

Avaliação do coeficiente de atrito de calçada com adição de grãos de borracha de pneus no concreto

Evaluation of the friction coefficient of sidewalks with addition of rubber grains of tires in concrete

Samir Lacerda da Silva¹

¹*Instituto Federal Fluminense – Campus Campos Centro, 28030-130 Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil*
samir.lacerda@iff.edu.br

Atos Moreira Ribas de Sousa², Bruno José da Silva², César Varela Correa Junior², Débora Ferreira Alves², Fabiano Mendes Chaves Teixeira², Hilton Carlos Ferreira Augusto², Jéssica Martins Vidotti²

²*Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH, 30455-610 Belo Horizonte, MG, Brasil*

Resumo

Neste trabalho, reciclamos pneus produzindo três diferentes granulometrias, onde seus grãos foram misturados ao concreto para produção ecologicamente sustentável de calçadas. Através de uma montagem experimental muito utilizado na aula de física experimental os coeficientes de atrito estático e cinético entre duas superfícies foram calculados. Observamos através dos resultados que a introdução de grãos de borracha de pneus provoca uma elevação significativa na magnitude dos coeficientes de atrito estático e cinético.

Palavras - chave: atrito, coeficiente de atrito estático, coeficiente de atrito cinético, reciclagem, pneu;

Abstract

In this work, we recycle tires producing three different particle sizes, where the grains were mixed with concrete to ecologically sustainable production of sidewalks. Through a very experimental setup used in experimental physics class coefficients of static and kinetic friction between two surfaces were calculated. Observed from the result that the introduction of grain rubber tire causes a significant increase in the magnitude of the coefficients of static friction and kinetic.

Keywords: friction, coefficients of friction static, coefficients of friction kinetic, recycling, rubber tired

Introdução

É crescente a preocupação mundial em minimizar os reflexos nocivos sofrido pelo meio ambientes pelo avanço da tecnologia. Para combater esse problema muitos estudos têm sido desenvolvidos para obter um o melhor reaproveitamento para os resíduos gerados pelos produtos industrializados [1,2]. Neste artigo trataremos de um resíduo importante, os pneus inutilizáveis.

Após o surgimento dos veículos automotores, os pneus se tornaram essenciais para dar estabilidade aos veículos. Além disso, quando chegam ao fim de sua vida útil trazem problemas ambientais e de saúde pública. Por muito tempo não foi avaliado a importância desse tema, mas atualmente muitos estudos são desenvolvidos para minimizar o impacto que esses pneus inservíveis causam no ambiente [1].

A reciclagem de pneus tem ganhado muito destaque nos dias atuais. Misturas de concreto para a construção civil e para a construção de asfalto-borracha em rodovias utilizam a borracha de pneus usados. Sua borracha adicionada ao concreto ou ao asfalto trás grandes benefícios ao novo material, além de fornecer um fim ecológico aos pneus inservíveis. O asfalto ganha mais elasticidade, vida útil, redução de ruídos e segurança. A

adição ao concreto produz além de mudanças nas propriedades mecânicas como elasticidade, tensão e peso, como também gera uma diminuição no custo do produto final [1,2].

No presente trabalho é utilizada a reciclagem de pneus, acrescentando ao concreto sua borracha na forma de grãos. No Brasil, muitas calçadas e rampas são construídas sem um projeto adequado e não existe uma preocupação com a segurança diária das pessoas usuárias. Muitas calçadas feitas de concreto apresentam uma grande potencial de deslizamento (pouca aderência) mesmo quando suas superfícies estão secas. A grande preocupação na confecção de calçadas está na grande importância delas possuírem superfícies regulares, contínuas, firmes e antiderrapantes, principalmente se seus usuários apresentam algumas limitações físicas. Em nosso artigo propomos analisar a modificação do coeficiente de atrito estático e cinético quando grãos borracha de pneus são acrescentados ao concreto na produção de calçadas. Para realizar esta análise, uma montagem muito utilizada nas aulas de física experimental será descrito nas próximas seções, o plano inclinado variável.

