrito é a força com a qual os engenheiros se deparam em seus projetos mecânicos, sendo extremamente importante de ser analisada, pois causa diversos efeitos indesejáveis, como o desgaste de componente. Os estudos de atrito costumam ser realizados em ambientes de difícil acesso para graduandos devido a equipamentos que requerem conhecimento e técnicas específicas, o que dificulta o aprendizado prático para os alunos em formação na área. Para melhor compreender esse fenômeno esse trabalho objetivou confeccionar uma estrutura experimental móvel, eficaz de evidenciar as leis do atrito, e amostras onde puderam ser observadas as relações entre superfícies, massas, inclinação e velocidade com o atrito gerado por essas interações a partir de um sistema de aquisição de sinais composto por sensores eletrônicos e uma planilha interativa. Os resultados apresentados na coleta de dados propiciaram a certificação da estrutura quanto ao estudo do atrito e, sua mobilidade faz com que por professores e alunos possam usá-la nos mais diversos ambientes de maneira a agregar a aprendizagem tanto prática quanto teórica de maneira simples e didática.

Copyright © 2021, Ana Leticia Filgueiras Teles, Romulo do Nascimento Rodrigues, Roberto de Araujo Bezerra and Pierre Lamary. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Ana Leticia Filgueiras Teles*, Romulo do Nascimento Rodrigues, Roberto de Araujo Bezerra and Pierre Lamary, 2021. "Caracterização de atrito estático e dinâmico através de plano inclinado com sistema de aquisição de sinais", *International Journal of Development Research*, 11, (01), 44606-44611

INTRODUCTION

Atrito foi alvo de observações desde os tempos antigos onde a madeira seca era utilizada na produção de fogo. Depois de muito tempo as primeiras civilizações usavam deste artifício na confecção das construções e para diminuir o desgaste onde o atrito era minimizado com o auxílio de gordura animal e água. Leonardo da Vinci (1452-1519) durante suas pesquisas observou que o atrito gerado entre duas superfícies dependia da força que os corpos faziam um em relação ao outro e não da dimensão da área de contato entre eles. Porém em 1699, G. Amontons (1663 -1705) após ver os estudos de Leonardo da Vinci analisou os fatos citados por da Vinci e acrescentou mais uma observação que o atrito é independente da velocidade dos corpos (Mossmann *et al.*, 2002; Dransfeld *et al.*, 1998). Leonhard Euler (1707-1783), baseando nos ensaios de Leonardo da Vinci obteve uma solução analítica para o atrito considerando a rugosidade da superfície e do corpo de prova. Os experimentos feitos por Euler foram feitos em plano inclinado onde a interação entre as superfícies impediam o deslocamento do bloco, observando que a força de atrito dependia da força gravitacional (Silveira Junior *et al.*, 2005). Euler desenvolveu um modelo geométrico para estudo do contato entre as superfícies, nesse modelo foi observada que o ângulo entre o plano inclinado e a horizontal deveria ser maior que o ângulo de

contato para que o deslizamento aconteça. Com isso, notou que quando o corpo está na iminência de deslizar sobre a superfície o coeficiente de atrito pode ser calculado a partir da tangente de inclinação entre o plano inclinado e a horizontal. Euler através de análises geométricas chegou à conhecida relação entre o coeficiente de atrito estático e o ângulo de inclinação do plano (Equação 1).

$$\mu_e = t(\theta) \quad (1)$$

Propôs, também, que a força de atrito era diretamente proporcional ao módulo da força normal.

