

## **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS AUTOMATIZADO COM INTERNET DAS COISAS (IoT)**

**Lucas Januário da Silva<sup>1</sup>**

**Elvys Isaias Mercado Curi<sup>2</sup>**

**Resumo:** O escorregamento por causa do baixo coeficiente de atrito em pisos cerâmicos é um risco que pode acontecer em pisos lisos, em condições de uso em seco ou úmido, isto pode produzir situações desconfortáveis, danos à saúde e até fatalidades. Por isso é de suma importância o controle do coeficiente de atrito não deve inferior ao valor de 0,4. Para avaliar o coeficiente de atrito de pisos cerâmicos existem diferentes sistemas de medição, os mais comuns e práticos são os portáteis, por permitir a medição em qualquer ambiente. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento que realize as medições do coeficiente de atrito de pisos cerâmicos considerando a norma NBR 18818 da ABNT. O aparelho produzido tem como características ser de baixo custo, de fácil manuseio e moderno, com capacidade de transmitir os dados usando os recursos da internet das coisas (IoT) de forma rápida e confiável. O desenvolvimento foi realizado aplicando conceitos de Benchmarking, foi avaliado produtos, serviços e práticas de outros criados para estas medições. Na sequência foi realizada a seleção de componentes, desenho em SolidWorks e a programação foi feita na plataforma Arduino IDE. Os dados coletados da medição de coeficiente de atrito em alguns pisos cerâmicos foram analisados no software Excel, onde foi comparado com o equipamento de medição modelo Tortus, para sua validação. O equipamento desenvolvido mostrou uma resultados próximos, sendo sua execução de forma simples e rápida.

**Palavras-Chave:** Cerâmicos, Coeficiente de atrito, Internet das coisas (IoT), Medições, Tortus.

### **1 INTRODUÇÃO**

A resistência ao deslizamento é considerada um dos fatores mais importantes na utilização dos materiais para pavimentos, ou seja, produtos de pedra natural ou cerâmica. Devido à diversidade de produtos, e pelo incremento da demanda de produtos cerâmicos surge a necessidade da caracterização física e química destes, já que é de fundamental importância para os fabricantes conhecer alguns parâmetros para avaliar as características do produto, quanto aos

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica. Ano 2021-2. E-mail: lucas\_januariodasilva@outlook.com

<sup>2</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: elvys.curi@satc.edu.br

consumidores finais, que buscam segurança qualidade e custo nos produtos oferecidos. Escorregamentos e quedas causam ferimentos graves em diferentes áreas, como mercados, restaurantes e indústrias. Foi descoberto que a queda é uma perda de fricção entre o sapato e a superfície do piso, essa resistência é conhecida como coeficiente de atrito (SARIISIK; GURCAN; SENTURK, 2007).

Praticamente o escorregamento, por fatores externos, ocorre quando o atrito entre a sola do sapato e a superfície do piso oferece insuficiente resistência para neutralizar as forças para frente ou para trás, durante o processo de pisar, ou seja, a interação entre o ser humano na sola do sapato e o piso (CHANG et al., 2016).

No ambiente industrial, lesões nas costas são a causa mais frequente de pedidos de indenização trabalhista nos Estados Unidos (GOU et al., 1999), e segundo Rohrlich et al. (2014) demonstra que a dor lombar está associada a escorregões e quedas devido ao baixo coeficiente de atrito entre o calçado e a superfície. Os dados mais recentes do Índice de Segurança no Trabalho da Liberty Mutual, por exemplo, mostraram que o custo direto de incapacitar lesões no local de trabalho em 2012 devido a quedas no mesmo nível nos EUA foi estimado em aproximadamente US \$ 9,19 bilhões ou 15,4% do total de lesões custo (LIBERTY MUTUAL RESEARCH INSTITUTE FOR SAFETY, 2014). Ao respeito Li et al. (2004), descreve que nos Centros de Controle e Prevenção de Doenças, as quedas foram a principal causa de lesões não fatais entre 2001 e 2014 e tem custo anual de US\$ 180 bilhões nos EUA.

Sendo assim, o objetivo deste artigo é desenvolver um equipamento para determinar o coeficiente de atrito de pisos cerâmicos, com base na norma técnica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – NBR 13818:1997, 1997), de modo que seja um aparelho de baixo custo, alta precisão e automatizado.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A informação sobre equipamentos que mensuram o coeficiente de atrito de pisos cerâmicos é diversificada, pois existem diferentes métodos de medição e, conseqüentemente, equipamentos específicos para cada método de medida. Equipamentos com comunicação que usa a tecnologia da “Internet das Coisas” (IoT) são pouco utilizados para este tipo de medição.

## 2.1 DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO DE PRODUTO

No Brasil, assim como em muitos países em desenvolvimento, a inovação ainda é um tema recente, mesmo sendo um assunto muito comum. Desse modo, o meio industrial viu a necessidade de transformação nos últimos anos, para se modernizar e sobreviver à ampliação de mercado. Com isso, avanços tecnológicos foram aperfeiçoados, passaram a se preocupar com atração e retenção de talentos e investiram em programas de qualidade.

De acordo com Simantob e Lippi (2003), o desenvolvimento de produtos é um processo de negócio cada vez mais crítico devido a internacionalização dos mercados, o aumento da variedade de produtos e a redução da sua vida útil. Por isso, novos produtos buscam atender as demandas de mercado, inserindo novas tecnologias e se adequando a novos padrões e restrições legais. Para Clark e Fujimoto (1991) o desenvolvimento de produtos é basicamente o esforço realizado por um conjunto de pessoas de uma empresa na transformação de dados sobre oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em bens e informações para a fabricação de um produto comercial. Também propõe um modelo direcionado às empresas de manufatura na qual divide o processo em três macro-fases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento (ROZENFELD et al., 2006).

## 2.2 INTERNET DAS COISAS (Internet of Things – IoT)

No consumo e serviços EVANS (2011) argumenta que a IoT mudará tudo, até mesmo os usuários. Com isso será possível observar grandes alterações em diversas áreas da engenharia, educação, comunicação, negócios, ciência e no próprio desenvolvimento humano. O IoT é a evolução da internet e representa um crescimento exponencial na coleta, análise e distribuição de dados para que se tornem informações, tornando-se um meio indispensável.

Já segundo Atzori, Iera e Morabito (2010), o IoT é uma variedade de “coisas” do cotidiano conectadas entre si ou por uma rede sendo possível interagir entre si. Assim, é notável a implantação do IoT no cotidiano das pessoas sem a percepção delas, como por exemplo nas automações residenciais.

## 2.3 MÉTODOS PARA A MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO

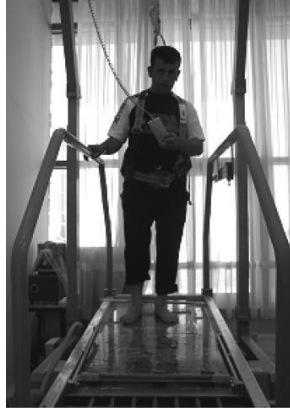
Os métodos para determinar o valor do coeficiente de atrito dos revestimentos cerâmicos são bastante complexos, devido à variedade de propriedades e exclusividade de cada um. Sendo assim, a confiabilidade e precisão se tornam importante para classificação destes produtos, os menos confiáveis dificultam sua inserção no mercado. O coeficiente de atrito do piso diverge com o efeito de lubrificação entre as superfícies do chão e do pé na presença de água e contaminantes (LOCKHART, 2008), com a velocidade com que se caminha, a inclinação do plano, o fato de o usuário estar descalço ou calçado e qual o tipo de solado, por exemplo (CHANG, 2000).

