

Estudo do Coeficiente de Atrito entre a Borracha e o Asfalto usando Sensores e Placas de Arduino

Alvaro Barbosa de Luna Souza – IFMA/Campus São João dos Patos –
alvaro.s@acad.ifma.edu.br – <https://orcid.org/0009-0003-7464-743X>

Messias de Oliveira Sales – IFMA/Campus São João dos Patos –
messias.sales@ifma.edu.br – <https://orcid.org/0000-0001-5116-0301>

Thiago Reis da Silva – IFMA/Campus São João dos Patos – thiago.reis@ifma.edu.br –
<https://orcid.org/0000-0003-4206-6801>

Franklyn Brito Mourao de Oliveira – IFMA/Campus São João dos Patos –
franklyn.oliveira@ifma.edu.br – <https://orcid.org/0009-0005-5254-5760>

Resumo. *Nesse projeto, tem-se como objetivo principal, desenvolver estratégias de análise do coeficiente de atrito usando um carro-robô e a placa de Arduino com sensores ultrassônicos. Para tanto, nossa metodologia consiste em montar um aparato experimental capaz de medir o tempo de frenagem do robô utilizando uma placa Arduino. Os principais resultados obtidos a partir da pesquisa mostram certa coerência com valores já estabelecidos, quanto ao coeficiente de atrito. Vale ressaltar que a execução do projeto contou apenas com uma medida. Não permitindo melhor precisão dos resultados. Assim, diante da realização experimental destacada na metodologia, o resultado de $\mu_D \cong 0,02 \pm 0,02$, foi encontrado para as superfícies de concreto polido e pneus do carrinho robô. Notou-se certa discrepância de valores estabelecidos para pneus de borracha e asfalto. Considerando, portanto, que, além de termos usado uma superfície de concreto polido, os pneus do carro robô serem de borracha lisa, pode-se afirmar que os resultados dessa pesquisa têm boa coerência científica.*

Palavras-chave: *Coeficiente, Atrito, Sensores, Arduino.*

Study of the Friction Coefficient between Rubber and Asphalt Using Sensors and Arduino Boards

Abstract. *This project aims to develop strategies for analyzing the friction coefficient using a robotic car and an Arduino board equipped with ultrasonic sensors. To achieve this, our methodology involved assembling an experimental apparatus capable of measuring the braking time of the robotic car using an Arduino board. The main results obtained from the research demonstrate a certain coherence with established values for the friction coefficient. It is worth noting that the project execution relied on a single measurement, which limited the precision of the results. Thus, based on the experimental process outlined in the methodology, a result of $\mu_D \cong 0,02 \pm 0,02$ was found for the polished concrete surfaces and the robotic car's tires. A certain discrepancy was observed in comparison to established values for rubber tires on asphalt. Considering that a polished concrete surface was used and the robotic car's tires were made of smooth rubber, it can be concluded that the results of this research exhibit good scientific coherence.*

Keywords: *Coefficient, Friction, Sensors, Arduino.*

1. Introdução

Nesta pesquisa, propomos uma metodologia experimental para medir o coeficiente de atrito utilizando um kit de robótica educacional e uma placa Arduino. Esses dispositivos possuem sensores ultrassônicos que podem acionar diversos comandos, como a frenagem

do robô e o registro do tempo. Ondas ultrassônicas são ondas sonoras com um comprimento de onda menor e, conseqüentemente, uma frequência mais alta (Bôas, Doca e Fogo, 2018). Elas são classificadas como ondas mecânicas, que necessitam de um meio para se propagar. No processo de medição utilizado no estudo, a onda ultrassônica emitida pelos sensores é refletida por um objeto e retornada ao sensor, que processa a informação na placa Arduino e no robô. Um conceito importante da física empregado nesse processo é o efeito Doppler (Bôas, Doca e Fogo, 2018), que permite corrigir os efeitos do movimento relativo entre dois objetos em movimento ou quando apenas um está em movimento.