$$\vec{F}_f = \mu \vec{N} \quad (2)$$

Euler foi um dos primeiros a diferenciar o coeficiente de atrito estático e o coeficiente de atrito cinético, que são propriedades da força as quais indicam o tipo de material em contato, além de que o atrito cinético é independente da velocidade com que o corpo desliza sobre o plano inclinado e o coeficiente de atrito estático é, comumente, superior ao coeficiente de atrito cinético. Engenheiro de formação, Charles Augustin Coulomb (1736-1806) também era um excelente físico experimental. Das suas experiências

envolvendo atrito, chegou à mesma relação entre força de atrito e normal dada pela Equação (2), assim como afirmava que a força de atrito cinético independia da velocidade (Dias *et al.*, 2007). A explicação de Coulomb para o atrito era semelhante à proposta por Euler, ou seja, seria proveniente do encaixamento das rugosidades das superfícies (Torres, 2001). Desde então muitos trabalhos foram realizados e propuseram modelos de equacionamento entre atrito estático e dinâmico (Denny, 2004; Suetti, 2011; Kang *et al.*, 2009). Nas escolas fundamentais e até mesmo em nível de graduação, continuamos estudando o atrito com base no modelo de Euler, pois esse apresenta resultados satisfatórios para a maioria dos casos e oferece uma explicação relativamente simples para origem dessa força. Por isso, esse trabalho tem como objetivo construir uma estrutura experimental move e eficaz de evidenciar as leis do atrito, onde possam ser observadas as relações entre superfícies, massas, inclinação e velocidade com o atrito gerado por essas interações a partir de um sistema de aquisição de sinais composto por sensores eletrônicos e uma planilha interativa.

MATERIAS E MÉTODOS

A primeira etapa foi determinar as equações que serão utilizadas para os calculos do atritos estático e dinâmico. Na Figura 1 pode-se observar um plano inclinado com relação a horizontal em um ângulo θ e um corpo na iminência de deslizamento devido a ação da gravidade, sendo assim a resultante das forças agindo sobre o corpo são nulas, onde as componentes na figura são:

- N – Força Normal;
- F_{at} – Força de atrito (estática ou cinética);
- P – Peso da amostra;
- P_x – Componente Peso na direção x;
- P_y – Componente Peso na direção y;
- Θ - Ângulo da superfície com ralação ao solo.

Enquanto a amostra encontra-se em repouso, podemos decompor as forças na direção x, paralela ao plano inclinado e na direção y normal ao plano, temos:

$$P_y = N \rightarrow m \quad (\theta) = N \tag{3}$$

$$P_x = F_a \rightarrow m \quad (\theta) = \mu_e N \tag{4}$$

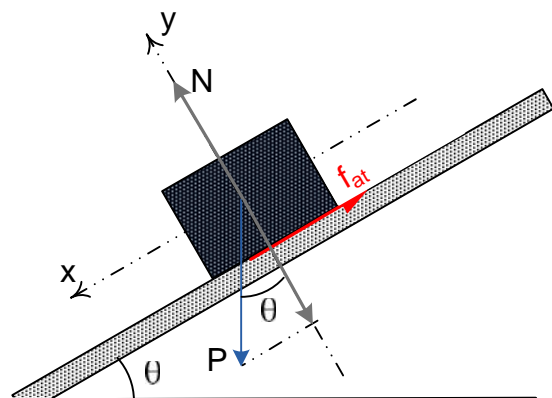


Fig. 1. Plano inclinado adotada para cálculo da força de atrito estátioca e dinâmica

Substituindo a equação 3 na 4, podemor determinar que o atrito estático será:

$$\mu_e = t_1 (\theta) \tag{5}$$

Portanto, utilizaremos a equação 5 para calcular o atrito estático. Uma força de atrito realiza trabalho (dU) quando sofre um

deslizamento na direção em sua linha de escorregamento, esse trabalho é uma grandeza escalar e pelo sistema internacional a unidade de medida usada é o Joule. A equação 6 será usada para calcular o trabalho (dU) e leva em consideração o atrito dinâmico μ_d , e a distancia percorrida pela amostra, d.

$$d = \mu_d P \quad (\theta) \tag{6}$$

Para calcular o atrito dinâmico temos que enquanto a amostra está em movimento as equações para as forças serão:

$$P_y = N \rightarrow m \quad (\theta) = N \tag{7}$$

$$P_x - F_a = m \rightarrow m \quad (\theta) - \mu_e N = m \tag{8}$$

Onde a é a aceleração com que a amostra se desloca.

