

DESENVOLVIMENTO DE UM TRIBÔMETRO COM CONFIGURAÇÃO MECÂNICA “PIN-ON-DISC” ACESSÍVEL, PARA IMPLEMENTAÇÃO EM LABORATÓRIOS DE UNIVERSIDADES E CENTROS EDUCACIONAIS

André W. de Santana¹, Leandro Gibin², Lucas M. da Silva³, Renan M. Cardoso⁴,
Vinícius I. Teixeira⁵
Anderson Costa⁶

RESUMO

A proposta do artigo é a criação de um tribômetro para as universidades, com objetivo, baixo custo de produção, funcional para o desempenho dos testes e que instigue alunos a conhecer mais sobre o assunto. Para o funcionamento da proposta, contatamos com uma empresa que desenvolve o tribômetro, onde foi feito um orçamento para comparação e estipulação do valor dele conforme o protótipo desenvolvido que atendesse similarmente as funções de ambos. Para desenvolvimento do projeto foi usado a norma ASTM G99-05 95 que nos fornece as especificações e parâmetros sobre os procedimentos para realização do ensaio. O projeto teve início da análise dos equipamentos dos mais diversos fabricantes e com os dados coletados e cálculos efetuados foi acordado um design simples, mas coerente para segurança e automação para manuseio. Com ensaios elaborados para verificar a eficiência do equipamento, foi apurado que o tribômetro desenvolvido atendia com êxito os testes feitos com uma precisão admissível para que fosse utilizado nas universidades e centros educacionais.

Palavras-chave: Tribologia; Força de atrito; *Pin-on-disc*; Automação.

ABSTRACT

The proposal of the article is the creation of a tribometer for universities, with the objective of low production cost, functional for the performance of tests and that encourages students to know more about the subject. For the operation of the proposal, we contacted a company that develops the tribometer, where a budget was made for comparison and stipulation of its value according to the prototype developed that similarly served the functions of both. For the development of the project, the ASTM G99-05 95 standard was used, which provides us with the specifications and parameters of the procedures for carrying out the test. The project

¹Graduando em Engenharia Mecânica, pela Universidade São Judas Tadeu, andresantana.0732@aluno.saojudas.br ² Graduando em Engenharia Mecânica, pela Universidade São Judas Tadeu, leandrogibin.7398@aluno.saojudas.br ³ Graduando em Engenharia Mecânica, pela Universidade São Judas Tadeu, lucassilva.6038@aluno.saojudas.br ⁴Graduando em Engenharia Mecânica, pela Universidade São Judas Tadeu, renancardoso.1225@aluno.saojudas.br ⁵Graduando em Engenharia Mecânica, pela Universidade São Judas Tadeu, viniusteixeira.9217@aluno.saojudas.br ⁶ Prof. Dr. Anderson Figueiredo da Costa dos cursos da graduação e pós-graduação da Universidade São Judas Tadeu, anderson.costa@saojudas.br

began with the analysis of equipment from the most diverse manufacturers and with the data collected and calculations carried out, a simple but coherent design for safety and automation for handling was agreed. With tests designed to verify the efficiency of the equipment, it was found that the tribometer developed successfully met the tests performed with an admissible precision for use in universities and educational centers.

Keywords: Tribology; Frictional force; *Pin-on-disc*; Automation.

1. INTRODUÇÃO

O estudo da tribologia trata-se da união dos campos de ciência, física, química e mecânica, para diferentes tipos de estudos, qualificando os materiais estudados e mostrar através do estudo sobre a lubrificação, atrito e desgastes que prediz o comportamento do material a ser estudado, buscando reduzir e otimizar os efeitos inevitáveis gerados pelo atrito. Possui uma extrema importância para análise de equipamentos críticos, solicitando que um profissional que atua na área da engenharia com noções sobre o assunto que atuar para redução do tempo de inatividade devido aos problemas técnicos relacionados ao desgaste e aumentar a produtividade através de um desenvolvimento de melhor robustez ao projeto.

A área da tribologia é pouco conhecida no meio acadêmico nos cursos da engenharia ou nem mesmo mencionada durante a graduação, assim não permitindo um aperfeiçoamento dos detalhes nos assuntos relacionados ao estudo do desgaste em construção de máquinas, equipamentos e estudos metalográficos dos materiais, que pode comprometer a formação de um profissional da área, que não possível uma visão ampla na questão dos efeitos causados pelo desgaste e suas aplicações.

O presente trabalho tem como desenvolver um protótipo de um tribômetro acessível para realização de testes e ensaios em diversos materiais, sendo eles materiais ferrosos, não ferrosos, polímeros, entre outros com finalidade de adquirirmos uma análise minuciosa sobre suas propriedades relativas ao desgaste quando há duas superfícies que estão em contato, alcançando os valores das variáveis do experimento que são os esforços e condições adversas no ensaio no qual é submetido e assim determinando o coeficiente de atrito, força de atrito e volume de desgaste presumindo uma futura condição de trabalho ao qual o objeto estudado será empregado.