Nossa abordagem, embora inovadora em termos de objetivo e alguns procedimentos, especialmente no uso da programação em uma placa Arduino para medir o tempo de frenagem do robô, segue linhas de pesquisa já utilizadas no ensino de física. Esse tipo de metodologia tem sido explorado como proposta didática para o primeiro ano do ensino médio (dos Santos e dos Santos, 2018; dos Santos, 2016). O uso da robótica no ensino de física é reconhecido como uma estratégia para diversificar o processo de ensino-aprendizagem, incentivando a experimentação e a resolução de problemas em sala de aula (Valerio Netto, 2018; Cristovão *et. al.*, 2015).

Complementarmente, as medições realizadas no estudo envolveram não apenas o tempo de frenagem, mas também a distância percorrida pelo robô, o que permite uma análise mais detalhada da interação entre o veículo e a superfície. A aplicação da teoria de erros possibilitou um tratamento estatístico dos dados, com o cálculo de desvios e erros percentuais que ajudam a garantir a precisão dos resultados. Além disso, o uso de sensores ultrassônicos e infravermelho ampliaram o escopo de análise, permitindo a captura de dados em tempo real, o que reforça, corroborando com Chitolina e Santos (2024) a importância de tecnologias educacionais como a robótica no ensino de conceitos físicos.

Sendo assim, o presente estudo combina aspectos práticos e teóricos para oferecer aos estudantes uma oportunidade de explorar conceitos de física de forma aplicada. A robótica educacional, neste contexto, através das placas de Arduino e dos sensores promove o aprendizado ativo, aproximando os estudantes das ciências exatas de maneira lúdica, ao mesmo tempo em que integra a programação e a eletrônica em uma abordagem multidisciplinar, conforme destacado nos estudos de Fernandes, Hartmann e Dorneles (2014) e Moreira *et. al.*, (2018).

Portanto, o restante deste artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 discute sobre a fundamentação teórica. Em seguida, a Seção 3 apresenta a metodologia utilizada no estudo. A Seção 4 apresenta os procedimentos para a realização dos experimentos. Os principais resultados são discutidos em mais detalhes na Seção 5. Por fim, na Seção 6 são apresentadas as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

A robótica educacional tem se consolidado como uma ferramenta para o ensino de ciências e tecnologia, principalmente no que diz respeito à programação e ao desenvolvimento de habilidades cognitivas. Para Chitolina e Santos (2024), o uso de kits de robótica, como o Arduino em sala de aula proporciona uma abordagem prática e interativa, permitindo que os alunos explorem conceitos teóricos por meio da experimentação.

O ensino de física, em particular, pode ser beneficiado pelo uso da robótica em consonância com as placas de Arduino, já que essa tecnologia possibilita a aplicação de conceitos abstratos em situações concretas. Cavalcante, Tavolaro e Molisani (2011)

destaca que a utilização de sensores, como os presentes nas placas Arduino, contribui para uma melhor compreensão de temas como movimento, velocidade e atrito, tornando as aulas dinâmicas. Além disso, a robótica oferece um ambiente propício ao desenvolvimento de habilidades como resolução de problemas e pensamento crítico.

Além da robótica, a Teoria de Erros desempenha um papel na análise de experimentos que envolvem medidas físicas. A aplicação dessa teoria permite que os estudantes entendam a importância da precisão e da confiabilidade dos resultados obtidos em experimentos práticos (Pereira e Silva, 2021). A análise dos desvios e erros percentuais, como descrita no experimento de frenagem do robô, é importante para garantir a consistência dos dados e validar as conclusões.

Por fim, o uso de sensores ultrassônicos e infravermelho e outros dispositivos em plataformas de prototipagem, como o Arduino, facilita o ensino de conceitos de física, permitindo que os alunos visualizem na prática o comportamento de forças como o atrito e a aceleração, ao mesmo tempo em que integram conhecimentos de programação e eletrônica, criando uma experiência educacional multidisciplinar.

