

# Estudo, conceção, desenvolvimento e construção de um tribómetro linear para testes na pele humana

Eurico Seabra

Luís Ferreira da Silva

José Martins

Mário Lima

*Mechanical Engineering Department, Engineering School, University of Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal*

## Abstract

*The study of the tribological properties of the skin is a research field very important for the medical investigation, dermatological products and the analysis about the interactions of textile products with skin. To obtain these properties it is necessary to performed tests in tribological equipments which can recreate conditions in order to obtain reliable values that will allow to measure the skin wrinkling.*

*The skin aggressions are usually analyzed using special equipments, known as tribometers, that enable to perform tribological characterization of couple of materials, which allows to obtain parameters as friction coefficient and wear, for this, it is required the control of the test variables, such as, applied normal load, displacement speed, environmental conditions and other relevant circumstances which influence the interaction of surfaces in contact.*

*The most important objective is the evaluation of a concept commonly known as touch, difficult to define and measure, which is related with the quantification of the level of comfort provided by the contact with the skin of the human body, comes the necessity of studying soft materials, namely the skin. For that purpose it became necessary, build a tribological equipment capable of responding to the demands of the required tests.*

**Keywords:** *Mechanical design, Tribometer; Instrumentation and Control; 3D modelling*

## Resumo

O estudo das propriedades tribológicas da pele é importante para a investigação médica, como para produtos dermatológicos, bem como análises de interações entre produtos têxteis com a pele. Para obter tais propriedades são realizados ensaios em equipamentos tribológicos, que recriam essas interações para adquirirem valores fidedignos, podendo estes serem estudados e avaliados a nível de desgaste e o próprio o enrugamento da pele.

A pele humana é exposta diariamente a agressões de carácter mecânico, químico e microbiológico. Estas agressões podem alterar propriedades da pele, causando ao utente diversos desconfortos como irritações, desgaste, queimaduras, entre outros. Estas agressões são analisadas por tribómetros, sendo possível fazer a caracterização tribológica de pares de materiais, permitindo obter parâmetros como coeficientes de atrito e desgaste, para isso, a necessidade de controlar variáveis de ensaio como carga normal aplicada, velocidade de deslocamento relativo, condições ambientais e outras relevantes que influenciam a interação das superfícies em contacto. No presente trabalho é apresentado o projeto, o desenvolvimento e a construção de um tribómetro capaz de controlar as variáveis anteriormente referidas podendo assim obter o coeficiente de atrito da interação da pele com tecidos têxteis com ou sem a aplicação de diferentes cremes podendo assim estudar o seu comportamento.

**Palavras-chave:** Projeto mecânico, Tribómetro; Instrumentação e Controlo; Modelação 3D

## 1. Introdução

A pele humana, é o maior órgão do corpo humano, em termos de superfície, que proporciona um mecanismo de defesa vital, formando uma barreira entre o interior do corpo e o ambiente externo. Ela não só contém, como suporta e protege os órgãos internos, até um certo grau, de abrasão, desgaste, corte, permitindo ainda considerável mobilidade do corpo (Elder et al. 2001).

Atualmente a pele humana é exposta diariamente a diversos tipos de agressões, podendo estas serem de carácter mecânico, químico e microbiológico, com estas, as pessoas tem tido diversos problemas na pele que tem aumentado significativamente nas últimas décadas. Muitas dessas agressões resultam da interação da pele com produtos têxteis devido a fricção, com a aplicação de cremes, com dispositivos da área da medicina, entre muitos outros. Estes mesmos ataques têm tendência a alterar as propriedades da pele, como a elasticidade, a rugosidade e a hidratação (Leonardi et al. 2002).

Neste sentido a necessidade de analisar e controlar o comportamento da interação da pele com outros elementos, é de extrema relevância devido à sua importância para minimizar situações de danos na pele, que causam muitas vezes irritação e dor, ou simplesmente para melhorar o conforto, melhorando assim a qualidade de vida. Para analisar e melhor compreender estes fenómenos são frequentemente utilizados tribómetros. Através deste equipamento é possível fazer a caracterização tribológica de pares de materiais e obter parâmetros como o coeficiente de atrito e o desgaste, tendo para isso a necessidade de controlar variáveis do ensaio como a carga normal aplicada, a velocidade de deslocamento, as condições ambientais, de lubrificação, e outras que sejam relevantes e que influenciam a interação entre as superfícies.

Este projeto nasce da necessidade de estudar materiais deformáveis, em específico os que tem contacto direto com a pele, e como tal a necessidade de projetar e desenvolver um equipamento tribológico capaz de responder às exigências para conseguir fazer os ensaios requeridos.

Através destes ensaios foi possível medir o coeficiente de atrito entre dois materiais (apalpador e a amostra) sendo este o principal objetivo de um tribómetro. Para que o tribómetro realize na perfeição o seu principal objetivo, foram estabelecidas algumas especificações a cumprir de forma a tornar o equipamento viável. Para isto foram estudados sistemas de fixação da amostra, sistemas de deslocamento, controlo da velocidade de teste, tipo do apalpador. Foram condições essenciais consideradas a fácil utilização e utilizar alguns equipamentos já existentes no departamento de engenharia mecânica, para tornar a sua construção mais económica.

Perante o objetivo proposto, começou-se por fazer uma análise de mercado relativamente aos vários tipos de tribómetros existentes e respetivas vantagens e desvantagens de utilização, assim como o método de obter as medições dos coeficientes de atrito. Com estes dados, procedeu-se à definição de objetivos, através de uma árvore de objetivos, bem como funções que deveriam estar presentes no dispositivo a desenvolver, recorrendo a um diagrama de funções.