No projeto a configuração mecânica é “Pin-on-disc”, que constitui em um pino de um material específico, na qual será o objeto de estudo do ensaio que ficará em contato direto com um disco rotativo que pode ser constituído do mesmo material do pino ou de outro o qual fará também parte do estudo, ele aplicará sobre o disco uma força normal enquanto desliza sobre a sua superfície gerando atrito.

2. CONCEITOS

2.1. DEFINIÇÃO DA TRIBOLOGIA

A tribologia (do grego τριβω 'tribo' significando 'atritar', e λόγος 'logos' significando 'estudo') é a ciência que estuda o desgaste através da tendência ao movimento relativo entre dois corpos em contato quando submetidos a uma força paralela às superfícies de contato o qual é denominada força de atrito, com o objetivo de reduzir efeitos de consumo de substâncias lubrificantes do conjunto e componentes além da perda de rendimento, aumentando assim a vida útil e confiabilidade do sistema mecânico. A tribologia foi definida em 1966, como a ciência e tecnologia da interação de superfícies em movimento (Jost, 1966)

2.2. DEFINIÇÃO DE DESGASTE

O desgaste consiste em um processo de degradação de um determinado material quando em serviço. Ele está presente em diferentes situações em que ocorre a perda progressiva de material a partir da superfície por contato ou movimento relativo de um sólido, em relação a outro sólido, líquido ou gás.

Existem diversos mecanismos de desgaste que podem ocorrer de forma simultânea em um par de componentes, e são denominados como desgaste abrasivo e desgaste adesivo. A tribologia une os campos de ciência, física, química e mecânica, com seus diferentes tipos de estudos, para qualificar os diferentes tipos de materiais estudados, e mostrar através de estudos a lubrificação, atrito, e desgaste, para prever o comportamento físico dos materiais estudados buscando reduzir e otimizar os efeitos inevitáveis gerados pelo atrito em condições adversas durante o contato entre os materiais, com a finalidade de atender um desempenho desejado (FERNANDES, 2016).

2.3. APLICAÇÕES

A sua principal aplicação consiste na análise operacional de problemas de grande importância econômica, sendo eles a confiabilidade, manutenção e desgaste de equipamentos técnicos de pequeno e grande porte. Como por exemplo a Alemanha, através de pesquisas apresentou estudos em que o desgaste e a corrosão somados, apontaram cerca de 4,5% do PIB em perdas (ZUM GAHR, 1987).

2.4. CONDIÇÕES OPERACIONAIS

As condições operacionais atuam diretamente no estudo e análise da tribologia durante os ensaios, verificando a área e pressão de contato, além da qualidade superficial do material ou corpo de prova. Os abrasivos se tornam uma variável tribológica levando em consideração a dureza, forma, granulometria, angulosidade e resistência ao desgaste do material estudado.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 NORMA DE ENSAIO (PINO SOBRE DISCO)

O ensaio do tipo pino sobre disco (*Pin-on-disc*) é descrito na norma ASTM (*American Society for Testing and Materials*) G99-05 95 . Desta forma foi obtido as especificações e os parâmetros sobre os procedimentos para realização do ensaio.

Com isso foi projetado um protótipo que atenda aos seguintes requisitos da norma ASTM G99-05:

- Suporte de fixação para disco;
- Fabricação da carga com valor conhecido;
- Medições da força de atrito durante o ensaio;
- Medição da velocidade angular durante o ensaio;
- Sistema para aquisição dos dados do ensaio.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 COMPONENTES MECÂNICOS

Tabela 1 - Componentes mecânicos usados para criação do protótipo

Componentes Mecânicos.		
Descrição	Quantidade	Aplicação
Tubo Perfil Retangular AÇO ABNT 1020 20 mm x 30 mm x 6m Espessura de parede de 1,5mm	1	Utilizados na fabricação das partes principais da estrutura do tribômetro devido a sua boa resistência à compressão e à torção, além de proporcionar o alívio de peso da estrutura. As paredes lisas e sem cantos vivos também facilitam os processos posteriores de soldagem e pintura.
Tubo Perfil Quadrado AÇO ABNT 1020 20mm x 20 mm x 2m Espessura de parede de 1,5mm	1	Usados na parte inferior da base para garantir sustentação e alinhamento. Contam com boa resistência à compressão e a torção.
Chapa Alumínio; 300x400 (mm); Espessura 2 mm;	1	Usada como tampo para a base construída
Tubo Perfil U AÇO Galvanizado 250 mm x 30 mm x 1m Espessura de parede de 1,0 mm	1	Soldada a estrutura somente para apoio e resistência do tampo.
Tarugo de seção circular AÇO Inox AISI 304 Diam. 12 x 100 (mm)	1	O eixo principal é o responsável pela movimentação do disco de teste. O Inox AISI 304 é comum em diversas áreas e segmentos da indústria. Ao se optar pelo inox ao invés de um aço carbono se dispensa o tratamento térmico do eixo.
Tubo AÇO ABNT 1045 36x12 (mm)	2	Tubos para confecção posterior do mancal de rolamentos.
Chapa AÇO ABNT 1045 130x260x4 (mm)	1	Chapa para soldagem com tubo de aço 1045 para confecção posterior do mancal de rolamentos.
Rolamentos 6202	2	Utilizados nos mancais do eixo principal,.
Correia de acionamento Modelo Optibelt -VB 6x425	1	Utilizada no sistema de transmissão do motor
Niveladores Dimensões 40x40x50 (mm); Comprimento de rosca 50x M8 (mm);	4	Os pés niveladores são rosqueados e travados por porcas na superfície inferior da base, escolhidos pela boa capacidade de carga e pelo recurso de regulagem.