Força de atrito

Quando um corpo está em movimento sobre uma superfície, ou através de um meio viscoso como o ar ou a água, há resistência ao movimento, pois o corpo interage com sua vizinhança. Essa resistência é chamada força de atrito. As forças de atrito são muito importantes em nossas vidas, pois nos permitem caminhar ou correr, mantém parafusos e pregos fixos, sentar em uma cadeira, essenciais para ocasionar o movimento de veículos, entre outros [3-5].

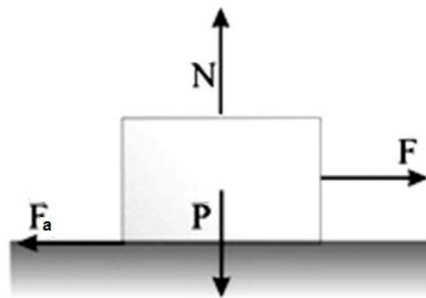


Figura 1: Ilustração da força de atrito estático e cinético

As leis de forças para o atrito são leis empíricas, elaboradas por Amontons e Coulomb no século XVIII. Esse fenômeno depende fortemente do estado das superfícies em contato como: grau de polimento, oxidação, presença ou não de camadas fluidas (água, lubrificantes) e de contaminantes. Em nosso trabalho será aplicado apenas para superfícies secas entre os corpos sólidos. Dependendo do movimento entre as superfícies, a força de atrito pode ser classificada como força de atrito estático e força de atrito cinético [3-7].

A força de atrito F_a surge sempre que duas superfícies em contato apresentam uma tendência ao movimento (fig. (1)). Quando uma força aplicada ao corpo não for suficiente para colocá-lo em movimento, a força de atrito é chamada força de atrito estático F_e . Essa força tem um valor mínimo igual a zero e um valor máximo F_e , para qual o bloco começa a se mover. Ela é proporcional ao módulo da força normal $|N|$ entre duas superfícies e apresenta um sentido contrário à força aplicado no corpo cinético [3-7].

$$|F_a|_{\text{máx}} = F_e = \mu_e |N| \quad (1)$$

O coeficiente de proporcionalidade μ_e , que se chama coeficiente de atrito estático, depende da natureza das duas superfícies em contato. A força de atrito estático é independente da área de contato entre os dois corpos [5].

Quando é excedido o valor máximo da força de atrito estático F_e , o corpo começa a deslizar. Nesse momento, a força de atrito sofre uma diminuição, e chama-se força de atrito cinético F_c . Essa força é constante, independe da área de contato, proporcional ao módulo da força normal e contrária ao movimento do corpo [5].

$$|F_a| = F_c = \mu_c |N|, \quad \mu_c < \mu_e \quad (2)$$

O coeficiente μ_c chama-se coeficiente de atrito cinético. Ele geralmente é menor que coeficiente de atrito estático. As constantes de atrito estático e cinético podem fornecer as características das superfícies em contato [3-7].

Cálculo do coeficiente de atrito estático

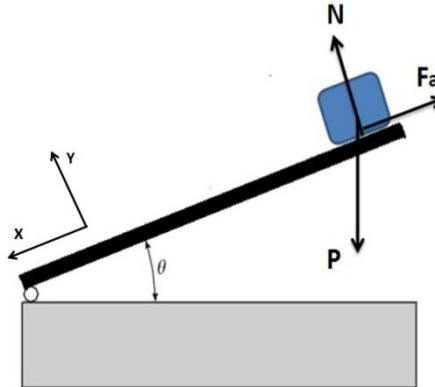


Figura 2: Plano inclinado de inclinação variável

A fig. (2) mostra um bloco de massa m sobre um plano inclinado de inclinação variável, cujo atrito entre plano inclinado e o material do bloco é o objetivo do estudo. A superfície em que o bloco está em repouso é elevada de um ângulo inicial zero até um valor de ângulo crítico θ , onde o bloco está na eminência do movimento. Nesse momento a força de atrito estático assume seu valor máximo e é igual à resultante das forças, então:

$$F_e = \mu_e |N| \quad (3)$$

Assim a componente da força resultante sobre o eixo x responsável pela tendência de deslizamento do bloco é definida por F_R . Com $|N| = mg \cos \theta$ e $F_R = P_x = F_e = mg \sin \theta$, temos:

$$\mu_e = \tan \theta \quad (4)$$

O que fornece um procedimento de como medir o coeficiente de atrito estático [3,7].

