

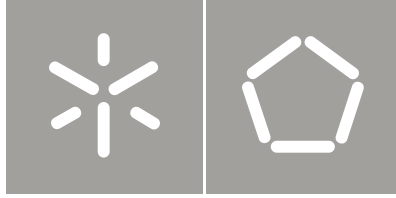


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Dinis Pereira de Macedo

FRICTORQ®: Avaliação do coeficiente
de atrito na presença de cremes cosméticos

Dinis Pereira de Macedo
FRICTORQ®: Avaliação do coeficiente
de atrito na presença de cremes cosméticos



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Dinis Pereira de Macedo

FRICTORQ®: Avaliação do coeficiente
de atrito na presença de cremes cosméticos

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra
Professor Doutor Luís Fernando Sousa Ferreira da Silva

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que me apoiaram e tornaram possível a realização desta dissertação com especial destaque:

Aos meus orientadores Doutor Eurico Seabra e Doutor Luís Ferreira da Silva pelos conselhos, disponibilidade, observações argutas, pelo apoio incansável e pela capacidade de ensinar a pensar.

Ao Doutor Mário Lima pelas ideias, dedicação, paciência e precioso apoio dado a este estudo.

À Doutora Rosa Vasconcelos por toda a ajuda que me dedicou.

Ao Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos (CENTI) pela colaboração e disponibilidade prestada.

À Doutora Clara Silva e ao Engenheiro Diogo Moreira pelo apoio que me deram para a realização dos ensaios no CENTI.

Em especial, aos meus pais, irmãos e amigos pelo apoio, paciência e compreensão.

A todos o meu muito obrigado.

Resumo

São inúmeras as aplicações em que produtos ou materiais estão em contacto com o corpo, nomeadamente com a pele, como é o caso do vestuário e dos têxteis lar, e mesmo dos produtos cosméticos. Neste sentido, e com especial ênfase nos produtos cosméticos, existem vários parâmetros que permitem avaliar a qualidade e a sua aplicabilidade. O coeficiente de atrito é um desses parâmetros, sendo um dos principais indicadores para a avaliação objetiva de um conceito vulgarmente conhecido por toque.

Com esta dissertação pretende-se efetuar a reengenharia do equipamento FRICTORQ® de forma a implementar a função para medir o coeficiente de atrito de cremes cosméticos. Para isto, começou-se por analisar alguns equipamentos análogos, onde foram estudados os seus princípios de funcionamento, materiais e componentes utilizados. Após esta análise, fizeram-se as alterações necessárias no equipamento FRICTORQ®. Para testar os componentes inseridos nesta nova versão, realizou-se uma série de ensaios sistemáticos. Onde se pode verificar que o coeficiente de atrito de um creme hidratante é superior ao do coeficiente de atrito de um creme esfoliante.

Depois dos resultados obtidos, e para os poder comparar com os resultados de outro equipamento, realizaram-se os mesmos testes de atrito, com os mesmos cremes, no equipamento Frictiometer®. Como os resultados são apresentados numa grandeza característica do equipamento, não se pode realizar uma análise qualitativa dos resultados. Fez-se apenas uma análise qualitativa entre os dois equipamentos.

Abstract

There are numerous applications in which products or materials are in contact with the body, including the skin, such as clothing, fine paper and even cosmetics. In this sense, and with special emphasis on cosmetic products, there are several parameters for assessing the quality and applicability. The coefficient of friction is one of these parameters, one of the main indicators for the objective assessment of a concept commonly known by touch.

This dissertation aims to make the reengineering of the FRICTORQ® device in order to implement the function to measure friction in the presence of cosmetic creams. For this, we started by analyzing some similar equipments, where was studied their operating principles, materials and components used. After this analysis, the necessary changes were made in equipment FRICTORQ®. To test new components included in this version, carried out a series of systematic tests, where one can see that the friction of a moisturizing cream is higher than the friction of an exfoliating cream.

After the results, to make them comparable with results from other equipments were carried out the same tests of friction with the same creams, on equipment Frictiometer®. As the results are presented a characteristic quantity of the equipment cannot perform a qualitative analysis of the results. There was only a qualitative analysis between two devices.

Índice

| | |
|---|----------|
| Agradecimentos | iii |
| Resumo..... | v |
| Abstract..... | vii |
| Índice..... | ix |
| Índice de figuras | xiii |
| Índice de tabelas..... | xvii |
| Nomenclatura.. .. | xix |
| Glossário..... | xxi |
| Capítulo 1 - Introdução | 1 |
| 1.1 Objetivos | 1 |
| 1.2 Justificação e motivação | 2 |
| 1.3 Estrutura da dissertação | 5 |
| Capítulo 2 - A medição do atrito | 7 |
| 2.1 O atrito..... | 7 |
| 2.2 Medição do atrito em superfícies flexíveis | 9 |
| 2.2.1 Equipamento Kawabata Evaluation System (KES) | 10 |
| 2.2.2 Equipamento Tribosensor..... | 12 |
| 2.2.3 Tribómetro CETR UMT-2 | 13 |
| 2.2.4 Equipamento PARAM FPT-F1..... | 15 |
| 2.3 Avaliação do coeficiente de atrito da pele humana..... | 15 |
| 2.3.1 Tribómetro CETR UMT-3 | 15 |
| 2.3.2 Equipamento Dia-Stron MTT170..... | 18 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.3.3 | Medição do atrito com o Microscópio de Força Atómica (AFM) | 19 |
| 2.3.4 | Medidores de atrito portáteis: Newcastle, KES e Frictiometer | 20 |
| 2.4 | Avaliação de atrito de produtos cosméticos | 22 |
| 2.4.1 | Tribómetro utilizado nos estudos de K.Horiuchi | 22 |
| 2.4.2 | Dispositivo de medição utilizado por K.Kusakari..... | 23 |
| Capítulo 3 - O equipamento FRICTORQ® | | 25 |
| 3.1 | O princípio de funcionamento | 25 |
| 3.2 | A evolução do FRICTORQ®..... | 28 |
| 3.2.1 | FRICTORQ® I: Primeiros desenvolvimentos..... | 29 |
| 3.2.2 | FRICTORQ® II: Corpo de prova com 3 superfícies de contacto | 30 |
| 3.2.3 | FRICTORQ® III: Análise em meio líquido | 32 |
| 3.2.4 | FRICTORQ® IV: Análise de peles com emulsões cosméticas..... | 33 |
| 3.3 | Evolução para avaliação de cremes cosméticos..... | 33 |
| 3.3.1 | Corpo de prova | 34 |
| 3.3.2 | Base de ensaios..... | 34 |
| 3.3.3 | Barra de acoplamento do sensor..... | 35 |
| 3.3.4 | Montagem final..... | 36 |
| Capítulo 4 - Ensaios preliminares com o FRICTORQ®..... | | 39 |
| 4.1 | Protocolo de ensaio | 39 |
| 4.2 | Condições dos ensaios | 42 |
| 4.3 | Resultados obtidos..... | 45 |

| | | |
|---|---|-----|
| 4.4 | Discussão e análise dos resultados obtidos | 50 |
| 4.5 | Conclusões..... | 53 |
| Capítulo 5 - Avaliação do atrito dos cremes cosméticos com o equipamento | | |
| Frictiometer®..... | | |
| 5.1 | Procedimentos dos ensaios..... | 55 |
| 5.2 | Resultados obtidos com o Frictiometer®..... | 58 |
| 5.3 | Discussão e análise dos resultados obtidos | 60 |
| 5.4 | Conclusões..... | 62 |
| Capítulo 6 - Conclusões | | |
| 6.1 | Sumário dos desenvolvimentos | 65 |
| 6.2 | Conclusões..... | 66 |
| 6.3 | Trabalhos futuros..... | 68 |
| Referências bibliográficas | | |
| | Referências citadas | 69 |
| | Outras referências..... | 72 |
| | Webgrafia | 73 |
| Anexos..... | | |
| | Anexo 1 – Manual de fabrico..... | 76 |
| | Anexo 2 – Manual de montagem..... | 98 |
| | Anexo 3 – Artigo apresentado na conferência 41 st Textile Research Symposium | 116 |
| | Anexo Digital – Desenhos técnicos | 121 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Diferentes tipos de tecidos [5] | 8 |
| Figura 2 - Representação das forças atuantes num corpo sobre um plano inclinado | 9 |
| Figura 3 - Equipamento KES [7] | 10 |
| Figura 4 – Dispositivo para medir atrito em tecido [5] | 10 |
| Figura 5 - Apalpador de atrito [5] | 10 |
| Figura 6 - Dispositivo para medir rugosidade em tecido [5] | 11 |
| Figura 7 - Apalpador de rugosidade [5] | 11 |
| Figura 8 - Resultados obtidos com sarja [5] | 11 |
| Figura 9 - Configuração do sensor de atrito [9] | 12 |
| Figura 10 - Vista do rolo sobre material em teste [8] | 12 |
| Figura 11 – Tribosensor: medição do coeficiente de atrito de uma superfície flexível [8] ... | 13 |
| Figura 12 - Tribómetro UMT-2 [11] | 13 |
| Figura 13 – Componentes que se podem acoplar para efetuar testes [11] | 14 |
| Figura 14 - Tribómetro PARAM FPT-F1 [12] | 15 |
| Figura 15 - Teste ao coeficiente atrito de um antebraço com o tribómetro UMT-3 [13] | 16 |
| Figura 16 - Posições do braço onde foram realizados os ensaios de atrito [13] | 16 |
| Figura 17 - Corpo de prova utilizado no tribometro UMT-3 [14] | 17 |
| Figura 18 – Configurações para os ensaios de atrito [16] | 18 |
| Figura 19 - Representação dos ensaios segundo as duas configurações [16] | 18 |
| Figura 20 - Medidor de atrito Newcastle [20] | 20 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 - Equipamento de medição de atrito portátil da KES [7] | 21 |
| Figura 22 - Sonda Fritiometer e esquema representativo [22] | 21 |
| Figura 23 - Imagem e diagrama esquemático do tribómetro utilizado por K.Horiuchi [23]. | 22 |
| Figura 24 - Equipamento e corpos de prova utilizados nos estudos de Ken Kusakari [24]. | 23 |
| Figura 25 - Diagrama representativo do dispositivo de medição [24] | 24 |
| Figura 26 - Equipamento FRICTORQ® | 25 |
| Figura 27 - Imagem da aplicação <i>Frictorq</i> executada para a realização de um ensaio | 26 |
| Figura 28 - Representação gráfica dos resultados de um ensaio..... | 27 |
| Figura 29 - Corpo de prova anelar com superfície lisa e tratada quimicamente..... | 29 |
| Figura 30 - Ensaio na modalidade tecido-tecido (esquerda) e tecido-metal (direita)..... | 29 |
| Figura 31 - Corpo de prova utilizado na versão FRICTORQ® II. | 31 |
| Figura 32: Configuração de teste que permite ensaios em ambientes líquidos..... | 32 |
| Figura 33 - Modelação 3D da base de ensaios para análise de peles artificiais | 33 |
| Figura 34 - Corpo de prova utilizado nos ensaios de atrito com cremes cosméticos..... | 34 |
| Figura 35 - Base de ensaios em borracha de silicone..... | 35 |
| Figura 36 - Barra de acoplamento do sensor com entalhes | 35 |
| Figura 37 - Borracha de silicone colocada na base rotativa do equipamento..... | 36 |
| Figura 38 - Componentes alterados já montados no equipamento FRICTORQ® | 37 |
| Figura 39 - Aplicação frictorq instalada no computador | 39 |
| Figura 40 - FRICTORQ preparado para iniciar um teste de atrito..... | 41 |
| Figura 41 - Exemplo do resultado de um ensaio realizado no FRICTORQ® | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 42 - Aplicação de 0,5 ml de creme sobre a base de ensaios..... | 43 |
| Figura 43 - Pelicula de creme esfoliante aplicado manualmente..... | 43 |
| Figura 44 - Pelicula de creme após passagem da espatula de plástico | 44 |
| Figura 45 - Grânulos do creme esfoliante observados no microscópio | 45 |
| Figura 46 - Coeficiente de atrito obtido com a borracha de silicone em vazio..... | 46 |
| Figura 47 - Coeficiente de atrito obtido com creme hidratante..... | 46 |
| Figura 48 - Coeficiente de atrito obtido com o creme esfoliante | 47 |
| Figura 49 - Representação gráfica dos resultados dos teste preliminares | 51 |
| Figura 50 - Representação gráfica dos resultados dos testes intercalares | 52 |
| Figura 51 - Equipamento Frictiometer® (placa de controlo e sonda) | 55 |
| Figura 52 - Ensaio de atrito realizado no braço com creme hidratante..... | 57 |
| Figura 53 - Ensaio de atrito realizado na borracha de silicone | 58 |
| Figura 54 - Representação gráfica dos resultados de atrito obtidos na pele do antebraço.. | 60 |
| Figura 55 - Representação gráfica dos resultados obtidos com a borracha de silicone | 61 |
| Figura 56 – Borracha de silicone adere à cabeça da sonda devido ao vácuo | 62 |

Índice de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Características da borracha de silicone [26] | 35 |
| Tabela 2 - Resultados dos ensaios preliminares | 48 |
| Tabela 3 - Resultados dos ensaios Intercalares | 49 |
| Tabela 4 - Resultados da 2ª série de testes preliminares..... | 50 |
| Tabela 5 - Características dos ensaios realizados com o Frictiometer® | 56 |
| Tabela 6 - Resultados do coeficiente de atrito da pele do antebraço | 59 |
| Tabela 7 - Resultados dos ensaios de atrito na borracha de silicone | 59 |

Nomenclatura

| Símbolo | Nome | Unidade |
|----------------|-----------------------|----------------|
| A | Área | m^2 |
| μ | Coeficiente de atrito | |
| F | Força de atrito | N |
| T | Binário | Nm |
| P | Carga aplicada (Peso) | N |
| HR | Humidade Relativa | % |
| T | Temperatura | °C |
| p | Pressão | Pa |

Abreviaturas

AFM – Microscópio de Força Atômica

BSf – Borracha de silicone (face da frente)

BSv – Borracha de silicone (face do verso)

CENTI – Centro de Nanotecnologias e Materiais Técnicos

Glossário

Atrito – É a força natural que atua sobre os corpos quando estes estão em contato com outros corpos e sofrem a ação de uma força que tende a colocá-lo em movimento, é sempre contrária ao movimento ou à tendência de movimento.

Atrito estático – Força que se opõe ao início do movimento entre as superfícies, quando as superfícies em contato encontram-se em iminência de movimento relativo.

Atrito cinético – Força que surge entre as superfícies que apresentam movimento relativo de deslizamento entre si.

Conforto – É um estado de harmonia física e mental com o meio, baseado na ausência de qualquer sensação de incômodo. É a ausência de dor e de desconforto em estado neutro.

Rugosidade – É uma medida das variações do relevo (irregularidades) de uma superfície.

Rugosidade média – é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição.

Binário – É a medida da força rotacional exercida sobre um eixo, mede-se em newtons metro (Nm).

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Objetivos

Na realização desta dissertação, estabelece-se como objetivo principal, a adaptação do equipamento FRICTORQ® para realização de ensaios ao coeficiente de atrito na presença de produtos cosméticos.

Como objetivos intermédios destacam-se os que seguidamente se apresentam:

- Pesquisa sobre o estado da arte no domínio dos equipamentos para medição do atrito em superfícies flexíveis (têxteis, papéis, peles, polímeros, entre outros);
- Levantamento do conjunto de variáveis que permitem definir/quantificar o conforto humano, nomeadamente, o toque relacionado com os materiais têxteis que são usados em contacto com o ser humano;
- Recolha de todos os desenvolvimentos efetuados até ao momento no âmbito do projeto FRICTORQ, na evolução do equipamento de teste laboratorial;
- Fazer a re-engenharia do projeto do equipamento, otimizando as soluções existentes, melhorando o projeto e o desempenho do instrumento, incluindo a investigação da utilização de um sensor de binário alternativo ao existente e o desenvolvimento de uma nova função para a realização de testes com cremes e outros produtos cosméticos;
- Realização de um conjunto de ensaios sistemáticos envolvendo a função entretanto desenvolvida para a análise de produtos cosméticos;
- Comparar os resultados obtidos nos ensaios sistemáticos realizados com a nova função, com os de um equipamento devidamente testado e calibrado;
- Fazer a compilação de informação dispersa, nomeadamente de desenhos e elementos de projeto e organizar um dossiê de fabrico;
- Elaborar um manual de fabrico do equipamento;
- Organizar um manual de montagem e utilização do equipamento.

1.2 Justificação e motivação

São inúmeros os produtos utilizados diretamente em contacto com o ser humano, mais propriamente com a pele, como é caso do vestuário e dos têxteis-lar, mas também papéis delicados e até mesmo produtos cosméticos. Devido às suas propriedades, a utilização de um dado produto proporciona um conforto ao corpo humano diferente de qualquer outro produto utilizado para o mesmo fim. Neste sentido, tem-se dedicado relativa importância ao estudo dos parâmetros que direta ou indiretamente interferem no conforto.

Segundo Broega [1], o conforto pode-se dividir em quatro aspetos fundamentais: conforto termofisiológico, conforto sensorial de “toque”, conforto ergonómico e conforto psico-estético. O conforto termofisiológico engloba as propriedades de transferência de calor e humidade que um dado produto, utilizado em contacto direto com a pele, pode conceder para ajudar a manter o balanço térmico do organismo durante os seus diferentes níveis de atividade física. O conforto sensorial é avaliado pela sensação que sentimos quando utilizamos algo em contacto direto com a pele, é geralmente conhecido por “toque”. O conforto ergonómico está relacionado com a modelação/adaptação ao utilizador. Os fatores associados à capacidade de realização de movimentos corporais também são importantes, dependendo do tipo e estrutura dos materiais utilizados. Por fim, o conforto psico-estético pouco tem a ver com as características técnicas dos produtos, está essencialmente relacionado com as tendências da moda seguidas pela sociedade.

A avaliação do conforto de um produto é feita de forma subjetiva, dependendo da avaliação de cada pessoa. Por este motivo, cada vez mais se tem investido no desenvolvimento tecnológico de forma a poder controlar certos parâmetros que intervêm no conforto proporcionado pelos produtos que são aplicados ou utilizados no corpo humano. O coeficiente de atrito, a rugosidade, a elasticidade, a flexibilidade, a permeabilidade a líquidos e a gases, a condutibilidade térmica, entre outros são alguns dos parâmetros relacionados com o conforto.

Com o objetivo de uniformizar as avaliações do conforto proporcionado pelos produtos que se utilizam em contacto com a pele, têm-se desenvolvido equipamentos e métodos para a avaliação objetiva de muitos dos parâmetros mencionados.

O primeiro sistema de medição de conforto para tecidos foi desenvolvido em 1972, por Sueo Kawabata, da Universidade de Kyoto (Japão). Este sistema é composto por quatro aparelhos, que permitem medir 16 parâmetros. Depois de realizar alguns testes, compararam-se os resultados com avaliações subjetivas de especialistas de lanifícios, devido à importância do “toque” na avaliação de qualidade dos produtos. Os resultados da avaliação subjetiva e a realizada pelos aparelhos coincidiam em 93%. Apesar de eficiente, o sistema desenvolvido por Kawabata é pouco aplicado pois a realização dos testes é de elevada complexidade.

Mais tarde, em 1987, a organização de pesquisa CSIRO, fundada na Austrália, desenvolveu o sistema FAST (*Fabric Assurance by Simple Testing*), também de alta confiabilidade, mas com a vantagem de ser operacionalmente mais simples, mais rápido e mais económico, quando comparado com o sistema de Kawabata. Este sistema permite avaliar vários parâmetros como: propriedades físicas (peso e espessura), estabilidade dimensional (encolhimento e expansão), propriedades mecânicas (extensibilidade, flexão, cisalhamento e compressão), propriedades da superfície (atrito e rugosidade), propriedades de desempenho (enrugamento e abrasão superficial) e por fim algumas propriedades óticas (lustre) [2].