Substituindo a equação 7 na 8, podemos determinar que o atrito dinâmico será:

$$\mu_d = \frac{g \quad (\theta) - a}{g \quad (\theta)} \tag{9}$$

A segunda etapa foi a construção da bancada experimental. O desenvolvimento da bancada de estudos foi baseado em um plano inclinado (Figura 1) onde fosse possível a alteração da angulação a partir de um mecanismo automático, assim o erro humano durante os testes seria minimizado. A bancada consiste, principalmente, de uma superfície de madeira, com cantoneiras de alumínio, acoplada a uma base de madeira mais densa por meio de parafusos M08, onde permite a variação da angulação da superfície a partir de um ponto central. Na superfície de madeira principal, as cantoneiras de alumínio permitem a troca de materiais porosos e a fixação destes também, além disso a superfície conta com um obstáculo que não permite que as amostras se choquem com os sensores, este obstáculo foi produzido pela impressora 3D de material ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), o conjunto pode ser visto na Figura 2.

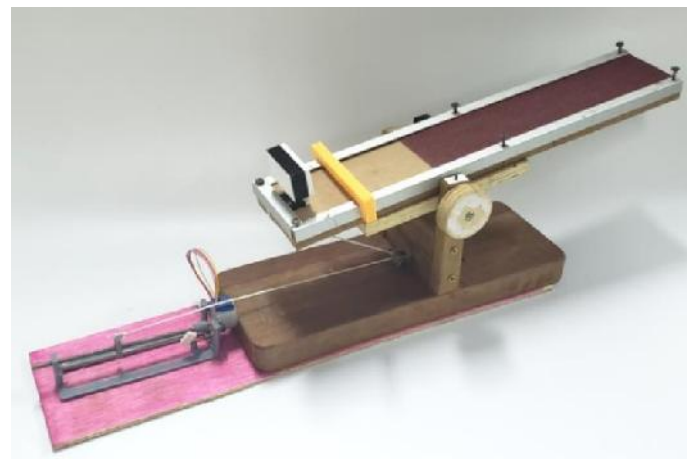


Fig. 2. Bancada projetada

A bancada apresenta 2 sensores e um servo motor para a aquisição de sinais e automatização da inclinação, respectivamente. O sensor localizado na extremidade esquerda da superfície principal, é o Sensor Ultrassônico HC-SR04, semelhante ao da Figura 3, que permite fazer leitura de distância entre 2cm e 4m, com precisão de 3mm que é conectado a placa Arduino.

Na lateral da superfície principal encontra-se o sensor MPU 6050, que em uma mesma placa há um acelerômetro e um giroscópio de alta precisão, semelhante ao da Figura 4, que atrelado a placa Arduino permite fazer leitura das coordenadas X, Y e Z para os dois instrumentos de medição.



Fig. 3. Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fig. 4. Sensor MPU 6050