3. Metodologia

A metodologia adotada neste estudo foi de caráter experimental, com o objetivo de medir o coeficiente de atrito entre pneus de borracha e uma superfície de concreto polido utilizando um robô equipado com sensores ultrassônicos e infravermelho e controlado por uma placa Arduino. Para os experimentos, foi construído um robô com chassi de MDF cortado a laser, equipado com um sistema de tração nas rodas dianteiras e sensores para medir o número de rotações das rodas durante o deslocamento.

O robô foi programado para percorrer uma distância específica, sendo que a distância adicional percorrida após a frenagem foi usada para determinar o grau de derrapagem. As medidas de tempo de frenagem e distância de derrapagem foram repetidas sete vezes, e os dados foram tratados por meio da Teoria de Erros, permitindo calcular as médias, os desvios e os erros percentuais associados. As equações utilizadas foram baseadas na equação horária da velocidade e na segunda lei de Newton, possibilitando a determinação do coeficiente de atrito dinâmico.

Os dados coletados foram armazenados no monitor serial da placa Arduino, e os resultados obtidos foram comparados com a literatura acadêmica. A análise dos dados mostrou coerência com valores previamente estabelecidos para o coeficiente de atrito, embora a superfície utilizada (concreto polido) e as características dos pneus (borracha lisa) tenham gerado discrepâncias em relação a estudos que utilizaram superfícies asfálticas.

4. Procedimentos para Realização do Estudo

A seguir, são descritos os procedimentos experimentais na subseção 4.1 e os procedimentos analíticos na subseção 4.2.

4.1. Procedimentos Experimentais

Para a realização deste experimento, foi construído um robô com dimensões de 20 cm x 14 cm, utilizando um chassi de MDF cortado a laser, projetado especificamente para este estudo, conforme ilustrado na Figura 1(a).

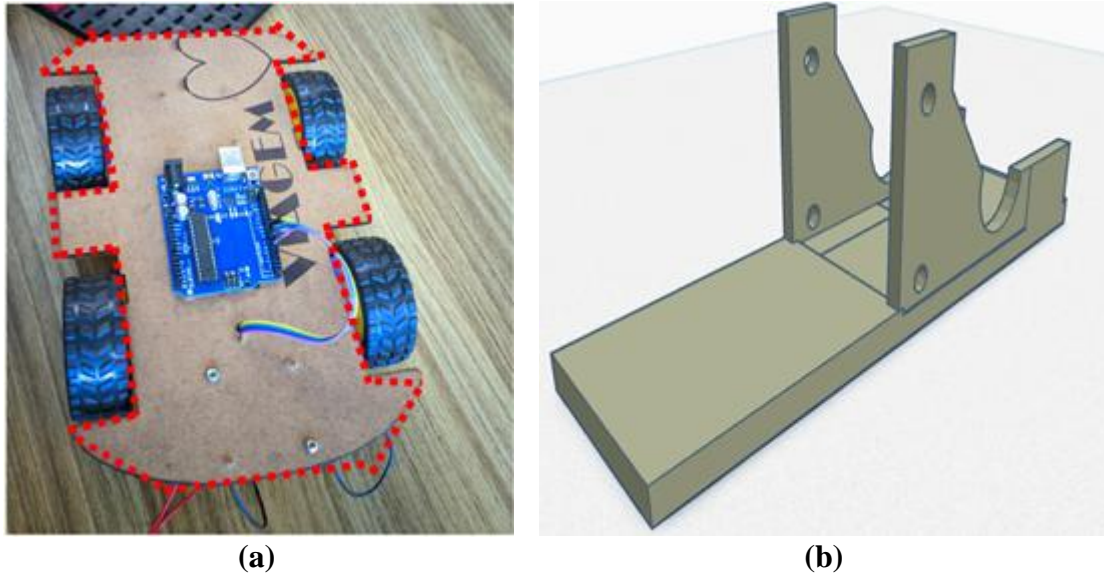


Figura 1: Visualização do chassi do robô desenvolvido (a) e a caixa de redução do chassi (b). Fonte: Elaboro pelos autores (2024).