Desse modo, com essa complexidade envolvida na medição da resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos, existem várias técnicas e aparelhos para realizar essa medição, porém, não há um consenso ainda sobre quais métodos têm maior confiabilidade. Essa indefinição de métodos dificulta a avaliação comparativa dos tipos de produtos disponíveis para o recobrimento de superfícies. A norma EN ISO 10545, contém três métodos de teste adequados para a resistência ao escorregamento: Método da rampa - DIN 51130: 2004 Seção 5, e do Coeficiente de atrito dinâmico - Do Pêndulo - UNE-ENV 12633 - Apêndice A, do Ângulo Crítico de Escorregamento - Método Tortus (MENEGAZZO; DIAS; SERAFIM, 2019).

### 2.3.1 Método da rampa

O método da rampa é considerado como o método de ensaio mais real e confiável. O potencial de escorregamento de um piso é analisado de forma segura, buscando aproximar-se ao máximo à realidade humana, mas é difícil de produzi-la com dispositivos mecânicos. As normas DIN 51130 e DIN 51097 abordam o método da rampa, porém, apesar das vantagens, é um teste de alto custo e não permite medições em pisos já instalados, pois seria necessário instalar a superfície na máquina (SCORISA et al., 2016). A Fig. 1 mostra um equipamento tipo rampa.

Figura 1: Imagens método da rampa.



Fonte: (SARIISIK; GURCAN; SENTURK, 2007).

Existem diferentes procedimentos, e com isso depende o que está sendo testado, como pisos para áreas onde as pessoas usariam sapatos ou pisos para áreas em que as pessoas estariam descalças. Para o primeiro teste a rampa é revestida com um óleo de motor para tornar a superfície mais escorregadia, para o último teste o contaminante é água com detergente (1 g/L) (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009).

Para a determinar a resistência ao escorregamento, o teste de rampa utiliza uma pessoa que se move para trás e para frente sobre uma rampa de ângulo variável. O ângulo da rampa é variado até o menor ângulo, supondo a situação mais crítica em que a caminhada da pessoa se torna instável. O ângulo de inclinação é registrado e convertido no valor de coeficiente de atrito. Conforme Sariisik, Gurcan e Senturk (2007), a norma DIN 51130 segundo A Tab. 1 mostra a relação do ângulo com o coeficiente de atrito, classificando os pisos em classes R de R9 a R13.

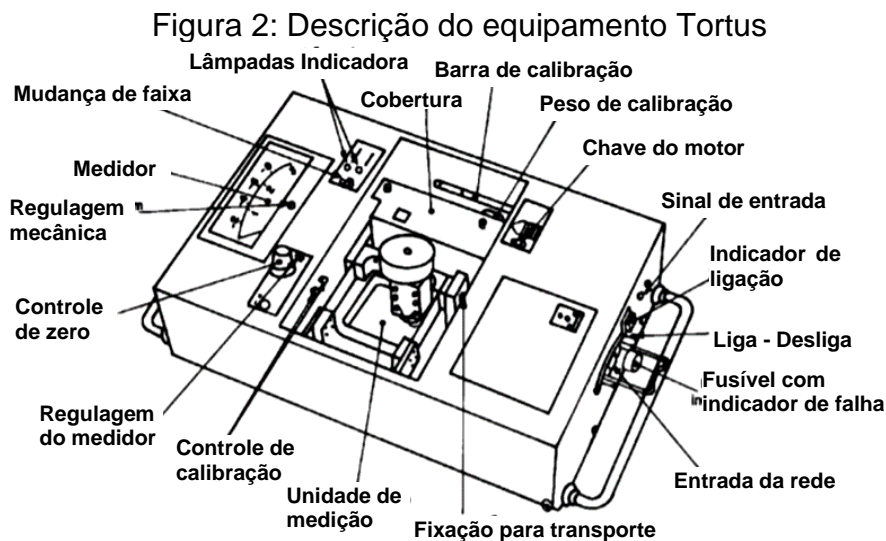
Tabela 1: Classificação segundo a norma DIN 51130 para pés descalços em superfícies contaminadas com água e sabão.

Classificação		Ângulo (°)
R9		3,0-10,0
R10		10,1-19,0
R11		19,1-27,0
R12		27,1-35,0
R13		>35,0

Fonte: adaptado de (SARIISIK; GURCAN; SENTURK, 2007).

### 2.3.2 Equipamento Tortus

Segundo a norma EN ISO 10545 PART 17, 1995 e ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – NBR 13818:1997, 1997, a medição do coeficiente de atrito do piso cerâmico se realiza por meio do equipamento chamado Tortus. Este mede o COF dinâmico deslizando um corpo cilíndrico de borracha na velocidade de 0,017 m/s e uma massa vertical de 200 g. Mas de acordo com DURÁ et al., (2005) estes valores são inferiores aos valores de caminhada reais. A medição do COF baseia-se por meio da razão entre a força de atrito tangente ( $F_t$ ) à superfície e a força normal ( $F_n$ ) aplicada sobre um elemento que se movimenta com velocidade constante, (UENO et al., 1999). A Fig. 2 mostra o equipamento Tortus II:



Fonte: NBR 13818:1987 (1987, p. 43).

A resistência do piso ao deslizamento da borracha é registrada e convertida em valores do coeficiente de atrito dinâmico. Ele fornece uma leitura instantânea de coeficiente de atrito em um display digital enquanto se move e mostra o valor médio do Coeficiente de atrito (COF) no final do teste. A borracha padrão utilizada como material no “pé de teste” é do tipo 4S (dureza 60 shore) e o diâmetro é de 9,5 mm (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009).

### 2.3.3 BOT

O BOT-3000 é um dispositivo do tipo de arraste que mede o COF estático de uma determinada área, entre o elemento deslizante e a superfície selecionada. Também é usado para medir o COF dinâmico, regulando o deslocamento, mantendo uma velocidade constante (KIM et al., 2013). A Fig. 3 mostra um equipamento BOT.

Figura 3: Imagem do equipamento BOT.

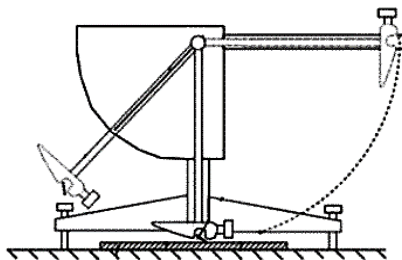


Fonte: ANSI A137.1, (2012).

### 2.3.4 Pêndulo

Conforme as normas BS EN 13036-4:2011, ASTM E303-1993, AS 4663:2013 e AS 4586:2013, é um equipamento que determina o COF. Kim (2012) fundamenta que são quatro os componentes principais, sendo uma base, as escalas, o braço do pêndulo e uma barra de borracha como se observa na Fig. 4.

Figura 4: Desenho do equipamento de pêndulo para a medição do COF.



Fonte: Mills et al, (2009).

O pêndulo britânico determina o coeficiente de atrito por meio da perda de energia quando a extremidade deslizante de borracha entra em contato com uma superfície de teste. Os valores medidos representam as propriedades de atrito da superfície. O deslizante do pêndulo, geralmente é feito de borracha 4S, borracha

utilizada em calçados. O pêndulo é levantado para uma posição e em seguida liberado, permitindo assim que a barra faça contato com a superfície. Um ponteiro indica a BPN (British Pendulum Number, que também é chamado de VRD, ou seja, Valor de Resistência à Derrapagem). Quanto maior for o atrito maior o BPN (RICOTTI; DELUCCHI; CERISOLA, 2009).

O equipamento funciona com um peso padrão o qual é colocado no pêndulo e depois é lançado na direção do piso, para que uma superfície de borracha deslize no piso. Durante o deslizamento se produz a força de atrito contrária ao movimento chamada de "Ft". O atrito produz perda de energia e o movimento pendular atinge a altura máxima do pêndulo, o qual é registrada em uma escala graduada, deste modo se obtém o ângulo máximo atingido. O valor registrado pelo marcador é expresso em PTV (Pendulum Test Value), que representa o coeficiente de atrito multiplicado por 100.