3.2.2 COMPONENTES ELÉTRICOS

Tabela 2 - Componentes elétricos e eletrônicos usados para criação do protótipo

Componentes Elétricos e Eletrônicos		
Descrição	Quantidade	Função
Inversor de frequência CFW300	1	Controlar a frequência de rede que alimenta o motor.
Módulo de comunicação RS-485 (CFW-300-CRS485)	1	Utilizado em conjunto com inversor de frequência para implementar o uso do protocolo de comunicação Modbus RTU, para fazer a comunicação entre o inversor de frequência e outros dispositivos, enviando e recebendo informações de acordo com a programação.
Motor Trifásico de Indução C.A	1	Acionar o eixo de rotação do disco.
Célula de Carga capacidade de 50N	1	Este sensor é um extensômetro de resistência acoplado em um circuito de ponte de Wheatstone, que tem por finalidade permitir a coleta da carga aplicada no ensaio.
Disjuntor Classe C	1	Foi selecionado para o projeto um disjuntor de curva C, pois estes são usados onde se espera um curto circuito de intensidade média e onde a demanda de corrente para partida de equipamentos é mediana, uma vez que a corrente de partida do motor é maior que a corrente nominal que circula por ele um disjuntor mal dimensionado irá ser acionado em cada partida do motor. Normalmente a classe C é empregada em cargas indutivas, como motores, sistemas de comando e controle.
Disjuntor Motor	1	O disjuntor motor é um dispositivo de proteção para motores elétricos, proporciona proteção contra curtos-circuitos, sobrecorrente e falta de fase com uma atuação extremamente rápida.
Controlador lógico programável - CLP	1	Permitir a programação das lógicas e funções do equipamento.
Fonte de Alimentação 24V	1	Usada para alimentação do CLP.
Interface Homem Máquina – IHM	1	Interface para inserir parâmetros do ensaio.

3.2.3 CONSTRUÇÃO DO TRIBÔMETRO

O tribômetro iniciou-se através da análise dos equipamentos dos mais diversos fabricantes, buscando entender suas funcionalidades, montagem e possíveis potenciais de falhas. Com esse estudo chegamos a um consenso sobre as configurações mecânicas do nosso equipamento, realizando um estudo mais

aprofundado das partes estruturais e sistemas de transmissão através de sistemas CAD (*Computer Aided Design*) e CAE (*Computer Aided Engineering*) do Software Inventor. Através do sistema CAE realizamos os cálculos e análises de tensões nos sistema mecânico baseado em conceitos da metodologia FMEA, análise de falhas e elementos finitos.

O estudo proporcionou uma análise ampla das tensões atuantes em todo sistema, permitindo a correção de alguns aspectos técnicos do projeto antes da execução. Um exemplo, foi o estudo realizado para dimensionamento do eixo de transmissão. A imagem do lado esquerdo representa os pontos críticos de tensões e a imagem do lado direito representa o dimensionamento das cargas e diâmetro do eixo, tornando o eixo apto para suportar as tensões nele aplicadas.

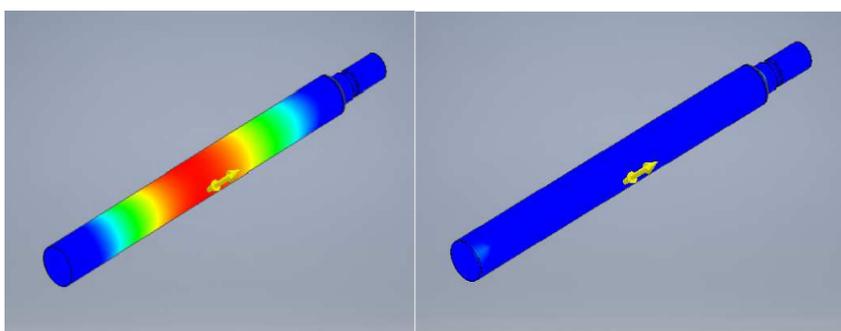


Figura 1 - Análise realizada nos estudos CAE do eixo de transmissão (autoria própria).

Para a montagem do pino, foi utilizado um sistema mecânico fixo, o qual não permite o movimento do pino durante o ensaio.