Para além destes dois sistemas de avaliação do conforto em tecidos foram surgindo outros equipamentos que, embora não avaliem todos os parâmetros apresentados, são de menor custo e de mais fácil utilização. É o caso do FRICTORQ® que surgiu para avaliar o coeficiente de atrito de superfícies não rígidas. Este projeto resultou no protótipo físico de um aparelho laboratorial, desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho para a medição do atrito em superfícies planas não-rígidas e foi já reproduzido para dois laboratórios de instituições de investigação estrangeiras.

Foi desenvolvido para a avaliação de tecidos, especialmente para a análise do seu coeficiente de atrito por este ser um dos parâmetros mais importantes na avaliação objetiva de um fator convencionalmente conhecido por toque, de difícil definição e medição, mas que está associado a uma quantificação do nível de conforto proporcionado no contacto entre o vestuário e a pele do corpo humano. É até prática corrente deslizar as pontas dos dedos sobre um tecido para fazer essa avaliação, obtendo resultados diferentes dependendo da pessoa que efetua a análise.

O instrumento integra um módulo mecânico e um módulo eletrónico, para além de um programa que gere e controla o funcionamento do equipamento, faz a aquisição de dados e apresenta-os na forma

de um gráfico e para uma folha de cálculo Excel. Guardar os resultados numa folha de cálculo é vantajoso para o caso da realização do controlo estatístico, caso se pretenda.

Apesar de apenas medir o coeficiente de atrito, têm-se feito alterações no equipamento permitindo efetuar análises ao coeficiente de atrito de diferentes produtos desde os têxteis às peles sintéticas utilizadas no vestuário. Desenvolvimentos mais recentes permitiram a realização de ensaios em diferentes condições, permitindo até a sua utilização em meio líquido, e a análise de peles sintéticas com a aplicação de formulações cosméticas.

Uma área com grande interesse, e que tem vindo a ser desenvolvida é a análise do conforto da aplicação de produtos cosméticos; assim, caso sejam conhecidas as suas características, pode-se saber antecipadamente se determinado produto causa maior ou menor desconforto durante a sua aplicação no corpo. Os principais parâmetros que intervêm no conforto durante a utilização de produtos cosméticos são: dureza/rigidez, viscosidade, coeficiente de atrito, consistência, temperatura, “espalhabilidade”, em alguns casos a força de flexão/corte, entre outros. Neste sentido, surgiu a ideia de reestruturar o equipamento FRICTORQ® para medir o coeficiente de atrito na presença de cremes cosméticos.

Após uma pesquisa sobre os equipamentos já existentes no mercado para a análise de produtos cosméticos, e tendo em conta a configuração do equipamento FRICTORQ®, efetuaram-se algumas alterações no equipamento tornando-o capaz de analisar o coeficiente de atrito com a aplicação de cremes cosméticos. Como o atrito resulta da interação entre dois corpos, é utilizada uma base em borracha de silicone onde é aplicado o creme e também um corpo padrão que vai deslizar sobre a base onde se encontra aplicado o produto cosmético. Desta forma podem-se comparar os coeficientes de atrito obtidos com os diferentes cremes pois os testes são realizados nas mesmas condições.

Com este trabalho pretende-se mostrar o que foi feito com o equipamento FRICTORQ® desde as suas alterações até aos ensaios realizados com os cremes cosméticos. São apresentadas diferentes fases de evolução do equipamento, as modificações efetuadas e depois uma série de ensaios preliminares realizados com cremes cosméticos. Por fim, para validar os resultados obtidos fizeram-se os mesmos ensaios com o equipamento Frictionmeter ®, onde posteriormente são analisados e comparados, qualitativamente com os obtidos no FRICTORQ®.

Apesar dos desenvolvimentos, o equipamento FRICTORQ® ainda tem alguns aspetos que podem ser melhorados. Na parte final são feitas algumas considerações de funções que podem ser alteradas ou incluídas no equipamento de forma a melhorá-lo, tornando-o mais versátil e com capacidade para a realização de outros tipos de ensaios.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

Neste capítulo introdutório é feita uma breve introdução, são apresentados os objetivos gerais, é expressa a motivação para a elaboração deste trabalho, e feito um sumário da estrutura deste relatório.

O segundo capítulo reporta-se, essencialmente, ao estado da arte onde se define o que é o atrito, e algumas formas de o medir. Depois são apresentados diferentes equipamentos existentes no mercado para medição de atrito em superfícies flexíveis, da pele humana e de produtos cosméticos.

No capítulo 3 é apresentado o FRICTORQ®, onde se pode ver seu princípio de funcionamento, as fases da sua evolução até chegar aos ensaios com produtos cosméticos e na parte final é apresentado o protocolo de ensaios.

No quarto capítulo encontram-se os ensaios preliminares realizados com a nova função de análise de produtos cosméticos. São apresentados as condições de ensaio, os resultados obtidos, uma discussão e análise dos resultados e algumas conclusões que se podem tirar destes resultados.

O capítulo 5 destina-se aos ensaios realizados com o Frictionmeter® (equipamento de medir atrito na pele humana). Neste capítulo são apresentados os procedimentos dos ensaios, os resultados obtidos, é feita uma análise e discussão dos resultados e por fim são apresentadas algumas conclusões.

No último capítulo, apresenta-se um sumário dos desenvolvimentos, as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

Por último são apresentados os anexos, que englobam os manuais de fabrico e montagem, o artigo apresentado na 41st Textile Research Symposium e os desenhos técnicos (Anexo digital).

Capítulo 2 - A medição do atrito

2.1 O atrito

Historicamente, o estudo do atrito começou com Leonardo Da Vinci (1452-1519), que deduziu as leis que governam o movimento de escorregamento entre duas superfícies. Por razões desconhecidas, esse estudo passou despercebido até o século XVII, quando Guillaume Amontou (1663-1705), físico francês, redescobre as leis do movimento de escorregamento entre superfícies secas e planas.

O coeficiente de atrito não é uma característica intrínseca de um material ou de uma superfície, mas antes resulta do contacto entre duas superfícies [3]. O atrito é a resistência ao movimento que ocorre quando um corpo sólido desliza sobre outro. A resistência que é necessário vencer para se iniciar o movimento é denominada “atrito estático” e a força tangencial necessária para se manter o movimento relativo dos dois corpos designa-se por “atrito cinético”. Este é geralmente inferior ao atrito estático.

Em 1699, Amontou apresentou as duas primeiras leis do atrito, a que chegou com base em observações experimentais:

- A força de atrito é proporcional à carga aplicada entre dois corpos;
- A força de atrito é independente da área aparente de contacto.

Em 1785, Coulomb introduziu uma terceira lei:

- O atrito cinético é independente da velocidade de escorregamento.

As duas primeiras leis verificam-se para uma gama considerável de condições de contacto; a terceira tem, porém, menor aplicabilidade, especialmente para não-metais.

Sendo (N) a carga normal entre as superfícies em contacto e (F) a força de atrito, a primeira lei estabelece que:

$$F = \mu \times N \quad \text{ou seja,} \quad \mu = \frac{F}{N} \quad (1)$$

A constante de proporcionalidade (μ) designa-se por “coeficiente de atrito”. Note-se que (μ) é uma constante apenas para um determinado par de materiais e para um determinado conjunto de condições de contacto.

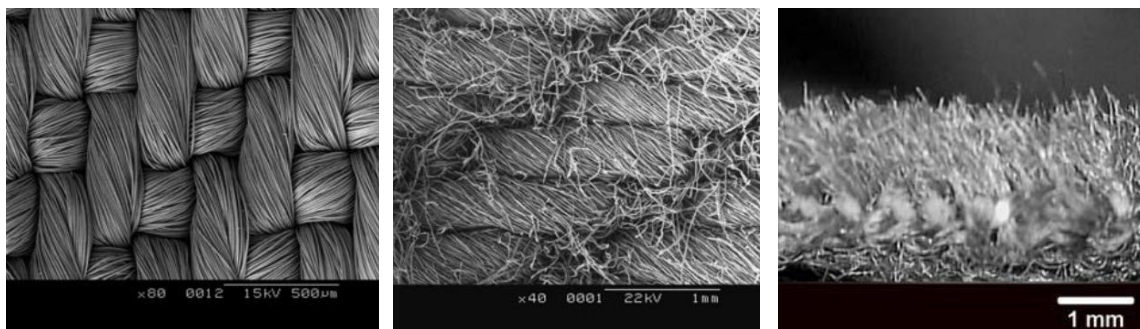
Em materiais não metálicos o coeficiente de atrito não é uma propriedade invariável dos materiais, o seu valor depende das condições de funcionamento: carga, velocidade, acabamento superficial, ambiente circundante [4].

Para analisar de forma objetiva o coeficiente de atrito entre dois materiais foram-se desenvolvendo técnicas e mecanismos apropriados em função das superfícies que se pretendiam analisar. O coeficiente de atrito em materiais têxteis não cumpre integralmente as leis de Amontou. Em ensaios realizados, verificou-se que o coeficiente de atrito não foi constante, e aumentou quando se reduziu a carga aplicada [5]. Pode-se então constatar que a força de atrito, em materiais têxteis, não é diretamente proporcional à carga aplicada (N). Para expressar a relação entre F e N foram propostas algumas relações empíricas válidas em determinadas condições, podendo ser da forma:

$$F = K \times N + \alpha A \quad (2)$$

Onde K e α são constantes, e A é a área de contacto aparente.

Este comportamento ocorre devido à estrutura particular do material fibroso. De facto, uma superfície têxtil pode ser composta por fios entrecruzados (tecido), fios entrelaçados (malhas) ou por uma folha de fibras cuja coesão é garantida por colagem térmica, ligação química, jacto de água ou de ar (tecidos falsos). Estas superfícies apresentam uma determinada aspereza, mas também uma superfície peluda devido à presença de fibras emergentes da superfície como se pode ver na Figura 1 [5].



Sarja de algodão

Microfibras de poliéster

Malha polar

Figura 1 – Diferentes tipos de tecidos [5]

O nível de conforto de um tecido era avaliado fazendo deslizar as pontas dos dedos sobre o tecido avaliando-o assim, de forma subjetiva. Para uniformizar as avaliações superficiais dos materiais têxteis desenvolveram-se equipamentos para estudar de forma objetiva alguns dos parâmetros que permitem avaliar o conforto.

A forma mais simples para medir a força de atrito entre duas superfícies, de materiais rígidos, é utilizar um plano inclinado, como mostra a Figura 2. Se a velocidade de deslizamento do bloco for constante, ou seja, aceleração nula, a força de atrito cinética (F_k) é igual ao produto do peso do bloco (mg) pelo seno do ângulo de inclinação do plano. Por outro lado, o componente da força normal (N) é dado pelo produto do peso do bloco (mg) pelo cosseno do ângulo de inclinação do plano. Como o bloco se move a velocidade constante a força de atrito (F_k) é igual ao produto do coeficiente de atrito (μ_k) pela força normal. Assim, conhecidas a força normal e a força de atrito pode-se chegar ao coeficiente de atrito cinético (μ_k).

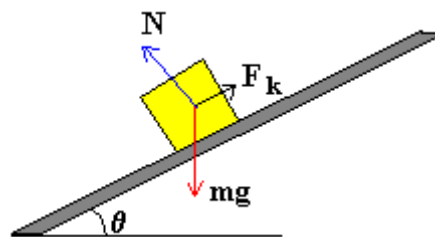


Figura 2 - Representação das forças atuantes num corpo sobre um plano inclinado

Esta técnica é utilizada para materiais rígidos. No entanto, por necessidade de determinar o coeficiente de atrito entre materiais não rígidos tornou-se necessário desenvolver equipamentos específicos para este fim. Nesta área de desenvolvimento, tem-se destacado relativa importância principalmente para materiais que são utilizados ou se encontram em contacto com a pele (como é o caso dos tecidos, papéis delicados, etc).

2.2 Medição do atrito em superfícies flexíveis

Para analisar o atrito dos materiais não rígidos, desde os tecidos utilizados no vestuário, aos papéis delicados e até mesmo aos cremes cosméticos, têm-se desenvolvido equipamentos específicos de acordo com o que se pretende avaliar. Neste capítulo apresentam-se alguns dos equipamentos existentes no mercado para análise do atrito de materiais flexíveis (tecidos, papéis delicados, etc.), e também equipamentos para análise do coeficiente de atrito de produtos cosméticos.

2.2.1 Equipamento Kawabata Evaluation System (KES)

Um dos métodos para a análise do coeficiente de atrito em tecidos consiste em colocar uma amostra, presa por dois lados opostos com uma determinada tensão pré-estabelecida, sobre uma superfície plana. Depois, um corpo de prova normalizado é colocado sobre o tecido sob ação de uma força normal. Em seguida a amostra é movida a uma velocidade constante de aproximadamente 1 mm/s. A partir da razão entre a força tangencial, medida por um transdutor e a força normal obtém-se o coeficiente de atrito cinético. Este é o princípio utilizado pelo sistema KES [6], resultado dos trabalhos de investigação do professor Sueo Kawabata na Universidade de Quioto, Japão, e mais tarde desenvolvido pela empresa Kato Tech, o equipamento pode ver-se na Figura 3.

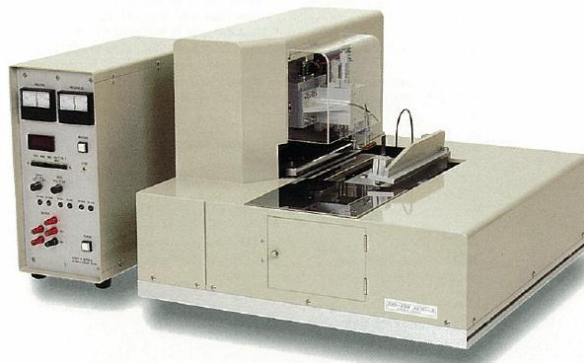


Figura 3 - Equipamento KES [7]

A amostra (S) é fixa numa extremidade ao tambor rotativo (E) e pela outra a um dispositivo de tensionamento (T) onde a tensão aplicada é dependente de cada tipo de tecido. O movimento de avanço e recuo é dado pela rotação do tambor (E) onde a velocidade linear do tecido não excede 1 mm/s. Quando a amostra se desloca aproximadamente 3 cm o sentido de rotação do tambor é invertido até o tecido voltar à posição inicial. Na Figura 4 encontra-se representado o princípio de funcionamento do sistema KES.

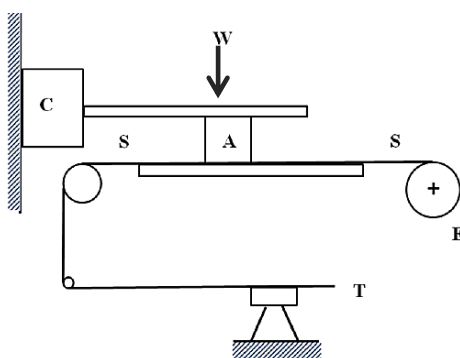


Figura 4 – Dispositivo para medir atrito em tecido [5]

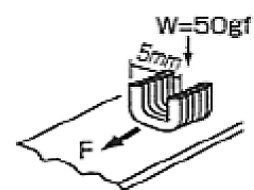


Figura 5 - Apalpador de atrito [5]

Na Figura 5 vê-se, em detalhe, o apalpador representado por (A) no esquema da Figura 4, este é composto por uma superfície de contacto padronizada e encontra-se conectado a um transdutor de força (C). O apalpador suporta uma carga normal constante (W), e está em contacto com a superfície da amostra.

Numa fase posterior, para além do mecanismo de medição de atrito, o sistema KES foi equipado com uma cabeça que permite avaliar a rugosidade média do tecido. Para isso utiliza um apalpador metálico de diâmetro 0,5 mm (Figura 7) que regista os movimentos verticais causados pelo relevo da superfície do tecido. A medição é realizada sob baixa carga (10 cN) por um transdutor (D), como representado na Figura 6.

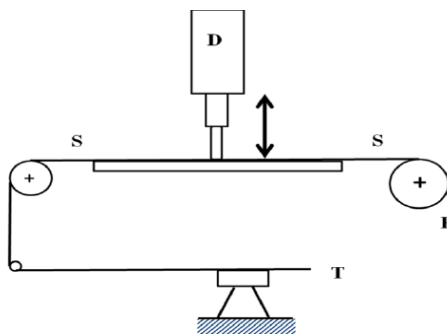


Figura 6 - Dispositivo para medir rugosidade em tecido [5]

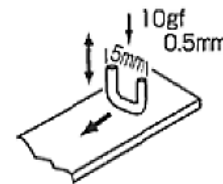


Figura 7 - Apalpador de rugosidade

[5]

Com este equipamento é possível obter: o coeficiente de atrito (μ), o desvio da média do coeficiente de atrito (MMD) e a rugosidade geométrica da superfície têxtil (SMD). Os resultados são obtidos de forma gráfica, ver Figura 8.

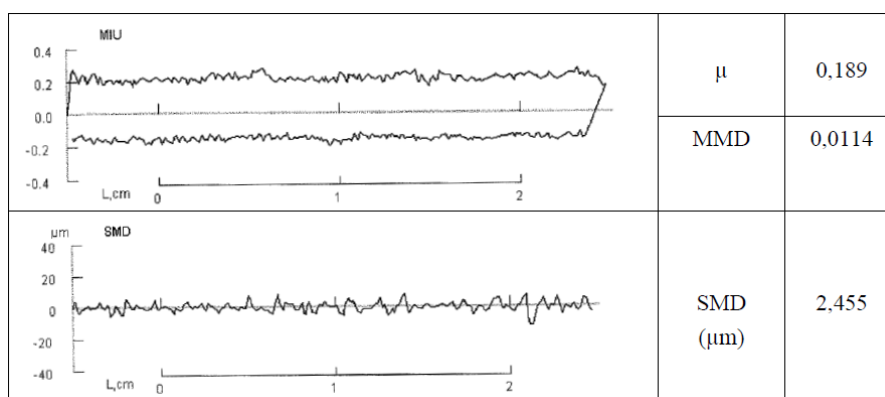


Figura 8 - Resultados obtidos com sarja [5]

Ao apresentar os resultados de forma gráfica permite ao utilizador uma melhor e mais rápida perceção dos valores obtidos. Assim com analisar as variações do atrito ao longo da área onde foi analisado.

2.2.2 Equipamento Tribosensor

Sendo o atrito um fator de elevada importância durante o processo de fabrico de materiais flexíveis (papel, plástico, tecidos e outros), M. K. Ramasubramanian e Steven D. Jackson desenvolveram um equipamento ao qual denominaram tribosensor. Este equipamento permite medir o coeficiente de atrito de diferentes materiais, em tempo real, durante o seu processo de fabrico [8] [9].

A utilização de um corpo normalizado (geralmente denominado de trenó) para medição do atrito num processo de fabrico de um material flexível pode danificar o produto final devido ao desgaste que provoca ou ao calor que se gera no contacto. Para minimizar as deformações, o tribosensor é composto por um rolo de contacto que gira sobre o material em movimento com uma força normal (F_n) controlada com um transdutor de força. Para medir o coeficiente de atrito, é introduzido um deslocamento angular que desalinha o rolo, Figura 9. O binário de auto alinhamento causado pelo atrito entre o material e a superfície do rolo é medido por um transdutor de binário. Este binário é proporcional ao coeficiente de atrito. Este movimento e contacto resultam na geração da força de atrito (F_y). O coeficiente de atrito pode ser calculado a partir da força normal e da força de atrito utilizando a equação (1).