Atendendo ao objetivo principal, e ainda às especificações a cumprir de forma a concretizar o objetivo, fez-se uma análise das várias soluções geradas, com o intuito de encontrar a melhor solução que conseguisse cumprir o objetivo definido do modo mais simples, prático e económico, mas de igual modo viável.

De seguida elaboraram-se desenhos tridimensionais de vários componentes assim como do tribómetro idealizado através de dois programas informáticos avançados de desenho, AutoCAD® e SolidWorks (Planchard 2014), facilitando a sua conceção e visualização, para posteriormente, se proceder ao seu dimensionamento.

No seguimento foi realizada a construção física do protótipo utilizando-se vários tipos de processos de fabrico, seguindo-se a montagem dos vários componentes, obtendo assim, o tribómetro linear inicialmente projetado.

Após isto, calibrou-se todo o equipamento como a velocidade de deslocamento, a régua potenciométrica, a célula de carga e um sensor laser para medição de rugosidade da amostra.

Por fim realizaram-se testes a várias amostras a diferentes velocidades comprovando que o tribómetro é viável.

A figura 1 apresenta de forma esquemática as várias fases que foram realizadas para o desenvolvimento do projeto.

**Figura 1: Fases de desenvolvimento do projeto**



## 2. Tipos principais de tribómetros

No âmbito de melhorar e conhecer o equipamento em desenvolvimento a vários níveis procedeu-se uma análise de vários equipamentos existentes no mercado.

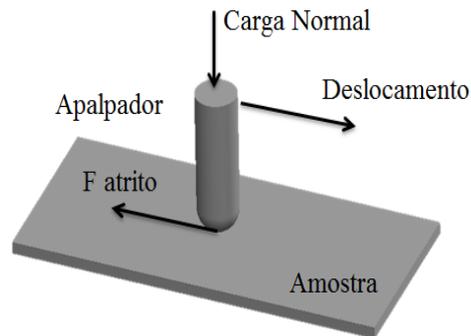
Ao efetuar esta pesquisa deparou-se que no campo da tribologia em materiais deformáveis são utilizados vários métodos para ensaios de atrito, sendo os mais utilizados, o método linear e o método rotativo, focando a pesquisa nos mesmos.

### 2.1 Método linear

O método linear consiste em deslizar um apalpador sobre uma amostra, ou vice-versa, em linha reta e conseqüentemente é gerada uma força de atrito. O coeficiente de atrito é obtido através da divisão da força de atrito pela carga normal aplicada ao conjunto amostra e apalpador, sendo o coeficiente estático obtido da divisão da força necessária para iniciar o movimento e o coeficiente dinâmico obtido através da divisão da força de atrito necessária para manter o movimento.

O método a ser utilizado no tribómetro será o linear e do tipo pino-placa. No tribómetro pino-placa a amostra é carregada axialmente pelo apalpador e realiza-se um movimento linear alternativo entre eles. Como conseqüência, desenvolve-se uma força de atrito contrária ao deslocamento do apalpador como exemplificado na figura 2.

**Figura 2: Princípio de funcionamento de um tribómetro**

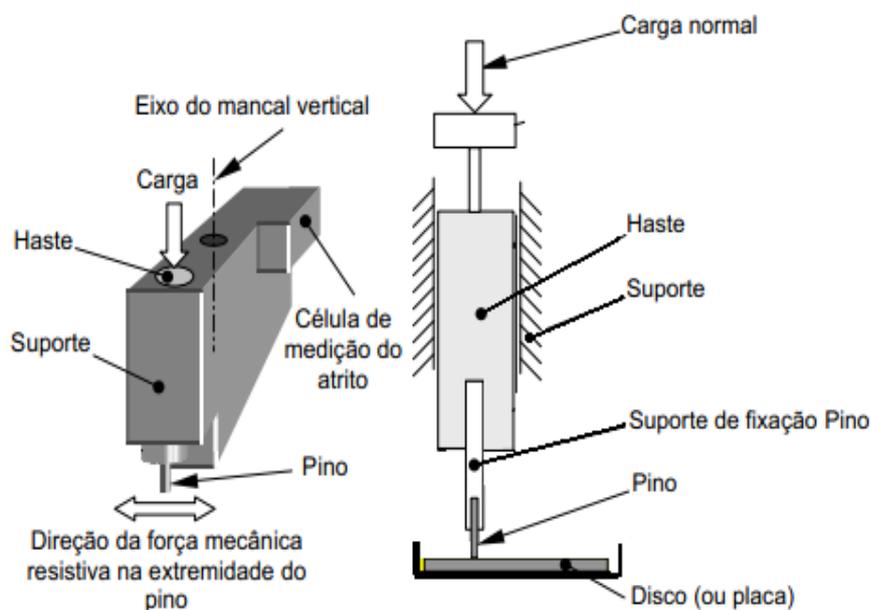


O coeficiente de atrito  $\mu$  é posteriormente obtido pela divisão da força de atrito pela carga normal aplicada  $N$ , através da seguinte lei de Amontons:

$$\mu = \frac{F_{atrito}}{N} \quad (1)$$

A figura 3 apresenta os principais componentes em jogo na medição do coeficiente de atrito através da utilização de um tipo de tribómetro linear.

