

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

Alvaro Barbosa de Luna Souza¹; Franklyn Brito Mourao de Oliveira²; Thiago Reis da Silva³; Messias de Oliveira Sales⁴

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 $\mu_D \cong 0,0058$, 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 tem boa coerência científica.

Palavras Chaves: Robô; Coeficiente de Atrito; Borracha.

FINANCIAMENTO

Este projeto tem como agência de fomento o CNPq, fazendo o pagamento de 12 (doze) bolsas de R\$ 300,00.

1 - INTRODUÇÃO

Nesse projeto, temos como proposta montar uma metodologia experimental capaz de aferir o coeficiente de atrito usando um kit de robótica educacional e uma placa de arduino. Deve-se salientar que esses dois artefatos carregam em sua bagagem ferramental sensores ultrassônicos capazes de ativar vários comandos, por exemplo, a frenagem do

¹ Ensino Médio Técnico, Técnico em Redes de Computadores, Instituto Federal do Maranhão - Campus São João dos Patos,

² Técnico de Laboratório de Informática - Instituto Federal do Maranhão - Campus São João dos Pato

³ Professor EBTT - Instituto Federal do Maranhão - Campus São João dos Pato

⁴ Professor EBTT - Instituto Federal do Maranhão - Campus São João dos Pato - messias.sales@ifma.edu.br

robô e o registro do tempo. É bom lembrar que ondas ultrassônicas são um tipo de ondas sonoras de menor comprimento de onda e por conseguinte maior frequência (BÔAS *et. al.*, 2018). Esse tipo de onda é classificada como onda mecânica, um tipo de onda que precisa de um meio para se propagar. Além disso, no processo de medida que utilizaremos neste projeto, deve-se entender que a onda ultrassônica enviada pelos sensores deve refletir em um objeto e voltar para o sensor, que transforma a detecção da onda refletida em informação a ser processada tanto na placa de arduino, como no robô. Nesse processo, está em uso um importante conceito da física, o efeito Doppler (BÔAS *et. al.*, 2018). Esse efeito permite corrigir os efeitos do movimento relativo entre dois objetos em movimento ou quando apenas um está em movimento.

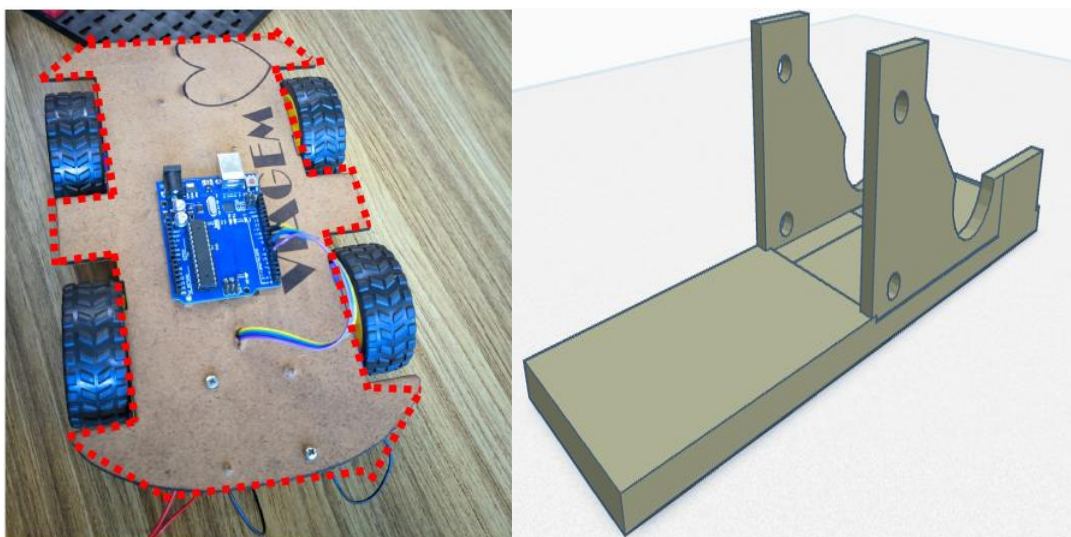
Nossa abordagem, apesar de inovar em seu objetivo e em parte dos procedimentos, por querer implantar a programação em uma placa de arduino com a tarefa de medir o tempo de frenagem do robô. Tem sido estudada como proposta didática no ensino de física, mais especificamente para o primeiro ano do ensino médio (dos SANTOS e dos SANTOS, 2018; dos SANTOS, 2016). Além disso, o uso da robótica para o ensino de física tem se mostrado uma metodologia promissora para diversificar o processo de ensino e aprendizagem (NETTO, 2018; CRISTOVÃO *et. al.*, 2015).