Cálculo do coeficiente de atrito cinético

No momento que o bloco entra em movimento a força de atrito é desempenhada pela força de atrito cinético. Se uma distância D for percorrida pelo bloco em um intervalo de tempo t , sua aceleração de módulo a do sistema vale:

$$a = \frac{2D}{t^2} \quad (5)$$

Aplicando a segunda lei de Newton, e substituindo o valor da aceleração acima obtemos uma equação para o cálculo do coeficiente de atrito cinético [3,7].

$$\mu_e = \frac{(g \sin \theta - \frac{2D}{t^2})}{g \cos \theta} \quad (6)$$

Onde g é o módulo da aceleração da gravidade e vale $9,81 \text{ m/s}^2$.

Produção das calçadas

Para analisar os coeficientes de atrito estático e cinético foram produzidos quatro protótipos de calçadas com 1 metro de comprimento e 50 centímetros de largura e 10 centímetros de profundidade, encerrados dentro de um caixote. A calçada padrão (sem adição de borracha) foi feita com a proporção de 1:2:4, ou seja, 1 medida de cimento, 2 medidas de brita e 4 medidas de areia. As outras três calçadas foram feitas com mesma proporção, porém 15% da medida de areia foram substituídas por grãos de borracha de pneu.

As várias granulometrias de borracha utilizadas no trabalho foram obtidas através dos processos artesanais de trituração, moagem e peneiramento da borracha dos pneus. Na separação dos grãos de borracha foram utilizadas três peneiras espaçamento de 1 mm, 2 mm e 4 mm de diâmetro respectivamente. A separação dos grãos consiste primeiramente passar todo o material moído pela peneira com espaçamento de 1 mm, possibilitando apenas a passagem de grãos com diâmetros no intervalo semiaberto entre (0-1] mm. Em seguida, o material que não cruzou a peneira anterior é utilizado na peneira com espaçamento de 2 mm possibilita a passagem de grãos de diâmetro no intervalo entre (1-2] mm, e finalmente a nova sobra de material é levado à peneira com espaçamento de 4 mm possibilita apenas a passagem de grãos de diâmetros no intervalo entre (2-4] mm. O material que não passar em nenhuma das três peneiras não será utilizado.

Depois dos protótipos de calçadas confeccionados e secos, todos são lixados e limpos para tornar suas superfícies regulares e não sofrer nenhuma influência de resíduos.

Montagem experimental

As calçadas são fixas em um plano horizontal de madeira através de seus caixotes e uma dobradiça. A dobradiça permite que o caixote simule uma rampa plana com inclinação variável. Na lateral superior do caixote um transferidor foi colocado juntamente com um pêndulo que auxilia na marcação do ângulo de inclinação (veja figura 3).

Utilizamos três blocos com superfícies diferentes para deslizar nas calçadas. O primeiro bloco apresenta uma superfície de alumínio polida, onde este material escolhido possui uma grande tendência para deslizar comparado aos demais blocos usados no experimento. O segundo bloco apresenta uma superfície de madeira polida, simulando uma tendência intermediária de deslizamento. Finalmente, o último bloco apresenta uma superfície de borracha, simulando os calçados convencionais que caminham sobre as calçadas, onde essa superfície apresenta uma tendência menor de deslizamento.