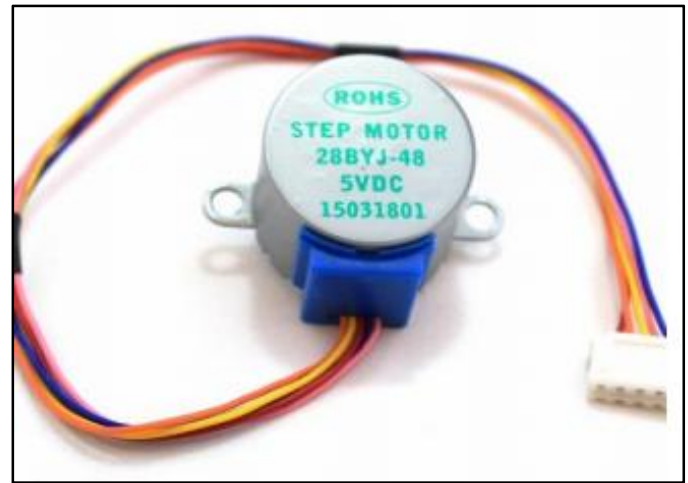


Fig. 6. Motor de passo

Tabela 1. Dimensões e Pesos das amostras padrões

Comprimento (cm)	Peso (g)
8,5	8,17
6,5	6,85
4,5	4,74

Tabela 2. Dimensões e Pesos das amostras padrões

Código da Lixa	Tipo de Granulometria
P220	Fina
P120	Média
P60	Grossa

Tabela 3. Combinação para os testes 1

Massa da Amostra (g)	Lixa na Amostra	Lixa na bancada
8,17	P220	P60
8,17	P220	P60
8,17	P220	P60
8,17	P120	P60
8,17	P120	P60
8,17	P120	P60
8,17	P60	P60
8,17	P60	P60
8,17	P60	P60
6,85	P220	P60
6,85	P220	P60
6,85	P220	P60
6,85	P120	P60
6,85	P120	P60
6,85	P120	P60
6,85	P60	P60
6,85	P60	P60
6,85	P60	P60
6,85	P60	P60
4,74	P220	P60
4,74	P220	P60
4,74	P220	P60
4,74	P120	P60
4,74	P120	P60
4,74	P120	P60
4,74	P60	P60
4,74	P60	P60
4,74	P60	P60
4,74	P60	P60

Localizado na base inferior, encontra-se o motor de passo 28BYJ-48 unipolar acoplado a um eixo rosqueado e neste eixo uma porca que está ligada a superfície principal por uma corda, para manter a estabilidade de todas as partes um suporte foi impresso na impressora 3D com o material PLA (Polylactic Acid), como pode ser observado na Figura 5. O motor de passo tem ângulo do passo de 64 passos/volta e frequência de 100 Hz semelhante ao da Figura 6, que é o responsável pela automação da inclinação da superfície principal a partir da tração da corda fixada sob ela. Esses três componentes foram conectados a placa Arduino onde no código computacional foi feita uma conexão direta com uma planilha no programa Excel, onde todos os dados obtidos foram salvos.

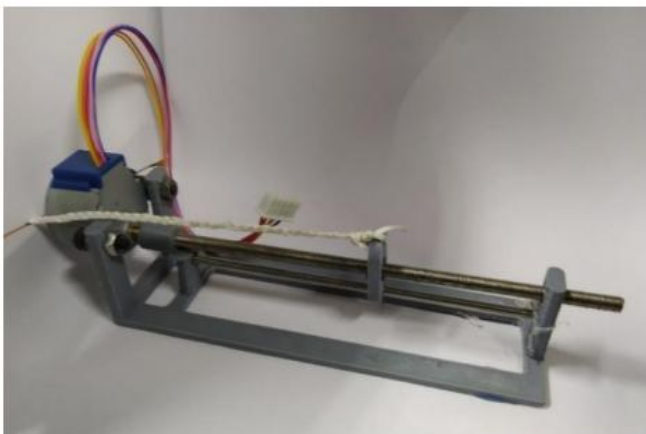


Fig. 5. Vista isométrica do suporte do motor de passo

Com base nos componentes escolhidos um código computacional no Arduino foi desenvolvido para fazer a integração dos sinais recebidos por todos os sensores com uma planilha iterativa no programa Excel, onde os dados são armazenados em tempo real e em paralelo todos os cálculos das constantes de atrito também são realizados pela planilha iterativa. As amostras foram confeccionadas de forma a manter as dimensões de comprimento e pesos. A partir desse entendimento, blocos de madeira foram confeccionados de maneira que lixas com granulometrias diferentes pudessem ser acopladas em todas as amostras, como

pode ser observado na Figura 7. Na Tabela 1 é discriminada as dimensões e pesos das amostras escolhidos para os testes enquanto na Tabela 2 as lixas e suas granulometrias são apresentadas. As lixas foram acopladas tanto na amostra padrão como na bancada de maneira a tentar verificar se a variação da rugosidade iria interferir no calculo do coeficiente de atrito. A sequência e experimentos realizados esta apresentados na tabela 3, 4 e 5.