2 - METODOLOGIA

Procedimentos Experimentais

Foi elaborado um robô com as dimensões de 20 cm x 14 cm, usando um chassi de MDF cortado à laser sob medida para o projeto (ver figura 01).

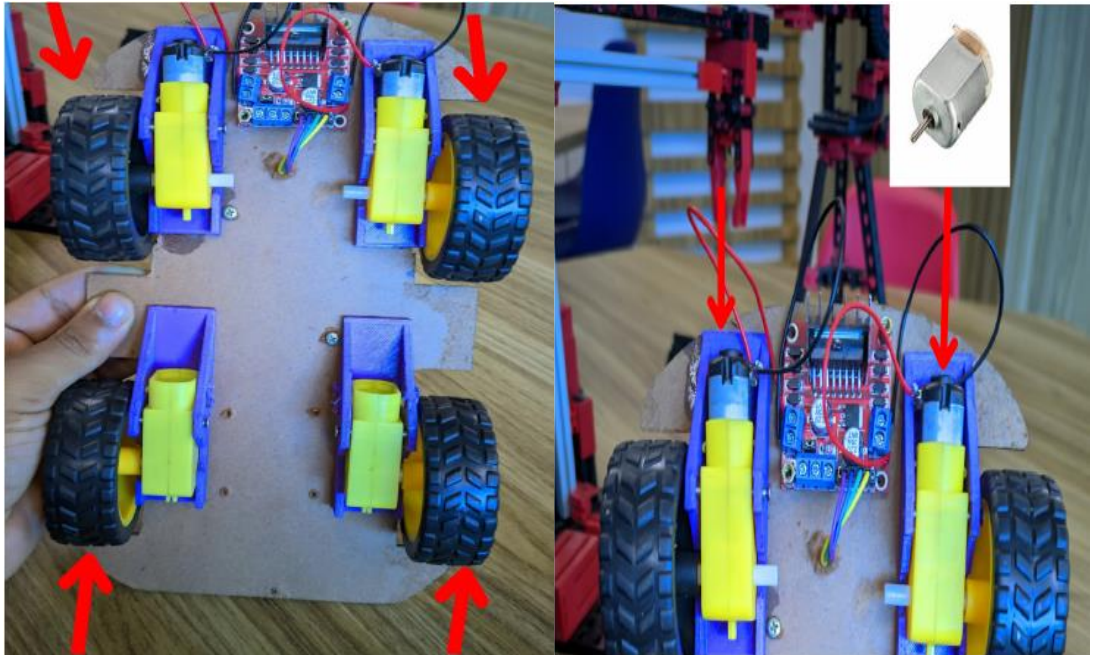
Figura 01: Visualização do chassi do robô.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Nesse chassi, foram fixados 4 suportes com parafusos de caixa de redução (ver a figura 01). Criados especificamente para o projeto. Então, foram parafusadas em cada suporte, 1 caixa de transmissão e 1 roda de 65 mm (ver figura 02) de diâmetro em cada caixa de redução.

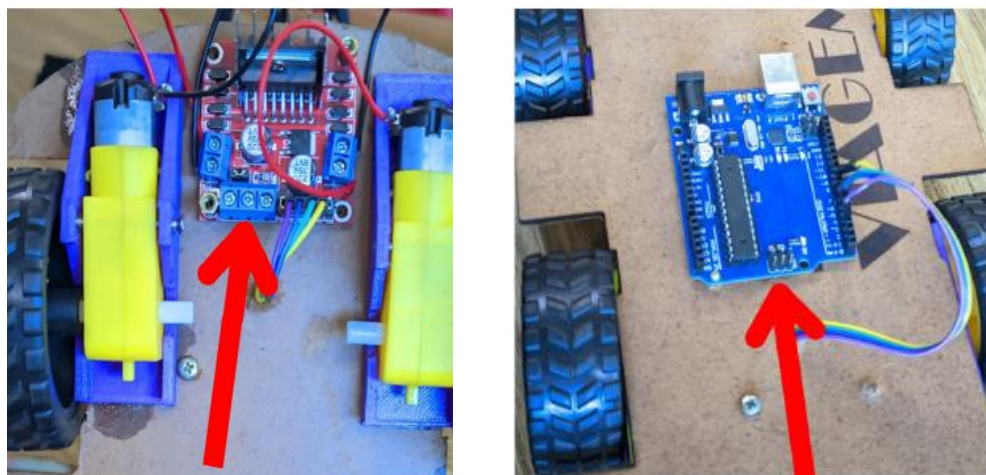
Figura 02: visualização da fixação das caixas de redução e das rodas.