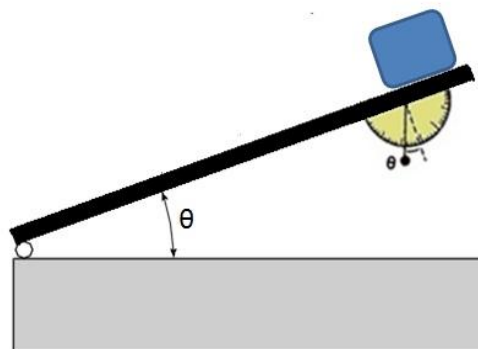


Figura 3: Esquema do plano inclinado variável

O bloco é colocado sobre a calçada com um ângulo inicial nulo. A inclinação da calçada aumenta até o momento em que o bloco começa a entrar em movimento. Nesse momento a corda do pêndulo marca o ângulo. Através do ângulo crítico é calculado o coeficiente de atrito estático entre a superfície do bloco e a superfície da calçada utilizando a equação (4).

Depois de tomada essas medidas, uma distância $D = 90$ cm é definida na rampa. Um ângulo superior ao ângulo crítico é escolhido e a inclinação da calçada é mantida fixa. O mesmo bloco é colocado no marco inicial da distância D e com auxílio de um cronômetro o tempo que o bloco leva para deslizar sobre a calçada ao longo de todo o percurso de 90 cm é medido. Através desse intervalo de tempo e do ângulo inicialmente escolhido, é calculado o coeficiente de atrito cinético pela equação (6).

Os dois procedimentos são realizados com todos os blocos e em todas as calçadas. Para o cálculo do coeficiente de atrito estático e cinético de cada bloco foram realizadas 30 medidas e em seguida, o valor médio e o desvio padrão foram aferidos.

Resultados

Através da coleta experimental os coeficientes de atrito estático e cinético foram organizados em duas tabelas relacionando as superfícies dos três blocos com as superfícies das quatro calçadas. O valor do coeficiente de atrito estático para cada bloco produzido nas calçadas é apresentado na Tabela 1.

Calçada	Blocos		
	Alumínio	Madeira	Borracha
Sem pneu	0,32 ± 0,03	0,40 ± 0,04	0,84 ± 0,02
Grão de borracha (0-1] mm	0,56 ± 0,05	0,59 ± 0,03	1,10 ± 0,04
Grão de borracha (1-2] mm	0,59 ± 0,05	0,56 ± 0,04	0,97 ± 0,03
Grão de borracha (2-4] mm	0,67 ± 0,03	0,74 ± 0,05	1,06 ± 0,03

Tabela 1: Listagem dos coeficientes de atrito estático entre cada bloco e calçada.

Analisando essa tabela podemos afirmar que a adição de grãos de borracha de pneus aumenta significativamente o valor do coeficiente de atrito estático, proporcionando uma aderência maior dos blocos às superfícies das calçadas. Portanto, comparando com a calçada convencional, elas são mais seguras.

O valor do coeficiente de atrito cinético para cada bloco produzido nas calçadas é apresentado na Tabela 2.

Calçada	Blocos		
	Alumínio	Madeira	Borracha
Sem pneu	0,18 ± 0,05	0,35 ± 0,03	0,65 ± 0,04
Grão de borracha (0-1] mm	0,45 ± 0,04	0,48 ± 0,05	0,84 ± 0,06
Grão de borracha (1-2] mm	0,56 ± 0,05	0,49 ± 0,04	0,96 ± 0,02
Grão de borracha (2-4] mm	0,55 ± 0,04	0,54 ± 0,07	0,89 ± 0,02

Tabela 2: Listagem dos coeficientes de atrito cinético entre cada bloco e calçada.