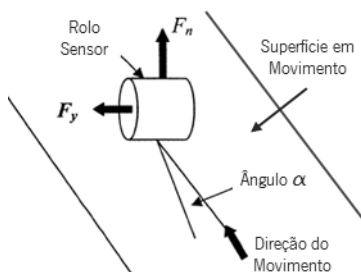


Figura 9 - Configuração do sensor de atrito [9]

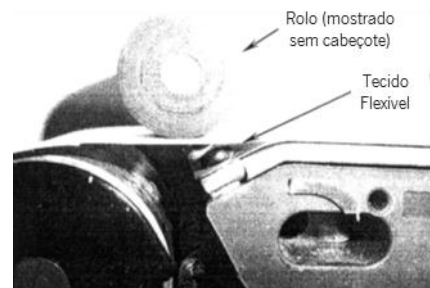


Figura 10 - Vista do rolo sobre material em teste

[8]

Um requisito importante do projeto é que o cilindro deve entrar em contacto com o material sobre um local aberto, um local onde se mova de um rolete para o outro sem qualquer apoio por baixo. Isto é necessário para evitar a deformação ou arqueamento do material flexível no bordo de ataque do cilindro de medição quando pressionado contra uma superfície do rolo de suporte. Um local aberto pode ser visto na Figura 10. Uma imagem da configuração experimental pode ser vista na Figura 11.

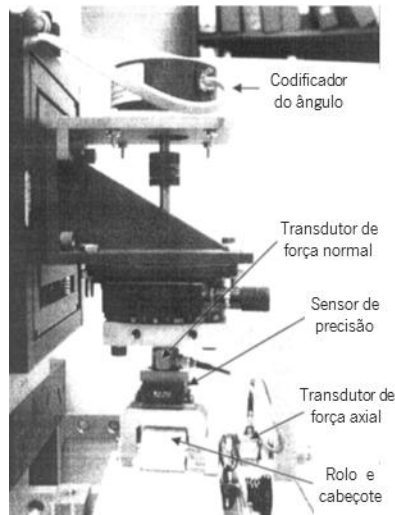


Figura 11 – Tribosensor: medição do coeficiente de atrito de uma superfície flexível [8]

Este é um sensor desenvolvido para medir o coeficiente de atrito de materiais flexíveis durante o seu processo de fabrico com uma configuração que permite medir com os materiais em movimento sem os danificar, permitindo, assim, efetuar estudos em tempo real sobre o coeficiente de atrito da sua superfície. Da mesma forma que o equipamento desenvolvido pela KESKATO [7] os resultados obtidos pelo tribosensor também são apresentados de forma gráfica.

2.2.3 Tribómetro CETR UMT-2

Os modelos KES e Tribosensor apresentados são tribómetros lineares onde o atrito é medido segundo um deslocamento horizontal linear. Partindo do mesmo princípio, mas de uma forma inovadora, a empresa Bruker AXS [10] criou uma gama de tribómetros rotativos onde se destaca o CETR UMT-2 (Figura 12), utilizado para a avaliação do coeficiente de atrito numa vasta gama de materiais.



Figura 12 - Tribómetro UMT-2 [11]

Este instrumento permite efetuar testes disco contra disco, pino contra disco, esfera contra disco, entre outras configurações. Pode fornecer quaisquer movimentos rotacionais ou lineares em direções verticais e horizontais de forma a simular a dinâmica que ocorre nas máquinas reais. O CETR UMT-2 pode medir numerosos parâmetros tribológicos, incluindo:

- Força/coeficiente de atrito;
- Taxa de desgaste;
- Emissão acústica no contacto;
- Resistência elétrica ou capacitância;
- Vídeo digital.

Para efetuar os diferentes testes existem diversos componentes que se podem acoplar no equipamento. Destacando a medição do coeficiente de atrito, na Figura 13 podem ver-se os componentes utilizados num teste realizado disco contra disco. Em A e B o teste é realizado em ambiente seco e húmido respetivamente. A força normal aplicada é constante devido à utilização de uma célula de carga que permite controlar a carga aplicada.

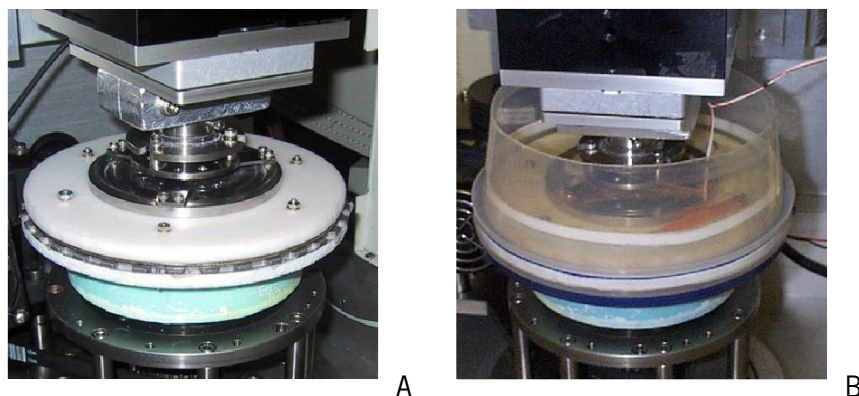


Figura 13 – Componentes que se podem acoplar para efetuar testes [11]

O disco inferior é acionado por um motor de baixa rotação e o disco superior encontra-se ligado a um sensor de binário que fará a medição do binário necessário para existir deslocamento. A partir do binário e da força normal é calculado o coeficiente de atrito. Os resultados obtidos de forma gráfica são enviados para um computador onde são processados. Por fim, entre o motor de acionamento e o disco inferior existe uma embraiagem para proteger eventuais sobrecargas.

2.2.4 Equipamento PARAM FPT-F1

Para além dos instrumentos apresentados, existem outros que apesar de menos investigados, os princípios de funcionamento são semelhantes. Por exemplo, o PARAM® FPT-F1 produzido pela Labthink instruments Co. [12], representado na Figura 14, é utilizado para medição de atrito estático e cinético em polímeros, folhas de metal, papel, tecido entre outros materiais.



Figura 14 - Tribómetro PARAM FPT-F1 [12]

Neste equipamento a amostra é colocada sobre uma base plana e posteriormente um trenó normalizado desliza sobre a amostra. A partir da força horizontal necessária para deslocar o trenó e da força normal exercida por este sobre a amostra obtém-se o coeficiente de atrito. O princípio de funcionamento deste equipamento é semelhante ao desenvolvido pela KES. Os resultados são exportados para um computador onde podem ser analisados e tratados posteriormente.

2.3 Avaliação do coeficiente de atrito da pele humana

Vários estudos assim como equipamentos para a avaliação do coeficiente de atrito da pele já se encontram no mercado. Neste subcapítulo pretende-se mostrar alguns destes instrumentos. Por fim são apresentados dois equipamentos com a capacidade de avaliar emulsões cosméticas sem que estas tenham de ser aplicadas na pele.

2.3.1 Tribómetro CETR UMT-3

O equipamento CETR UMT-3 (ver Figura 15) foi desenvolvido para analisar o coeficiente de atrito da pele do antebraço. Este equipamento apresenta uma base com um sistema de fixação para o antebraço com um entalhe que permite a passagem do corpo de prova (apalpador de atrito), este pode ser cilíndrico ou esférico.

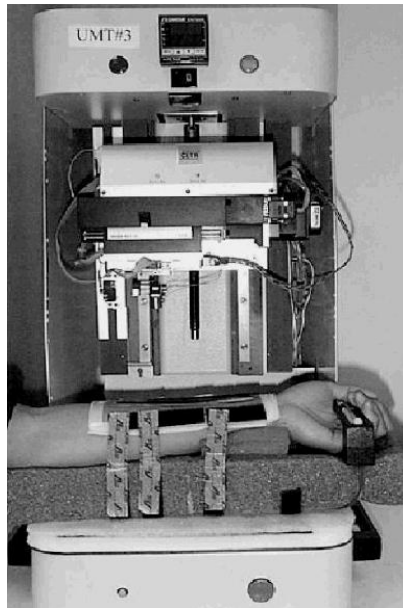


Figura 15 - Teste ao coeficiente atrito de um antebraço com o tribómetro UMT-3 [13]

O corpo de prova apresentado na Figura 15 é do tipo cilíndrico. O cobre é o material geralmente utilizado para a base deste tipo de apalpador. Através de uma célula de carga aplica-se sobre o antebraço uma força constante que pode variar de 5 mN a 200 N, definida pelo utilizador. Depois, através de um movimento linear à velocidade constante de 0,4 mm/s e com a utilização de outra célula de carga é possível determinar o coeficiente de atrito entre o corpo de prova e a pele do antebraço [13].

Com este equipamento, Raja K. Sivamani [13] apresenta um estudo onde mediu e comparou o coeficiente de atrito da pele dos antebraços de um grupo de pessoas de diferentes faixas etárias, géneros e etnias. Estas avaliações foram efetuadas em zonas diferentes do antebraço esquerdo (zona 1 e 2) da Figura 16 e também com a aplicação de dois produtos cosméticos diferentes (zona 3 e 4) nas zonas homólogas do antebraço direito.

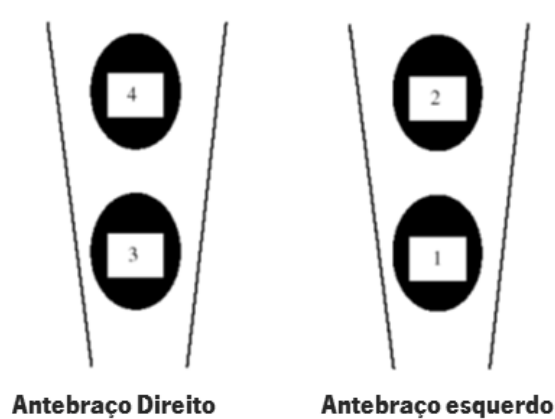


Figura 16 - Posições do braço onde foram realizados os ensaios de atrito [13]

Por fim, Raja K. Sivamani apesar de não apresentar os valores quantitativos do coeficiente de atrito, concluiu que entre idades, género e etnias o coeficiente de atrito não varia muito. Contudo, entre as zonas 1 e 2 do antebraço já existe uma ligeira diferença no coeficiente de atrito. De igual modo, entre as zonas 1 e 3 e as zonas 2 e 4, ou seja, comparando uma zona do braço direito com a homóloga do braço esquerdo mas com um produto cosmético aplicado o coeficiente de atrito altera-se significativamente.

Noutro estudo também realizado por Raja K. Sivamani [14], foi utilizado corpo de prova esférico (Figura 17) produzido em aço inoxidável, para a realização de ensaios de atrito na pele. Com este tipo de corpo de prova é possível efetuar medições de atrito em zonas do corpo onde era inviável com o apalpador cilíndrico, como é o caso dos dedos das mãos.

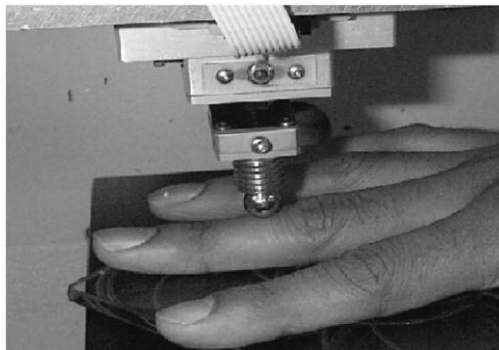


Figura 17 - Corpo de prova utilizado no tribometro UMT-3 [14]

Nos ensaios realizados com este corpo os autores provaram que o coeficiente de atrito entre a pele e o corpo de prova varia em função da carga aplicada, não se verificando as leis de Amonton. Foram realizados ensaios variando a carga aplicada de 5 até 45 gramas, e verificou-se que o coeficiente de atrito desceu à medida que se vai aumentando a carga. Noutro tipo de teste, pôde-se verificar que o coeficiente de atrito da pele aumenta com a hidratação, ou seja, o coeficiente de atrito da pele sobrehidratada é superior ao da pele normal. Com o passar do tempo a hidratação da pele volta ao estado normal e o coeficiente de atrito desce até igualar o obtido na pele normal.

Numa fase mais recente, Wei Tang utilizou o equipamento UMT-3 com um apalpador esférico em polipropileno com um diâmetro de 10 mm para realizar ensaios de atrito no antebraço de jovens com idades entre os 20 e os 30 anos. Ao variar a carga aplicada de 0,1 a 0,9 N verificaram que o coeficiente de atrito aumenta com o aumento da carga aplicada. Da mesma forma, com o aumentar da velocidade de deslizamento do corpo de prova, o coeficiente

de atrito aumenta [15]. Este comportamento do coeficiente de atrito com a variação da carga é o oposto do verificado por Raja K. Sivamani nas suas experiências.

2.3.2 Equipamento Dia-Stron MTT170

A.M. Cottenden [16] desenvolveu e validou um mecanismo para o estudo do coeficiente de atrito entre a pele do antebraço e materiais não rígidos, onde utilizam o equipamento Dia-Stron MTT170, empregue geralmente para ensaios de tração. Neste estudo, uma sonda, de material polimérico, é arrastada sobre a pele do antebraço e a força necessária para iniciar e manter o movimento é medida por um transdutor de força. Este equipamento permite realizar a medição do atrito de duas configurações distintas, como apresentadas na Figura 18.

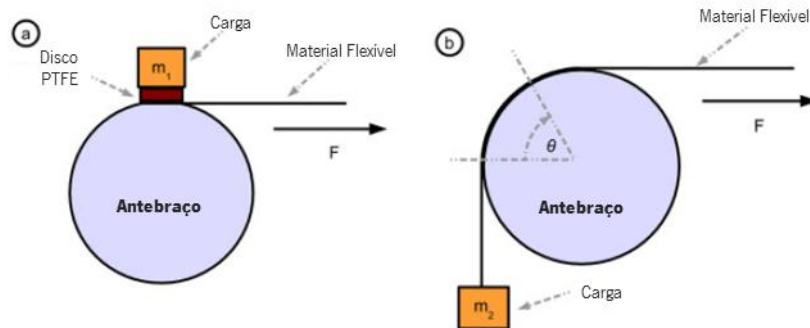


Figura 18 – Configurações para os ensaios de atrito [16]

Na configuração a tem-se uma sonda com um peso próprio sobre o antebraço ligada ao transdutor de força. Na configuração b tem-se uma faixa do material, não rígido, que vai funcionar como sonda sobre o antebraço, estabelecendo um contacto ao longo de um ângulo de aproximadamente 90°. Na extremidade tem um peso específico em função da pressão de contacto que se pretende aplicar. A outra extremidade está ligada ao transdutor de força. Os dois tipos de ensaios podem-se se verificar na Figura 19.

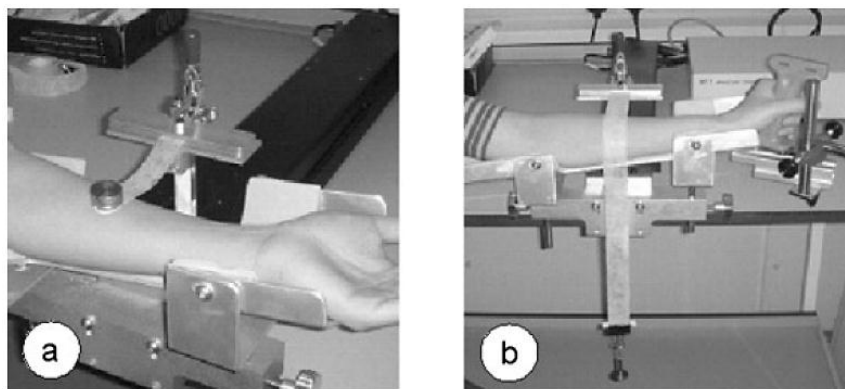


Figura 19 - Representação dos ensaios segundo as duas configurações [16]

Os estudos realizados para a medição do coeficiente de atrito entre os três materiais não rígidos utilizados na sonda e a superfície curva do antebraço, foram elaborados com pele normal (sem hidratante) e com hidratante em cinco voluntários do sexo feminino onde se aplicaram diferentes pressões de contacto (0,1 – 8,2 kPa). A partir da força de atrito gerada, e da força normal da sonda aplica-se a lei de Amonton e fica-se a conhecer o coeficiente de atrito entre os dois pares de materiais.

Este método, simples de executar e com boa repetibilidade, permitiu chegar a valores do coeficiente de atrito estático na gama de 0.3 – 0.5 para a pele normal, e de 0.9 – 1.3 na pele sobrehidratada. Estes valores vêm comprovar os estudos de Raja K. Sivamani [13] onde se verificou um aumento do coeficiente de atrito quando aplicado um hidratante na pele do antebraço.

2.3.3 Medição do atrito com o Microscópio de Força Atómica (AFM)

Uma forma de medir o coeficiente de atrito da pele com ou sem a aplicação de produtos cosméticos é com a utilização do Microscópio de Força Atómica. Este equipamento foi utilizado por Wei Tang [17] [18] para avaliar a diferença entre o coeficiente de atrito de pele normal e após a aplicação de uma formulação cosmética. Como o apalpador/corpo de prova do microscópio apresenta dimensões bastante reduzidas, a força aplicada também é baixa, na ordem dos nN. Em ensaios realizados com este equipamento, utilizou-se pele de rato para analisar a influência da variação da força aplicada, da humidade relativa e da temperatura no coeficiente de atrito e na força de adesão gerados no contacto.

Ao aumentar a força exercida no contacto verificou-se que o coeficiente de atrito aumenta assim como a força de adesão, embora esta aumente mais lentamente. Isto verificou-se nos ensaios da pele normal e com a aplicação de um produto cosmético.

Relativamente à variação da humidade relativa em que é realizado o ensaio, verifica-se que o coeficiente de atrito assim como a força de adesão aumentam com o aumento da humidade relativa.

Com o aumento da temperatura verificou-se precisamente o oposto, ou seja, com o aumento da temperatura no local de ensaio, o coeficiente de atrito e a força de adesão diminuem.

2.3.4 Medidores de atrito portáteis: Newcastle, KES e Frictiometer

Alguns fabricantes de equipamentos de avaliação de atrito desenvolveram medidores de atrito autónomos e de dimensões reduzidas, o que os torna portáteis. A medição do atrito da superfície da pele pode ser feita com um medidor destes. Estes equipamentos permitem avaliar de forma simples e eficaz o atrito da pele.

Na Figura 20 encontra-se um equipamento desenvolvido por Comaish [19] para a medição do coeficiente de atrito da pele, podendo também ser utilizado noutros materiais. O equipamento é composto por um apalpador de Teflon acionado por um motor de precisão alimentado por uma bateria. A resistência de atrito à rotação induzida pela superfície contra a qual a roda é pressionada é registada numa escala diretamente calibrada para medir o atrito coeficiente.

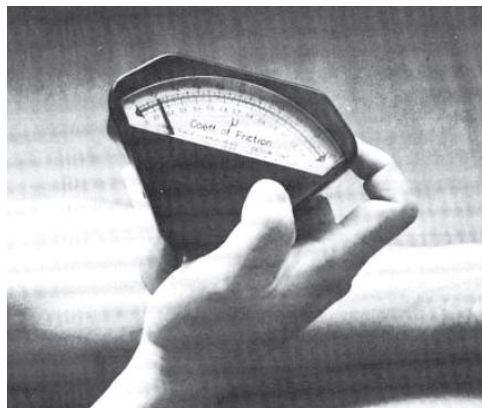


Figura 20 - Medidor de atrito Newcastle [20]

Com este equipamento Sergio Nacht [20] efetuou medições do coeficiente de atrito da pele do antebraço avaliando a influência da hidratação da pele com a aplicação de água e algumas formulações cosméticas. Nestes ensaios foram realizadas diversas medições num período de 6 horas após a aplicação de cada tipo de creme cosmético. Num período de 5 a 10 min após a hidratação com água o coeficiente de atrito é superior quando comparado com o da pele normal. A partir desse período, a quantidade de água na pele vai diminuindo e o coeficiente de atrito tende para o valor normal, sensivelmente 1 hora após a aplicação.

No caso das formulações cosméticas existem alguns casos onde o coeficiente de atrito da pele, após a sua aplicação, é superior ao da pele normal. Com o passar do tempo o coeficiente de atrito vai diminuindo sem nunca chegar ao valor da pele normal. Noutras situações, com a aplicação de outro tipo de formulações cosméticas o coeficiente de atrito na pele vai aumentando sempre com o passar do tempo.