Fonte: Autoria própria, 2024

Para ter aspectos semelhantes aos carros convencionais, foi decidido que o robô teria tração apenas nas rodas dianteiras, então foi adicionado um motor de corrente contínua de 5V nas duas caixas de redução da parte dianteira do robô (ver a figura 02). Na sequência, foi fixado ao chassi um módulo ponte H para fazer o controle dos motores (ver a figura 03).

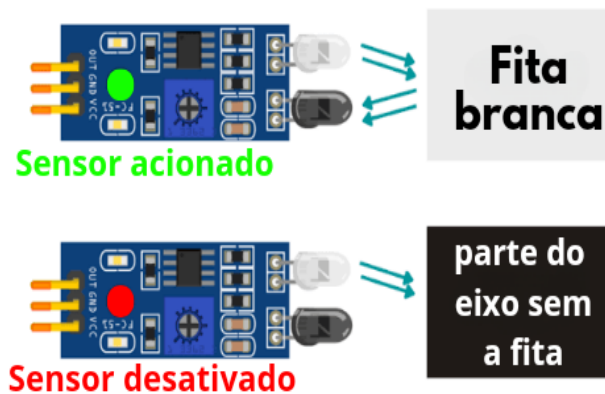
Figura 03: visualização do módulo ponte H.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Além disso, foi adicionado uma placa controladora por arduino uno R3 (ver figura 03). Logo após, foi colocado um sensor de reflexivo de infravermelho em paralelo ao eixo da caixa de transmissão esquerda do carro (ver a figura 04). Onde também foi colocada uma fita branca no eixo com a funcionalidade de refletir a luz infra vermelho e acionar o sensor a cada vez que o eixo realizava uma rotação.

Figura 04: visualização do esquema de funcionamento do sensor infravermelho.

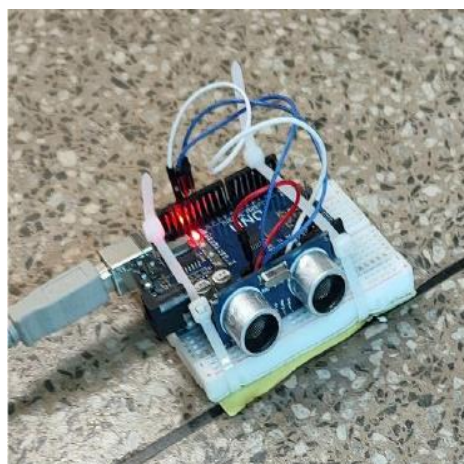


Fonte: Autoria própria, 2024

Através do número de rotações e um código programado na placa de arduino, foi possível obter o número de RPMs. A partir dessa informação, juntou-se às medidas da roda do carrinho (diâmetro), para então estimar quantas voltas a roda deveria dar para percorrer certa distância.