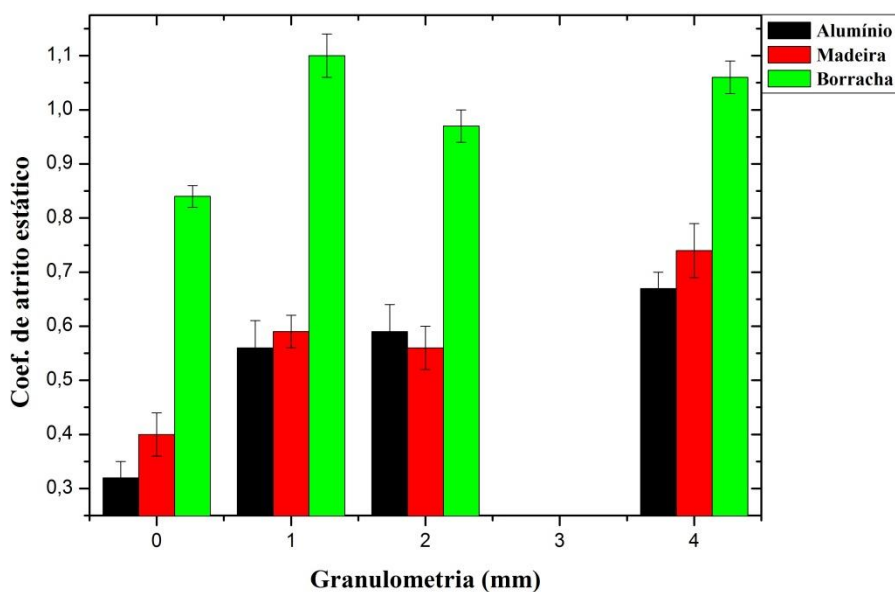


Figura 4: Coeficiente de atrito estático para cada bloco produzido nas calçadas com diferentes granulometrias.

Analisando as figuras (4) e (5) abaixo, observamos que o coeficiente de atrito estático produzidos entre as superfícies dos blocos e das calçadas apresenta um valor maior quando acontece em calçadas com grãos de borracha. O movimento do bloco nas calçadas com grãos de borracha de pneus apresentam um valor do coeficiente de atrito cinético maior do que observado para a calçada convencional. Portanto, a aderência dos blocos deslizando sobre essas superfícies são maiores. Outro resultado importante é que o tamanho dos grãos não é um fator determinante para o aumento dos valores dos coeficientes, mas a presença de qualquer tamanho deles já proporciona o aumento significativo do coeficiente de atrito estático e cinético.

A seguir apresentamos na figura (6) uma comparação entre o coeficiente de atrito estático e cinético para cada bloco produzido nas calçadas com diferentes granulometrias. Observamos que todos os coeficientes de atrito cinéticos são menores que os coeficientes de atrito estático em conformidade com a literatura [3-7].

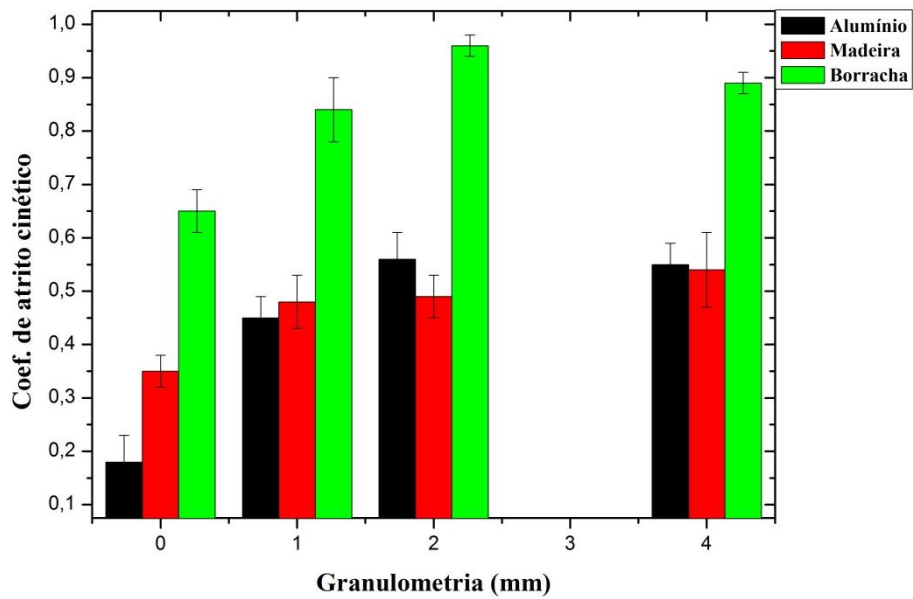


Figura 5: Coeficiente de atrito cinético para cada bloco produzido nas calçadas com diferentes granulometrias.