No chassi, foram fixados quatro suportes com parafusos de caixa de redução, conforme mostrado na Figura 1(b). Em cada suporte, foram instaladas uma caixa de transmissão e uma roda de 65 mm de diâmetro (Figura 2a), sendo que o robô foi projetado para ter tração apenas nas rodas dianteiras, em conformidade com a estética de veículos convencionais. Para isso, foram adicionados dois motores de corrente contínua de 5V nas caixas de redução localizadas na parte dianteira do robô, conforme apresentado na Figura 2(b).

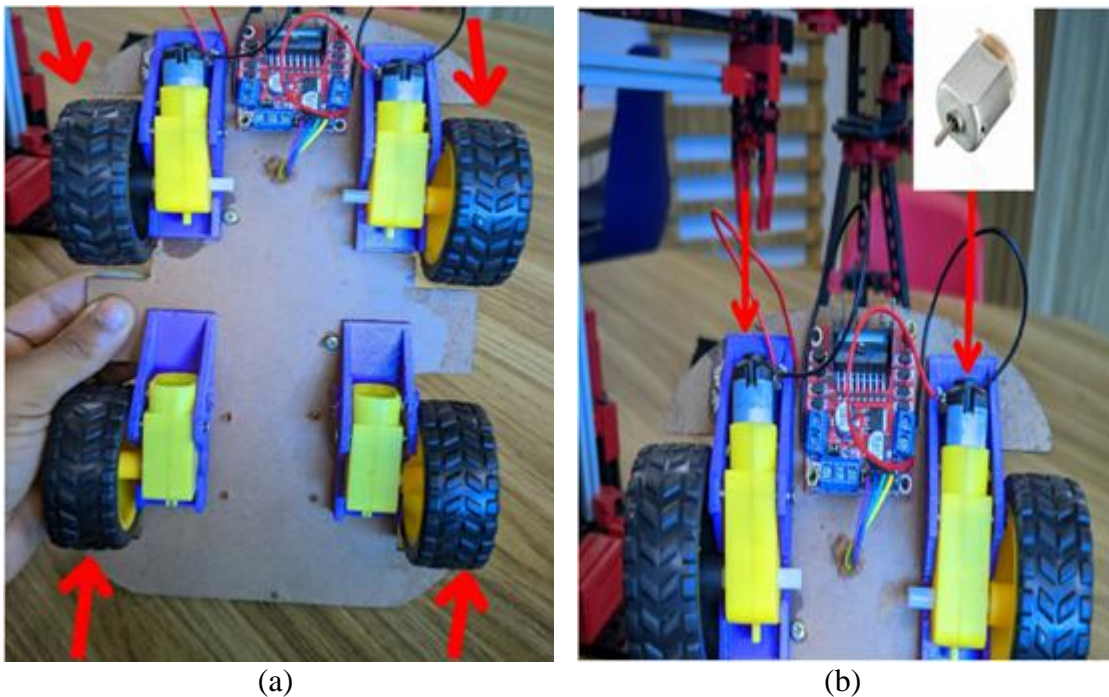


Figura 2: Visualização da fixação das caixas de redução e das rodas (a) e (b) adicionado um motor de corrente contínua de 5V. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na sequência, foi acoplado ao chassi um módulo ponte H, utilizado para o controle dos motores, como ilustrado na Figura 3(a). Além disso, uma placa controladora Arduino Uno R3 foi incorporada, conforme apresentado na Figura 3(b).