Tabela 4. Combinação para os testes 2

Massa da Amostra(g)	Lixa na Amostra	Lixa na bancada
8,17	P220	P120
8,17	P220	P120
8,17	P220	P120
8,17	P120	P120
8,17	P120	P120
8,17	P120	P120
8,17	P60	P120
8,17	P60	P120
8,17	P60	P120
6,85	P220	P120
6,85	P220	P120
6,85	P220	P120
6,85	P120	P120
6,85	P120	P120
6,85	P120	P120
6,85	P120	P120
6,85	P60	P120
6,85	P60	P120
4,74	P220	P120
4,74	P220	P120
4,74	P220	P120
4,74	P120	P120
4,74	P120	P120
4,74	P120	P120
4,74	P60	P120
4,74	P60	P120
4,74	P60	P120



Fig. 7. Amostras padrões

RESULTADOS

As figuras 8, 9 e 10 descrevem o comportamento do coeficiente de atrito com o peso da amostra utilizada, na bancada com as lixas média, fina e grossa respectivamente. Na figura 8, observasse como o coeficiente de atrito se mantém inferior na amostra com maior peso, 8.17g, enquanto as demais amostras há flutuações sendo a amostra de 6.85g a que apresenta valores ligeiramente maiores. Na bancada com a lixa fina, Figura 9, é possível observar que o coeficiente de atrito se mantém inferior também na amostra mais pesada, porém, a amostra mais leve, 4.74g, obtém valores maiores em relação a de 6.85g. A bancada com a lixa grossa, Figura 10, os valores são ainda mais irregulares contudo a amostra mais leve ainda apresenta os maiores registros.

Tabela 5. Combinação para os testes 3

Massa da Amostra(g)	Lixa na Amostra	Lixa na bancada
8,17	P220	P220
8,17	P220	P220
8,17	P220	P220
8,17	P120	P220
8,17	P120	P220
8,17	P120	P220
8,17	P60	P220
8,17	P60	P220
8,17	P60	P220
6,85	P220	P220
6,85	P220	P220
6,85	P220	P220
6,85	P120	P220
6,85	P120	P220
6,85	P120	P220
6,85	P60	P220
6,85	P60	P220
6,85	P60	P220
4,74	P220	P220
4,74	P220	P220
4,74	P220	P220
4,74	P120	P220
4,74	P120	P220
4,74	P120	P220
4,74	P60	P220
4,74	P60	P220
4,74	P60	P220

Considerando que as lixas foram reutilizadas durante os testes e que os mesmos tiveram interferências físicas, os valores obtidos ainda se enquadram na literatura.