### **2.3.5 Equipamento desenvolvido na SATC**

Foi desenvolvido um equipamento na Unisatc similar ao Tortus, ele realiza medições do coeficiente de atrito estático e dinâmico. A programação lógica foi feita no software labVIEW, onde possui informações de entrada o tempo de duração do ensaio e o acionamento manual do motor diretamente no painel frontal do software.

Conforme (AMANTE, 2019), o funcionamento do carro se executa por meio de um sinal de entrada o qual é controlado por um relé, deste modo se aciona o motor e se movimenta o carrinho. Durante o movimento do carro adquire o sinal da célula de carga e encerra sua coleta automaticamente quando o veículo para.

## **2.4 COEFICIENTE DE ATRITO**

As superfícies dos corpos, por mais polidas que possam parecer do ponto de vista macroscópico, apresentam rugosidade quando foram analisadas microscopicamente. Em consequência, as duas superfícies em contato apresentaram tendência a se mover uma em relação à outra, surge uma força "resistente", a força de atrito (MOSSMANN et al., 2002). O coeficiente de atrito é uma grandeza que indica a resistência da superfície em relação ao objeto quando



estão em contato durante um movimento, sendo diretamente relacionada com a superfície de acabamento da superfície. Segundo a lei do coeficiente de atrito de Amonton's e Coulomb, baseia-se na relação da força de atrito tangente à superfície e a força normal aplicada sobre um elemento, conforme a equação (1).

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (1)$$

Onde:

$\mu$  = Coeficiente de atrito (---);

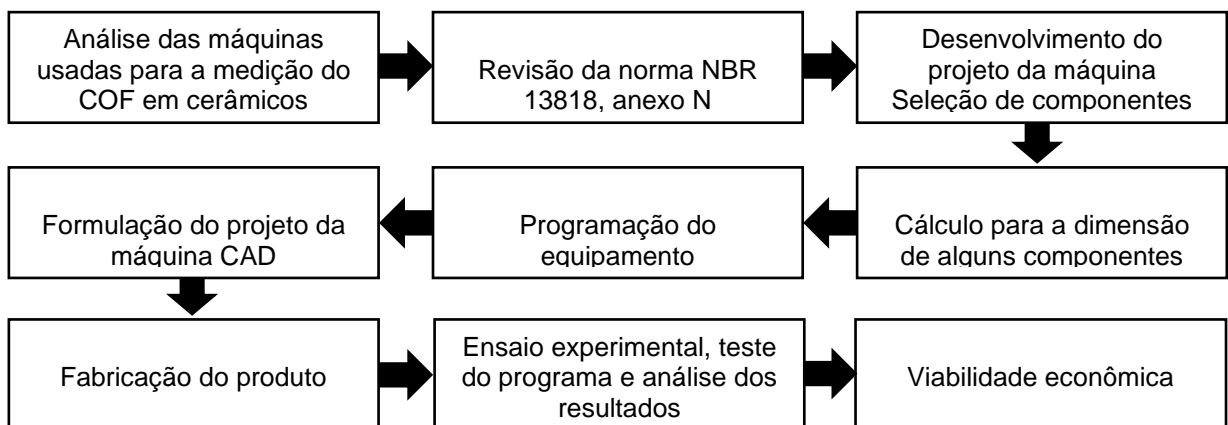
$F_t$  = Força tangente (N);

$F_n$  = Força Normal (N);

### 3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS / METODOLOGIA

Neste tópico se apresenta a metodologia e as atividades realizadas neste trabalho. O fluxograma da Fig. 5, apresenta a sequência das atividades do processo para o desenvolvimento do produto.

Figura 5 – Fluxograma da sequência de atividades e metodologia.



Fonte: Autor (2021).

#### 3.1 MÁQUINAS USADAS PARA MEDIR O COF DE PISOS CERÂMICOS

Na revisão bibliográfica, foram analisadas algumas publicações e normas, que tratam sobre máquinas comumente usadas na medição do COF de pisos

cerâmicos. Foi observado que na Europa, o aparelho portátil mais utilizado é o Tortus. O desenvolvimento do projeto inicia-se com a pesquisa de máquinas existentes no mercado, analisando seu funcionamento e componentes. Estudam-se vantagens e desvantagens entre estas e avaliam-se as possíveis melhorias num equipamento, projetando o desenvolvimento de um aparelho mais moderno.

A norma ABNT NBR 13818, anexo N recomenda usar o aparelho deslizador motorizado do tipo TORTUS para determinar o coeficiente de atrito de revestimentos cerâmicos no Brasil.

O equipamento Tortus consiste em um carrinho, o qual tem instalado um sensor, com o qual se mede diretamente a força de atrito. Para o processamento dos dados da força se utiliza um programa em linguagem C, cuja missão é calcular o coeficiente de atrito dinâmico. O COF é calculado usando a Eq. 1, onde a força normal é a carga instalada sobre a célula de carga que mede a força de atrito.

### 3.2 REVISÃO DA NORMA NBR 13818, ANEXO N

Para o desenvolvimento do equipamento, consideram-se as recomendações da norma ABNT NBR 13818, anexo N, que descreve um aparelho móvel portátil, que tenha seus instrumentos e sistema de medição no aparelho. O equipamento deve deslizar sobre a superfície, registrando dados de força. Um dos aparelhos mais usados, na medição do coeficiente de atrito dinâmico, é o equipamento TORTUS. Segundo Brough (1996), as principais características deste equipamento são a carga normal, velocidade, diâmetro e material da sapata.

- Carga Vertical 200g.
- Diâmetro Sapata 9mm.
- Velocidade 17 mm/s.
- Material da sapata Borracha 4S.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DA MÁQUINA E SELEÇÃO DE COMPONENTES

O desenvolvimento deste novo equipamento, consiste em criar um carro motorizado dotado de uma célula de carga que mede a força de atrito durante o

deslizamento. A célula de carga contém 4 sensores resistivos ou extensômetros instalados num circuito do tipo ponte de Wheatstone. O extensômetro está colado na superfície da célula de carga, e o valor da resistência elétrica depende do comprimento do fio, e este comprimento é proporcional à deformação da superfície. A deformação da superfície e do fio resistivo depende da força que a deforma, sendo extraído a informação da resistência elétrica em intensidade de corrente e depois em queda de tensão elétrica na ponte de Wheatstone. Conforme ocorre o desequilíbrio da ponte de Wheatstone gera uma variação de tensão que é mandada para o microcontrolador. Praticamente com este circuito converte-se valores de tensão elétrica em sinais de força, após a realização da calibração deste equipamento.

A calibração do equipamento se dá por uma equação linear onde o coeficiente de linearidade é igual a 1, ou seja, terá fator de multiplicação onde transformara tensão em força de atrito. Sabendo o valor da força normal que é igual ao peso do pino, tem-se o coeficiente de atrito.


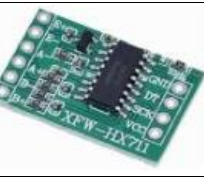
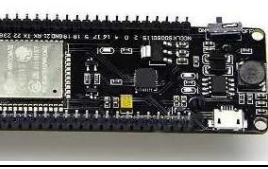

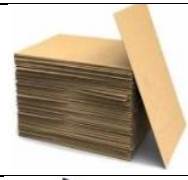

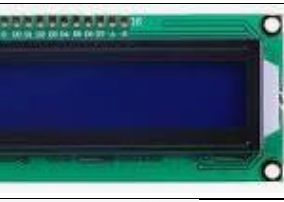


O projeto conceitual inicia com a seleção dos principais componentes e o desenho preliminar de um veículo de pequeno porte, onde estavam instalados os dispositivos mecânicos e elétricos. Depois se realizou o desenvolvimento de um programa no software Arduino IDE, este realizaria a coleta e processamento de dados.

O programa funciona com o princípio de um acionamento de um botão, que faz o acionamento do motor que é controlado com o módulo Módulo ponte-H - L298N e em seguida ele começa a se deslocar e coletar os dados ao decorrer do cerâmico.