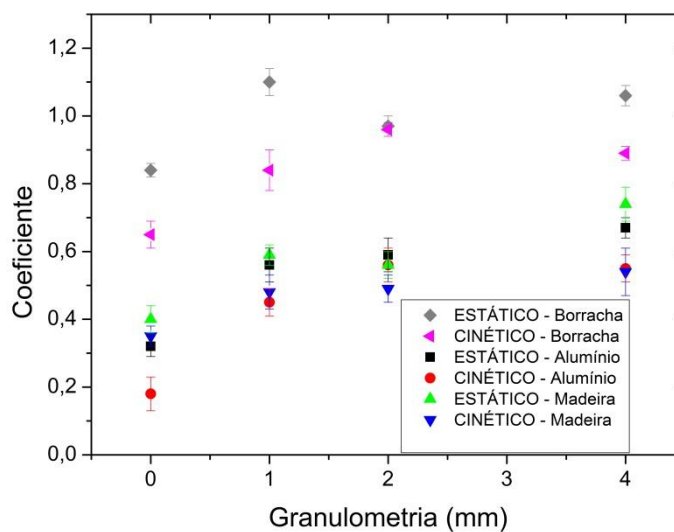


Figura 6: Comparação do coeficiente de atrito estático e cinético para os blocos de alumínio, madeira e borracha.

Conclusões

No presente trabalho estudamos a modificação do coeficiente de atrito estático e cinético quando grãos de borracha de pneus são acrescentados ao concreto na produção de calçadas. Observamos que podemos fabricar calçadas mais seguras para os pedestres através da reutilização de pneus inservíveis. Os grãos inseridos nessas calçadas são capazes de mudar as propriedades físicas relacionadas à aderência entre corpos. Observamos através dos resultados que a introdução de grãos de borracha de pneus provoca uma elevação significativa na magnitude dos coeficientes de atrito estático e cinético. A elevação dessas propriedades, que estão relacionadas com a natureza das superfícies em contato, proporciona uma aderência maior à superfície das calçadas, minimizando a possibilidade de um eventual deslizamento e quedas de pessoas, principalmente se essas pessoas necessitam de um tratamento especial como idosos e deficientes físicos. Outro fator de extrema importância é minimizar os impactos ambientais provocados pelos pneus, criando uma nova opção de reaproveitamento. Observamos que o coeficiente de atrito cinético é menor que o coeficiente de atrito estático em todas as análises realizadas, em conformidade com a literatura.

Em futuros trabalhos analisaremos a propagação de tricas em placas de calçadas com adição de grãos de borracha. Nesse estudo, esperamos compreender o efeito do aquecimento e o uso de vãos entre duas placas para acomodar dilatações.

Referências

- [1] MARQUES, M. L.; MARQUES, A. C.; AKASAKI, J. L.; SILVA, E. J. “Influência de Diferentes Granulometrias de Fibras de Borracha de Pneus em Argamassas”, IBRACON – v. 4 - Projeto de Estruturas de Concreto – p. 973, 2004.
- [2] MARQUES, A. C. ; NIRSHCL, G. C.; AKASAKI, J. L. “Propriedades mecânicas do concreto adicionado com borracha de pneus”. Holos Environment, Rio Claro, v. 6, n. 1, 2006.
- [3] BLAU, P. J., “Friction science and technology: from concepts to applications”, (CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, 2009) 2^a ed.
- [4] HALLIDAY, RESNICK e WALKER, “Fundamentos de física – mecânica”, (Editora LTC, Rio de Janeiro, 2008) v.1, 8^a ed.
- [5] NUSSENZVEIG, H. M., “Curso de física básica 1 – mecânica”, (Editora Blucher, São Paulo, 2002) v. 1, 4^a ed.
- [6] MOSSMANN, V. L. F.; CATELLI, K. B. M. F.; LIBARDI, H. e Damo, I. S., Revista Brasileira de Ensino de Física, **24**, 146, 2002
- [7] POPOV, V. L., “Contact Mechanics and Friction: Physical Principles and Applications”, (Springer, Berlin, 2010)