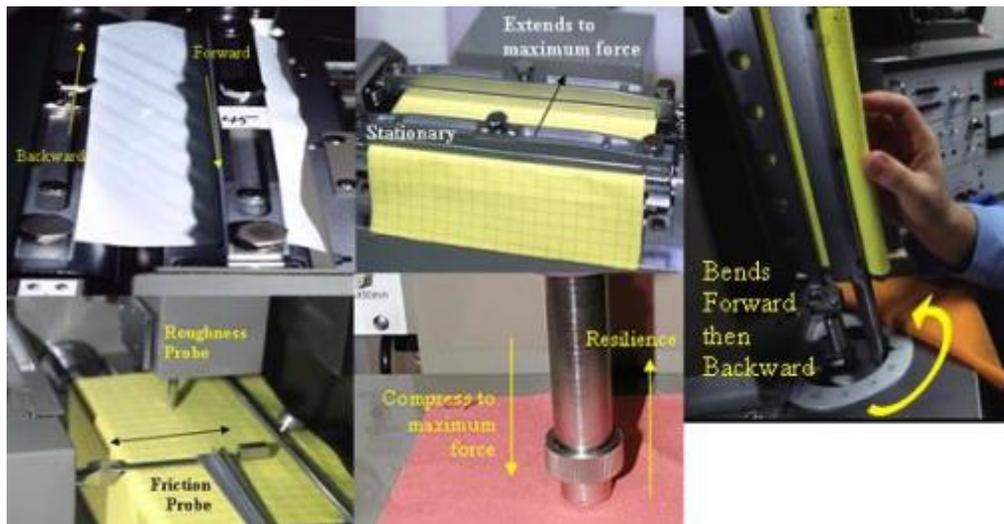
**Figura 3: Exemplo de medição de coeficiente de atrito num tribómetro linear**



Outro tipo de estudo dentro do método linear é a obtenção do coeficiente de atrito através da força de atrito resultante do arrastamento de fitas sobre amostras, ou até mesmo, no antebraço de voluntários.

Dentro do estudo dos diferentes contactos de materiais com a pele, surgiu um sistema que tem a capacidade de medir diferentes propriedades dos materiais (maior foco a materiais têxteis) através de um conjunto de vários equipamentos, sendo o mais representativo o Kawabata Evaluation System (KES) (Kawabata & Niwa 1989 e Wu et al. 2003), que se apresenta na figura 4.

Figura 4: Kawabata Evaluation System(KES) (Kawabata & Niwa 1989)



O KES é constituído por quatro equipamentos diferentes que permitem efetuar os seguintes tipos de testes:

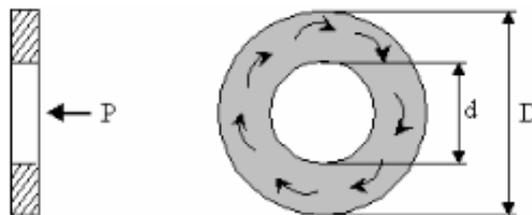
- Tração;
- Compressão;
- Flexão;
- Atrito;
- Rugosidade.

Este equipamento é um dos mais completos do mercado, no entanto não é muito utilizado na indústria devido ao seu elevado custo.

## 2.2 Método rotativo

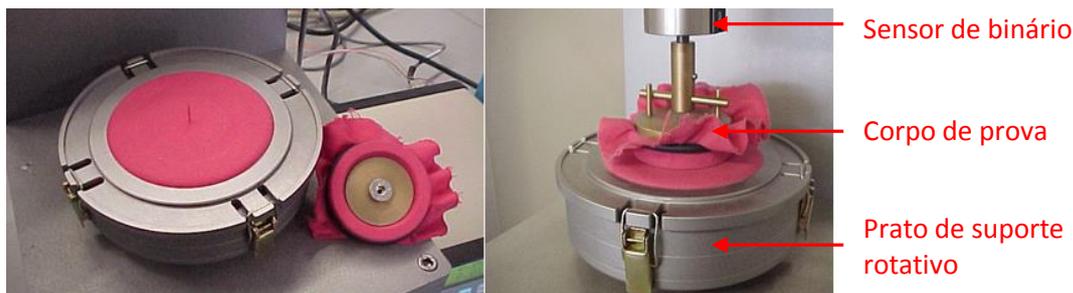
O método rotativo consiste em usar corpo de contato em forma de anel (diâmetro externo  $D$  e diâmetro interno  $d$ ), que se faz rodar segundo o seu eixo e em que é aplicada uma pressão de contato  $P$  sobre a amostra. O seu princípio de funcionamento é apresentado na figura 5.

Figura 5: Sonda em forma de anel



Como exemplo deste princípio de funcionamento, o tribómetro FRICTORQ (figura 6) mede o coeficiente de atrito  $\mu$  através de uma ação rotativa, usando um princípio semelhante a uma embraiagem de disco seco. Um motor de corrente contínua aciona um prato de suporte contendo uma amostra de tecido, sobre o qual é colocado um corpo de prova. Este é forçado a deslizar relativamente ao tecido, onde um sensor de binário, montado coaxialmente com este suporte, registará o binário reativo desse movimento relativo. Por fim, uma aplicação informática especificamente desenvolvida para este efeito converte o valor de binário  $T$  medido, num valor de coeficiente de atrito  $\mu$ .

**Figura 6: O Equipamento FRICTORQ**



O corpo de prova superior foi desenvolvido para funcionar como um corpo “padrão”, garantindo uma determinada pressão de contato e velocidade linear (Lima et al. 2005, Lima et al. 2007 e Macedo et al. 2012). Este corpo de prova superior foi construído de forma a acomodar dois tipos de superfície, como se mostra na figura 7.