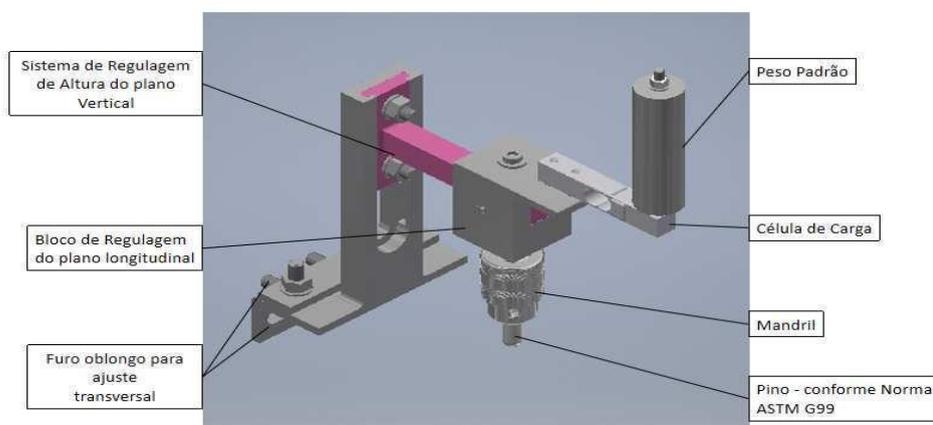


Figura 2 - Análise realizada nos estudos CAE do eixo de transmissão (autoria própria).

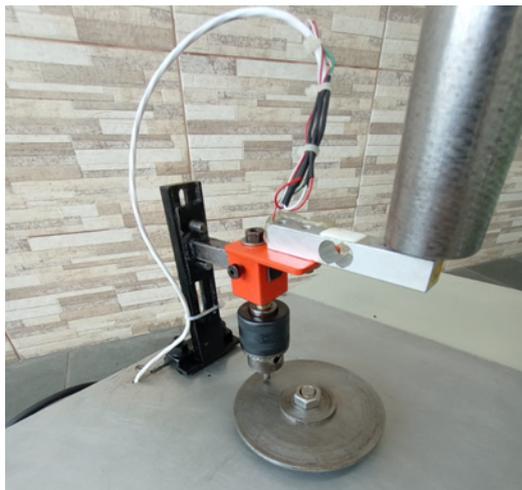


Figura 3 - Sistema de fixação do pino (autoria própria).

Para o sistema de transmissão foi escolhido o mecanismo de transmissão por polias e correia, pois possuem baixo custo inicial, alto coeficiente de atrito, elevada resistência ao desgaste, funcionamento silencioso e sua flexibilidade. Para realizar ajuste da correia foi desenvolvido um sistema que permite a regulagem através de um parafuso, o qual traciona a placa de fixação ao qual o motor está acoplado.

A montagem estrutural do equipamento foi utilizada barras soldadas de perfil quadrado, com soldagem de roscas niveladoras de altura e em seu sistema de proteção foi desenvolvido uma solução com perfis de alumínio estrutural e placas de policarbonato para garantir a segurança do usuário ao utilizar o equipamento, seguindo a orientação e recomendação da NR 12.

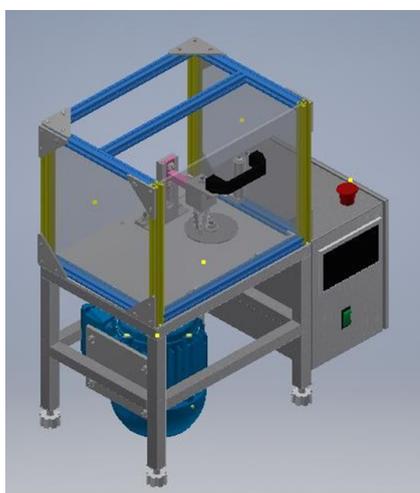


Figura 4 - Desenho do equipamento montado completo (autoria própria)



Figura 5 - Equipamento montado completo (autoria própria)

3.2.4 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma ASTM G99-05 deve-se selecionar os materiais do pino e do disco, assim como suas respectivas dimensões.

O mecanismo criado permite por meio de duas guias abaixo exemplificadas a regulação para atender as dimensões adequadas para o corpo de prova selecionado para o teste.

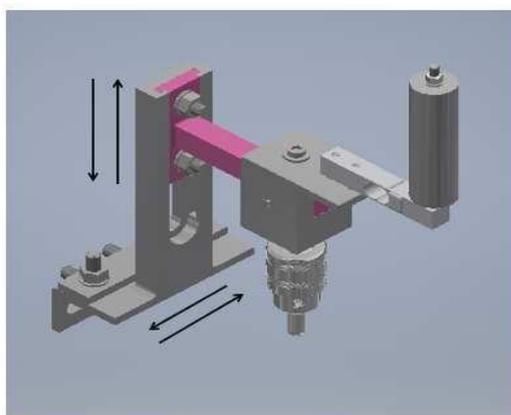


Figura 6 - Movimento longitudinal e vertical do pino (autoria própria).