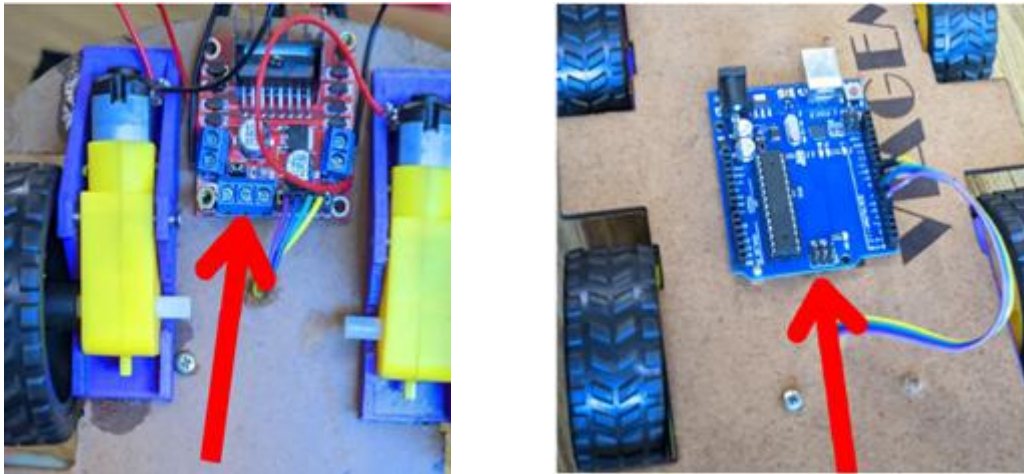


Figura 3: (a) Chassi um módulo ponte H e (b) Arduino uno R3. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Adicionalmente, um sensor reflexivo infravermelho foi fixado em paralelo ao eixo da caixa de transmissão esquerda do robô (ver Figura 4). Uma fita branca foi colocada no eixo para refletir a luz infravermelha e acionar o sensor a cada rotação do eixo.



Figura 4: Esquema de funcionamento do sensor infravermelho. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Por meio do número de rotações registradas e de um código programado na placa Arduino, foi possível calcular a Rotação por Minuto (RPM). Com essa informação, as medidas do diâmetro da roda foram utilizadas para estimar quantas voltas a roda deveria dar para percorrer uma determinada distância.

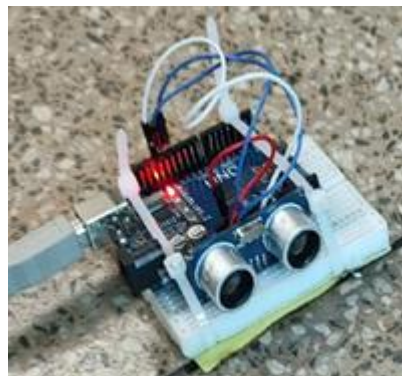


Figura 5: Dispositivo temporizador. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Além disso, foi construído um medidor temporizador, ilustrado na Figura 5, que é ativado quando o robô se move em direção a ele, em uma distância inferior a 20 cm, e que para de contabilizar o tempo quando o robô deixa de se mover. Os dados foram armazenados no monitor serial do Arduino, como destacado na Figura 6.