**Figura 7: Corpos “padrão” utilizados no FRICTORQ**



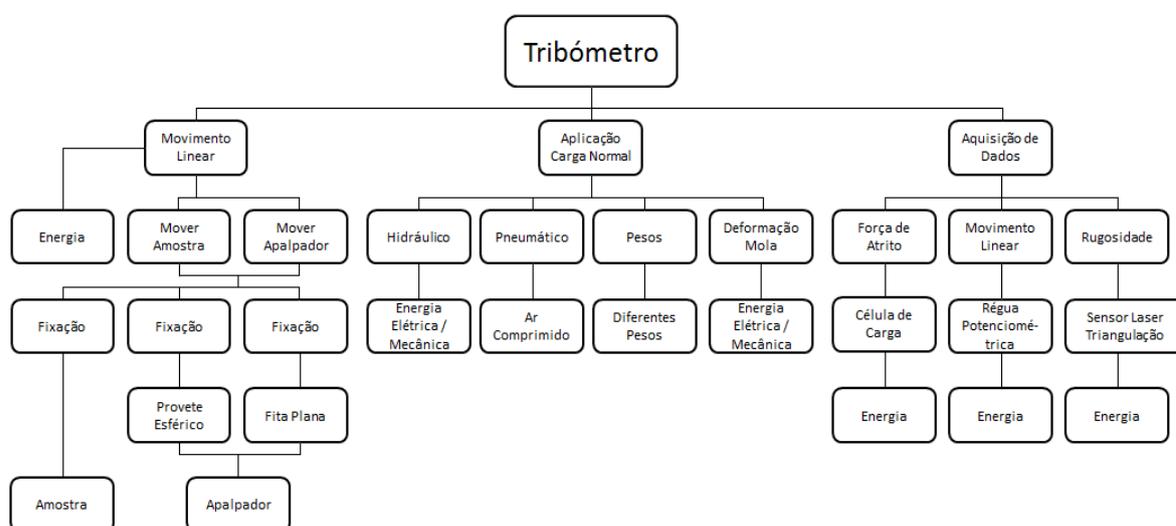
### 3. Projeto do tribômetro linear

Para a realização da concepção, projeto e desenvolvimento de um tribômetro linear foram seguidas diferentes fases de projeto, como a definição do problema, a elaboração da árvore de objetivos, a determinação das especificações e elaboração e escolha da melhor solução, tendo em conta o cumprimento dos principais requisitos do dispositivo a desenvolver.

#### 3.1 Árvore de objetivos

Após o estudo de mercado e para um melhor esclarecimento das várias possibilidades de resolução dos diferentes sistemas do equipamento, foi elaborada uma árvore de funções, como se ilustra a figura 8. Nesta, são apresentadas várias soluções e diferentes abordagens para os vários sistemas necessários para o tribômetro.

**Figura 8: Árvore de funções para o tribômetro linear**



### 3.2 Especificações

Como qualquer projeto, logo à partida, foram apresentadas vários objetivos/especificações iniciais em relação ao tribómetro desejado. Esses objetivos/especificações definiram o tipo de tribómetro, a amostra, o apalpador, a carga e alguns parâmetros de funcionamento, conforme listados na tabela 1.

**Tabela 1: Objetivos/especificações para o projeto do tribómetro linear**

Descrição	Quantificação
Tipo de testes	Medição do coeficiente de atrito e do perfil de rugosidade da amostra
Carga Normal	Desde o peso do apalpador até aos 2 kg, por gravidade
Tipo de movimento	Linear alternativo
Amplitude do movimento	Capacidade de diferentes cursos até um mínimo de 5 mm e um máximo de 280 mm
Gama de velocidades	Desde 1 mm/min até 15 mm/s
Medição da força de atrito e rugosidade	Célula da carga de tração e compressão (força de atrito) Sensor laser (rugosidade)
Geometria do apalpador	Ponteira esférica

### 3.3 Tipos de testes

Como foi dito anteriormente, pode-se tirar a conclusão que os tribómetros têm como principal objetivo medir a força de atrito existente entre dois materiais. No tribómetro linear a desenvolver também é desejado que permita a medição da rugosidade da amostra que está a ser testada, através da utilização de um sensor laser.

#### Aplicação de carga normal

A escolha recaiu sobre a aplicação manual de pesos, principalmente devido à sua simplicidade, ser um sistema bastante compacto e de ser a solução mais económica. Uma das principais contrapartidas deste sistema é a necessidade de diferentes pesos, todos estes devidamente calibrados, para aplicar diferentes cargas, o que implica inicialmente uma baixa gama de cargas possíveis de aplicar. Esta solução consiste num tubo fino em vidro (tudo de ensaios laboratoriais), onde primeiramente insere-se no seu interior o apalpador com a geometria e material pretendido, e de seguida colocam-se sucessivos pesos para atingir a força normal pretendida.

#### Movimento relativo entre amostra apalpador

A escolha recaiu para o movimento ser efetuado por uma mesa linear motorizada, com a referência TLH 300 da marca Festo. Com a aplicação desta mesa, o curso máximo é de 280 mm e o movimento linear da mesa será realizado através da utilização de um motor elétrico DC.

#### Amplitude do movimento

Esta especificação tornou-se fácil de resolver após a escolha da mesa motorizada TLH 300 da Festo, isto porque, esta contém dois sensores de fins de curso de posição ajustável, que podem ser colocados entre si no intervalo dos 5 aos 280 mm.

#### Gama de velocidades e sentido de deslocação

O movimento linear da mesa é realizado através da utilização de um motor elétrico DC acoplado a um fuso de passo de 3 mm e permite alterar a velocidade e a direção do movimento linear da mesa, respetivamente, por alteração e por inversão da tensão elétrica aplicada ao motor DC.

#### Medição da força de atrito e rugosidade

O coeficiente de atrito é obtido através da divisão da força de atrito pela carga normal, para tal, sendo conhecida previamente a carga normal aplicada, é necessário conhecer a força de atrito durante o ensaio. Essa leitura é efetuada por uma célula de carga, referência,

WMCP 1000G da marca Interface, com uma capacidade máxima de leitura de 1 kgf de esforços de tração e de compressão. Para a leitura do perfil de rugosidade/enrugamento foi selecionado um sensor laser de triangulação da marca Micro-Epsilon, modelo optoNCDT 1302.

### Geometria do apalpador

O apalpador é o corpo onde é aplicada a força normal, também é o elemento que irá entrar em contacto direto com a amostra, logo a sua geometria será importante no sentido de que o contacto com a amostra seja de modo a que não crie esforços em direções não perpendiculares à força normal, que perturbem as leituras corretas da força de atrito por parte da célula de carga.