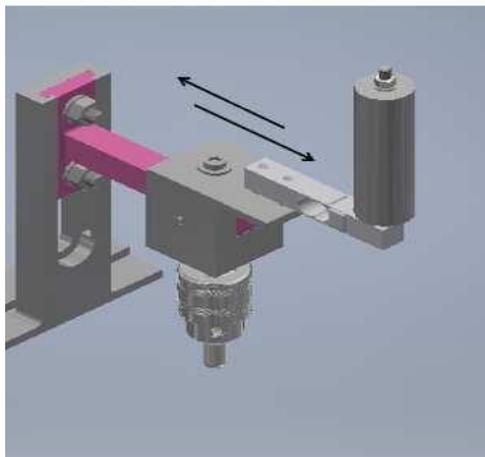


Figura 7 - Movimento transversal do pino (autoria própria).

A guia da lateral movimenta o pino no sentido longitudinal enquanto a guia superior movimenta o pino verticalmente. É necessário sempre conferir o alinhamento das guias após o travamento das mesmas por meio de parafusos.

O movimento do pino no sentido transversal é feito por um conjunto de um bloco e eixo quadrado conforme o desenho, o bloco também é fixado na posição por parafusos.

3.2.5 PROJETO ELETROELETRÔNICO

Abaixo, são descritos os componentes eletroeletrônicos utilizados e a execução e suas respectivas funções:

- 1) Motor elétrico de indução trifásico para movimentar o disco durante o ensaio.
- 2) Inversor de frequência para acionamento, controle da velocidade e do torque do motor elétrico de indução trifásico. Também foram utilizadas as entradas digitais deste equipamento para controle e acionamento através das entradas e saídas digitais do CLP e a entrada analógica para monitorar o amplificador transmissor da célula de carga.
- 3) CLP (Controlador Lógico Programável) utilizado para acionar o inversor de frequência, contagem do tempo do ensaio. Foi realizada a programação do CLP com a linguagem de diagrama Ladder (LD).

4) Disjuntor motor para proteção contra curto-circuito, sobrecorrente e disparo térmico do inversor de frequência e do motor elétrico de indução trifásico.

5) Disjuntor bipolar – Classe C para proteção contra curto-circuito e sobrecorrente do circuito de potência no equipamento e caso ocorra alguma falha, este dispositivo de manobra desliga o circuito de potência.

6) Chave geral bipolar para ligar e desligar o equipamento.

7) Botão de emergência para desligar o inversor de frequência e conseqüentemente o motor elétrico em caso de falha e emergência. Esse dispositivo foi ligado na entrada digital do inversor de frequência e na entrada digital do CLP.

8) Amplificador transmissor realiza o tratamento dos valores analógicos obtidos através da célula de carga e transmite esse sinal para as saídas analógicas de 0-5VDC e 0-10VDC. Sendo possível realizar o ajuste do zero e span da escala através dos potenciômetros disponíveis neste componente. Esse foi ligado na entrada analógica do inversor de frequência.

9) Célula de carga para monitorar a variação da carga que é aplicada sobre este componente.

10) IHM (Interface Homem Máquina) tem a função de executar o controle dos dispositivos através da sua tela com as opções disponíveis, essas telas são criadas através do software de programação e edição de tela, que podem ser baixadas, carregadas e editadas. Pode-se configurar os protocolos de comunicação adequados à nossa aplicação, assim posteriormente transmitir para a IHM.

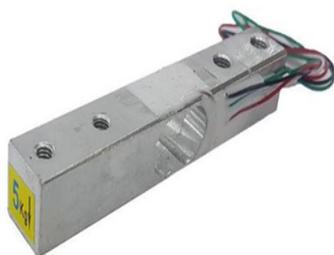


Figura 8 - Célula de Carga de 50N



Figura 9 - Amplificador de pesagem



Figura 10 - CLP (Controlador Lógico Programável) **Figura 11** - IHM (Interface Homem Máquina)

Para nosso sistema de comunicação foi usado o protocolo Modbus que é uma estrutura de mensagem aberta desenvolvida pela Modicon na década de 70, utilizada para comunicação entre dispositivos mestre-escravo / cliente-servidor. O padrão RS-485 (*Recommended Standard-485*) ou EIA-485 (*Electronic Industries Alliance-485*) é muito utilizado na indústria, é sem dúvida um dos padrões mais utilizados pelo protocolo Modbus. Esse padrão permite trabalhar com taxas de comunicação que podem chegar a 12 Mbps e em alguns casos até 50Mbps, vale lembrar que quanto maior o comprimento da rede menor será a velocidade de comunicação, a distância máxima da rede está em torno de 1200m, e o número máximo de dispositivos no barramento da rede é de 32.