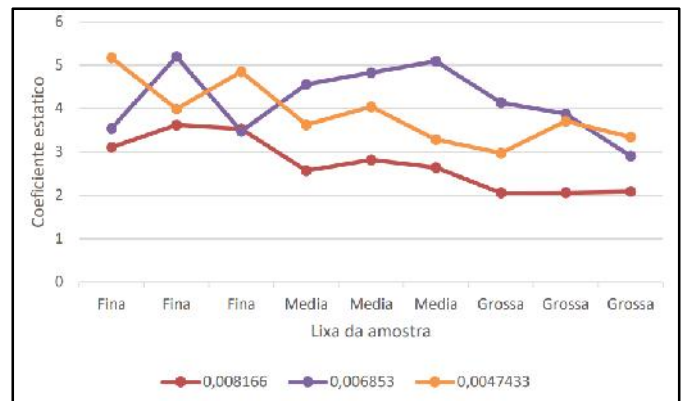


Figura 8. Relação do coeficiente de atrito com o peso na bancada com lixa média

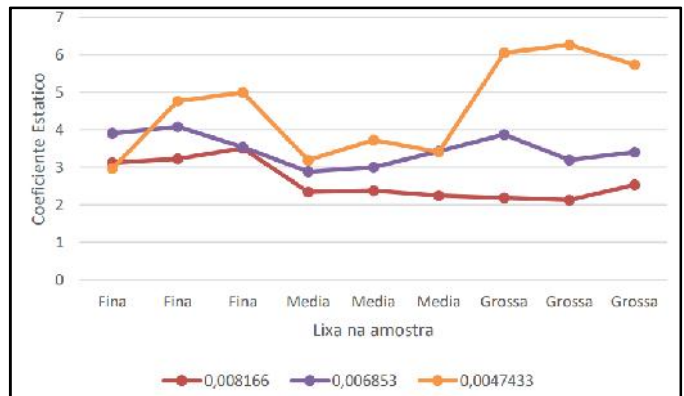


Figura 9. Relação do coeficiente de atrito com o peso na bancada com lixa fina

Após esse estudo foi analisado a relação da velocidade obtida nos ensaios e o coeficiente de atrito gerado, como mostrado nas Figuras 11,12 e 13. Como pode ser visto nas três figuras os valores obtidos em todos os ensaios foram flutuantes em relação ao peso

das amostras e as superfícies as quais estavam sendo testadas. Comparando essas respostas a literatura de Coulomb, onde uma das suas leis descreve que a velocidade do corpo não influencia na força de atrito gerada, os resultados são extremamente satisfatórios.

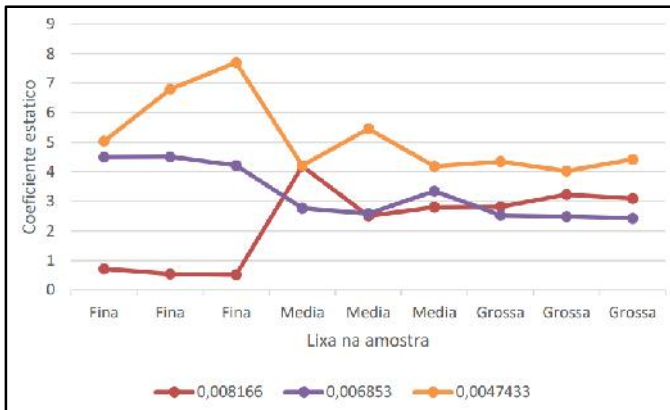


Figura 10. Relação do coeficiente de atrito com o peso na bancada com lixa grossa

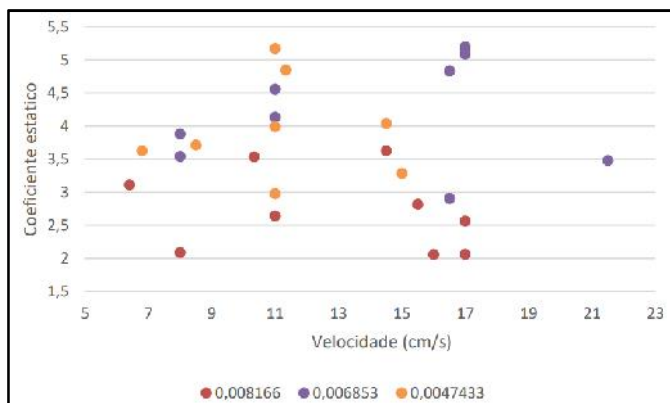


Figura 11. Relação do coeficiente de atrito com a velocidade na bancada com lixa media

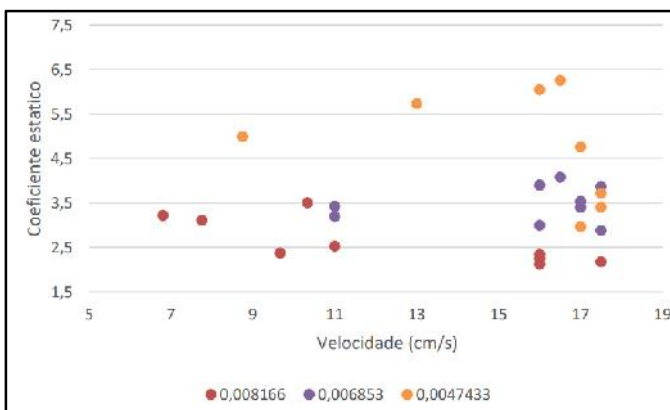


Figura 12. Relação do coeficiente de atrito com a velocidade na bancada com lixa fina

Para finalizar os estudos, foi observado a relação entre o coeficiente de atrito e o trabalho realizado pelo mesmo. Examinando os valores obtidos na Figura 14 é possível verificar que os maiores dados foram para a amostra com maior massa, logo de maior peso, porém nos primeiros valores há a verificação de baixa, sendo uma possível consequência de agentes físicos internos no meio desde testes. Observa-se nas figuras 15 e 16 a mesma analogia das massas com o trabalho gerado, onde a massa maior com os valores de trabalho maior e a massa menor com os menores valores de trabalho realizado.