Outro equipamento com um princípio de funcionamento semelhante foi desenvolvido pela Keskato que se encontra representado na Figura 21.



Figura 21 - Equipamento de medição de atrito portátil da KES [7]

A principal diferença neste equipamento é a sua interface digital, que permite seleccionar diferentes parâmetros para a realização dos ensaios de atrito.

Na mesma linha de desenvolvimento, a DUTECH SCIENTIFIC [21] desenvolveu o Frictiometer®, um equipamento utilizado para a avaliação da pele. A partir do seu sensor de atrito é possível distinguir o coeficiente de atrito da pele seca e da pele húmida, assim como da pele com e sem rugas. Este equipamento é composto por um motor de velocidade variável, uma unidade de direção, e um apalpador de atrito.



Figura 22 - Sonda Frictiometer e esquema representativo [22]

O motor da sonda aciona a rotação da cabeça apalpadora de atrito, que ao estar em contacto com a superfície a analisar, apresenta uma resistência à rotação, que é proporcional ao atrito gerado entre as duas superfícies.

Com as suas reduzidas dimensões é facilmente transportável e de fácil manuseamento, permitindo assim uma fácil utilização. Devido aos diferentes apalpadores é possível avaliar diferentes produtos, aplicados na pele ou noutras bases de suporte. Pode ser utilizado em materiais flexíveis como é o caso dos tecidos e dos papéis delicados. Devido ao seu motor de

velocidade variável é também possível avaliar a influência da velocidade no coeficiente de atrito entre duas superfícies.

2.4 Avaliação de atrito de produtos cosméticos

Numa perspetiva de avaliar o coeficiente de atrito que um produto cosmético pode deixar na pele após a sua aplicação tem-se desenvolvido equipamentos para a medição do atrito dos produtos cosméticos onde não seja necessário a sua aplicação direta na pele. Neste capítulo são apresentados dois equipamentos que têm sido alvo de estudo por parte de vários investigadores.

2.4.1 Tribómetro utilizado nos estudos de K.Horiuchi

Para a análise de produtos cosméticos, Keita Horiuchi [23] efetuou alguns estudos onde utilizou o tribómetro representado na Figura 23, onde é utilizada uma borracha de silicone para simular a pele humana, sendo os produtos cosméticos aplicados sobre esta. Com este equipamento foram realizados diferentes medições ao coeficiente de atrito gerado pela aplicação de produtos cosméticos na borracha de silicone.

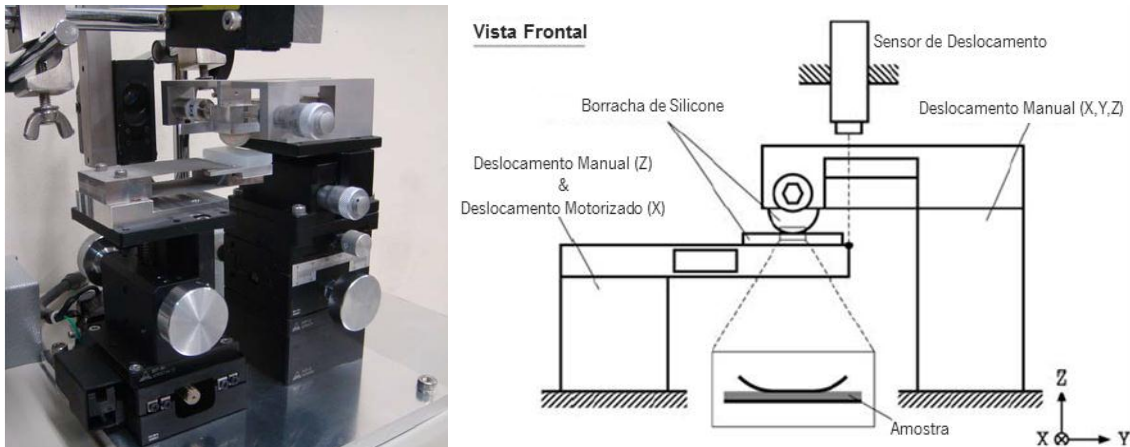


Figura 23 - Imagem e diagrama esquemático do tribómetro utilizado por K.Horiuchi [23]

Para melhor simular o contacto da pele, este tribómetro, não só tem uma base em borracha de silicone como o próprio apalpador de atrito também é em borracha de silicone. O apalpador de atrito é esférico e apresenta um diâmetro de 16 mm. A base é plana e apresenta uma espessura de 5 mm. Para melhor compreender a influência da base de ensaios, realizaram-se 3 tipos de testes, onde nos dois primeiros efetuaram-se medições do coeficiente de atrito sem e com a aplicação de produtos cosméticos nas duas faces da borracha de silicone. Em estudos

posteriores e para melhor simular a superfície da pele, efetuaram-se ranhuras na borracha de silicone da base na direção perpendicular ao deslocamento. Estas ranhuras encontram-se espaçadas 0,4 mm e com uma profundidade de 0,1 mm.

2.4.2 Dispositivo de medição utilizado por K.Kusakari

Um novo dispositivo de medição para avaliar as propriedades de produtos cosméticos após a sua aplicação foi desenvolvido por Ken Kusakari [24]. Este equipamento (Figura 24 A) permite medir forças de atrito desde 0,001 a 0,1 N entre o corpo de prova e a superfície onde é aplicado o produto a analisar. Para este equipamento existem dois tipos de corpos de prova, um tipo bloco com um raio de curvatura de 10 mm e um tipo rolo com um diâmetro de 10 mm apresentados na Figura 24 B e C.

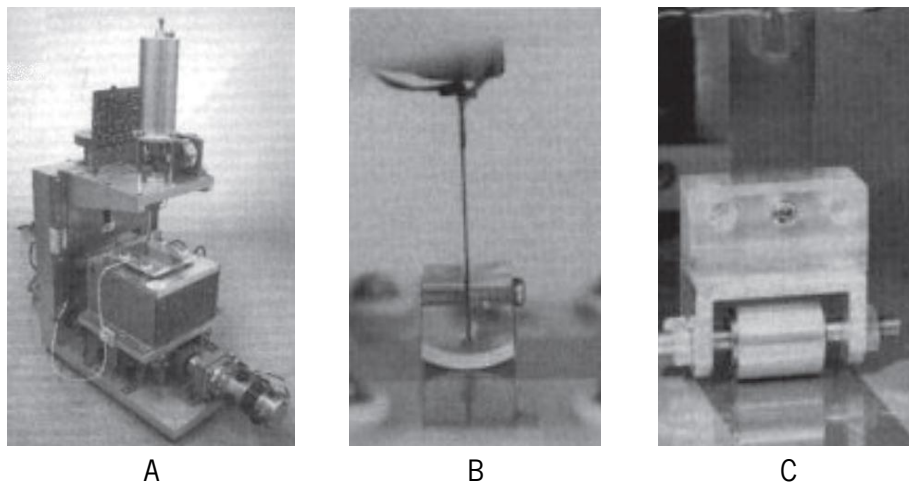


Figura 24 - Equipamento e corpos de prova utilizados nos estudos de Ken Kusakari [24]

O corpo de prova tipo bloco encontra-se revestido com um filme polimérico. O corpo tipo rolo é em alumínio equipado com rolamentos de baixo atrito lubrificadas com um óleo de baixa viscosidade. Por sua vez, a superfície da base para a colocação da amostra também é coberta com mesmo filme de polimérico.

O deslocamento linear da base é garantido por um servomotor que através de um fuso de esferas transforma o movimento rotacional em linear. Na Figura 25, pode-se ver o diagrama representativo do dispositivo onde estão representados os principais componentes do aparelho.

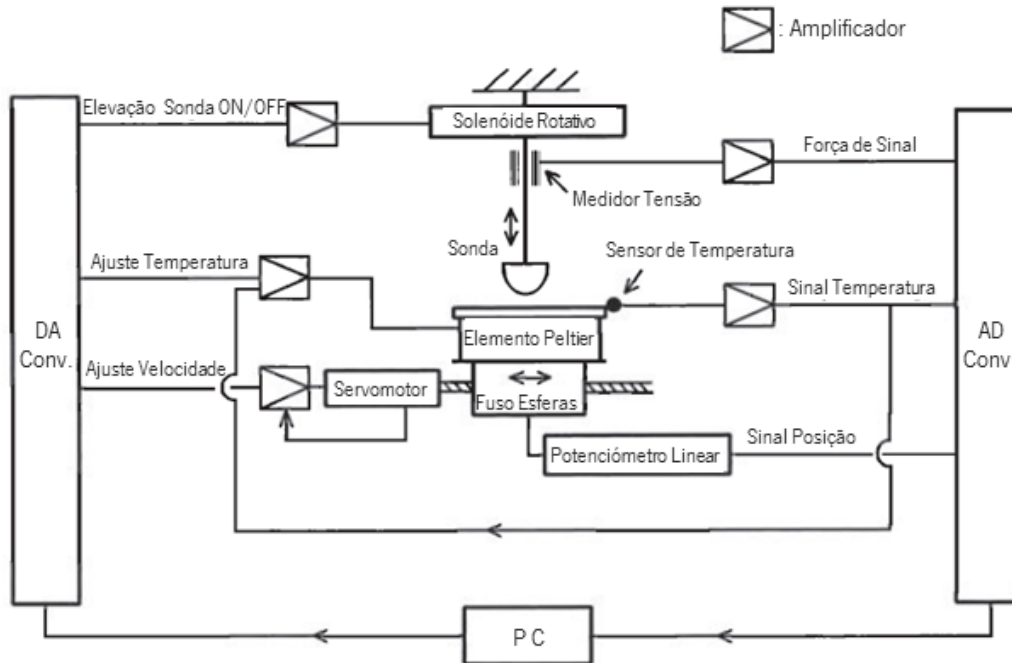


Figura 25 - Diagrama representativo do dispositivo de medição [24]

Com este equipamento, efetuaram-se vários estudos do coeficiente de atrito após a aplicação de alguns produtos cosméticos, como foi o caso de gel de massagens, creme hidratante, gel hidratante, entre outros. Foi estudada a relação do coeficiente de atrito em função do tempo após a aplicação dos produtos e em função da viscosidade dos cosméticos. Foram utilizados os dois tipos de apalpador (tipo bloco e tipo rolo) e dentro de cada tipo de produto cosmético testaram-se composições e quantidades aplicadas diferentes. Nos estudos realizados por KUSAKARI concluiu-se que cremes com maior viscosidade apresentam maior coeficiente de atrito. Depois ao variar as composições dos produtos assim como as quantidades aplicados o coeficiente de atrito varia.

Capítulo 3 - O equipamento FRICTORQ®

3.1 O princípio de funcionamento

O FRICTORQ® (Figura 26) é um equipamento laboratorial, desenvolvido na Universidade do Minho, para a avaliação subjetiva do atrito entre superfícies de materiais não rígidos.



Figura 26 - Equipamento FRICTORQ®

É um tribómetro rotativo que dispõe de um motor redutor que aciona uma base cilíndrica, onde é colocada a amostra. Sobre a amostra e coaxialmente com o sensor de binário é colocado um corpo padrão que vai deslizar sobre a amostra e transmitir ao sensor de binário o atrito gerado no contacto.

O equipamento encontra-se ligado a um computador que a partir de uma aplicação desenvolvida para esse fim, controla o acionamento do motor e recebe os dados recolhidos pelo sensor de binário. Os dados são apresentados de forma gráfica podendo depois serem exportados para uma folha de cálculo Excel.

O princípio de funcionamento do FRICTORQ® I é semelhante ao de uma embraiagem de disco seca, onde um corpo anelar é arrastado através de uma superfície plana tendo esta última um movimento rotacional perpendicular ao plano de contacto das duas superfícies.

Tal como alguns mecanismos de medição do atrito, este equipamento tem um princípio de funcionamento baseado numa atuação rotativa, onde é medido o momento de torção reativo gerado pelo movimento de arrasto entre dois corpos. A partir deste momento é determinado o coeficiente de atrito entre os dois corpos em contacto. O aparelho é composto por três partes, essenciais, sendo elas:

- Um sensor de binário de precisão reativo e respetivo sistema de aquisição de dados;
- Um motor de corrente contínua com um redutor de engrenagens e uma correia dentada para acionar o prato de suporte da base de ensaios;
- Uma aplicação informática que faz a gestão e o controlo de todo o sistema, permitindo a visualização e a recolha dos dados obtidos para posterior tratamento gráfico e estatístico.

O sensor de binário utilizado neste equipamento tem a capacidade de medir valores de binários muito pequenos, da ordem dos 10 cNm. O controlo do equipamento é realizado por intermédio de um computador pessoal (PC) que faz a leitura e a gestão dos sinais de entrada e saída, através de um programa desenvolvido para este fim. A Figura 27 mostra o painel frontal do programa quando executado para a realização de ensaios no equipamento. Este programa foi concebido ainda durante as fases iniciais de desenvolvimento do primeiro modelo.

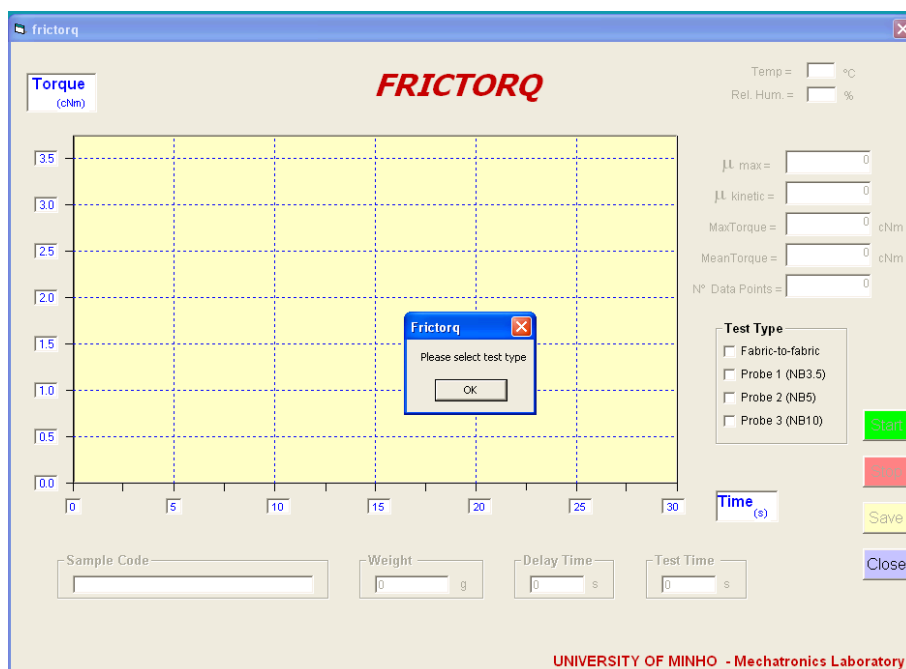


Figura 27 - Imagem da aplicação *Frictorq* executada para a realização de um ensaio

O programa só avança quando o utilizador introduzir o código de referência do ensaio (relativo ao produto que esta a ser testado), o peso do sensor de contacto (corpo de prova), e, finalmente, o tempo desejado para a duração do ensaio. Se o ensaio estiver a decorrer em ambiente controlado, temperatura e humidade relativa, a aplicação permite introduzir estes valores de forma a ficarem guardados juntamente com os resultados do teste. Após a introdução destas variáveis, o utilizador dá a ordem de ativação do motor, através da porta paralela do PC, sendo os valores de binário imediatamente recebidos pelo sistema de aquisição de dados, sob a forma de “*string*”, pela porta série.

Enquanto o tempo estabelecido para o ensaio não terminar, o PC continua a receber os valores provenientes do sensor de binário. Em simultâneo, ocorre o tratamento destes valores, sendo diretamente representados num gráfico Binário/Tempo, como apresentado na Figura 28.

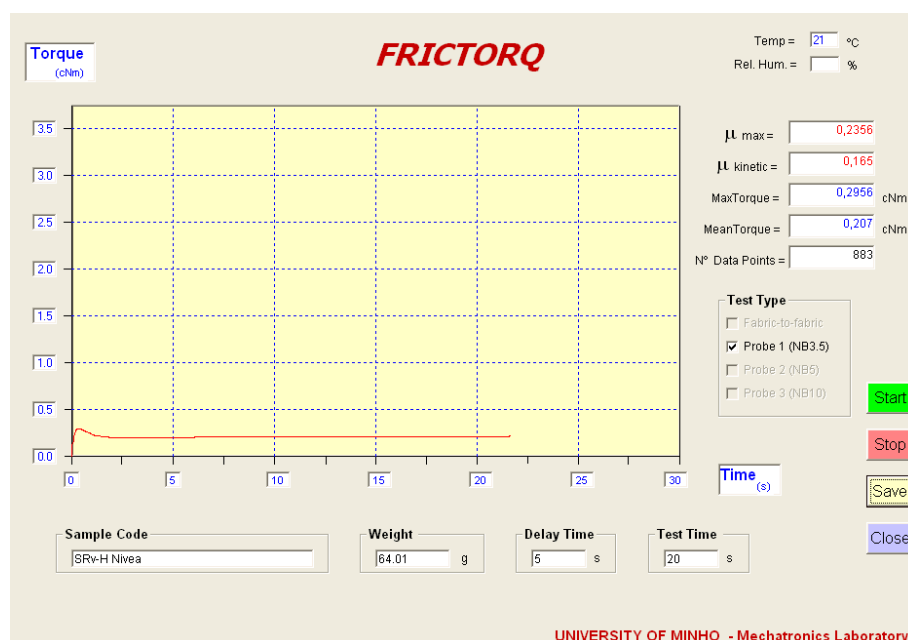


Figura 28 - Representação gráfica dos resultados de um ensaio

Ao iniciar o teste, durante um curto intervalo de tempo, o binário cresce mas a amostra mantém-se momentaneamente estática, obtendo-se no gráfico uma linha aproximadamente reta com grande declive. Quando o binário de atrito estático é vencido, inicia-se o movimento relativo entre o corpo de prova e a amostra, e o valor de binário desce rapidamente. O valor máximo do binário que se obtém pode ser extraído para fornecer o valor do coeficiente de atrito estático. Após iniciar o movimento relativo entre o corpo de prova e a amostra em análise, assiste-se a uma progressiva estabilização do valor do binário resistente, eventualmente com algumas pequenas flutuações.

Terminado o tempo de ensaio, é determinado o valor do binário de atrito calculando a média dos valores recebidos. Depois, através das equações introduzidas na aplicação informática obtém-se o valor médio do coeficiente de atrito estático e cinético medido durante o período de teste estabelecido inicialmente. Os resultados podem de seguida ser guardados numa folha Excel para posterior tratamento estatístico.

À medida que se fizeram ensaios foi possível reformular/redesenhar o sistema de aperto e de acondicionamento das amostras, assim como a localização do sensor de binário de forma a não perturbar a área/zona reservada ao teste. Isto permitiu chegar a um equipamento com o sensor montado na parte superior da estrutura fixa do equipamento e alinhado, coaxialmente, com o eixo de simetria do corpo de prova. Este corpo foi dimensionado, posteriormente, para funcionar como um corpo padrão, garantindo uma pressão de contacto de 2.9 kPa (ou de 3.5, 10 kPa ou até superior) e uma velocidade linear (medida sobre o raio médio da superfície de contacto) de 1.77 mm/s.

3.2 A evolução do FRICTORQ®

O FRICTORQ® foi projetado para a análise do atrito entre superfícies têxteis tendo vindo a ser melhorado ao longo dos tempos. Estas alterações permitiram corrigir alguns problemas que afetavam a medição do coeficiente de atrito e também introduzir novas funções no equipamento, tornando-o assim mais versátil.

As alterações a que o equipamento foi sujeito foram realizadas apenas no sensor de binário e na zona de ensaios, ou seja, na base onde se coloca a amostra e no corpo de prova. A estrutura e os componentes do acionamento e transmissão têm-se mantido de umas versões para as outras.