Esses dados são coletados por um SD card e são inseridos no software Excel em uma coluna de tempo e coeficiente de atrito, assim é possível analisar o gráfico com o pico do coeficiente de atrito estático, e posteriormente o coeficiente de atrito dinâmico por meio de uma média. Assim é possível realizar a classificação dos cerâmicos de acordo com a norma EN ISO 10545 PART 17 para poderem ou não ser utilizados.

A Tab. 2 apresenta os equipamentos e materiais selecionados para a construção do aparelho que realizaria a medição do COF.

Tabela 2: Principais componentes selecionados para a fabricação do equipamento.

Função - Modelo	Itens
Instrumento de medição da força tangente – Célula de carga 1kg	
Amplificador de sinal da célula de carga – HX711	
Microprocessador – ESP32	
Cartão de memória para salvar dados – Módulo cartão SD	
Material para carcaça - MDF	
Módulo controlador do motor – Módulo ponte-H - L298N	
Display - Display Lcd 16x2 C/ Módulo I2c	
Motor de baixa rotação – Motor redutor	
Rodas	

Fonte: Autor (2021).

A medição da força de atrito se executa quando o equipamento desliza sobre a superfície cerâmica. No deslizamento, o sensor instalado no carro, fricciona com a superfície cerâmica, essa força deforma elasticamente a célula de carga. A deformação alonga ou comprime o fio do extensômetro afetando o valor da resistência elétrica, ocasionando um diferencial de tensão elétrica na ponte Wheatstone. O sinal elétrico é registrado em um computador por meio de uma placa analógica digital, e no programa se converte o valor da tensão elétrica em força por meio da função de transferência obtida na calibração da célula de carga.

O valor do COF, calcula-se com os dados da força de atrito, fornecido pela célula de carga e com o valor da força normal, que corresponde à carga constante. A força normal é uma carga que se monta acima do dispositivo que se conecta com a célula de carga. Deste modo, obtém-se o coeficiente de atrito instantâneo o qual se registra em um arquivo de texto no cartão de memória, além de mostrar em um display acoplado no carro a média dos valores lidos durante a medição.

Para a construção do programa foram selecionadas algumas bibliotecas que se comuniquem com o equipamento que registra os dados e os sensores utilizados.

### 3.4 CÁLCULO DAS DIMENSÕES DE ALGUNS COMPONENTES

A velocidade necessária para movimentar o carro é de 17 mm/s, informação recomendada pela norma. Sendo assim, foi utilizado uma roda com raio pré-estabelecido e com isso foi possível calcular a rotação do equipamento por meio da equação 2.

$$n = \frac{60 \cdot v}{2\pi R} \quad (2)$$

Onde:

$n$  = Velocidade de Rotação por minuto (RPM)

$v$  = Velocidade do equipamento (mm/s)

$R$  = Raio da roda (mm)

Com dados de velocidade de 17 mm/s e raio da roda de 30,5 mm, a velocidade de rotação, no eixo do motor, é 5,32 RPM. Com estes parâmetros foram registradas informações do comportamento do COF, operando em diferentes superfícies cerâmicas.

Para selecionar o modelo da célula de carga foi necessário definir a carga máxima que o equipamento vai medir. Para determinar esta grandeza, considera-se o coeficiente de atrito máximo. Estes valores foram extraídos de catálogos e boletins de ensaios. A carga máxima aplicada à superfície de contato, se calcula com a Eq. 3.

$$N = F_n \cdot \mu \quad (3)$$

Onde:

N = Força de atrito (N);

F<sub>n</sub> = Força normal (N);

μ = Coeficiente de atrito;

Conforme os dados de Brough, (1996), a massa deverá ser de 200g onde multiplicado por um coeficiente de atrito com valor de 1, a força de atrito máxima estaria próxima de 2 N, para especificar a célula de carga.

### 3.5 PROGRAMAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A programação do equipamento foi elaborada usando o software livre Arduino IDE, que funciona em linguagem C. O programa realiza o registro de dados das medições da célula de carga e com os dados da força normal, são calculados os valores instantâneos e médios do COF. O processo de medição e cálculo se realiza a partir do acionamento do motor, o qual é ativado por um botão. Conforme o carro se desloca sobre a superfície, a ponta do pino, que está em contato com o revestimento cerâmico, mede-se a força de atrito por meio da célula de carga transferindo-se os dados ao microcontrolador. Desse modo, sabendo o peso do pino é possível fazer o cálculo automático no software do coeficiente de atrito instantâneo conforme o equipamento se desloca.

Para coleta e envio de dados foi utilizado a placa ESP32, devido ao seu alto desempenho e custo-benefício.

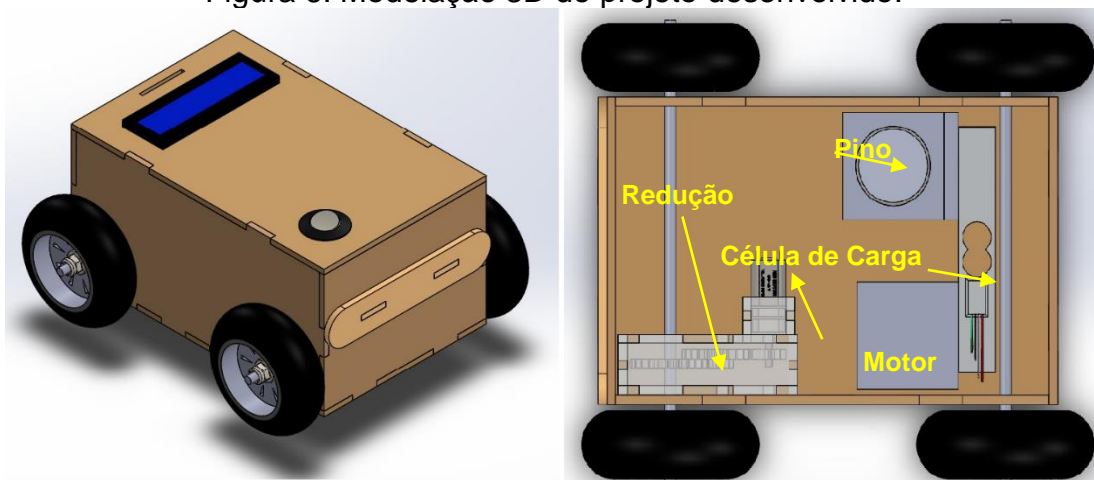
### 3.6 FORMULAÇÃO DO PROJETO DA MÁQUINA CAD

Definindo os principais componentes e o programa a ser utilizado, realizou-se a modelagem 3D do equipamento, por meio do software Solidworks®, criando-se as peças e componentes.

Para atingir a velocidade de 17 mm/s, recomendada pela norma NBR 13818 anexo N, foi dimensionada uma caixa redutora que ajusta sua velocidade e aumenta o torque do motor. Pois o motor escolhido possui dimensões bem reduzidas, isto é importante na compactação física do equipamento.

Na Fig. 6 se apresenta o projeto do equipamento desenvolvido no software Solidworks.

Figura 6: Modelação 3D do projeto desenvolvido.



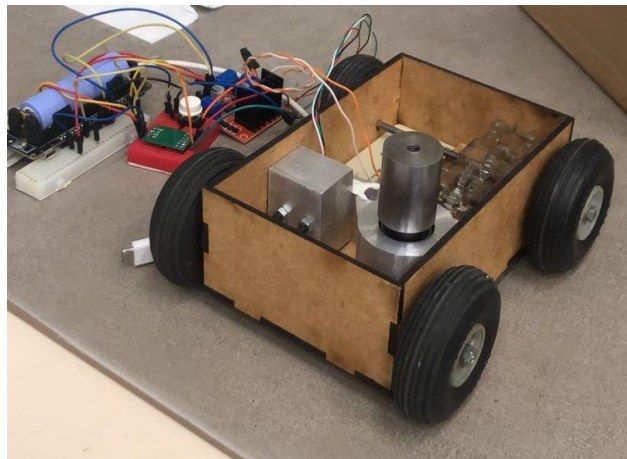
Fonte: Autor, (2021).