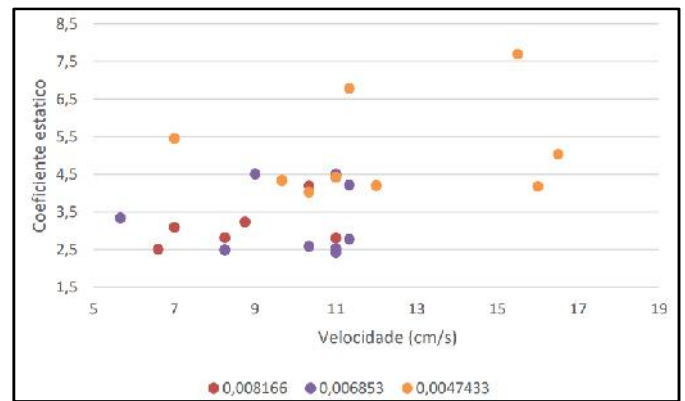


Figura 13. Relação do coeficiente de atrito com a velocidade na bancada com lixa grossa

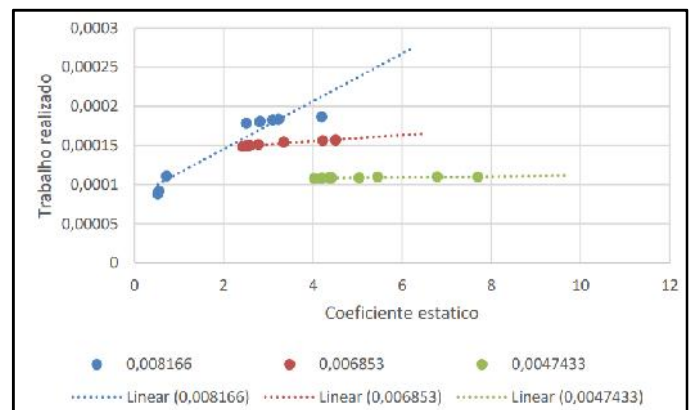


Figura 14. Relação do trabalho realizado pelo atrito com o coeficiente de atrito na bancada com lixa grossa

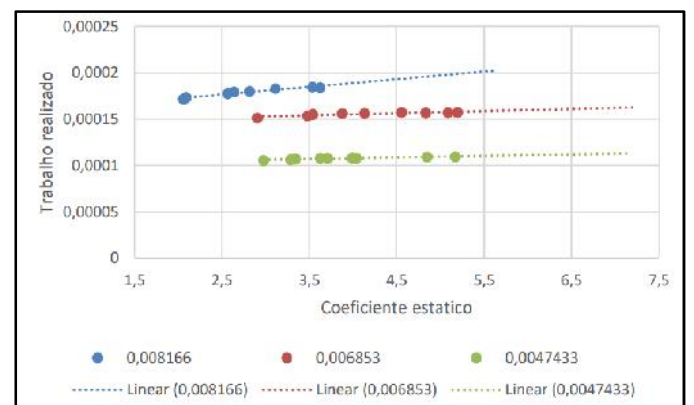


Figura 15. Relação do trabalho realizado pelo atrito com o coeficiente de atrito na bancada com lixa media