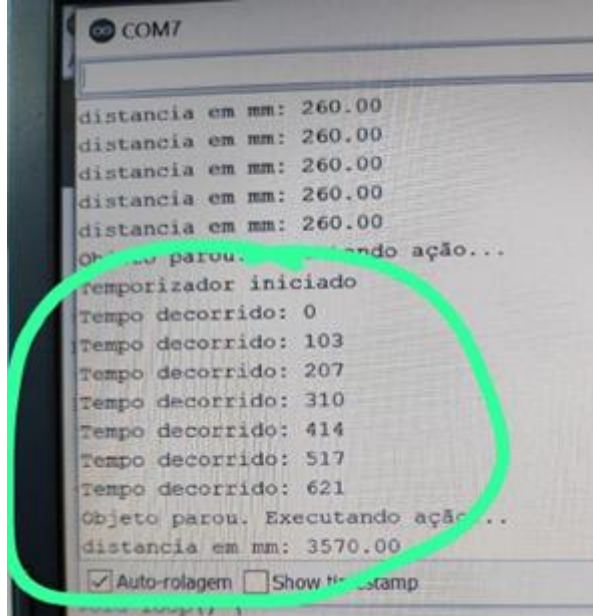


Figura 6: Monitor serial exibindo um dos testes, obtido pelo sensor. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A experiência foi repetida sete vezes, possibilitando a coleta de dados para o tempo (T) de derrapagem das rodas e para a distância (ΔD) de derrapagem. Esses resultados foram tratados através da Teoria de Erros, ou seja, foram obtidas as médias de T e ΔD , os respectivos desvios médios ($DesvT = |T_{med} - T_i|$ e $Desv\Delta D = |\Delta D_{med} - \Delta D_i|$) e por fim os erros percentuais associados às medidas, sendo utilizadas as equações:

$$T_{med} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 T_i, \quad \Delta D_{med} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \Delta D_i, \quad (01)$$

tanto para as medidas, como para seus desvios ($DesvT_{med}$ e $Desv\Delta D_{med}$). O erro percentual associado às medidas será encontrado pelas equações:

$$erroPerc T = \frac{DesvT_{med}}{T_{med}} 100\%, \quad erroPerc \Delta D = \frac{Desv\Delta D_{med}}{\Delta D_{med}} 100\%. \quad (02)$$

A aplicação da teoria de erros permitiu compreender a precisão das medidas e estimar um nível de confiança nos dados, viabilizando discussões fundamentadas em relação às informações disponíveis na literatura acadêmica sobre a temática abordada.

4.1.2. Procedimentos Analíticos

Com base no procedimento de medição previamente descrito, serão avaliadas as variáveis de tempo de frenagem e a distância percorrida durante esse intervalo. É importante destacar que as medições foram realizadas comparando a interação entre borracha e piso de concreto polido.

$T(s)$	0,621	0,203	0,603	1,000	1,000	0,100	0,200
$\Delta D(m) \cdot 10^{-2}$	1,1	6,2	5,2	5,9	2,1	4,9	1,8

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, é possível calcular os valores médios de tempo e distância de derrapagem, conforme as equações apresentadas na equação (1). As médias podem ser observadas na primeira e quarta colunas, respectivamente, da Tabela 2, enquanto os desvios e erros percentuais são mostrados na segunda, terceira, quinta e sexta colunas da mesma tabela. Os erros percentuais foram calculados com base nas equações da equação (02).

Tabela 2: Média, desvio médio e erro percentual do tempo de derrapagem (T) e da distância de derrapagem (ΔD).

$T_{med}(s)$	$DesvT_{med}(s)$	$erroPerc T$	$\Delta D_{med}(m)$	$Desv\Delta D_{med}(m)$	$erroPerc \Delta D$
0,532	0,313	58,83%	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	48,72%

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os resultados apresentados na Tabela 2, possibilitam encontrar o tempo de derrapagem ($T = T_{med} \pm DesvT_{med}$) e a distância de derrapagem ($\Delta D = \Delta D_{med} \pm Desv\Delta D_{med}$) com seus respectivos desvios:

$$T = 0,532 \pm 0,313 \text{ e } \Delta D = 3,9 \pm 1,9. \quad (05)$$

Os resultados da equação (05) permitem determinar o coeficiente de atrito entre os pneus do robô e o piso de concreto polido. Para isso, é necessário utilizar a equação (04) e o valor da gravidade, $g = 9,82 \text{ m/s}^2$. Com base na teoria de erros e nos desvios obtidos, é possível calcular o coeficiente de atrito dinâmico e seu erro associado, no valor de:

$$\mu_D \cong 0,02 \pm 0,02 \quad (06)$$

Em uma análise preliminar do resultado apresentado pela equação (06), observa-se que o valor do coeficiente de atrito se encontra dentro dos padrões esperados, pois está entre 0 e 1. No entanto, é fundamental refletir sobre a precisão desse resultado. A *velocidade inicial do robô antes da frenagem pode, de fato, impactar o valor do coeficiente de atrito*. Segundo Nippo Sangyo Co., Ltd. (2016), as medições do coeficiente de atrito entre superfícies de borracha e pisos asfálticos podem ser influenciadas pela velocidade do objeto em movimento, conforme ilustrado na Figura 8.