### 3.4 Dimensionamento

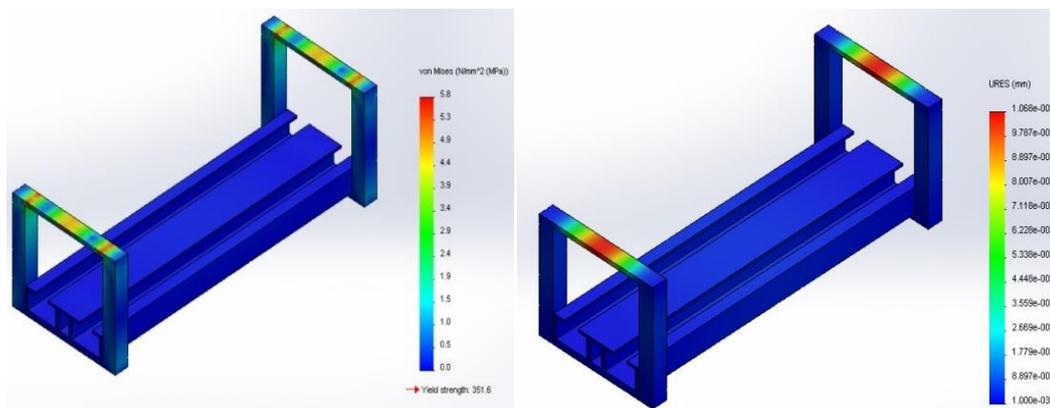
O objetivo neste capítulo é o dimensionamento dos principais componentes do tribómetro linear, nomeadamente, a estrutura e o sistema fixação da célula de carga e do sensor laser. Ou seja, projetar os elementos anteriormente referidos para que efetuem a suas funções sem entrar em colapso e sem deformar ou vibrar excessivamente. Dentro destes limites, os quais são definidos por normas técnicas, o engenheiro estrutural almeja o melhor uso dos materiais disponíveis e o menor custo possível de construção e manutenção da estrutura.

Resumidamente, as principais etapas deste dimensionamento, foram, após a criação do esquema estrutural, em primeiro lugar, a definição das cargas ou forças que atuam na estrutura e a aplicação dos restringimentos, sendo depois realizado o cálculo dos esforços e das deformações.

#### Estrutura da mesa do tribómetro

Para um dimensionamento em situação real foi aplicado o peso real da mesa do tribómetro que é de aproximadamente 8 kgf. Foram posicionadas as forças na parte superior da estrutura assim como os locais onde se fixa a parte inferior da estrutura para realizar os ensaios. A figura 9 apresenta os resultados da simulação numérica por elementos finitos realizada.

Figura 9: Resultados obtidos da simulação para uma força de 78,5 N



Considerando uma malha de elementos finitos de 4 mm, os resultados obtidos a deformação e tensão máximas foram, respetivamente, 0,01 mm e 5,83 MPa. A deformação encontra-se dentro dos limites impostos e como as forças em jogo são muito pequenas, a tensão máxima obtida é muito mais reduzida que o material com inferior tensão de cedência.

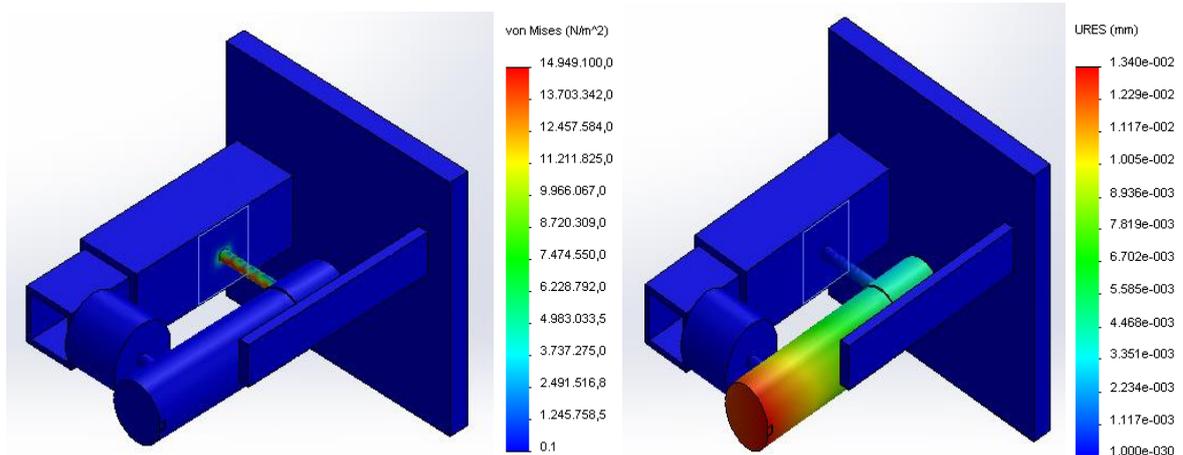
#### Dimensionamento do sistema de fixação da célula de carga, apalpador e sensor

Este sistema é responsável pela fixação dos componentes eletrónicos como a célula de carga que irá efetuar a leitura da força de atrito, gerada pelo deslizamento do apalpador sobre a amostra com uma determinada carga normal. Este movimento irá criar tensões no

suporte, deste modo, para assegurar o seu bom funcionamento, procedeu-se ao seu dimensionamento.

Considerando a mesma malha de elementos finitos de 4 mm, a deformação e tensão máximas foram, respetivamente, 0,01340 mm e 14,949 MPa. A deformação encontra-se dentro dos limites impostos e como as forças em jogo são muito pequenas, a tensão máxima obtida é muito inferior à tensão de cedência do material. A figura 10 apresenta os resultados obtidos da simulação efetuada.