Neste capítulo, pretende-se apresentar as diferentes fases do equipamento FRICTORQ® desde a sua criação até ao estado atual do equipamento. Assim são apresentadas as versões para análise de tecidos, com diferentes configurações, o desenvolvimento para as análises de atrito em meio líquido e por fim a versão para análise de peles com emulsões cosméticas.

3.2.1 FRICTORQ® I: Primeiros desenvolvimentos

A primeira versão do FRICTORQ® possibilitava aos utilizadores a medição do coeficiente de atrito entre duas superfícies têxteis ou então entre uma superfície têxtil e uma superfície metálica (corpo de prova). Os corpos de prova utilizados nesta primeira versão do equipamento eram de dois tipos: corpo anelar com superfície lisa e corpo anelar com superfície tratada quimicamente (Figura 29).



Figura 29 - Corpo de prova anelar com superfície lisa e tratada quimicamente

Com estes tipos de corpos de prova é possível efetuar diferentes tipos de ensaios. Ao acoplar uma amostra de tecido ao corpo de prova permite efetuar ensaios de atrito de tecido contra tecido (Figura 30). De uma forma mais prática podem-se utilizar os corpos de prova na sua configuração normal efetuando ensaios de tecido-metal. Em ambos os casos, podem-se variar as características do ensaio utilizando o corpo de prova com superfície lisa ou o que apresenta superfície de contacto tratada quimicamente.



Figura 30 - Ensaios na modalidade tecido-tecido (esquerda) e tecido-metal (direita)

O corpo anelar está sujeito a uma determinada carga P que vai originar uma força de pressão entre as duas superfícies. Uma vez conhecido o valor de P e do binário resultante do arrasto do corpo superior, é possível calcular o coeficiente de atrito entre as duas superfícies.

O binário neste equipamento é obtido através da equação 3:

$$T = 2\pi\mu \int_{\frac{d}{2}}^{\frac{D}{2}} pr^2 dr \quad (3)$$

Integrando em ordem a r e substituindo o p pelo seu valor obtém-se a equação 4:

$$p = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi(D^2 - d^2)} \quad (4)$$

O coeficiente de atrito é dado pela equação 5:

$$\mu = \frac{3T D^2 - d^2}{P D^3 - d^3} \quad (5)$$

A utilização deste tipo de corpo de prova não permite avaliar com rigor o coeficiente de atrito dos tecidos uma vez que ao durante o movimento as fibras dos tecidos vão ficando alinhadas e com o passar do tempo o coeficiente de atrito desce ao longo do ensaio. O mesmo se verifica no ensaio de tecido contra tecido. Além disto, o corpo de prova com a superfície tratada quimicamente que produzia coeficientes de atrito elevados, era muito difícil de replicar devido à sua excessiva rugosidade.

Devido a estas dificuldades, pensou-se e projetou-se o desenvolvimento de um novo corpo de prova que permitisse ultrapassar os problemas referidos. Com a alteração para o novo corpo de prova o equipamento passou-se a chamar FRICTORQ® II.

3.2.2 FRICTORQ® II: Corpo de prova com 3 superfícies de contacto

No FRICTORQ® II desenvolveu-se um corpo de prova onde o contacto com a amostra é estabelecido através de três pequenas superfícies de contacto, dispostos radialmente numa superfície anelar e distanciados com um ângulo de 120° entre cada superfície de contacto. Desta forma, é possível controlar o tempo de ensaio garantindo que seja sempre analisada uma

nova porção de tecido, não correndo o risco de uma superfície passar sobre uma zona de tecido que já tenha sido analisada pela superfície de contacto anterior. Cada superfície de contacto do corpo de prova tem a forma quadrangular e encontra-se coberta com um conjunto de agulhas com 1 milímetro de diâmetro. Esta configuração permite simular o contacto de um dedo humano com uma superfície a analisar. Na Figura 31 encontra-se representado o corpo de prova desenvolvido na fase do FRICTORQ II.

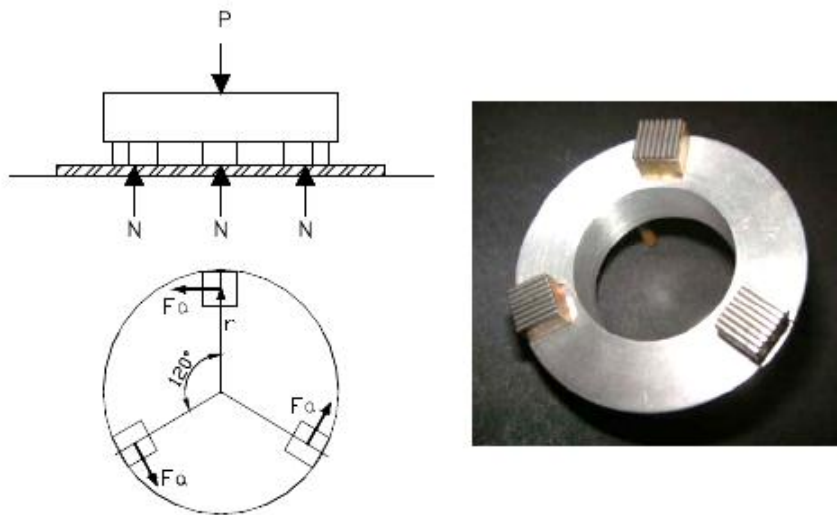


Figura 31 - Corpo de prova utilizado na versão FRICTORQ® II.

Uma vez modificado o corpo de prova, foi necessário reajustar as equações que permitiam calcular o coeficiente de atrito.

Nesta nova configuração, o binário é obtido pela equação 6:

$$T = 3 F a r \quad (6)$$

Como a $F a = \mu N$ e como $N = \frac{P}{3}$, o coeficiente de atrito é dado pela equação 7:

$$\mu = \frac{T}{P r} \quad (7)$$

Com este novo corpo de prova consegue-se eliminar os problemas encontrados com os utilizados na versão anterior. O facto de utilizar as agulhas de 1 mm de diâmetro na superfície de contacto facilita a replicação, uma vez que estas agulhas são adquiridas com um acabamento superficial aproximadamente igual em todas elas. Desta forma, para a construção de novos

corpos de prova consegue-se facilmente uma superfície de contacto com as mesmas características.

3.2.3 FRICTORQ® III: Análise em meio líquido

Por necessidade de analisar o coeficiente de atrito de tecidos em ambiente líquido, desenvolveu-se uma nova base de ensaios que permitisse fixar as amostras submersas no líquido no qual se pretende realizar o ensaio de atrito. Esta nova versão denominou-se FRICTORQ® III, tendo aparecido para a análise de tecidos de vestuário utilizado em desportos de competição em meio aquático.

Nesta nova versão foi necessário a construção do recipiente que permite conter o líquido bem como um novo corpo de prova com as mesmas condições de contacto e resistente à corrosão inerente aos ambientes líquidos. Na Figura 32 encontra-se a nova configuração da base de ensaios do FRICTORQ® III já com o novo corpo de prova, construído em aço inoxidável.

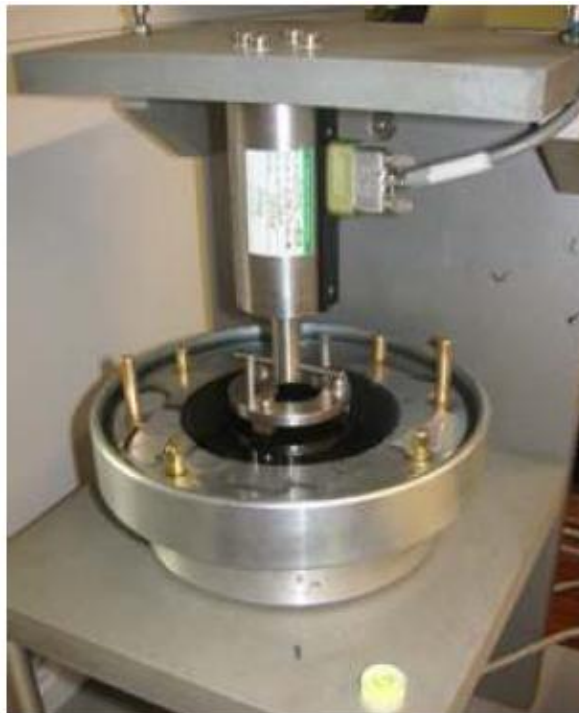


Figura 32: Configuração de teste que permite ensaios em ambientes líquidos

O princípio de funcionamento desta versão é idêntico ao descrito anteriormente para o FRICTORQ® II.

3.2.4 FRICTORQ® IV: Análise de peles com emulsões cosméticas

Para a análise do coeficiente de atrito em peles artificiais com emulsões cosméticas foi efetuado um estudo de possíveis alterações que se podiam aplicar no FRICTORQ®. Este foi um trabalho desenvolvido no âmbito de uma unidade curricular (Integradora), onde um grupo de alunos apresentou diversas configurações alternativas capazes de efetuar os ensaios de atrito em peles artificiais com emulsões cosméticas. Após uma análise detalhada das várias alternativas propostas foi selecionada a que apresentou melhor viabilidade técnica e funcional. Na Figura 33 encontra-se a opção selecionada para a análise de peles com emulsões cosméticas.



Figura 33 - Modelação 3D da base de ensaios para análise de peles artificiais

Nesta nova configuração alterou-se o sistema de fixação da amostra e o dispositivo de centragem do corpo de prova. O corpo de prova utilizado nesta versão é o mesmo que na versão anterior, logo, o princípio de funcionamento desta nova versão é semelhante ao descrito anteriormente na versão FRICTORQ® II.

3.3 Evolução para avaliação de cremes cosméticos

Para a análise do coeficiente de atrito em cremes cosméticos partiu-se do equipamento FRICTORQ II e efetuaram-se algumas alterações, particularmente, no corpo de prova, na base de ensaios e na barra de acoplamento do sensor.

3.3.1 Corpo de prova

Para não danificar os corpos de prova existentes e para melhorar a resistência à corrosão, construiu-se um novo corpo de prova em aço inoxidável do tipo anelar com três superfícies de contacto (ver Figura 34) com a mesma massa e área de contacto.

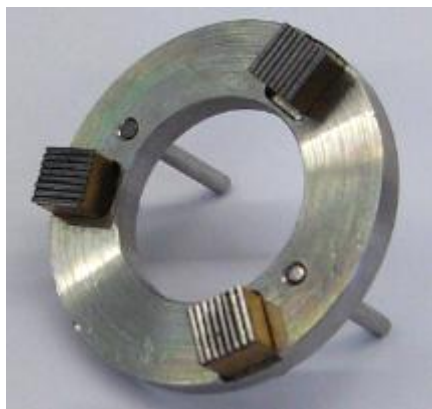


Figura 34 - Corpo de prova utilizado nos ensaios de atrito com cremes cosméticos

As superfícies de contacto são compostas por pequenas agulhas dispostas paralelamente umas às outras de forma a garantir uma superfície ondulada, tal como utilizado noutros equipamentos de medição de atrito.

O dimensionamento das novas peças em aço inoxidável foi considerado para que no final se mantenha uma pressão de contacto de 3,5 kPa. Após o fabrico/montagem do corpo de prova, foi verificada a sua massa numa balança de precisão existente no laboratório. A massa do corpo de prova, é um valor de entrada a introduzir na aplicação FRICTORQ® no momento da realização dos ensaios de atrito.

3.3.2 Base de ensaios

A base de ensaio é o local sobre o qual é colocada a amostra para análise. No caso dos ensaios em tecidos é utilizada uma superfície esponjada, enquanto nos ensaios com os cremes é utilizada uma base em borracha de silicone pois é o material que melhor simula a pele humana [25; 24]. Como o FRICTORQ é um tribómetro rotativo, a base de ensaio (ver Figura 35) é em forma de disco com um diâmetro de 74,1 mm e a espessura utilizada foi a de 3 mm.

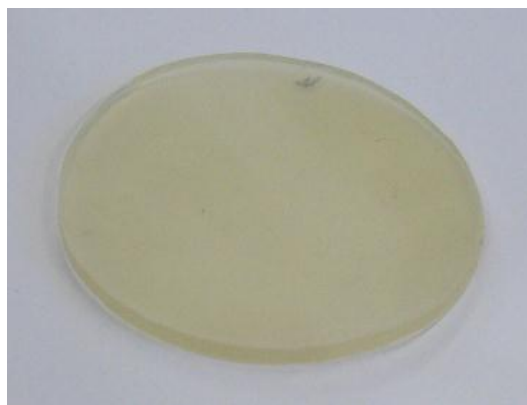


Figura 35 - Base de ensaios em borracha de silicone

As características da borracha de silicone utilizada para a base de ensaios encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Características da borracha de silicone [26]

| Borracha de silicone | |
|---|-------------------|
| Dureza | 60° +/- 5 Shore A |
| Intervalo de temperatura utilizável | -70 °C até 200 °C |
| Resistência ao ozono | Excelente |
| Resistência a ácidos e óleos diluídos | Boa |
| Resistência a ácidos e óleos concentrados | Moderada |
| Resistência a hidrocarbonetos | Moderada |
| Resistência a solventes orgânicos | Moderada |

3.3.3 Barra de acoplamento do sensor

Para o corpo de prova transmitir o binário ao sensor, existe neste, um veio com uma barra de acoplamento. Esta barra também teve ser alterada pois devido às propriedades dos cremes, o corpo de prova escorregava na direção radial da borracha de silicone, afastando-se da posição centrada, influenciando a medição. Para resolver este problema foi criada uma nova barra de acoplamento com dois entalhes (Figura 36) permitindo assim o encaixe dos pinos do corpo de prova.



Figura 36 - Barra de acoplamento do sensor com entalhes

3.3.4 Montagem final

Após o fabrico dos componentes que foram alterados, relativamente às versões anteriores do FRICTORQ®, procedeu-se à sua montagem no equipamento. Começando pela base de borracha de silicone, esta é fabricada com um diâmetro exterior ligeiramente superior ao diâmetro onde vai encaixar na base rotativa do equipamento. Desta forma, é colocada sob aperto não necessitando de qualquer outro meio de fixação (ver Figura 37). Como as duas faces da borracha de silicone pareciam ter características diferentes foram numeradas para que os ensaios fossem sempre realizados na mesma face.

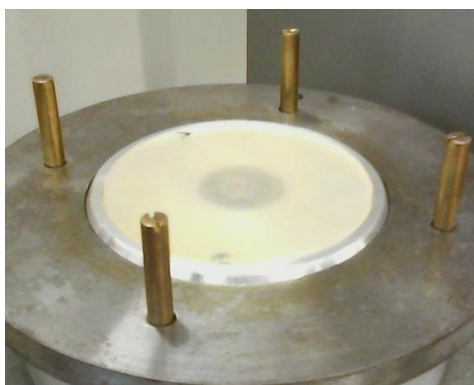


Figura 37 - Borracha de silicone colocada na base rotativa do equipamento

O corpo de prova, após o seu fabrico, incluindo a montagem dos seus componentes, é colocado sobre a amostra que se pretende analisar. Para facilitar a centragem com o eixo do sensor de binário foi construído um disco de centragem, que se utiliza unicamente para este fim.

A barra de acoplamento do sensor encontra-se encaixada num furo passante existente no ajuste do veio do sensor de binário e fixa por um parafuso sem cabeça com sextavado interior. Para a montagem da nova barra de acoplamento, construída com os dois entalhes para encaixar os pinos do corpo de prova, começou-se por retirar a anterior, desapertando o parafuso que a fixa e só depois se retirou a barra. Colocou-se a nova, e voltou-se a apertar o parafuso que a mantém fixa. Este trabalho de desmontagem e montagem da barra acopladora deve ser feito com bastante cuidado uma vez que se está a trabalhar no veio do sensor, um dos componentes mais sensíveis do equipamento.

Na Figura 38 encontram-se os componentes que foram alterados, já montados no equipamento. Desta forma, o aparelho está apto para a realização de ensaios ao coeficiente de atrito de cremes cosméticos.



Figura 38 - Componentes alterados já montados no equipamento FRICTORQ®

Os processos de fabrico e de montagem dos componentes do equipamento FRICTORQ®, não são descritos de forma detalhada ao longo deste capítulo, pelo que nos anexos 1 e 2 encontram-se respetivamente o manual de fabrico e o manual de montagem de todos os componentes do aparelho. Da mesma forma, os desenhos técnicos de todos os componentes encontram-se no anexo digital.

Capítulo 4 - Ensaio preliminares com o FRICTORQ®

4.1 Protocolo de ensaio

Para a realização de um ensaio de atrito no equipamento FRICTORQ® é necessário seguir um conjunto de procedimentos apropriados para garantir o correto funcionamento do equipamento. Para realizar um ensaio, partindo do princípio que as ligações entre o aparelho e o computador se encontram estabelecidas, deve ligar-se a placa de controlo/aquisição de dados do equipamento no interruptor vermelho que se encontra na parte frontal da placa. Em seguida deve-se abrir a aplicação “*frictorq*” instalada no computador (Figura 39).



Figura 39 - Aplicação frictorq instalada no computador

Logo após iniciar a aplicação “*frictorq*” surge uma mensagem para selecionar o tipo de teste que se pretende efetuar. Deve-se clicar em “OK” na mensagem para que esta desapareça e depois do lado direito selecionar o tipo de teste “*Test Type*” que se pretende efetuar.

Após selecionar o tipo de teste surge uma nova mensagem para escrever o código que pretendemos atribuir ao ensaio “*Sample Code*”, clica-se em “OK” para a mensagem desaparecer, e, no espaço reservado, escreve-se o código que se pretende atribuir ao ensaio. Ao lado do local onde se escreve o código do ensaio encontra-se o local para preencher com a massa (em gramas) do corpo de prova.

Em seguida, como se pretende apenas o coeficiente de atrito cinético e para não contabilizar o binário necessário para vencer o atrito estático, deve-se selecionar um tempo de

atraso “*Delay Time*” que será um intervalo de tempo inicial onde não são contabilizados os valores de binário medidos. Para selecionar o tempo de teste “*Test Time*” deve-se ter em conta que o corpo de prova se desloque uma distância angular inferior a 120 °, evitando que os pés do corpo de prova passem pelo mesmo local de novo. Para que isto não aconteça, e tendo em conta a velocidade de rotação da base de ensaios, o tempo de teste não deve ser superior a 20 segundos.

Para ter melhor confiança nos resultados, e como o coeficiente de atrito dos materiais pode variar em função da temperatura e da humidade relativa, deve-se trabalhar num laboratório em ambiente controlado. A aplicação “*friktorq*” permite a introdução dos valores da temperatura e da humidade relativa em que os ensaios foram realizados, ficando depois guardados juntamente com os resultados.

Após ter preenchido todos os campos especificados anteriormente a aplicação está preparada para iniciar o teste. Entretanto é necessário preparar a amostra sobre a base de ensaios.

Uma vez colocada a base de borracha de silicone, aplica-se-lhe o creme que se pretende analisar, espalhado sobre a borracha de silicone formando uma película homogénea. Após espalhar o creme que se pretende analisar, coloca-se o anel de centragem do corpo de prova, mantendo o posicionamento nos pernos (preto com preto), isto porque durante o fabrico destes componentes, o posicionamento dos furos dos pernos não foi rigorosamente cumprido, e desta forma é mais fácil o encaixe/desencaixe do disco de centragem.

Com o disco de centragem inserido, coloca-se o corpo de prova sobre a amostra com o cuidado de deixar os pernos do disco do corpo de prova numa posição oblíqua, como representado na Figura 40, em relação ao T invertido do sensor de binário para que este não colida com os pernos do corpo de prova ao descer. O disco de centragem tem que ser removido antes de descer o sensor de binário para evitar atrito entre o disco de centragem e o corpo de prova. Após retirar o disco de centragem desce-se o sensor de binário, ficando assim apto para iniciar o teste de atrito.