3.2.6 IHM E INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Para a nossa IHM (Interface Homem Máquina), pode-se inserir os valores do ensaio. A sua interface é usada para acionar os botões digitais liga, desliga e emergência (habilitar geral). Foram programadas diversas telas para inserir, monitorar e visualizar os parâmetros do inversor de frequência, amplificador transmissor com a célula de carga e o CLP

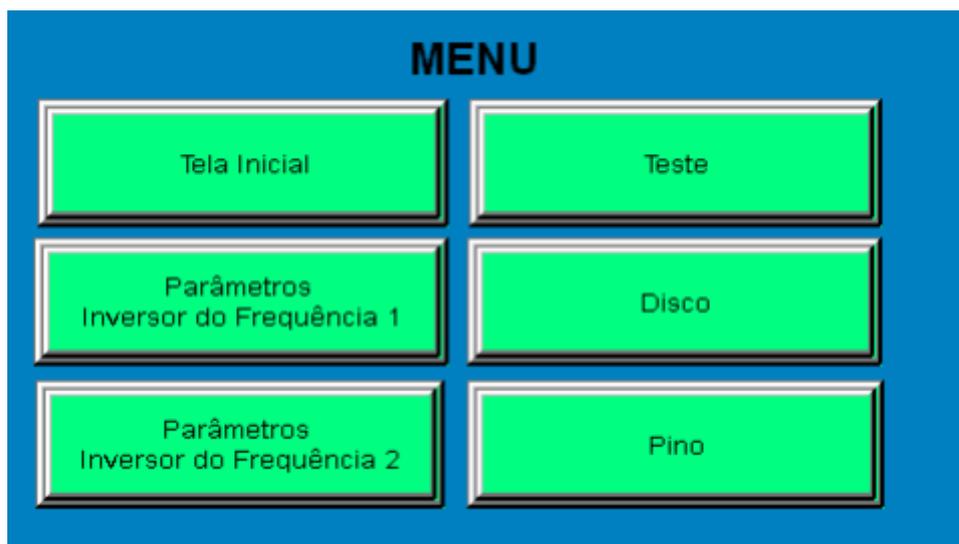


Figura 12 - Tela de interface de opções do equipamento (autoria própria).

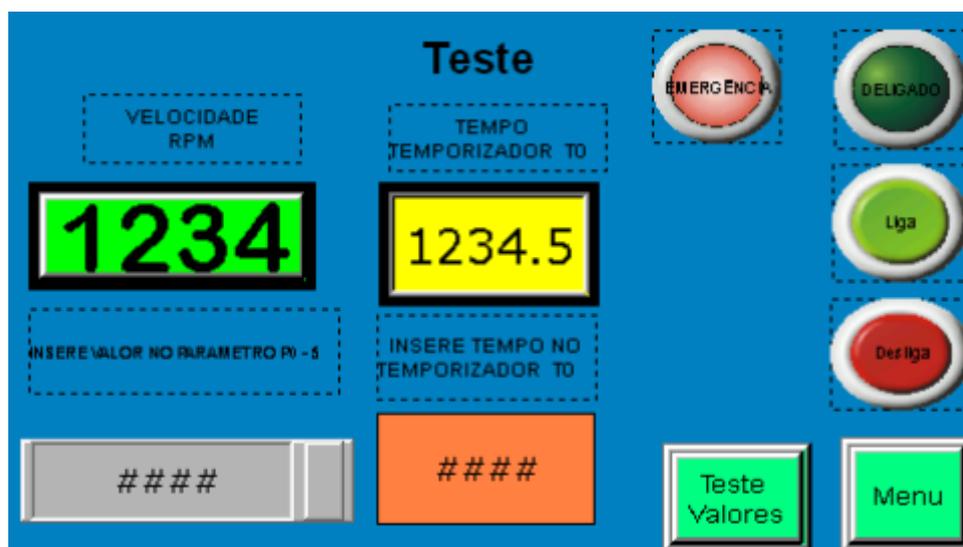


Figura 13 - Tela para definição de parâmetros de ensaio (autoria própria).

Utilizando o software para a criação das telas, é possível inserir os componentes conforme a necessidade do nosso projeto para monitorar e controlar as variáveis. Após a criação da interface e a correta configuração do endereçamento de cada tela, e com os parâmetros das variáveis a serem monitoradas, podemos visualizar as aplicações, conforme as figuras abaixo que mostram a tela de monitorar os parâmetros do inversor de frequência.

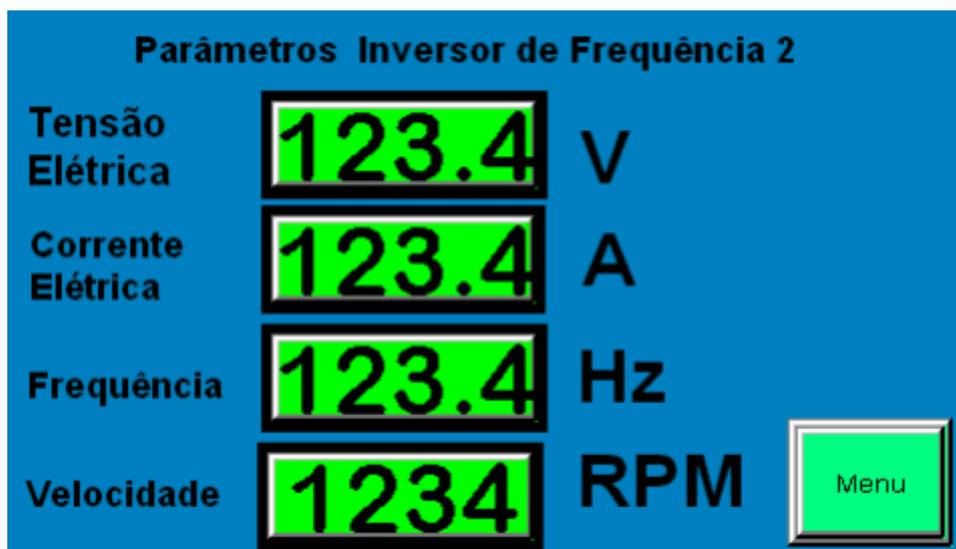


Figura 14 - Tela para monitorar os parâmetros do inversor de frequência (autoria própria).