Os dados destacados na Figura 8 indicam que o coeficiente de atrito em velocidades variando entre 10 e 50 km/h apresenta variações em torno de 0,40. Entre 50 e 85 km/h, o coeficiente se mantém aparentemente constante em 0,40, com uma diminuição abrupta observada entre 85 e 90 km/h. O resultado de $\mu_D \cong 0,02 \pm 0,02$, obtido a partir da metodologia e dos procedimentos experimentais, não se alinha bem com os resultados mostrados na Figura 8 para velocidades entre 10 e 85 km/h. Entretanto, o estudo foi desenvolvido para baixas velocidades, visto que o motor elétrico possui baixa potência e, conseqüentemente, baixa capacidade de aceleração. Apesar da baixa precisão dos resultados, é importante destacar que estes não estão totalmente inválidos.

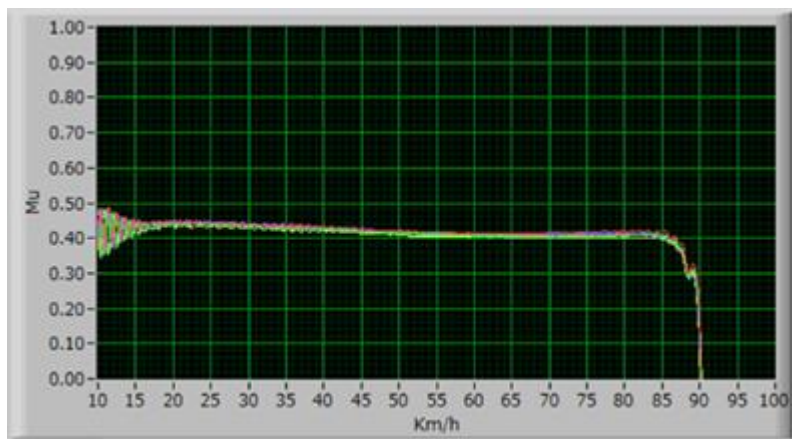


Figura 08: μ vs a velocidade com superfícies de borracha em pisos asfálticos. Fonte: Nippo Sangyo Co., Ltd, 2016.

Além disso, o piso de concreto polido pode apresentar menor aderência em comparação ao asfalto utilizado na Figura 12, uma vez que esse tipo de superfície contém diversos materiais, inclusive compostos à base de petróleo. Esses componentes podem aumentar a fricção entre o asfalto e os pneus. A pesquisa realizada por Da Silva *et al.* (2012) corrobora essa possibilidade, utilizando um plano inclinado com calçadas e blocos de diversos materiais, incluindo borracha. Os resultados dessa pesquisa indicaram que a presença de granulados de borracha na superfície da calçada aumentou consideravelmente o coeficiente de atrito em mais de 0,20 (Da Silva *et al.*, 2012). Portanto, considerando que utilizamos uma superfície de concreto polido e que os pneus do robô são feitos de borracha lisa, é possível afirmar que os resultados obtidos nesta pesquisa têm respaldo científico.

6. Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

Os principais resultados obtidos a partir da pesquisa mostram coerência com os valores já estabelecidos em relação ao coeficiente de atrito. Vale ressaltar que a execução do estudo contou apenas com uma medida, o que não permitiu uma melhor precisão dos resultados. Nosso aparato experimental foi totalmente montado com o objetivo de realizar as medidas pretendidas, desde o robô (Figura 2) até os códigos numéricos. Assim, em decorrência da realização experimental destacada na metodologia, o resultado de $\mu_D \cong 0,02 \pm 0,02$, foi encontrado para as superfícies de concreto polido e os pneus do carrinho robô. Ao confrontar os resultados encontrados aqui com a literatura acadêmica (da Silva *et al.*, 2012; Nippo Sangyo Co., LTD, 2016), notou-se certa discrepância em relação aos valores estabelecidos para pneus de borracha e asfalto. Considerando que, além de termos utilizado uma superfície de concreto polido, os pneus do carro robô são de borracha lisa, pode-se afirmar que os resultados desta pesquisa apresentam boa coerência científica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFMA, por meio do Edital PRPGI nº 25/2023 – PIBIC Ensino Médio 2023/2024, pela bolsa de pesquisa concedida ao primeiro autor, à FAPEMA, através do Edital nº 17/2022 – Ecossistemas de Inovação, pelo suporte financeiro para a compra dos kits de robótica, e ao campus São João dos Patos pela infraestrutura oferecida.

Referências

Bôas, N. V.; Doca, R. H.; Fogo, R. **Tópicos de Física 2: Conecte Live**, 3. ed. - São Paulo: Saraiva, 2018.

Cristovão, A. M. et al. **Desafiando Concepções Alternativas com Kit Lego: Releitura do experimento de lançamento vertical em movimento com o uso de um Kit LEGO.** In: Anais do Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação. p 12. 2015.

Da Silva, S. L. **Avaliação do coeficiente de atrito de calçada com adição de grãos de borracha de pneus no concreto.** In: Revista Exatas Online. V 3, N 2, p 40-20, 2012.

Dos Santos, T. F. M. e dos Santos, P. J. S. **Relato e análise de uma sequência didática sobre forças de atrito com uso de kits de robótica educacional no primeiro ano do ensino médio.** In: Revista Novas Tecnologias na Educação, v.16, n.2, p 71-80, 2018.

dos SANTOS, T. F. M. **A Robótica Educacional Como Ferramenta Na Discussão De Conceitos Relacionados Às Forças De Atrito.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 112p: UFSC - Florianópolis, 2016.

Dos Santos, Toni Fernando Mendes. **A Robótica Educacional como Ferramenta na Discussão de Conceitos Relacionados às Forças de Atrito.** 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 112p.

PLANETCALC. Cálculos online. PlanetCalc, 20 de Outubro de 2024. Disponível em: <https://pt.planetcalc.com/1758/>. Acesso em: 20 out. 2024.

Nippo Sangyo Co., Ltd. **Product Guide – Dynamic Friction Tester.** Tokyo, 2016. Acesso 29 de agosto de 2024. Disponível em WWW: <URL: <http://www.nippou.com/en/products/dft.html>>

Chitolina, D.; Santos, P. J. S. **Impacto do uso do Arduino sobre a motivação estudantil: Resultados de uma intervenção didático-pedagógica no ensino da Física.** In: Revista Novas Tecnologias na Educação, 2024.

Fernandes, M. B.; Hartmann, Â. M.; Dorneles, P. F. T. **A Física no Ensino Médio Integrado: Uma Sequência Didática Sobre Eletricidade com Aplicação do Arduino.** In: Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada, 1(2), 2014.

Moreira, M. P. C.; Romeu, M. C.; Alves, F. R. V.; da Silva, F. R. O. **Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino.** In: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 35(3), 721-745, 2018.

Cavalcante, M. A.; Tavolaro, C. R. C.; Molisani, E. **Física com Arduino para iniciantes.** In: Revista Brasileira de Ensino de Física, 33, 4503-4503, 2011.

Pereira, P. D. M.; da Silva, M. S. **Construção de um kit experimental com Arduino para ensino de oscilações em tempo real.** In: Revista Brasileira de Ensino de Física, 43, 2021.

Valerio Netto, A. **Desenvolvimento de plataforma robótica móvel para a área de educação técnica.** In: Revista de Sistemas e Computação. V 8, N 1, p 92-113, 2018.