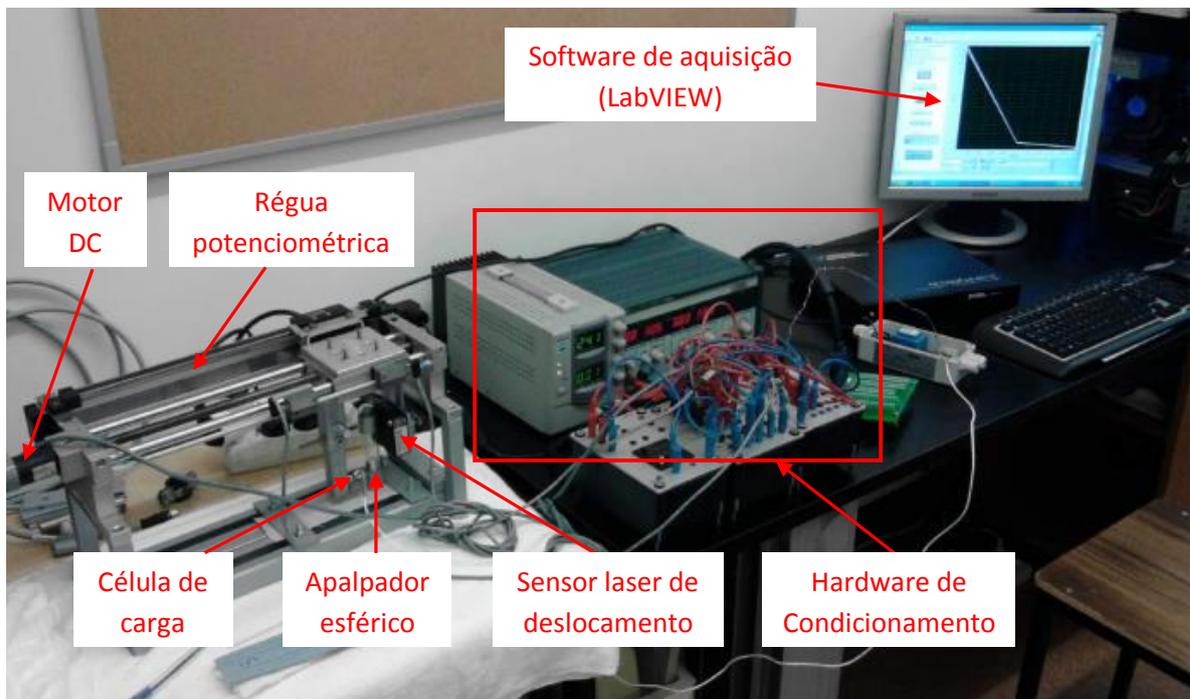
**Figura 10: Resultados obtidos da simulação estática em caso normal**



### 3.5 Construção do protótipo do tribómetro linear

Após a realização das fases de projeto de conceção e de detalhe seguiu-se a sua construção e montagem. A figura 11 apresenta uma fotografia do tribómetro linear construído, bem como todo o sistema de comando e controlo implementado (Hardware e Software). Após esta fase estar concluída, procedeu-se de seguida a ensaios preliminares de validação do tribómetro.

**Figura 11: Vista geral do equipamento desenvolvido**



#### 4. Testes de validação do tribómetro linear

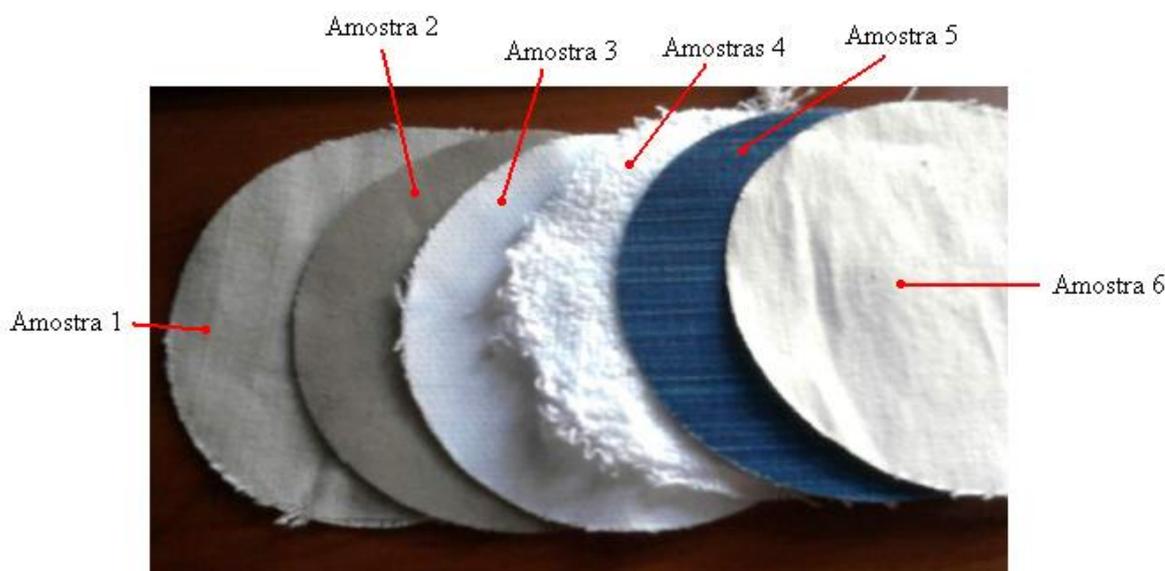
Após todos os passos descritos nos capítulos anteriores como, a necessidade deste projeto, os seus objetivos, soluções estudadas, dimensionamento, construção do protótipo e calibração dos diversos componentes, para tornar este tribómetro fiável, efetuaram-se testes de validação ao equipamento (valores de coeficientes de atrito) com o auxílio de seis amostras de tecido têxtil.