Figura 40 - FRICTORQ preparado para iniciar um teste de atrito

Para iniciar o teste, volta-se à aplicação “*frictorq*” e basta selecionar “*Start*”. Logo se verifica o acionamento do motor redutor. No momento que os pernos do corpo de prova encostam ao T invertido do sensor de binário o sistema de aquisição/controlo começa a desenhar o gráfico do binário medido pelo sensor de binário. O sistema de controlo tem a capacidade de, ao iniciar cada teste, fazer o “*reset*” do sensor de binário. Por outro lado, só começa a registar valores quando os pernos do corpo de prova encostam ao T invertido do sensor de binário, que é o momento que realmente começa o ensaio. Ao fim do tempo de teste o equipamento pára, ficando com o gráfico do binário e ao lado os coeficientes de atrito (ver Figura 41).

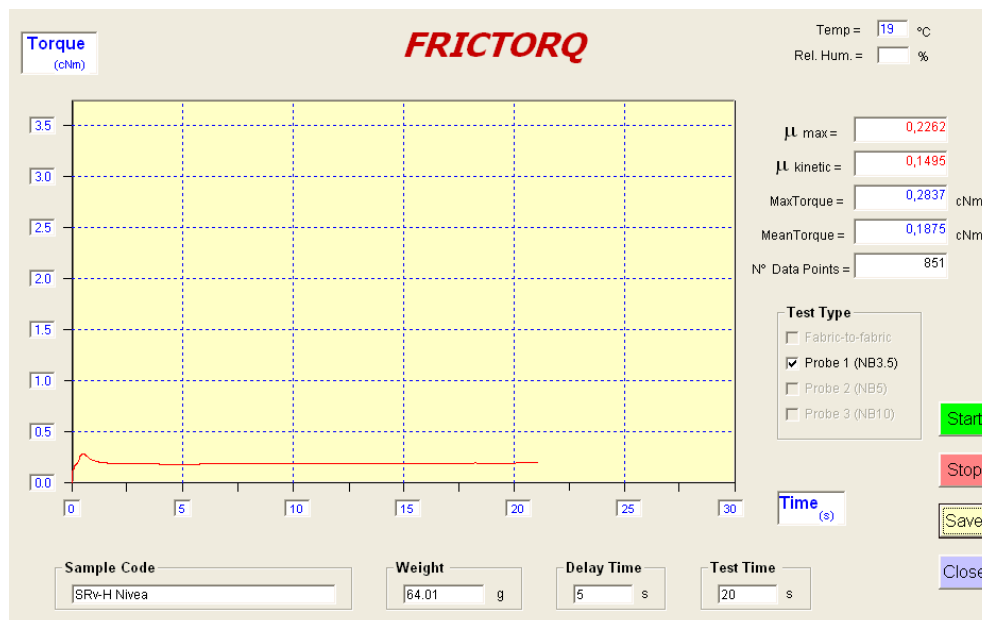


Figura 41 - Exemplo do resultado de um ensaio realizado no FRICTORQ®

Por último, para guardar o resultado na folha de cálculo Excel basta clicar em “Save” que a aplicação “*frictorq*” exporta os resultados para uma folha de cálculo específica. Na folha de cálculo são guardados o código do ensaio, o número do teste, o coeficiente de atrito estático e cinético registado no intervalo entre o “*delay time*” e o “*test time*”, a temperatura, humidade relativa e a data em que foi realizado o ensaio.

A grande vantagem de exportar os resultados para uma folha de cálculo é que depois pode-se efetuar o tratamento estatístico dos dados com facilidade. Por outro lado, num ficheiro relativamente pequeno conseguem-se guardar milhares de resultados.

Uma limitação da aplicação “*frictorq*” é não permitir guardar o gráfico do binário registado ao logo do ensaio. Para o caso de se pretender guardar os gráficos tem-se como alternativa um “*print screen*” do ecrã logo após terminar o ensaio. Depois utilizando o “*Paint*” ou outra ferramenta de desenho pode-se guardar a imagem.

4.2 Condições dos ensaios

Após as alterações efetuadas no equipamento FRICTORQ® tornou-se necessário realizar um conjunto de ensaios sistemáticos que permitissem analisar o comportamento do equipamento. Com estes ensaios comparou-se os resultados do coeficiente de atrito de dois tipos de creme cremes cosméticos quando aplicados sobre a base de borracha de silicone. Foi também possível analisar a influência de alguns parâmetros, como a quantidade de creme aplicado e a viscosidade do creme no coeficiente de atrito gerado no contacto com o corpo de prova (apalpador de atrito do FRICTORQ®).

Os ensaios preliminares de atrito efetuados em cremes cosméticos foram realizados no Laboratório de Física Têxtil da Universidade do Minho. Numa primeira fase, efetuaram-se medições do coeficiente de atrito da borracha de silicone em seco, ou seja, sem qualquer tipo de creme, depois com creme hidratante e por fim com um creme esfoliante.

Com o objetivo de padronizar os ensaios, aplicou-se uma quantidade de 0,5 ml de creme espalhados manualmente sobre a base de ensaios, que apresenta uma área de aproximadamente 28 cm², que equivale a uma quantidade de 0,018 ml de creme por cm² da base de ensaios (Figura 42).

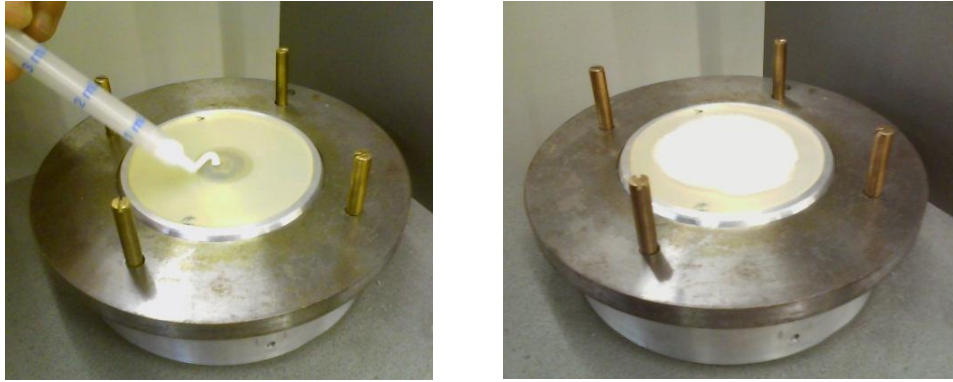


Figura 42 - Aplicação de 0,5 ml de creme sobre a base de ensaios

Nestes ensaios verificou-se que a quantidade de creme aplicada estava a ser exagerada o que se traduzia num coeficiente de atrito bastante elevado devido à acumulação de creme junto às superfícies de contacto.

Então, numa segunda fase dos ensaios preliminares, passou-se a aplicar manualmente uma quantidade de creme necessária e suficiente para preencher na borracha de silicone a mesma área de pele onde estaríamos a aplicar o creme, ou seja, na borracha de silicone aplicou-se a mesma quantidade de creme que seria aplicada numa área equivalente de pele. Na Figura 43 pode ver-se um exemplo da quantidade de creme que se aplicou neste tipo de ensaios.



Figura 43 - Película de creme esfoliante aplicado manualmente

Entre ensaios, a borracha de silicone é lavada e seca para garantir que a película de creme formada seja sempre nova. O creme esfoliante, por apresentar menor viscosidade, gera uma película sobre a borracha mais fina que o creme hidratante.

Foi nestes ensaios que se reparou que com o creme esfoliante o corpo de prova escorregava na direção radial da borracha de silicone, afastando-se da posição centrada. Desta

forma, os resultados obtidos não estavam a ser os reais. Isto levou à construção de um novo elemento para o “T” invertido do sensor, o qual inclui dois entalhes para permitir o encaixe dos pinos do corpo de prova, evitando assim o escorregamento.

Após o fabrico e montagem deste novo acessório voltaram-se a repetir todos testes, com a borracha de silicone em vazio, com o creme hidratante e com o creme esfoliante. Para melhor controlo estatístico dos resultados foram efetuadas quinze medições de cada. No final, verificou-se uma variação significativa nos resultados do coeficiente de atrito do creme esfoliante.

Numa tentativa de uniformizar a quantidade de creme aplicado, surgiu a ideia de, após aplicar o creme na borracha de silicone, passar uma espátula de plástico de forma a remover o creme em excesso, ficando apenas uma fina película de creme sobre a borracha de silicone como apresentado na Figura 44. Voltou-se a repetir os ensaios com os dois tipos de cremes aos quais se denominaram testes intercalares.



Figura 44 - Película de creme após passagem da espátula de plástico

Nestes ensaios a quantidade de creme que ficava sobre a base de borracha de silicone era muito pequena, e no caso do creme esfoliante removia todos os seus grânulos (microesferas), características deste tipo de creme. Ao remover os grânulos do creme esfoliante ficava apenas uma fina película de creme que apresentava uma viscosidade inferior à do creme hidratante.

Para se saber o tipo de grânulos presentes no creme esfoliante fizeram-se algumas observações ao microscópio, que permitiram perceber o formato dos grânulos assim como as suas dimensões. Nas observações ao microscópio, pode-se concluir que existem dois tipos distintos de grânulos, uns aproximadamente esféricos e outros com uma geometria irregular.

Efetou-se a medição de uma amostra de 5 grânulos e em média estes apresentam um diâmetro aproximadamente de 1mm. Na Figura 45 pode observar-se os dois tipos de grânulos encontrados no creme esfoliante utilizado nos ensaios preliminares.

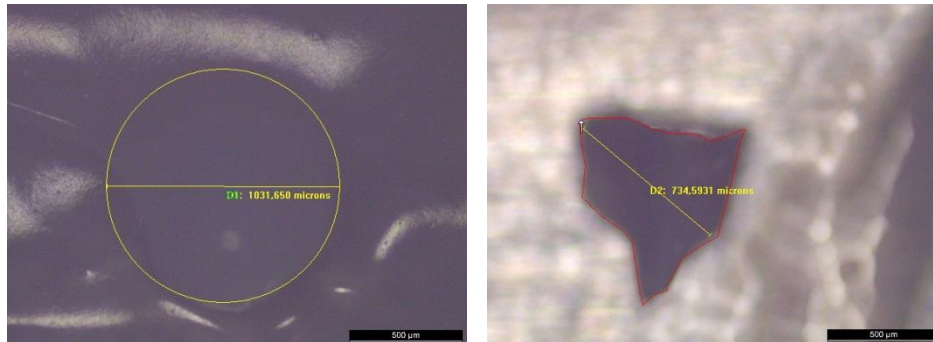


Figura 45 - Grânulos do creme esfoliante observados no microscópio

A análise e medição dos grânulos permitiram perceber o motivo pelo qual os grânulos eram arrastados, durante o ensaio de atrito, pelas superfícies de contacto do corpo de prova.

4.3 Resultados obtidos

Os resultados obtidos pelo FRICTORQ são apresentados de forma gráfica, podendo ser exportados posteriormente para uma folha de cálculo Excel. Nos gráficos é representado o binário necessário para manter o deslizamento sobre a base de ensaios, medido pelo sensor de binário. Depois, como uma variável de entrada é o peso do corpo padrão, a aplicação do FRICTORQ, através das leis de Amonton e das características do sistema converte o binário em coeficiente de atrito.

Nos primeiros testes realizados verificou-se que a borracha de silicone sem qualquer creme aplicado apresenta um coeficiente de atrito médio de 0,486. Depois, aplicando uma quantidade de 0,5 ml de creme hidratante sobre a borracha de silicone obteve-se um coeficiente de atrito médio de 0,281. Reduzindo a quantidade de creme hidratante aplicado, para uma quantidade equivalente ao que se aplicaria numa área equivalente de pele, obteve-se um coeficiente de atrito médio de 0,156. Com o creme esfoliante obteve-se um coeficiente de atrito médio de 0,131.

Nos testes preliminares, foram efetuadas várias medições, em vazio e depois com cada tipo de creme para tentar ter uma ideia dos valores de atrito em causa. Nestes ensaios, o creme foi espalhado manualmente com a quantidade necessária e suficiente para cobrir a borracha de silicone com a quantidade que se aplicaria numa área equivalente de pele. Nas figuras que se

seguem são apresentados alguns gráficos obtidos nos ensaios preliminares. Na Figura 46 encontra-se um gráfico obtido na medição do coeficiente de atrito da borracha de silicone em vazio.

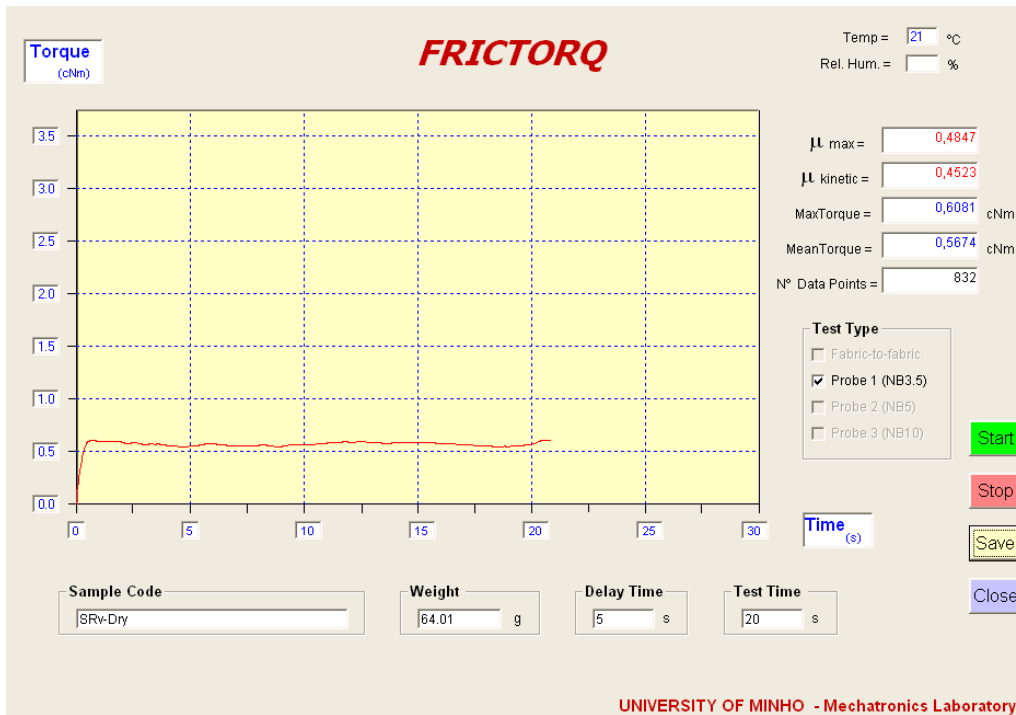


Figura 46 - Coeficiente de atrito obtido com a borracha de silicone em vazio

Na Figura 47 está apresentado um gráfico típico da medição do coeficiente de atrito com o creme hidratante.

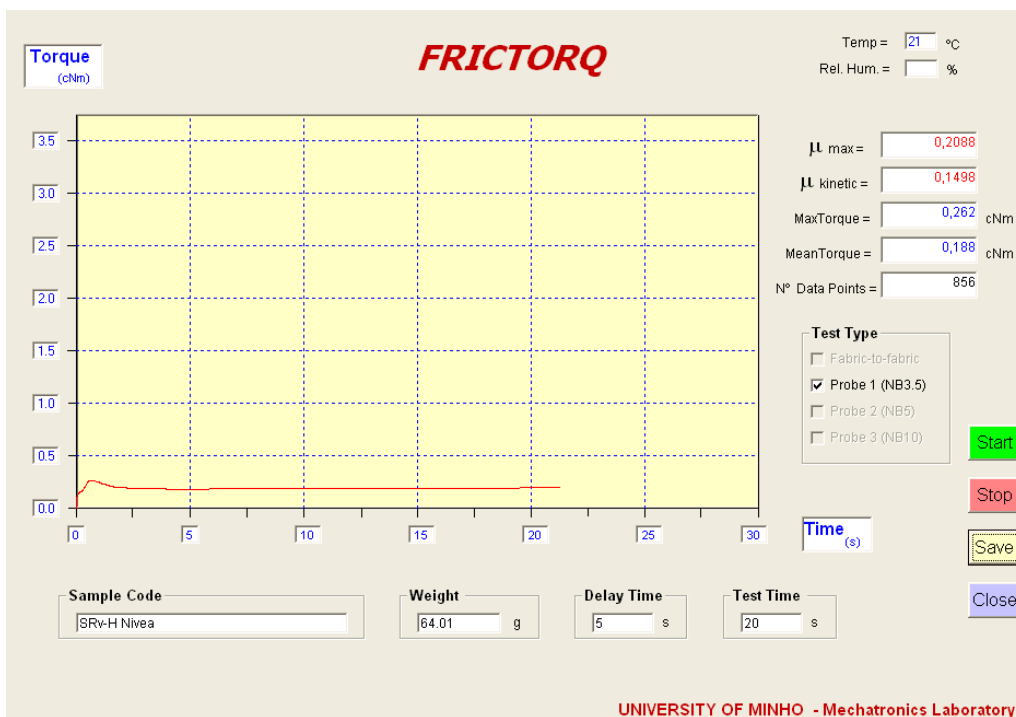


Figura 47 - Coeficiente de atrito obtido com creme hidratante

Na Figura 48 apresenta-se um gráfico de uma das medições do coeficiente de atrito com o creme esfoliante.

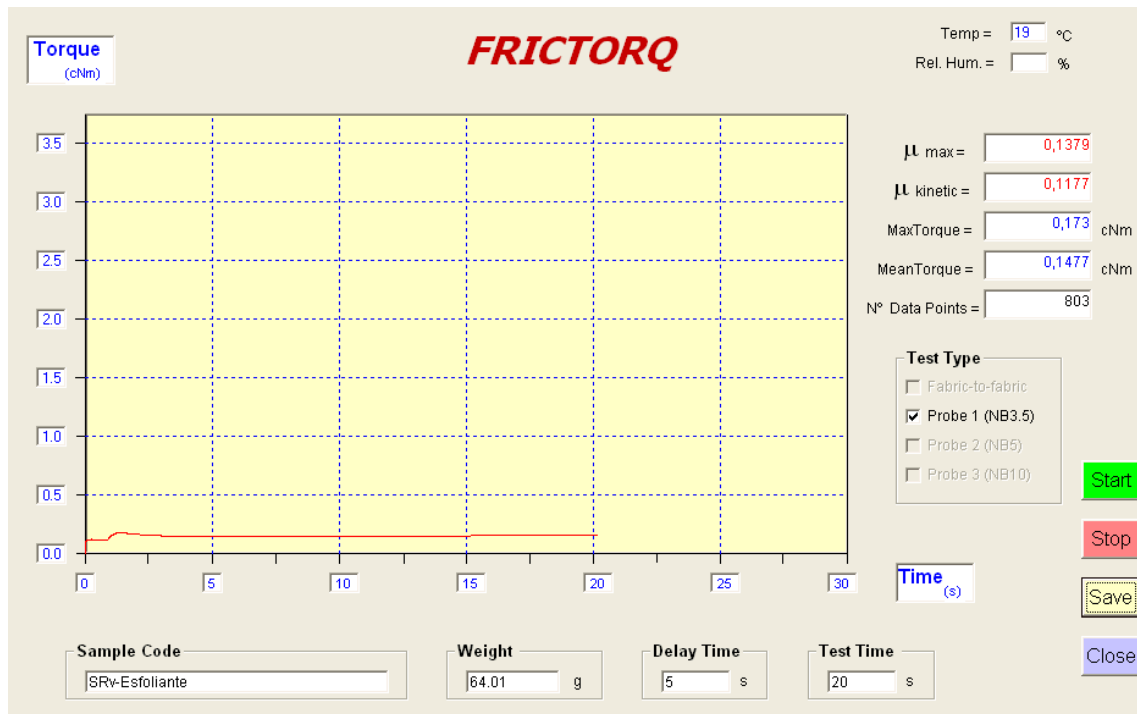


Figura 48 - Coeficiente de atrito obtido com o creme esfoliante

Com o creme esfoliante, nesta fase, conseguiram-se apenas 12 ensaios pois em determinadas situações, talvez porque o binário medido esteja próxima do limite inferior de leitura do sensor, este não iniciava a leitura de dados, ficando a base de ensaios a rodar sem recolher qualquer valor de binário. Outras vezes a aplicação “*frictorq*” não desenhava o gráfico, apesar de apresentar o coeficiente de atrito após os 20 segundos de ensaio. Noutras situações iniciava a leitura de dados mas interrompia-a sem que estivesse terminado o teste.