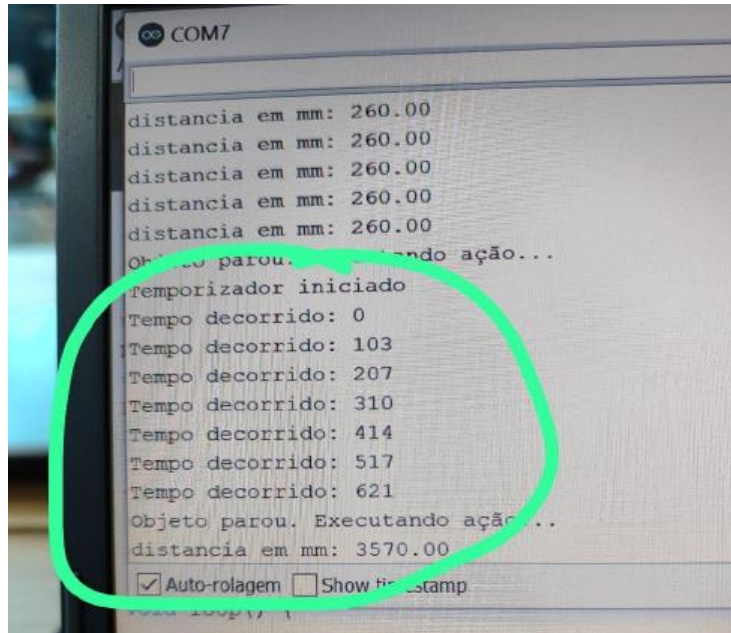
Para realização do experimento, foi construído um medidor temporizador (ver figura 05) que liga quando o carro está se movendo em direção a ele. Sendo ativado numa distância menor que 20 cm e para de contabilizar o tempo quando o carro deixa de se mover. Os dados são armazenados no monitor serial do arduino (ver figura 06).

Figura 05: Visualização do dispositivo temporizador.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 06: Monitor serial exibindo os dados obtidos pelo sensor.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Procedimentos Analíticos

Com base no processo de medida descrito anteriormente, as medidas do tempo de frenagem T e a distância percorrida durante esse tempo serão medidos. Vale salientar que nossas medidas foram feitas para: Borracha versus piso de concreto polido.

Analiticamente, utilizando a equação horária da velocidade ($v = v_i + a \cdot t$) e levando em conta que o robô tenha velocidade final nula, após percorrer a distância ΔD em um tempo T , tem-se após alguns ajustes:

$$v_i = -a \cdot T. \quad (01)$$

Agora, utilizando a equação horária do espaço ($S = S_i + v_i t + (a/2) t^2$) e a equação (01), é possível obter a seguinte equação:

$$a = -2\Delta D / T^2, \quad (02)$$

na equação acima, é importante ter em mente que foi utilizado $\Delta D = S - S_i$ e realizado o processo de ajuste para isolar a aceleração a .

Por fim, usamos esse resultado (equação 02) na segunda lei de Newton, onde é preciso usar também a força de atrito ($f_{at} = \mu_D \cdot m \cdot g$). Esse processo matemático se segue abaixo:

$$F_R = m \cdot a \rightarrow -f_{at} = m \cdot a \rightarrow -\mu_D \cdot m \cdot g = m(-2\Delta D/T^2)$$

ou

$$\mu_D = 2\Delta D/g \cdot T^2 \quad (03)$$

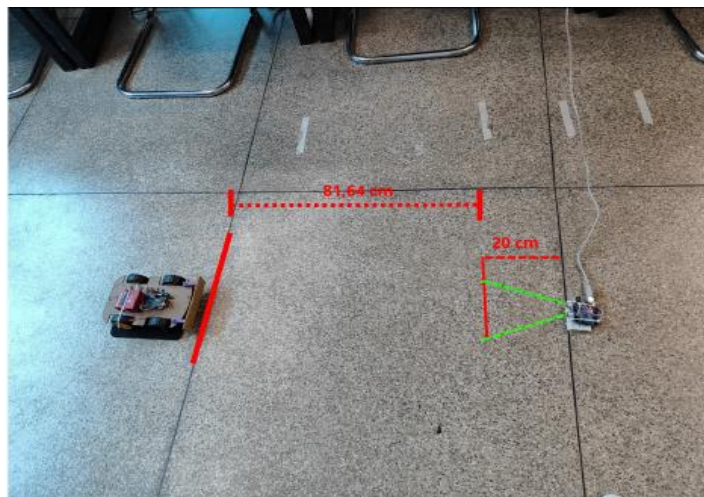
A equação (03) nos permitirá descobrir o coeficiente de atrito entre o conjunto de superfícies supracitado anteriormente. Para tanto, será adotado a aceleração da gravidade dada por $g = 9,86 \text{ m/s}^2$ (aceleração da gravidade padrão para o nível do Mar).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realização do experimento

Usando como superfície um piso de concreto polido, planejou-se usar o sensor ultrassônico para medir por quanto tempo o robô permanece em movimento após acionar os freios. Vale salientar que o local de acionamento dos freios foi programado a partir do contador de RPM. Em outras palavras, o local de parada do carro pôde ser definido com precisão, utilizando-se o número de voltas da roda do robô e a partir da circunferência da roda (aproximadamente 20,41 cm). Desta forma, estimou-se onde o robô pararia a partir do ponto de partida. No processo de medição, o robô foi programado para dar 4 voltas, dessa forma ele deve percorrer aproximadamente 81,64 cm de distância (ver figura 7).