Para comprovar que o tribómetro linear desenvolvido e construído fornece dados fidedignos, decidiu-se comparar resultados, isto é, estabeleceram-se parâmetros e critérios a nível de velocidade, deslocamento, amostra, e carga normal, para se realizarem testes com as mesmas condições em dois tribómetros diferentes, sendo eles, o tribómetro linear desenvolvido e o FRICTORQ referido anteriormente.

Devido ao FRICTORQ usar o método rotativo e o tribómetro estudado usar o método linear, teve-se de calcular a velocidade linear através da velocidade angular do FRICTORQ, para isso, recorreu-se a um tacómetro onde se mediu 0,7 rotações/minuto, e sabendo que o raio médio do corpo de prova/apalpador (ver figura 7) é de 21 mm, a velocidade linear equivalente é de 92,4 mm/minuto, sabendo assim a velocidade a aplicar no tribómetro linear. Outro dos parâmetros importantes é a distância percorrida pelo apalpador ser semelhante, o FRICTORQ foi a referência, isto também porque o tribómetro linear é o único dos dois em que é possível regular a distância a percorrer pelo apalpador, logo foi calculado o percurso percorrido pelo corpo de prova (perímetro) no FRICTORQ, que é de 131,8 mm. Finalmente, também foi utilizado um apalpador no tribómetro linear com massa de 25 g que é igual à massa do corpo de prova/apalpador do FRICTORQ.

A figura 12 ilustra as amostras escolhidas para determinar o coeficiente de atrito que foram seis tecidos têxteis distintos, onde cada um deles foi submetido a dois ensaios realizando assim doze testes em cada um dos dois tribómetros, o que resultou, no total de vinte e quatro ensaios.

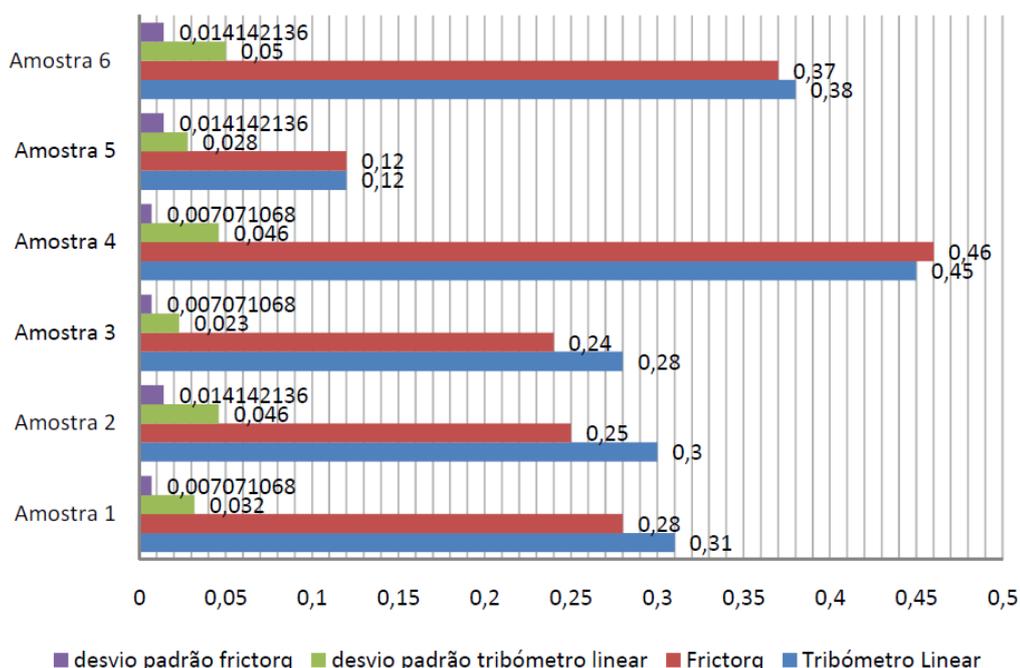
**Figura 12: Amostras de tecidos têxteis ensaiadas**



Inicialmente realizaram-se os testes no tribómetro FRICTORQ, devido à sua incapacidade a nível de controlo de variáveis de ensaio, como, velocidade, deslocamento e altura da amostra em relação ao tribómetro linear. Após a sua observação e com a utilização de condições de ensaio semelhantes (amostras, velocidade, deslocamento e carga normal) foi possível efetuar os mesmos testes no tribómetro linear desenvolvido.

A figura 13 apresentada os principais resultados, em termos de coeficiente de atrito, para os vários ensaios realizados nos dois tribómetros.

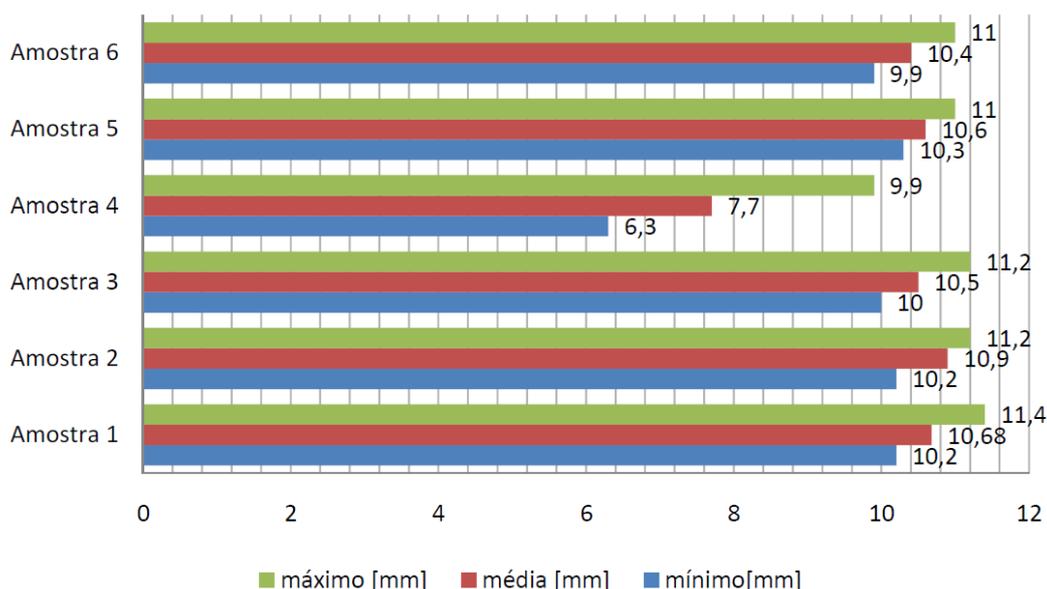
**Figura 13: Resultados estatísticos dos coeficientes de atrito obtidos**