Neste projeto o equipamento deve fornecer um alto nível de confiabilidade de dados, baixo custo, além de obter um resultado prático. Com estas características, sua reprodução seja viável pela praticidade, baixo custo e valores confiáveis.

### 3.7 FABRICAÇÃO DO PRODUTO

Foram realizados testes em uma bancada protótipo com os componentes instalados simulando o funcionamento do carrinho. A Fig. 7 apresenta uma imagem do protótipo da bancada de testes.

Figura 7 – Bancada protótipo.



Fonte: Autor (2021).

A instalação do circuito eletrônico foi realizada em um protoboard, depois de ter o funcionamento de todo o equipamento, incluindo a determinação da função de transferência da célula de cargas, fabricou-se um circuito integrado para o equipamento.

### 3.8 ENSAIO EXPERIMENTAL

No protótipo foram realizados testes preliminares. Com estes ensaios foi possível analisar o bom funcionamento do conjunto de componentes. Foram utilizados 3 corpos de prova denominados A, B e C. O piso cerâmico, corpo de prova, foi fornecido pelo departamento de controle de qualidade da empresa Cecrisa com os valores do coeficiente de atrito medido pelos equipamentos BOT e Tortus.

A Tab. 3 apresenta as descrições de cada modelo de piso cerâmico utilizado como corpo de prova nos ensaios.



Tabela 3: Descrição dos pisos cerâmicos corpos de prova.

<b>Cerâmico</b>	<b>Modelo</b>	<b>Formato</b>
A	Silex N O	60 x 60
B	Detroide NO MAT	60 x 60
C	Detroide NO MAT	60 x 60

Fonte: Autor (2021).

A descrição dos valores do COF, dos cerâmicos utilizados para validação dos resultados, é mostrada na Fig. 8. Nesses cerâmicos já tinham os valores de 3 medidas e foi feito uma média das 3 para comparar com o equipamento desenvolvido.

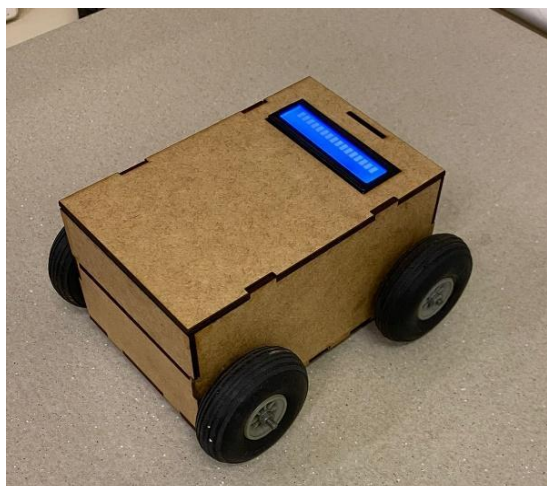
Figura 8: Descrição dos cerâmicos utilizados para validação dos resultados.

PRODUTO: Silex N O FORMATO: 60X60 COF-TORTUS 3: 1° - 0,90 2° - 0,80 3° - 0,80 <b>A</b>	PRODUTO: Detroit NO MAT FORMATO: 60X60 COF-TORTUS 3: 1° - 0,30 2° - 0,30 3° - 0,31 <b>B</b>	PRODUTO: Detroit NO MAT FORMATO: 60X60 COF-TORTUS 3: 1° - 0,57 2° - 0,60 3° - 0,59 <b>C</b>
---	--	--

Fonte: Autor (2021).

A Fig. 9 mostra o equipamento medindo o COF do piso cerâmico A, apresentando no display o valor do coeficiente de atrito médio.

Figura 9: Medição do COF no cerâmico A.

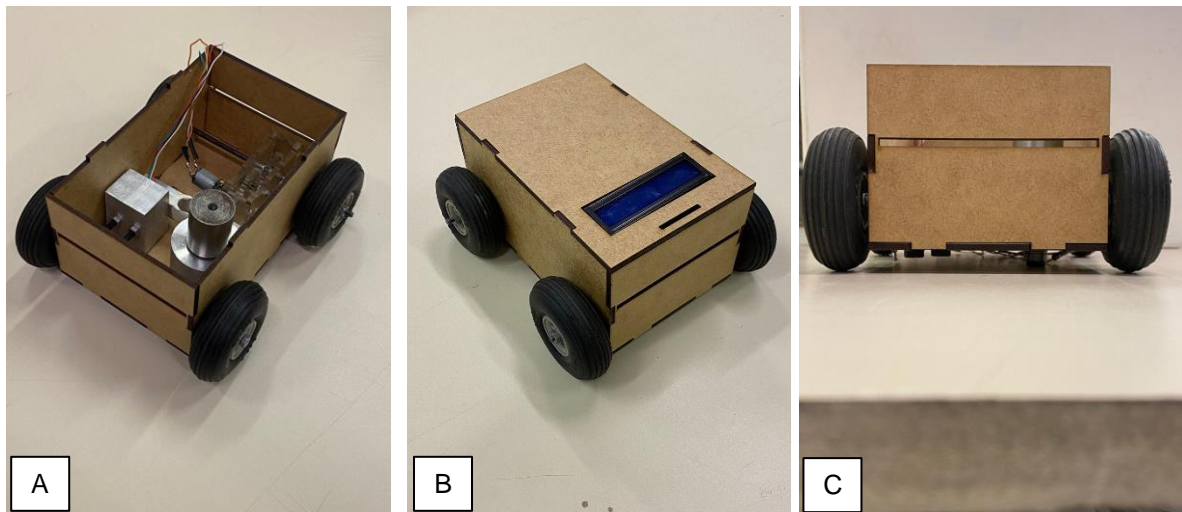


Fonte: Autor (2021).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O equipamento desenvolvido tem uma caixa com as dimensões de 155 mm de comprimento, 99 mm de largura e 75 mm de altura. Considerando a roda instalada, o espaço que ocupa é 178mm de comprimento, 148mm de largura e 88 mm de altura. Dentro deste equipamento está a célula de carga instalada em um circuito onde está seu amplificador e o microcontrolador ESP32. Também está instalado o motor com redutor, uma caixa de redução e os eixos das rodas. A Fig. 10 mostra o equipamento desenvolvido em três vistas diferentes.

Figura 10: Equipamento de medição de coeficiente de atrito a) sem tampa b) em perspectiva isométrica c) vista frontal.



Fonte: Autor (2021).

O programa coleta dois dados por segundo na velocidade de 17 mm/s. A distância percorrida durante a coleta é 200 mm em cada ensaio.

Os dados das medições são obtidos pela relação do sinal da força de atrito dividido entre a força normal constante, que depende do peso do pino. No programa é inserido a equação (1) para obter o coeficiente de atrito em função do tempo. O valor do COF médio é mostrado no display do aparelho após cada medição.

A Fig. 11 mostra uma parte do programa desenvolvido para a coleta e processamento de dados em linguagem C.

Figura 11: Programação do equipamento na plataforma Arduino IDE.

```
#include "FS.h"
#include "SD.h"
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "HX711.h"
HX711 balanca;

#define SD_CS 5
String dataMessage;

String statusButton = "DESATIVADO";
int n=0;
float valor=0;
float calibration_factor =960000;
float peso;
float media = 0;
float zero;
int vbotao = 0;
int IN1 = 33 ;
int IN2 = 32 ;
//pinos usados
const uint8_t pin_btn = 26;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2); |
```

Fonte: Autor (2021).

Os resultados das medições do coeficiente de atrito obtidos, provêm de 3 corpos de prova os quais são 3 revestimentos cerâmicos diferentes. Estes materiais foram denominados A, B e C.