Figura 07: Esquema do experimento.

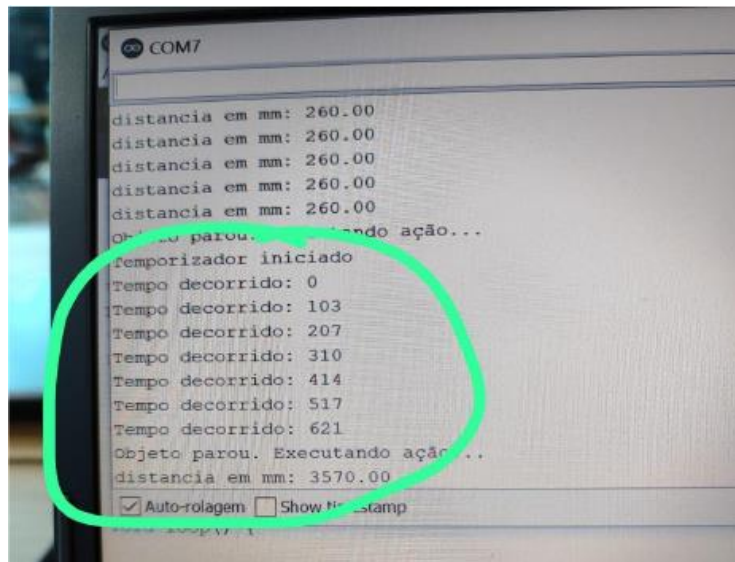


Fonte: Autoria própria, 2024

Assim, qualquer distância a mais percorrida pelo robô, significa que o mesmo derrapou ou sofreu atrito dinâmico. Acionando-se assim o sensor de medição temporal, localizado à frente do robô. Os resultados mostraram que o robô derrapou por 0,621

segundos ($T = 0,621\text{ s}$) após acionar os freios (ver a figura 8). Após acionar os freios, o carro robô derrapou por uma distância de $\Delta D = 1,1\text{ cm}$ ou $\Delta D = 0,011\text{ m}$.

Figura 08: registro do tempo no monitor serial.



Fonte: Autoria própria, 2024

Os resultados acima nos permitem encontrar o coeficiente de atrito entre os pneus do carro robô e o piso de concreto polido, para tanto, é necessário usar a equação 03 e também o valor da gravidade $g = 9,81\text{ m/s}^2$. Dessa forma, encontramos,

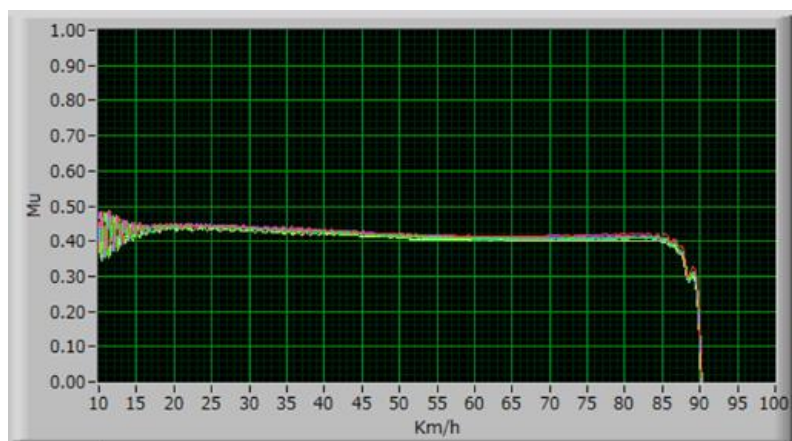
$$\mu_D \cong 0,0058. \quad (04)$$

Em uma análise prévia do resultado apontado pela equação (04), é fácil perceber que o resultado está dentro dos padrões para o coeficiente de atrito. Pois o resultado está entre 0 e 1. Porém, agora é necessário refletir sobre a precisão desse resultado. Para tanto, vamos fazer a seguinte reflexão: a velocidade inicial do carro robô antes da frenagem pode impactar o valor do atrito? Segundo Nippo Sangyo CO., Ltd. (2016), medidas do coeficiente de atrito entre superfícies de borracha e pisos asfálticos podem ser influenciadas pela velocidade do objeto deslizando, como podemos perceber na Figura 12