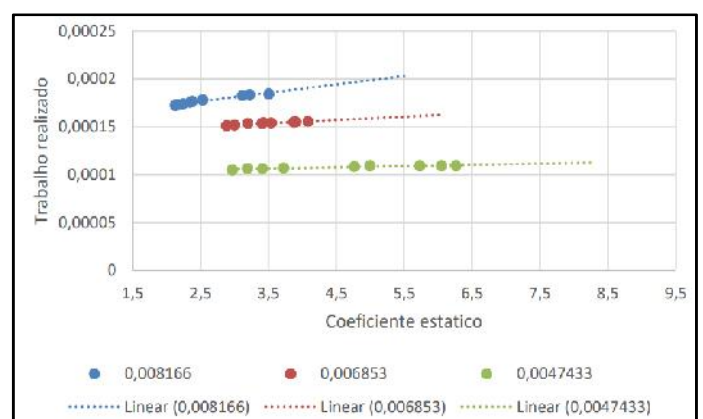


Figura 16. Relação do trabalho realizado pelo atrito com o coeficiente de atrito na bancada com lixa fina

O trabalho realizado por uma força de atrito em plano inclinado pode ser descrito pela equação 6, logo nesse estudo sofre relação direta com a massa da amostra, o coeficiente de atrito e a angulação do plano inclinado. Como explanado no parágrafo anterior o parâmetro que gerou maior contraste foi a massa visto que o coeficiente de atrito em sua maioria se equiparava a coordenada do ângulo, se tornando valor irrisório.

CONCLUSÃO

A estrutura se mostrou coerente com a literatura, pois é possível se compreender a relação da massa com o atrito, porém, é possível observar que os valores de atrito se mostraram um tanto flutuantes e sem relações lineares. Isso se deve principalmente as interferências físicas em que a estrutura estava exposta como a ação de vibrações da superfície onde foi feito os testes, bem como devido aos desgastes do material usado nos ensaios. Seguindo para a análise da velocidade em relação ao coeficiente de atrito, a estrutura se mostrou extremamente eficaz, pois comprovou que não existe nenhuma relação linear entre os dois parâmetros. Assim como foi exposto por Coulomb, os valores de velocidade que foram registrados são totalmente desconexos. Continuando as análises dos dados, se constatou que amostras de menor peso realizaram menos trabalho que as amostras de maior peso. Essas apresentaram os maiores valores e a amostra com massa intermediária ficou também com valores intermediários. Concluindo com as análises da própria estrutura e as expectativas que ela se propusera a ter, sendo a mobilidade, a didática necessária para o bom entendimento de matérias com relações tribológicas e estudos quanto à relação de superfícies, pesos, coeficiente de atrito entre outros. A estrutura foi confeccionada com materiais de fácil acesso e de baixo custo, fazendo com que todos que tiverem o interesse possam reproduzir. Devido a essa escolha de materiais ela apresentou um peso total de 2,2 Kg, tornando sua mobilidade extremamente fácil.

REFERENCES

- Denny, M. (2004). Stick-slip motion: an important example of self-excited oscillation. *European Journal of Physics*, 25(2), 311–322. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/25/2/018>
- Dias, R.A. Atrito em escala manométrica: um estudo por simulação. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, p. 15-19.
- Dransfeld, K., Meyer, E., Overney, R.M. and Gyalog, T. *Nanoscience - Friction and Rheology on the Nanometer Scale*. World Scientific, 1998. <https://doi.org/10.1142/3026>
- Kang, J., Krousgrill, C. M., & Sadeghi, F. (2009). Oscillation pattern of stick-slip vibrations. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 44(7),820–828. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2009.05.002>
- Mossmann, V. L. da F., Catelli, K. B. de M. F., Libardi, H., & Damo, I. S. (2002). Determinação dos Coeficientes de Atrito Estático e Cinético Utilizando-se a Aquisição Automática de Dados. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(2), 146–149. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172002000200010>
- Silveira Júnior, R.N; Tedesco, J.C.G; Queiroz, G.P. A dependência da área real de contato no atrito entre superfícies sólidas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16, 2015, Rio de Janeiro, 2005. Anais. São Paulo: SBF, 2005, p. 1-4.
- Suetti, A. G. L. Estudo do fenômeno stick-slip aplicado às vibrações de freios automotivos. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- Torres, E. A. S. Estudo por dinâmica molecular do atrito em escala atômica. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, p. 6-15.