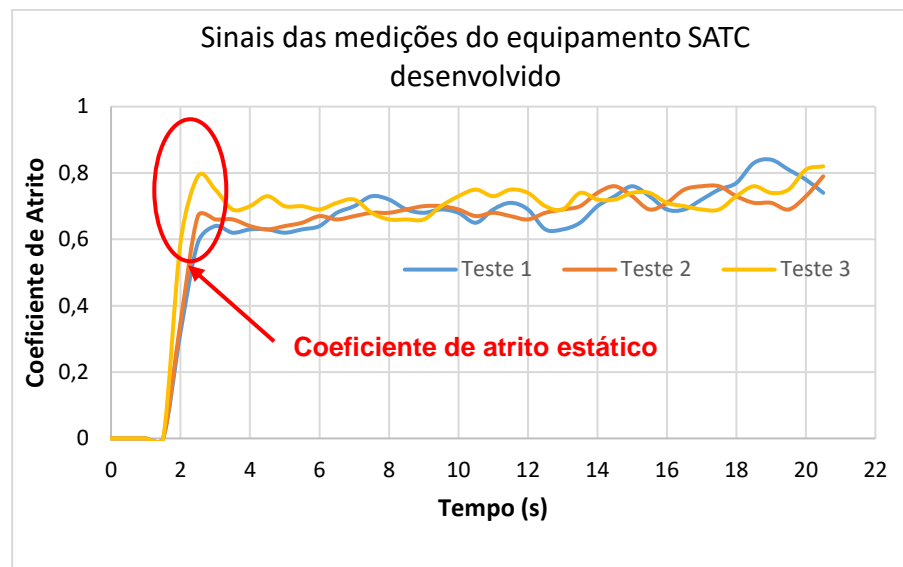
Nos ensaios, inicialmente foram realizadas várias medições do coeficiente de atrito no corpo de prova A. Nestes testes o equipamento realizou uma varredura de 200 mm de distância, na velocidade padrão de 17 mm/s. Para maior precisão das medições, foram coletados 2 dados a cada segundo de deslizamento, gerando sinais de COF em função do tempo, os quais são registrados como arquivo de texto.

O programa processa parcialmente os dados e grava de dois maneiras: como sinal no tempo ou como o valor da média do coeficiente de atrito. O valor da

média do COF é mostrado no display instalado no aparelho.

Os dados registrados como valores instantâneos do COF em função do tempo, são incorporados no cartão SD, podem ser processados utilizando o software Excel®, para avaliar seu comportamento. Na Fig. 12 se mostra três sinais de COF obtido na medição do piso cerâmico A.

Figura 12 – Sinais do coeficiente de atrito do cerâmico A.



Fonte: Autor (2021).

Os resultados da medição do piso cerâmico podem-se dividir em duas partes: nos segundos iniciais, se apresenta o atrito estático nos picos destacados, e os sinais do coeficiente de atrito dinâmico, estão um tempo após do primeiro pico do sinal, nesta informação se espera um sinal com comportamento relativamente estável.

Para validar os resultados obtidos pelo equipamento de pequeno porte, foi utilizado o equipamento padrão chamado Tortus, pois ele é um dos equipamentos mais utilizados nas indústrias cerâmicas, além de ser recomendado pela norma 10545 anexo 17.

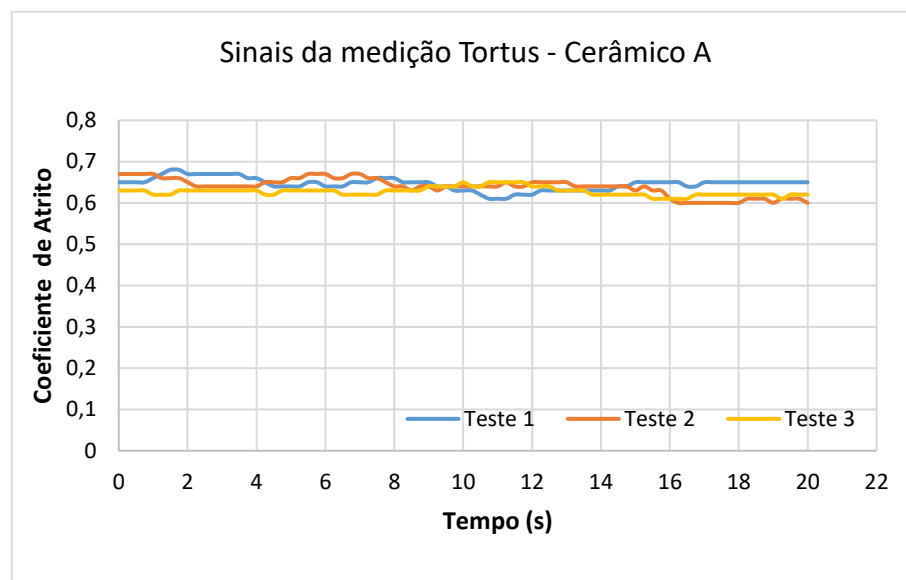
Nos testes realizados com o equipamento Tortus foram adotados os mesmos padrões de ensaio em relação ao equipamento desenvolvido, sendo eles 3 ensaios por corpo de prova, na velocidade de 17 mm/s e distância de 200 mm de percorrido.

A Fig. 13 apresenta as medições do COF, realizadas com o equipamento

Tortus no corpo de prova A. Os valores obtidos não foram os mesmos valores indicados na Fig. 12, mas foram próximos.

O Tortus é equipamentos de fácil operação e pouca interferência humana, sua desvantagem é a alta variabilidade do coeficiente de atrito. Problemas foram relatados na medição em superfícies lisas, pelo efeito stickslip. De acordo com Ricotti (2008), os resultados obtidos com Tortus mostram que este dispositivo não tem precisão em medições na condição seca e úmida.

Figura 13 – Sinais do COF do cerâmico A, medido pelo equipamento Tortus.

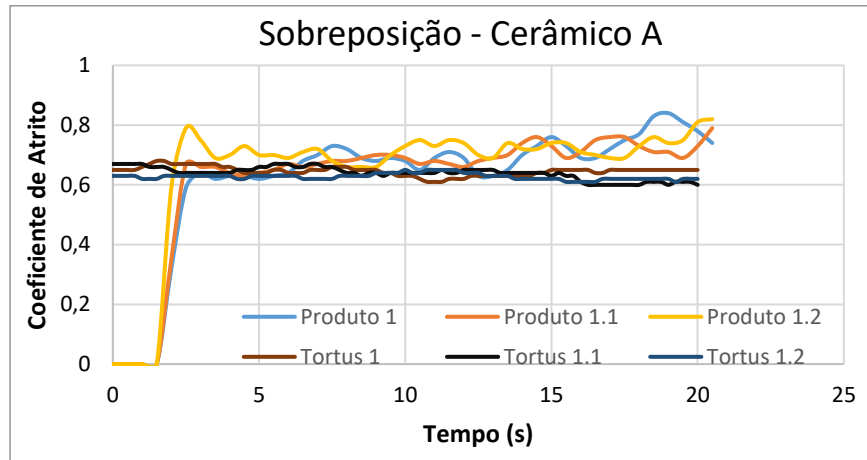


Fonte: Autor (2021).

De acordo com os gráficos, podemos observar que o equipamento Tortus não fornece o coeficiente de atrito estático, já o equipamento desenvolvido demonstra os picos de forma destacada, diferenciando o atrito estático do dinâmico.

Após os testes com os dois equipamentos, no mesmo piso cerâmico, foi realizada a comparação dos resultados dos dois equipamentos, por meio de sobreposição dos gráficos. A Fig. 14 apresenta os resultados da comparação de sinais de COF no tempo do equipamento Tortus, com sinais com cores mais escuras e do equipamento alternativo em cores claras.

Figura 14: Sinais de comparação do coeficiente de atrito do cerâmico A, medido pelo equipamento Tortus e o alternativo.



Fonte: Autor (2021).

As medições do COF foram realizadas em condições semelhantes para os dois equipamentos. Na Fig. 14, observa-se que as medições do coeficiente de atrito, no mesmo piso cerâmico, mostram diferente comportamento nos valores de medição.