Nos ensaios com creme esfoliante as microesferas presentes no creme são arrastadas pelos pés do corpo de prova, a menos que no momento da sua colocação alguma microesfera fique por baixo de um dos pés do corpo de prova. Quando isto acontece verifica-se que o coeficiente de atrito é superior e a curva do binário ao longo do deslocamento sofre variações.

Na Tabela 2 encontram-se os resultados da fase de ensaios preliminares. Após realizar os ensaios com o creme hidratante fizeram-se alguns ensaios em vazio, apenas para verificar se o coeficiente de atrito da borracha em vazio se manteve.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios preliminares

| Código do Ensaio | Teste Nº | μ estático | μ cinético | T [°C] | HR [%] | Data | Média | D. Padrão |
|-------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|-------------|--------------|------------------|
| BSv-vazio | 1 | 0,4674 | 0,4366 | 21 | | 26-04-2012 | 0,4582 | 0,0232 |
| BSv-vazio | 2 | 0,4847 | 0,4523 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 3 | 0,5009 | 0,4628 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 4 | 0,4657 | 0,4436 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 5 | 0,4853 | 0,4503 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 6 | 0,4462 | 0,4193 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 7 | 0,4529 | 0,4177 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 8 | 0,4719 | 0,4487 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 9 | 0,5059 | 0,4717 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 10 | 0,5003 | 0,4750 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 11 | 0,5154 | 0,4923 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 12 | 0,5059 | 0,4652 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 13 | 0,4970 | 0,4795 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 14 | 0,5165 | 0,4943 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 15 | 0,4942 | 0,4637 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 1 | 0,2100 | 0,1344 | 21 | | 26-04-2012 | 0,1496 | 0,0090 |
| BSv-H Nivea | 2 | 0,2356 | 0,1650 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 3 | 0,2088 | 0,1498 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 4 | 0,2155 | 0,1474 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 5 | 0,2351 | 0,1451 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 6 | 0,2005 | 0,1382 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 7 | 0,2747 | 0,1581 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 8 | 0,2731 | 0,1645 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 9 | 0,2150 | 0,1424 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 10 | 0,2468 | 0,1436 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 11 | 0,2340 | 0,1497 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 12 | 0,2429 | 0,1497 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 13 | 0,2418 | 0,1543 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 14 | 0,2289 | 0,1582 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 15 | 0,2384 | 0,1441 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 1 | 0,5065 | 0,4455 | 21 | | 26-04-2012 | 0,4569 | 0,0184 |
| BSv-vazio | 2 | 0,4959 | 0,4782 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-vazio | 3 | 0,4998 | 0,4471 | 21 | | 26-04-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 1 | 0,1340 | 0,1177 | 20 | | 02-05-2012 | 0,1130 | 0,0188 |
| BSv-Esfoliante | 2 | 0,2664 | 0,1442 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 3 | 0,1848 | 0,1276 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 4 | 0,1396 | 0,1078 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 5 | 0,1385 | 0,0874 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 6 | 0,2574 | 0,1237 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 7 | 0,1318 | 0,1098 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 8 | 0,4311 | 0,1156 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 9 | 0,0905 | 0,0862 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 10 | 0,1005 | 0,0916 | 20 | | 02-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 11 | 0,1452 | 0,1316 | 20 | | 02-05-2012 | | |

Após uma análise dos resultados dos testes preliminares realizaram-se os testes intercalares. A única diferença nestes ensaios é que após espalhar manualmente o creme sobre a base de silicone passou-se uma espátula de plástico removendo o creme em excesso. Assim

apenas uma fina película de creme fica sobre a borracha de silicone e garante-se uma homogeneidade no espalhamento do creme.

Na Tabela 3 encontram-se os resultados dos testes intercalares, realizados nas condições referidas.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios Intercalares

| Código do Ensaio | Teste N ^o | μ estático | μ cinético | T [°C] | HR [%] | Data | Média | D. Padrão |
|------------------|----------------------|----------------|----------------|--------|--------|------------|--------|-----------|
| BSv-H Nivea | 1 | 0,2440 | 0,1874 | 22 | | 10-05-2012 | 0,1461 | 0,0416 |
| BSv-H Nivea | 2 | 0,3524 | 0,2288 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 3 | 0,1977 | 0,1264 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 4 | 0,1949 | 0,1371 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 5 | 0,1156 | 0,1004 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 6 | 0,2144 | 0,1082 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 7 | 0,3295 | 0,2237 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 8 | 0,1407 | 0,1114 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 9 | 0,2016 | 0,1582 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 10 | 0,2664 | 0,1603 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 11 | 0,2077 | 0,1754 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 12 | 0,1893 | 0,1210 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 13 | 0,1268 | 0,1089 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 14 | 0,1491 | 0,1168 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-H Nivea | 15 | 0,1508 | 0,1271 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 1 | 0,2535 | 0,2256 | 22 | | 10-05-2012 | 0,2163 | 0,1400 |
| BSv-Esfoliante | 2 | 0,5260 | 0,4119 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 3 | 0,6042 | 0,1820 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 4 | 0,2630 | 0,1856 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 5 | 0,4378 | 0,4170 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 6 | 0,4356 | 0,1848 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 7 | 0,1725 | 0,1235 | 22 | | 10-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 8 | 0,0944 | 0 | 22 | | 15-05-2012 | | |

O creme esfoliante, devido às suas propriedades altamente escorregadias, tem sido difícil de avaliar o seu coeficiente de atrito. Com o objetivo de perceber o que está a acontecer de errado com estes testes, voltaram-se a repetir outros ensaios sem passar a espátula, variando a quantidade de creme aplicado. Por fim, repetiram-se alguns ensaios passando a espátula, mas com uma variação da pressão exercida sobre a espátula, de ensaio para ensaio, no momento em que se passava sobre o creme.

Estes novos ensaios denominaram-se 2^a série de testes preliminares. Apesar de se apresentar a média dos resultados do coeficiente de atrito cinético, esta não faz grande sentido pois as condições de ensaios variaram de teste para teste. Por outro lado, devido às características do sensor e do creme esfoliante, ocorreram ensaios onde não se conseguiu obter o resultado do coeficiente de atrito, embora o equipamento atribua o valor 0 uma vez que para

vencer o atrito estático ocorreu um binário suficiente para ativar o sensor. Na Tabela 4 estão os resultados desta série de testes.

Tabela 4 - Resultados da 2ª série de testes preliminares

| Código do Ensaio | Teste N° | μ estático | μ cinético | T [°C] | HR [%] | Data | Média | D. Padrão |
|------------------|----------|----------------|----------------|--------|--------|------------|--------|-----------|
| BSv-Esfoliante | 1 | 0,3049 | 0,1115 | 22 | | 21-05-2012 | 0,1492 | 0,0527 |
| BSv-Esfoliante | 2 | 0,2747 | 0,2220 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 3 | 0,3568 | 0,2320 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 4 | 0,0927 | 0,0823 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 5 | 0,5054 | 0,2166 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 6 | 0,2429 | 0,1183 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 7 | 0,3362 | 0,1306 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 8 | 0,2267 | 0,0833 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 9 | 0,0927 | 0,0902 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 10 | 0,3479 | 0,1412 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 11 | 0,2630 | 0,1550 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 12 | 0,2697 | 0,1915 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 13 | 0,2189 | 0,1687 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 14 | 0,3669 | 0,1970 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-Esfoliante | 15 | 0,1312 | 0,0981 | 22 | | 21-05-2012 | | |
| BSv-EsfolianteCE | 1 | 0,1664 | 0,0819 | 22 | | 22-05-2012 | 0,0863 | 0,1233 |
| BSv-EsfolianteCE | 2 | 0,1161 | 0 | 22 | | 22-05-2012 | | |
| BSv-EsfolianteCE | 3 | 0,1178 | 0 | 22 | | 22-05-2012 | | |
| BSv-EsfolianteCE | 4 | 0,2172 | 0,1410 | 22 | | 22-05-2012 | | |
| BSv-EsfolianteCE | 5 | 0,0972 | 0 | 22 | | 22-05-2012 | | |
| BSv-EsfolianteCE | 6 | 0,1351 | 0,1109 | 22 | | 22-05-2012 | | |
| BSv-EsfolianteCE | 7 | 0,5461 | 0,3565 | 22 | | 22-05-2012 | | |
| BSv-EsfolianteCE | 8 | 0,091 | 0 | 22 | | 22-05-2012 | | |

Em algumas situações, a força de atrito gerada no contacto do corpo de prova com o creme aplicado era inferior à que o sensor de binário consegue medir, o que leva a que o equipamento FRICTORQ® não apresente o resultado caso não inicie a medição, ou então, o resultado apresentado é zero para o caso de ele ter iniciado o teste e depois deixe de obter valores por parte do sensor.

No capítulo seguinte é feita uma análise de todos os resultados dos ensaios apresentados até ao momento.

4.4 Discussão e análise dos resultados obtidos

Nos ensaios preliminares deve-se destacar que o coeficiente de atrito da borracha de silicone, em vazio, encontra-se dentro do intervalo do coeficiente de atrito obtido por A. M. Cottenden [27] nos estudos com o coeficiente de atrito da pele do antebraço. Por sua vez o

coeficiente de atrito verificado na borracha de silicone é superior ao dos cremes hidratante e esfoliante. O creme esfoliante é o que apresenta menor coeficiente de atrito, o que parece verdadeiramente correto pois a sua viscosidade é inferior ao do creme hidratante.

Os resultados dos ensaios com o creme hidratante são os que apresentam menor desvio padrão. No caso do creme esfoliante isto pode dever-se à existência das microesferas presentes no creme. No gráfico da Figura 49 apresentam-se os resultados da fase preliminar dos ensaios.

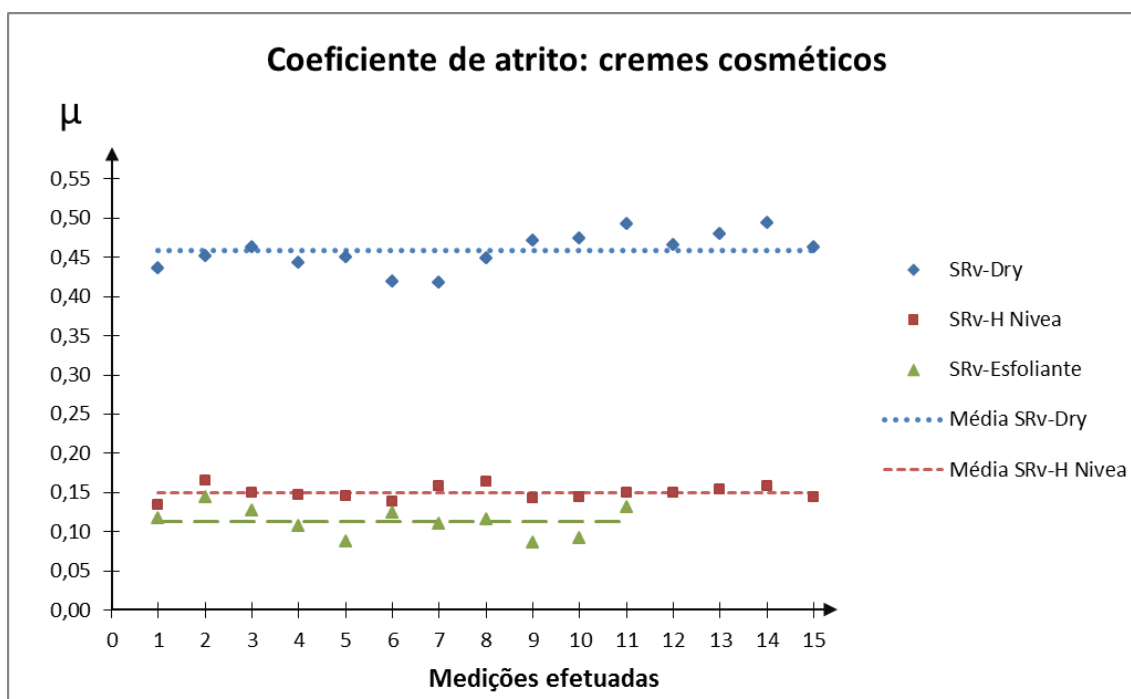


Figura 49 - Representação gráfica dos resultados dos teste preliminares

Com o creme esfoliante, devido as suas características e à gama de medição do sensor de binário, apenas se conseguiram obter os onze resultados apresentados.

Nos testes intercalares voltou-se a ter dificuldade em padronizar os ensaios. Apesar de espalhar uma quantidade de creme em excesso sobre a borracha de silicone e depois retirar o excesso com uma espátula, a quantidade/película de creme que fica sobre a borracha é dependente da pressão exercida pela espátula sobre a base de ensaio.

No caso do creme esfoliante, quando a pressão exercida com a espátula é menor fica-se com uma película bem visível sobre a borracha de silicone, mas removem-se todas as esférulas características deste tipo de cremes. Quando isto acontece, pelo fato do creme esfoliante apresentar uma viscosidade reduzida, que por sua vez gera um atrito inferior, o sensor de binário não consegue medir. Por outro lado, se a pressão da espátula ao passar sobre o creme

na base de ensaios for elevada, rompe a película de creme e depois o sensor não só mede o atrito com o creme como já vai buscar o atrito da borracha de silicone. Isto não só se verificou com o creme esfoliante mas também no creme hidratante, como se pode verificar pelos resultados que se encontram representados no gráfico da Figura 50.

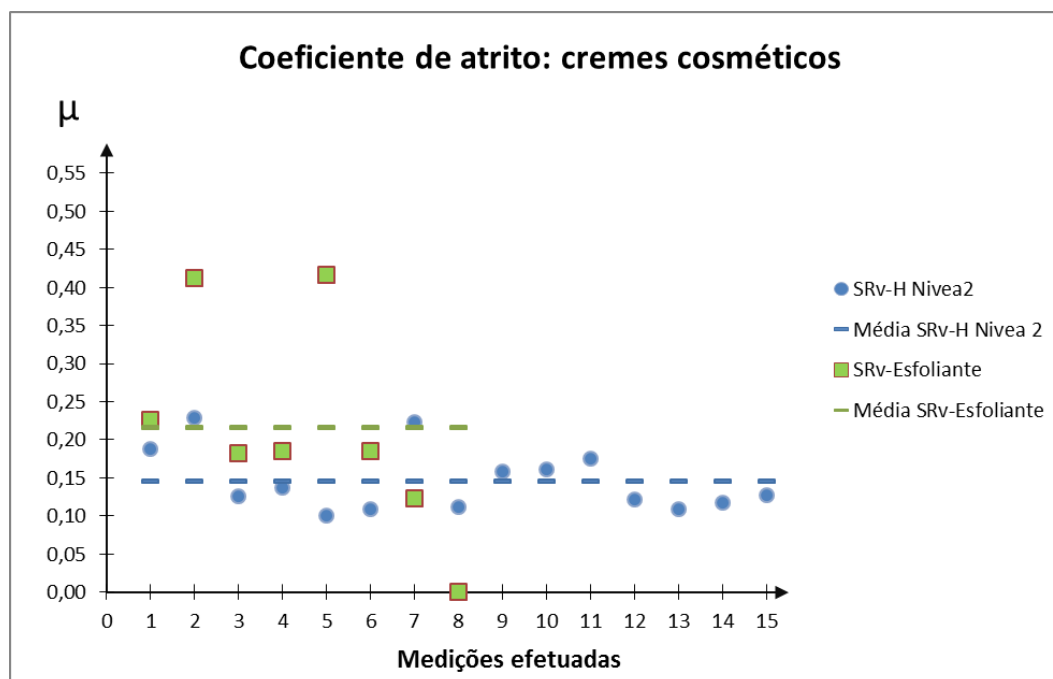


Figura 50 - Representação gráfica dos resultados dos testes intercalares

Devido às suas características, com o creme esfoliante voltou-se a sentir dificuldades na realização dos testes.

Numa fase posterior, e apenas com o creme esfoliante, experimentou-se realizar os ensaios sem o uso da espátula, variando a quantidade de creme aplicado. Nestes testes pode-se concluir que com uma película espessa de creme consegue-se medir o coeficiente de atrito perturbado pelo arrasto de creme amontoado e, quando alguma esférula fica sob alguma superfície de contacto do corpo de prova o coeficiente de atrito é superior. Com uma película menos espessa o sensor de binário raramente consegue medir, por se tratar de uma gama de binário inferior à que o sistema discrimina.

Quando se passa a espátula após a aplicação do creme, a força/pressão exercida por esta influencia os resultados do coeficiente de atrito. Se a força/pressão aplicada for reduzida a película de creme que fica sobre a borracha de silicone é suficiente para evitar o contacto do corpo de prova com a base de borracha de silicone. Depois de se iniciar o teste não se obtém resultado pois o binário para vencer o escorregamento é demasiado pequeno para a

sensibilidade do sistema de medição. Caso a força/pressão aplicada na espátula for elevada rompe-se a película de creme e o corpo de prova, durante o ensaio, acaba por buscar o coeficiente de atrito da base de borracha de silicone.

No decorrer deste período, os resultados obtidos nestes ensaios preliminares foram apresentados sob a forma de um artigo e respetivo poster na conferência 41st *Textile Research Symposium* que ocorreu de 12 a 14 de Setembro de 2012 em Guimarães, Portugal. No anexo 3 encontra-se o artigo publicado.

4.5 Conclusões

Relativamente aos ensaios preliminares realizados com os cremes cosméticos no FRICOTRQ® concluiu-se que o coeficiente de atrito da borracha de silicone em vazio, ou seja, sem a aplicação de qualquer produto, é superior ao coeficiente de atrito com creme hidratante e este é superior ao obtido, apesar das limitações referidas, com o creme esfoliante.

No caso do creme hidratante, a média dos coeficientes de atrito medidos, manteve-se de uns ensaios para os outros. O mesmo se pode dizer do coeficiente de atrito da borracha de silicone em vazio.

A utilização deste corpo de prova (apalpador de atrito) não é a mais indicada para ensaios com este tipo de produtos cosméticos. Se a quantidade de creme aplicado sobre a borracha de silicone for relativamente espessa ao ponto de formar uma película bem visível, como foi o caso dos primeiros ensaios preliminares, ao efetuar o teste, as superfícies de contacto do corpo de prova vão varrer o creme na sua frente. Ao acontecer isto, não só se está a medir a força de atrito entre o corpo de prova e o creme como também a força para arrastar o creme na frente das superfícies de contacto.

De uma forma geral, com estes ensaios preliminares pode-se concluir que o equipamento FRICTORQ®, com a configuração atual, não deve ser utilizado para medir o coeficiente de atrito de produtos cosméticos que apresentem baixo coeficiente de atrito.

Capítulo 5 - Avaliação do atrito dos cremes cosméticos com o equipamento Frictiometer®

5.1 Procedimentos dos ensaios

Para validar os resultados do coeficiente de atrito dos cremes cosméticos obtidos nos ensaios preliminares realizados no FRICTORQ® contou-se com o apoio do Centro de Nanotecnologias e Materiais Técnicos (CENTI), sediada em Vila Nova de Famalicão, onde foi utilizado o equipamento Frictiometer® para fazer os ensaios de atrito com os mesmos cremes utilizados nos ensaios realizados no FRICTORQ®.

O Frictiometer® (Figura 51) é um equipamento não invasivo para avaliação da suavidade da pele humana ou efeitos causados pela aplicação de produtos cosméticos, através da medição do atrito da pele. A sonda é constituída por um motor, uma unidade de orientação e a cabeça de atrito. A sonda roda a uma velocidade constante de rotação (ajustável a diferentes velocidades) e é aplicada sobre a pele que se pretende analisar. O binário é medido e o resultado é indicado em unidades Frictiometer® no software. Existem diferentes cabeças de teflon para a sonda de modo a criar diferentes contactos, logo diferentes atritos.