Os resultados destacados na Figura 12, apontam para indícios de que o coeficiente de atrito em velocidades entre 10 e 50 km/h varia um pouco em torno de 0,40. Porém, entre 50 e 85 km/h, mantém-se aparentemente constante em 0,40, tendo uma diminuição abrupta entre 85 e 90 km/h. O resultado de $\mu_D \cong 0,0058$, encontrado a partir da metodologia apresentada na seção anterior, não tem boa coerência com os resultados mostrados na Figura 12 para velocidades entre 10 e 85 km/h. Porém, a pesquisa apresentada aqui, foi desenvolvida para baixas velocidades, uma vez que o motor elétrico

tem baixa potência e portanto baixa capacidade de aceleração. Desse modo, nossos resultados não estão totalmente inválidos.

Figura 12: μ vs a velocidade com superfícies de borracha em pisos asfálticos.



Fonte: Nippo Sangyo CO., Ltd, 2016

Além disso, a superfície de concreto polido possivelmente apresenta menor aderência que o asfalto usado na Figura 12. Pois esse tipo de piso apresenta diversos materiais, inclusive matéria prima à base de petróleo. Esse tipo de material agrega elementos ao asfalto que possivelmente aumentam o atrito entre o mesmo e os pneus. Na pesquisa de da Silva *et al.* (2012), essa possibilidade é comprovada utilizando um plano inclinado de calçada e blocos de diversos materiais, entre eles, a borracha. Nessa pesquisa, foi mostrado que a presença de granulados de borracha na superfície de calçada aumenta consideravelmente o atrito com um bloco de borracha, aumentando o coeficiente de atrito em mais de 0,20 (da SILVA *et al.*, 2012). 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 tem boa coerência científica.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

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. Nosso aparato experimental foi totalmente montado com o objetivo de realizar as medidas pretendidas. Desde o robô (Figura 02) até aos códigos numéricos. Assim, diante da realização experimental destacada na metodologia, o resultado de $\mu_D \cong 0,0058$, foi encontrado para as superfícies de concreto polido e pneus do carrinho robô. Confrontando os resultados encontrados aqui com a literatura acadêmica (da SILVA *et al.*, 2012; NIPPO SANGYO CO., LTD, 2016), 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 tem boa coerência científica.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao CNPq pelo apoio financeiro e ao IFMA - Campus São dos Patos por ceder à Fábrica de Inovações e seus equipamentos.

REFERÊNCIAS ATUALIZADAS

BÔAS, N. V, DOCA, R. H e 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. ANAIS do SPPI: Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação.** p 12. 2015. Acesso 29 de agosto de 2024.

da SILVA, S. L. **Avaliação do coeficiente de atrito de calçada com adição de grãos de borracha de pneus no concreto.** Revista Exatas Online. V 3, N 2, p 40-20, 2012. Acesso 29 de agosto de 2024. Disponível em WWW: <URL: [Avaliação do coeficiente de atrito de calçada com adição de grãos de borracha de pneus no concreto](#)>

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.** Revista RENOTE (Novas Tecnologias na Educação). V 16, N 2, p 71-80, 2018. Acesso 29 de agosto de 2024.

dos SANTOS, T. F. M. **A ROBÓTICA EDUCACIONAL COMO FERRAMENTA NA DISCUSSÃO DE CONCEITOS RELACIONADOS ÀS FORÇAS DE ATRITO.** TCC: UFSC - Florianópolis, 2016. Acesso 29 de agosto de 2024.

NETTO, A.V. **Desenvolvimento de plataforma robótica móvel para a área de educação técnica.** Revista de Sistemas e Computação. V 8, N 1, p 92-113, 2018. Acesso 29 de agosto de 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>>