Conforme observado na Figura 14, há diferença de resultados. Segundo (DEMARCH et al., 2019) não é apropriado estabelecer uma correlação entre os resultados obtidos com diferentes equipamentos. Nas medições executadas, há uma discrepância entre os resultados no coeficiente de atrito. Sobre comparação com a escala sensorial, observou-se que os resultados não se correlacionaram para os dois equipamentos de teste com configurações diferentes.

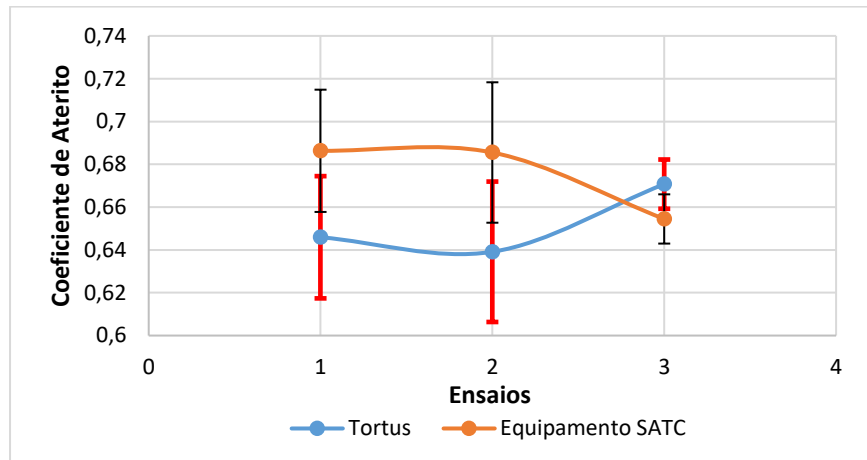
Tabela 4: Comparação dos valores do COF medido com 2 aparelhos.

Teste	Tortus		Equipamento SATC		Diferença Da média
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	
1	0,65	0,02	0,69	0,09	0,04
2	0,64	0,02	0,69	0,07	0,05
3	0,67	0,02	0,65	0,04	-0,02

Fonte: Autor (2021).

Para facilitar o entendimento destes resultados, foi comparado na Fig. 15 os dados do COF do desvio padrão dos valores obtidos no corpo de prova A.

Figura 15 – Comparação da média do COF e desvio padrão.



Fonte: Autor (2021).

Os resultados das tabelas e gráficos acima, mostram a proximidade nos valores obtidos com o Tortus e o equipamento desenvolvido. O equipamento mostrou aceitável confiabilidade de dados com a repetibilidade dos ensaios, além de se destacar pela possibilidade de fornecer o coeficiente de atrito dinâmico e o estático de forma clara e notável.

Como parte da avaliação do equipamento, foram realizados ensaios nos corpos de prova cerâmicos B e C, nestes pisos cerâmicos estão os valores do COF, medidos pelo departamento de controle de qualidade da empresa fabricante.

Foram realizadas as medições do COF, nos pisos B e C, com as mesmas configurações e padrões do teste anterior. Para o corpo de prova 3 foram executados 3 testes de cada equipamento é feita a média dos testes que foram comparados com os valores das médias do Tortus. Seguem abaixo na Tab. 5 os resultados do corpo de prova B e C.

Tabela 5: Comparação do COF nos cerâmicos B e C medido com 2 aparelhos.

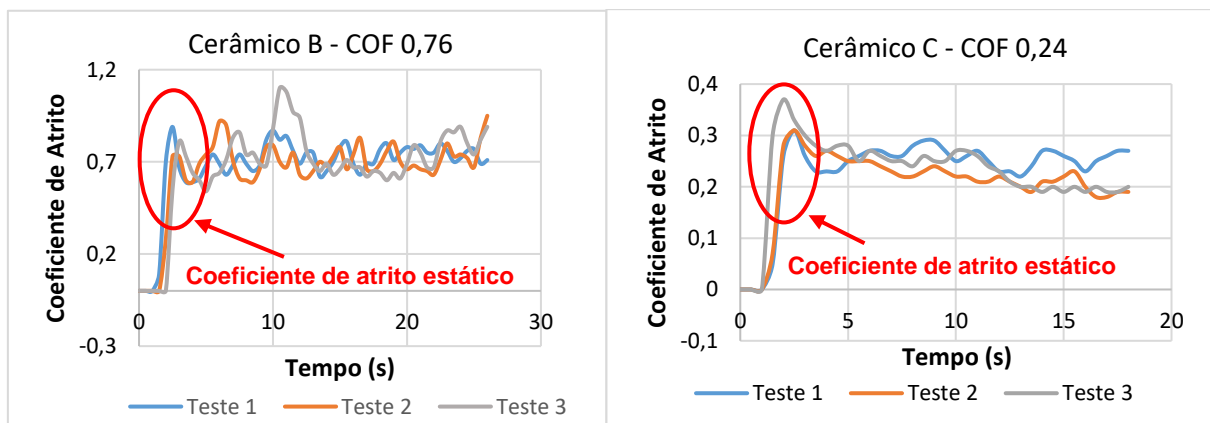
	Cerâmico B		Cerâmico C	
	COF.Dinâmico	COF.Estático	COF.Dinâmico	COF.Estático
Equipamento SATC	0,76	0,90	0,24	0,33
Tortus	0,80		0,30	
Diferença	-0,04		-0,06	

Fonte: Autor (2021).

A comparação dos resultados mostra que a diferença dos valores do coeficiente de atrito cinético estaria apenas na segunda casa decimal. Para o piso cerâmico B e C a diferença foi de -0,04 e -0,06 respectivamente. Para Oliveira e Hotza (2015), o coeficiente de atrito é determinado com a medição de uma borracha padrão com o pino em movimento. A norma ABNT – NBR 15575-3(2008) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – NBR 15575-3, 2008) diz que o coeficiente de atrito mínimo aceitável é de 0,4.

Para analisar o coeficiente de atrito estático foram processados os dados coletados no Excel® conforme a Fig. 16.

Figura 16: Sinais coletados pelo equipamento desenvolvido a) cerâmico B, b) cerâmico C.



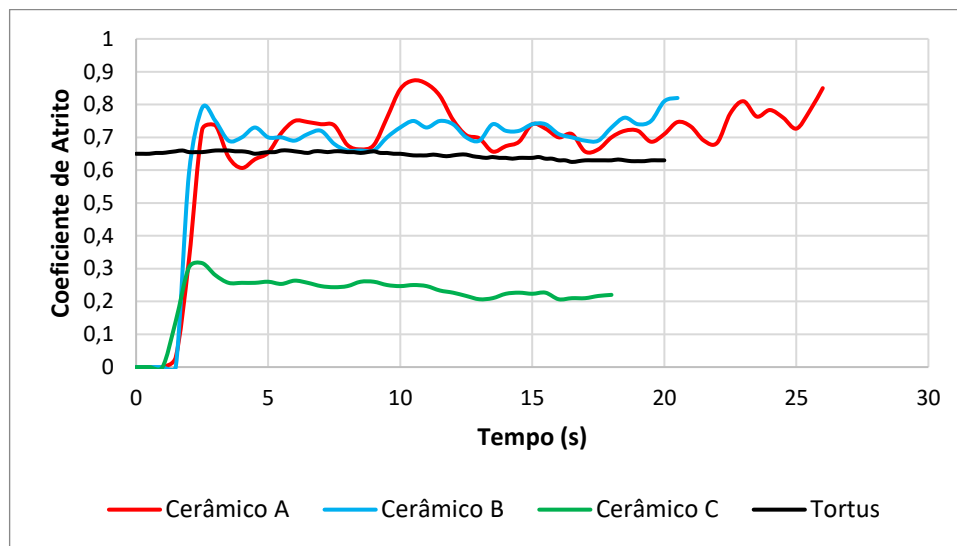
Fonte: Autor (2021).