Analisando os resultados apresentados na figura 13, pode-se verificar que ambos os tribómetros fornecem valores médios de coeficiente de atrito muito próximos tendo uma discrepância na ordem das centésimas de unidade sendo que foi na amostra 2 que ocorreu a maior discrepância (0,05), ou até mesmo nenhuma diferença, como indicam os resultados da amostra 5 onde o coeficiente de atrito é igual. Analisando os resultados em termos do desvio padrão pode-se notar alguma diferença entre os resultados dos dois tribómetros, isto pode ser explicado pelos sistemas de aquisição de dados serem diferentes (taxas de aquisição diferentes). Embora em ambos os tribómetros o desvio padrão é baixo, onde o maior tem um valor de 0,05 na amostra 6 para o tribómetro linear e de 0,01 na amostra 2, 5 e 6 no FRICTORQ.

No sentido de averiguar se existe uma correspondência entre os resultados de coeficientes de atrito obtidos (figura 13) com a rugosidade das amostras, a figura 14 apresenta os seus valores, medidos pelo sensor laser instalado no tribómetro linear.

**Figura 14: Rugosidade média das 6 amostras têxteis ensaiadas**



A amostra 4 é a que se evidencia mais a correspondência porque é a amostra com o coeficiente de atrito mais elevado assim como a que apresenta a maior rugosidade (intervalo de valores superior). O inverso da amostra 4 é a amostra 5, ou seja, é a amostra que apresenta menor coeficiente de atrito assim como menor rugosidade (intervalo de valores). As restantes amostras, 1, 2, 3 e 6, são muito semelhantes entre elas, tanto a nível de coeficiente de atrito assim como de nível de rugosidade.

Com isto, pode-se concluir que existe uma relação entre rugosidade e coeficiente de atrito num material, ou seja, quanto maior o intervalo de valores de rugosidade maior será o coeficiente de atrito desse material.

## 5. Conclusões

Relativamente ao projeto e desenvolvimento de uma novo tribómetro linear para testes na pele humana foi possível criar um equipamento adequado e versátil e cumpre todas as especificações pretendidas.

Foi aferido e validado o novo tribómetro linear, desenvolvido e apresentado neste artigo, comparando os seus resultados em termos de coeficiente de atrito obtidos com os medidos em condições semelhantes num tribómetro já existente no mercado. Os resultados encontrados sugerem e demonstram a fiabilidade e rigor dos dados obtidos pelo tribómetro linear desenvolvido.

Futuramente, será otimizado o sistema de aquisição e controlo do tribómetro linear e realizados mais testes de validação, utilizando outros tipo de materiais de amostras, nomeadamente, silicões que simulem a pele humana, que é o principal objetivo.

## 6. Referências

Elder, D., Elenitsas, R., Johnson, B., Jr Ioffreda, M., Miller, J., Miller III, O. (2001). *Histopatologia da pele de Lever*. Manole.

Kawabata, S.; Niwa, M. (1989). *Fabric Performance in Clothing Manufacture*". *Journal Textile Institute* 80 (1), pp. 19–50. doi:10.1080/00405008908659184.

Leonardi, R. G., Gaspar, L. R., Campos, P. G. (2002). Estudo da variação do pH da pele humana exposta à formulação cosmética acrescida ou não das vitaminas A, E ou de ceramida, por metodologia não invasiva. *Anais Brasileiros de Dermatologia*. Rio de Janeiro, 77(5), pp. 563-569.

Lima, M., Hes, L., Silva, L.F., Vasconcelos, R. & Martins, J. (2005). *FRICTORQ, Tribómetro para Avaliação Objectiva de Superfícies Têxteis*. III Congresso Ibérico de Tribologia – IBERTRIB'2005 (CD-ROM), Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 16-17 de Junho.

Lima, M., Silva, L.F., Vasconcelos, R., & Cunha, J. (2007). *FRICTORQ – Instrumento para a Medição Objectiva do Atrito em Têxteis*, conference "Engenharias'2007 – Inovação & Desenvolvimento", Universidade da Beira Interior, Covilhã, 21-23 November.

Macedo, D., Lima, M., Silva, L.F., Vasconcelos, R., & Seabra, E. (2012). *FRICTORQ: Evaluation of Friction Coefficient in the Presence of Cosmetic Creams*. TRS 2012 – The 41st Textile Research Symposium, 12- 14 September, Guimarães, Portugal.

Planchard, D. C. (2014). *SolidWorks 2015 Reference Guide*, SDC Publications. United States of America.

Wu, Z.; Au, C.K., Matthew, Y. (2003). *Mechanical properties of fabric materials for draping simulation*". *International Journal of Clothing Science and Technology* 15 (1): 65–88. doi:10.1108/09556220310461169.