Figura 15 - Tela para monitorar o valor da massa medida pela célula de carga (autoria própria).

4. EQUAÇÕES E RESULTADOS

Os resultados foram obtidos a partir da aplicação seguinte equação:

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \eta_m \cdot \eta_i \cdot \cos\varphi$$

Onde:

P = Potência (W);

V = Tensão (V);

I = Corrente elétrica (A);

η_m = Rendimento do motor;

η_i = Rendimento do inversor;

$\cos\varphi$ = Fator de potência;

Com o objetivo de relacionar as variáveis presentes no ensaio e obter a potência do motor, foram definidos os seguintes parâmetros:

Velocidade (RPM);

Carga (N);

A partir da velocidade selecionada e a carga aplicada, o equipamento irá indicar o valor da tensão e corrente elétrica, já os demais parâmetros são constantes, por serem obtidos através das especificações técnicas dos equipamentos.

Para o cálculo do momento torçor, foi considerado a seguinte equação :

$$Mt = \frac{P.30000}{\pi.V}$$

Onde:

Mt = Momento torçor (N.m);

P = Potência (kW);

30000 = Constante;

V = Velocidade (RPM);

Para obter a força tangencial atuante no equipamento, foi aplicado a seguinte equação:

$$F_t = \frac{M_t}{R}$$

Onde:

M_t = Momento torçor (N.m);

F_t = Força tangencial (N);

R = Raio (m);

Para o cálculo do coeficiente de atrito, foi considerado a seguinte equação:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n}$$

Onde:

F_t = Força tangencial (N);

μ = Coeficiente de atrito;

F_n = Força normal (N);

A partir destas equações, desenvolvemos a seguinte tabela a fim de demonstrar os resultados obtidos a partir dos dados coletados no ensaio.

Tabela 1 - Resultados obtidos com o ensaio aço ABNT 1045 retificado

Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (RPM)	Ft (Nm)	Fn (N)	Coefficiente de Atrito (μ)
208	1,7	1660	50,84	60	0,85
186	1,7	1481	50,96	60	0,85
199	1,7	1582	51,04	60	0,85
125	1,7	988	51,34	60	0,86
175	1,7	1383	51,34	60	0,86
163	1,7	1285	51,47	60	0,86
151	1,7	1184	51,75	60	0,86
138	1,7	1080	51,85	60	0,86
115	1,7	887	52,61	60	0,88
103	1,7	789	52,97	60	0,88
92	1,7	691	54,02	60	0,90
80	1,7	593	54,74	60	0,91
69	1,7	492	56,91	60	0,95
60	1,6	394	58,16	60	0,97
49	1,6	296	63,22	60	1,05
39	1,5	198	70,52	60	1,18
26	1,4	98	88,66	60	1,48
23	1,3	47	151,85	60	2,53

Podemos gerar um gráfico também em relação a força tangencial e o atrito:

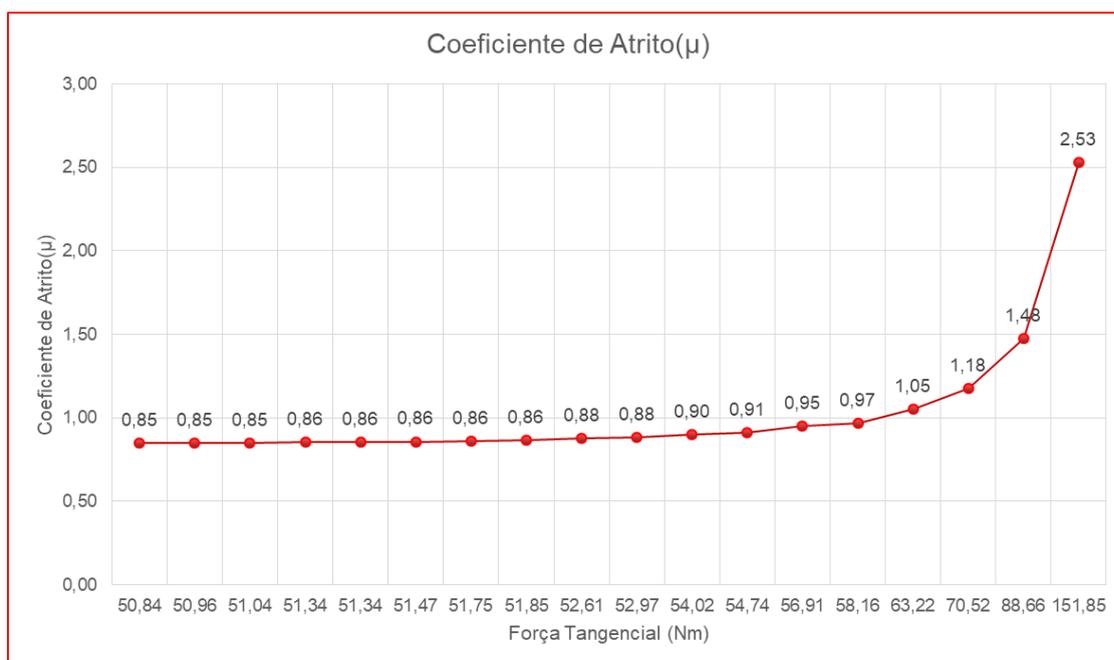


Figura 16 - gráfico de coeficiente de atrito x força tangencial obtidos no ensaio.

Com essas informações do ensaio podemos verificar que quanto maior a tensão e velocidade, menor será a força tangencial e conseqüentemente terá um baixo coeficiente de atrito, porém quando temos uma baixa tensão e velocidade, maior será a força tangencial e alto coeficiente de atrito.

Para nosso ensaio foi utilizado um pino de dimensões: $\varnothing 10 \times 50$ mm, conforme norma ASTM G99. Material: Aço ABNT M2 temperado e retificado - Aço rápido de grande versatilidade, com uma excelente combinação de tenacidade e resistência à abrasão (BRESSAN, 2001)

Para o disco foi feito nas devidas dimensões: $\varnothing 100 \times 3$ mm de espessura, conforme dimensões especificadas na norma ASTM G99. Material: Aço ABNT 1045 retificado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo foi apresentado a proposta de construção de um tribômetro que atendesse a norma, que tivesse custo reduzido e precisão de medição. Para tanto, constituímos nossas premissas básicas para criar o equipamento funcional e aprimorarmos em sua coleta de resultados nos ensaios.

Inicialmente o projeto do equipamento havia sido dimensionado um motor para uma carga de 200 N com uma potência calculada, porém utilizamos um motor trifásico com potência maior em decorrência do seu baixo custo e disponibilidade. A partir do dimensionamento do motor também nos possibilitou escolher os componentes eletroeletrônicos também com uma célula com capacidade de medição de até 500 N, porém ocorreu um problema com a célula que foi substituída por uma nova carga que possibilita apenas leitura de uma carga de 50 N.

Quando o motor está sujeito a uma carga muito baixa a qual foi calculada, isso corresponde a geração de um momento torçor elevado, tornando o equipamento superdimensionado em relação ao sistema, com esse impasse os dados analisados sofreram uma grande variação. A relação entre a diminuição da carga para a descrita no teste e a manutenção do mesmo motor com o torque em excesso resulta em um coeficiente de atrito também elevado, conforme

conseguimos ver nas análises realizadas.

O trabalho desenvolvido apesar das questões técnicas citadas anteriormente, obteve resultados relevantes para o estudo de tribologia para ser utilizado em universidades e centros educacionais devido a implementação efetiva dos recursos da automação, resultando em um equipamento com melhor coleta de dados de ensaios e proporcionando incrementos que auxiliam na comunidade científica devido a fácil parametrização e leitura dos dados pela IHM(Interface Homem-Máquina).

5. REFERÊNCIAS

ASTM, Designation: G99-95; **Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus**, p. 336-390, 1995.

BRESSAN, J.D. E HESSE, R., **Construction and validation tests of a pin-on-disc equipment**. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA -COBEM 2001, 16., 2001, Uberlândia, MG. Uberlândia: ABCM, 2001.

DEMO, P. **Metodologia Científica em Ciências Sociais**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2005.

FERNANDES, G. P. **Aplicação da Tribologia na Pesquisa e Desenvolvimento de Materiais para Embreagens Automotivas: estudo do atrito e do desgaste com foco na origem do desenvolvimento, estabilidade e deterioração do tribofilme. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. São Paulo, p 1-7. 2016.

FRANCHI, CLAITON MORO / CAMARGO, VALTER LUÍS ARLINDO DE - **Controladores Lógicos Programáveis:Sistemas Discretos**. 2 edição, São Paulo: Érica, 2009.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol. 4;

HOLMBERG, K., ANDERSSON, P. e ERDEMIR, A. **Global energy consumption due to friction in passenger cars**. Tribology International, v. 47, p. 221-234, 2012.

JOST, H. P. **Tribology - origin and future**. Wear, v. 136, p. 1-17, 1990.

JOST, P. Lubrification (Tribology). **Education and Research Report**. London: Dept. Education and Science, Her Majesty's Stationary Office, 1966.

METALS HANDBOOK, Desk Edition, **ASM, Heat-Resistant Materials**, p. 16.1, and 1997.

SOARES, DANILO YAMAMOTU FERREIRA. **AUTOMATIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS PINO- DISCO**. 2011. 67 p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - USP - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.

ZUM GAHR, K., H. **Microstructure and Wear of Materials**. Netherlands: Elsevier Science Publishers, 1987.