Os resultados obtidos no cerâmico B e C não foram tão próximos quando comparados ao cerâmico A. Os sinais do COF do cerâmico C, tiveram maior variação que as outras medições. O equipamento desenvolvido na SATC, mostrou ter maiores oscilações que o equipamento Tortus.

Na Fig. 17 se apresenta a comparação de sinais média de todas as medições realizadas em cada cerâmico, também se compara com o sinal de Tortus que contém a média de três sinais.



Figura 17: Comparação dos sinais coletados nos cerâmicos A, B e C.



Fonte: Autor (2021).

Nos sinais se destaca a estabilidade dos sinais do equipamento Tortus, com baixo desvio padrão. No entanto, o valor da média do COF do equipamento alternativo, ainda é considerado satisfatório, pois é o coeficiente de atrito é uma medição complexa que depende de vários fatores. Assim, é necessário realizar várias vezes o ensaio para obter uma média confiável dos valores obtidos.

Foi realizada a análise de custos dos itens e serviços para o desenvolvimento do projeto. Os custos de cada componente utilizado no aparelho são mostrados na Tab. 6.

Tabela 6: Relação de componentes e seus custos

Itens/Serviços	Valores (R\$)
Motor redutor	49,90
Microcontrolador	160,00
Bateria	64,90
Célula de carga	35,00
Amplificador	12,40
Módulo ponte-H - L298N	11,90
Display - Display Lcd 16x2 C/ Módulo I2c	20,90
Módulo cartão SD	7,90

---

MDF cortado em laser	200,00
Usinagem	350,00
Parafusos	15,00
Eixos	50,00
Rodas	250,00

---

Fonte: Autor (2021).

Na Tab. 6 se apresentou os custos de todos os componentes, o produto tem um custo final em torno de R\$ 1227,90.

Com o equipamento finalizado, foram realizados testes em 3 revestimentos cerâmicos diferentes onde foram medidos os coeficientes de atrito estático e dinâmico. Os valores obtidos foram comparados com o equipamento Tortus fazendo a validação dos dados.

## **5 CONCLUSÕES**

O equipamento desenvolvido teve uma performance surpreendente, devido a seus componentes de baixo custo, ele manteve medidas de coeficiente de atrito médio próximo ao equipamento convencional, além da inovação obtida que é o coeficiente de atrito estático, que é um importante característica a ser analisada nas indústrias cerâmicas.

O programa desenvolvido teve seu objetivo concluído, coletando dados em um SD card em tempo real a partir do acionamento do botão, possibilitando o manejo dos dados no software Excel®, focando na análise do coeficiente de atrito estático que é o diferencial do produto. Além de mostrar a média do coeficiente de atrito coletado durante o deslocamento do equipamento na superfície do cerâmico.

A maior diferença entre os dois equipamentos está em que o equipamento alternativo usa uma célula de carga comum, enquanto isso o equipamento Tortus utiliza lâminas feixes com extensômetros instalados em cada face da lâmina. Este sistema de medição é mais sensível que a célula de carga, mas é esta parte que incrementa os custos.

Entre os equipamentos usados no equipamento alternativo é importante ressaltar a eficiência do motor, onde com um motor de 5V de pequeno porte com uma redução, foi suficiente para auto propelir o equipamento com boa eficiência.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – NBR 13818:1997. **Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.**, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – NBR 15575-3. Desempenho de edifícios residenciais de até 5 pavimentos - parte 3 - pisos internos. 2008.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

BROUGH, R. SLIP RESISTENCE OF CERAMIC FLOORING. **IV World Congress on Ceramic Tile Quality**, 1996.

CHANG, W. R. The effects of surface roughness and contaminants on the dynamic friction between porcelain tile and vulcanized rubber. **Proceedings of the XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Association, “Ergonomics for the New Millennium”**, v. 40, p. 494–497, 2000.

CHANG, W. R. et al. State of science: occupational slips, trips and falls on the same level\*. **Ergonomics**, v. 59, n. 7, p. 861–883, 2016.

CLARK, K.; FUJIMOTO, T. Product development performance: Strategy organization and management in the world auto industry. 1991.

COLUCHI, A. **CERÂMICA BRASILEIRA É DESTAQUE NO MAIOR FESTIVAL DE**

**DESIGN DO MUNDO.** Disponível em: <<https://anfacer.org.br/ceramica-brasileira-e-destaque-no-maior-festival-de-design-do-mundo>>.

DEMARCH, A. et al. Coefficients of static and dynamic friction of ceramic floor tiles: Proposal of new method of surface roughness determination. **International Journal of Metrology and Quality Engineering**, v. 10, 2019.

DURÁ, J. V. et al. Identification of floor friction safety level for public buildings considering mobility disabled people needs. **Safety Science**, v. 43, n. 7, p. 407–423, 2005.

EVANS, D. A Internet das Coisas - Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. **IBSG**, 2011.

GOU, H. R. et al. Back pain prevalence in US industry and estimates of lost workdays. **American Journal of Public Health**, v. 89, n. 7, p. 1029–1035, 1999.

KIM, I. J.; HSIAO, H.; SIMEONOV, P. Functional levels of floor surface roughness for the prevention of slips and falls: Clean-and-dry and soapsuds-covered wet surfaces. **Applied Ergonomics**, v. 44, n. 1, p. 58–64, 2013.

LI, K. W. et al. Floor slipperiness measurement: Friction coefficient, roughness of floors, and subjective perception under spillage conditions. **Safety Science**, v. 42, n. 6, p. 547–565, 2004.

LIBERTY MUTUAL RESEARCH INSTITUTE FOR SAFETY. “**2014 Workplace Safety Index**.”

LOCKHART, T. E. An integrated approach towards identifying age-related mechanisms of slip initiated falls. **Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology**, v. 18, n. 2, p. 205–217, 2008.

MENEGAZZO, A. .; DIAS, L. .; SERAFIM, M. . **Interlaboratory Tests of Ceramic Tiles According to International Standards ISO 10545**. Disponível em: <[http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/83 POSTER ING](http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/83%20POSTER%20ING)>.

MOSSMANN, V. L. DA F. et al. Determinação dos Coeficientes de Atrito Estático e Cinético Utilizando-se a Aquisição Automática de Dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 146–149, 2002.

NORMA EN ISO 10545 PART 17. Determination of coefficient of friction. 1995.

OLIVEIRA, A. P. N. DE; HOTZA, D. **Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos**. [s.l: s.n.].

RICOTTI, R.; DELUCCHI, M.; CERISOLA, G. A comparison of results from portable and laboratory floor slipperiness testers. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, n. 2, p. 353–357, 2009.

ROHRLICH, J. T., A. SADHU, A. SEBASTIAN, AND N. A. Risk Factors for Nonorganic Low Back Pain in Patients with Worker’s Compensation. **The Spine Journal**, 2014.

ROZENFELD, H. . et al. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. **Saraiva**, 2006.

SARIISIK, A.; GURCAN, S.; SENTURK, A. Description of slipping test methods and application study on travertine by ramp slip meter. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1707–1710, 2007.

SCORISA, M. M. et al. Breve Descrição dos Métodos de Avaliação da Resistência ao Escorregamento de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 21, n. 3, p. 7–12, 2016.

SENHORAS, E. M.; TAKEUCHI, K. P.; TAKEUCHI, K. P. Gestão da Inovação no Desenvolvimento de Novos Produtos. **IV SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, p. 2–273, 1991.

SIMANTOB, M.; LIPPI, R. Guia Valor Econômico de Inovação nas Empresas. 2003.

UENO, O. K. ; et al. Avaliação das Fontes de Incerteza do Processo de Medição do Coeficiente de Atrito Dinâmico em Pisos Cerâmicos Através do Equipamento Tortus . v. d, p. 1–16, 1999.

UENO, O. K. Avaliação Metrológica de um Sistema de Medição do Coeficiente de Atrito em Pisos Cerâmicos. 1999.