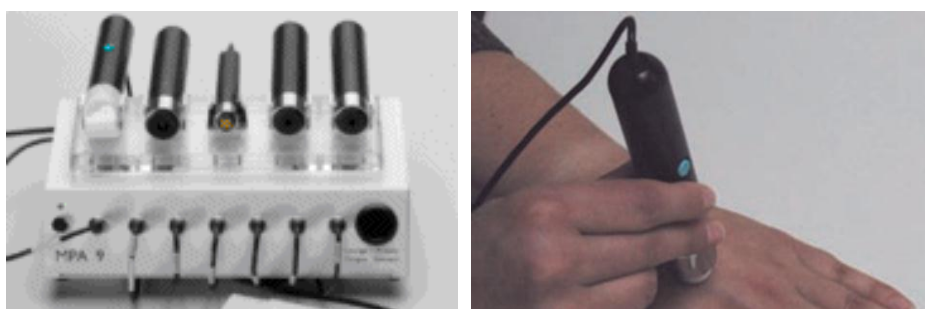


Figura 51 - Equipamento Frictiometer® (placa de controlo e sonda)

Com o equipamento Frictiometer® realizaram-se diferentes ensaios, permitindo assim a comparação com os realizados no FRICTORQ® bem como com alguns resultados obtidos por outros investigadores. Efetuaram-se testes no antebraço, onde se mediu o atrito sem a aplicação de nenhum produto cosmético, após a aplicação de um creme esfoliante e depois após a aplicação de um creme hidratante. Também se realizaram ensaios de atrito na borracha de silicone utilizada no FRICTORQ®. Nestes ensaios mediu-se o atrito da borracha em vazio, sem

aplicação de qualquer produto cosmético, seguidamente com a aplicação de creme esfoliante e depois com o creme hidratante.

Para a realização dos ensaios de atrito com o Frictiometer® foi também utilizado um suporte universal com 2 pinças, para a fixação da sonda, e uma plataforma elevatória para suportar a amostra, neste caso, o braço e depois a borracha de silicone.

As variáveis/características utilizadas nos ensaios encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Características dos ensaios realizados com o Frictiometer®

| Características dos ensaios: | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Tipo de sonda | Disco plano (teflon) |
| Diâmetro ativo | 14 mm |
| Área de contacto | 1,54 cm ² |
| Pressão de contacto | 0,435 N/cm ² |
| Velocidade de rotação | 150 rpm |
| Tempo de ensaio | 25 seg |

Estas características foram utilizadas em todos os ensaios realizados no Frictiometer®, ou seja, ensaios na pele e na borracha de silicone. Para cada tipo de ensaio, realizaram-se cinco medições permitindo assim um melhor controlo estatístico dos resultados.

Nos ensaios realizados na pele do braço, começou-se por medir o atrito em vazio, ou seja, sem a aplicação de nenhum creme. Para tal, colocou-se o braço na posição desejada sobre a plataforma, em seguida, com a manivela de ajuste subiu-se até encostar à sonda. O início e finalização do teste são controlados por um interruptor (on/off) existente na sonda. Ao clicar no interruptor para iniciar/finalizar o teste, a aplicação informática começa/termina a receção dos valores de atrito medidos. No final é apresentado um valor médio do atrito medido durante o tempo de ensaio. No final de cada ensaio, a cabeça da sonda foi limpa com água destilada e com papel absorvente.

Com o creme esfoliante, aplicou-se uma quantidade suficiente para preencher a pele. Em seguida, colocou-se o braço sobre a plataforma elevatória, subiu-se até encostar à sonda e efetuou-se a medição. Após cada ensaio, o braço e a sonda foram limpos com água destilada e papel. Aplicando-se uma nova porção de creme para cada ensaio, evitou-se a acumulação de creme de uns ensaios para os outros o que poderia interferir na medição do atrito.

Com o creme hidratante os procedimentos utilizados foram os mesmo que com o creme esfoliante. Na Figura 52 pode ver-se a realização de um ensaio de atrito no braço com creme hidratante aplicado.

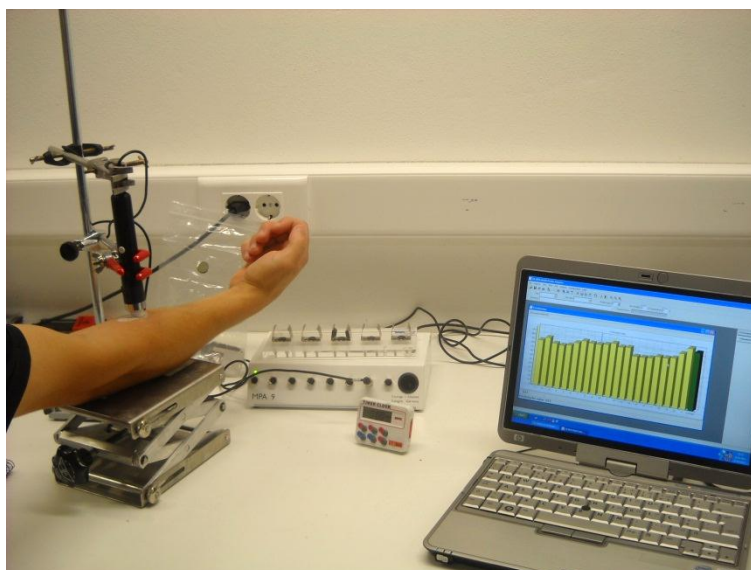


Figura 52 - Ensaio de atrito realizado no braço com creme hidratante

Após realizar os ensaios de atrito na pele do braço, passou-se para os ensaios na borracha de silicone, onde se começou por medir o atrito sem aplicar nenhum produto cosmético. Para isto, colocou-se a borracha de silicone sobre a plataforma, elevou-se até encostar à sonda e realizaram-se as medições. De medição para medição, dentro do possível, alterou-se a zona onde era colocada a sonda.

Nos ensaios com cremes na borracha de silicone, começou-se por aplicar 0,5 ml de creme esfoliante, doseados com uma seringa graduada, sendo espalhado manualmente por uma área aproximada de 28 cm². Colocou-se a borracha já com o creme em cima da plataforma, elevou-se até encostar à sonda e fez-se a medição do atrito. No final de cada ensaio, a borracha de silicone e a cabeça da sonda foram limpas com água destilada e papel absorvente, sendo aplicado uma nova quantidade de creme para cada ensaio.

Com o creme hidratante, devido a sua viscosidade e por dificuldade em dosear os 0,5 ml com a seringa, pesaram-se 0,5 ml de creme numa balança de precisão, passando depois a aplicar 0,35 gramas (massa de 0,5 ml de creme hidratante) de creme em cada ensaio. Tal como nos ensaios com o creme esfoliante, a borracha de silicone e a cabeça da sonda foram limpas de ensaio para ensaio. Na Figura 53 pode ver-se a realização de um ensaio de atrito da borracha de silicone com 0.35 gramas de creme hidratante aplicado.

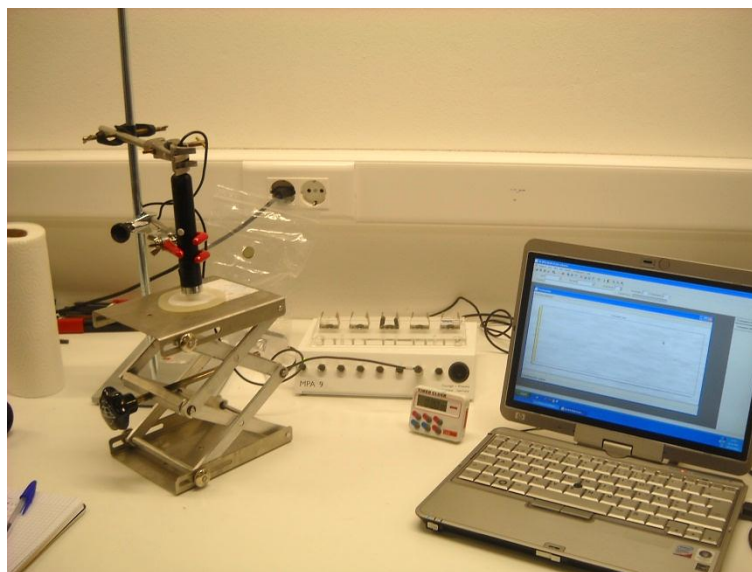


Figura 53 - Ensaio de atrito realizado na borracha de silicone

Para melhor compreender o efeito da quantidade de creme aplicado sobre a borracha de silicone, a nível do atrito gerado, fizeram-se os mesmos ensaios mas apenas com metade das quantidades aplicadas, ou seja, com o creme esfoliante aplicou-se 0,25 ml e com o creme hidratante 0,175 g espalhados pela mesma área de borracha.

5.2 Resultados obtidos com o Frictiometer®

A capacidade de leitura de dados do equipamento Frictiometer® é inferior à do FRICTORQ permitindo apenas a receção de um valor de atrito medido por cada segundo de teste. Assim, durante um ensaio, os valores recebidos pela aplicação informática do Frictiometer® são registados de forma gráfica. Ao finalizar o teste a aplicação calcula e apresenta o valor médio dos valores medidos. Estes gráficos podem ser guardados para futura análise, no entanto, nos ensaios realizados apenas se guardou o valor médio do atrito medido durante cada ensaio. Estes valores foram registados numa folha de cálculo Excel para posterior análise.

Os resultados de atrito obtidos são apresentados em unidades Frictiometer®, não sendo nem o coeficiente de atrito nem o binário resistente ao deslocamento. Tornando inviável a comparação quantitativa dos resultados medidos com os resultados obtidos no FRICTORQ. Na Tabela 6 podem ver-se os resultados dos primeiros ensaios realizados ao atrito da pele do antebraço sem e com a aplicação de produtos cosméticos.

Tabela 6 - Resultados do coeficiente de atrito da pele do antebraço

| Código do ensaio | Nº Teste | Resultado | Média | D. Padrão |
|-------------------------|-----------------|------------------|--------------|------------------|
| Pele_ Vazio | 1 | 555 | 492,2 | 122,0 |
| Pele_ Vazio | 2 | 377 | | |
| Pele_ Vazio | 3 | 491 | | |
| Pele_ Vazio | 4 | 376 | | |
| Pele_ Vazio | 5 | 662 | | |
| Pele_ Esfoliante | 1 | 343 | 335,6 | 30,9 |
| Pele_ Esfoliante | 2 | 294 | | |
| Pele_ Esfoliante | 3 | 333 | | |
| Pele_ Esfoliante | 4 | 328 | | |
| Pele_ Esfoliante | 5 | 380 | | |
| Pele_ H Nivea | 1 | 623 | 638,4 | 57,7 |
| Pele_ H Nivea | 2 | 712 | | |
| Pele_ H Nivea | 3 | 585 | | |
| Pele_ H Nivea | 4 | 685 | | |
| Pele_ H Nivea | 5 | 587 | | |

Estes ensaios realizados na pele permitem comparar o coeficiente de atrito da pele com o da borracha de silicone, que segundo Keita Horiuchi [23] é o material sintético que melhor simula a pele humana. Depois dos testes na pele do antebraço, realizaram-se os testes de atrito na borracha de silicone (BSv). Os resultados obtidos com estes testes encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de atrito na borracha de silicone

| Código do ensaio | Nº Teste | Resultado | Média | D. Padrão |
|--------------------------|-----------------|------------------|--------------|------------------|
| BS_ Vazio | 1 | 344,5 | 360,2 | 23,4 |
| BS_ Vazio | 2 | 352 | | |
| BS_ Vazio | 3 | 341,5 | | |
| BS_ Vazio | 4 | 399 | | |
| BS_ Vazio | 5 | 364 | | |
| BS_ Esfoliante [0,5 ml] | 1 | 338,5 | 324,5 | 11,9 |
| BS_ Esfoliante [0,5 ml] | 2 | 333 | | |
| BS_ Esfoliante [0,5 ml] | 3 | 326 | | |
| BS_ Esfoliante [0,5 ml] | 4 | 310 | | |
| BS_ Esfoliante [0,5 ml] | 5 | 315 | | |
| BS_ H Nivea [0,35 g] | 1 | 570 | 536,9 | 23,5 |
| BS_ H Nivea [0,35 g] | 2 | 535 | | |
| BS_ H Nivea [0,35 g] | 3 | 512 | | |
| BS_ H Nivea [0,35 g] | 4 | 549 | | |
| BS_ H Nivea [0,35 g] | 5 | 518,5 | | |
| BS_ Esfoliante [0,25 ml] | 1 | 285,5 | 273,6 | 10,2 |
| BS_ Esfoliante [0,25 ml] | 2 | 281 | | |
| BS_ Esfoliante [0,25 ml] | 3 | 275 | | |
| BS_ Esfoliante [0,25 ml] | 4 | 261,5 | | |
| BS_ Esfoliante [0,25 ml] | 5 | 265 | | |
| BS_ H Nivea [0,175 g] | 1 | 481,5 | 454,4 | 18,2 |
| BS_ H Nivea [0,175 g] | 2 | 450 | | |
| BS_ H Nivea [0,175 g] | 3 | 432 | | |
| BS_ H Nivea [0,175 g] | 4 | 460 | | |
| BS_ H Nivea [0,175 g] | 5 | 448,5 | | |

No capítulo seguinte é feita uma análise qualitativa dos resultados obtidos com Frictiometer® e com o FRICTORQ.

5.3 Discussão e análise dos resultados obtidos

Para a análise dos resultados, serão considerados os valores médios das cinco medições efetuadas para cada tipo de teste. Dos ensaios realizados no antebraço destaca-se que o atrito é superior quando aplicado o creme hidratante e inferior quando aplicado o creme esfoliante. Na Figura 54 pode ver-se estas diferenças representadas graficamente.

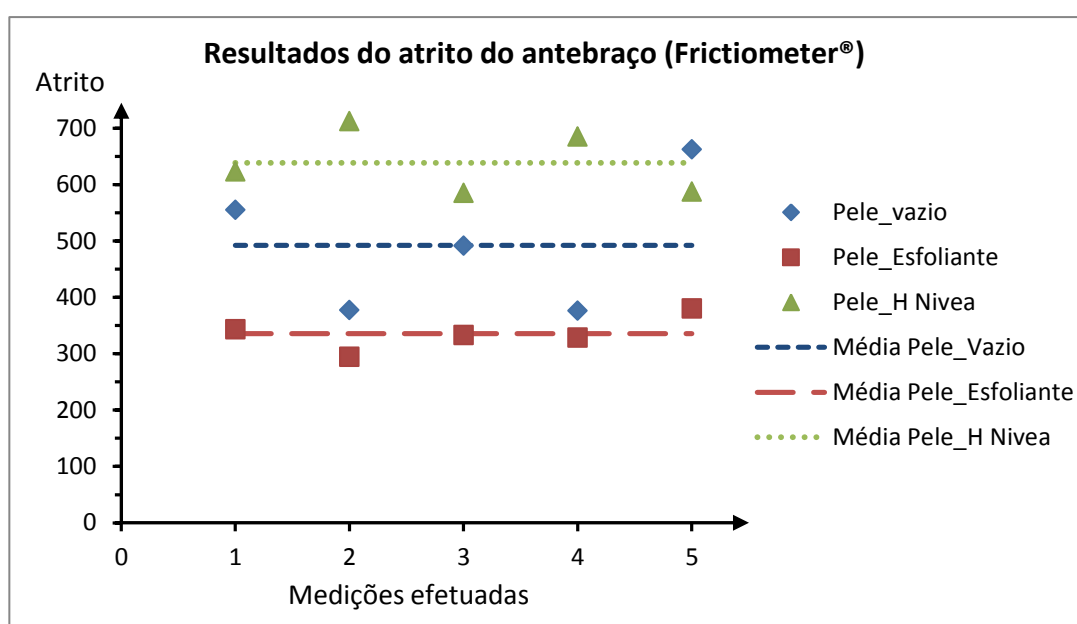


Figura 54 - Representação gráfica dos resultados de atrito obtidos na pele do antebraço

Nestes ensaios verificou-se que os resultados em vazio apresentam um desvio padrão maior, que pode estar relacionado com as características da pele, visto que após a realização de um teste a pele fica irritada (vermelha). Nos ensaios seguintes, para minimizar este efeito, foram feitos noutras zonas do antebraço que não estivessem irritadas. Quando aplicado o creme cosmético, isto não se verificou, daí que os testes com os produtos cosméticos foram todos realizados na mesma zona do braço.

Nos ensaios realizados na borracha de silicone voltou-se a verificar que o atrito é superior quando aplicado o creme hidratante e inferior com o creme esfoliante. Ao reduzir a quantidade de creme aplicado o atrito baixa substancialmente, continuando-se a verificar que o atrito é

menor com o creme esfoliante e superior com o creme hidratante. Na Figura 55 encontram-se representados graficamente os resultados dos testes efetuados na borracha de silicone (BS).

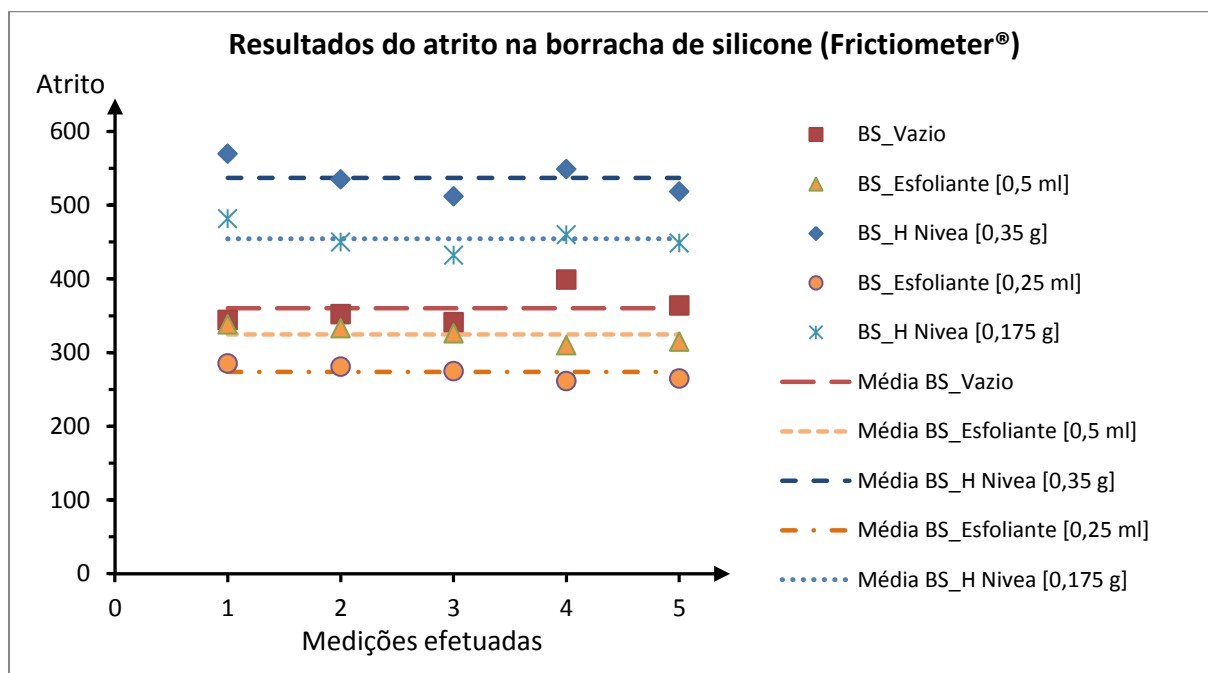


Figura 55 - Representação gráfica dos resultados obtidos com a borracha de silicone

Nestes ensaios, os resultados apresentam um desvio padrão inferior, uma vez que as condições da borracha e silicone foram mantidas de ensaio para ensaio. Para minimizar este desvio dos resultados, tinha-se que encontrar uma forma de espalhar o creme em todos os ensaios nas mesmas condições/proporções. Ao espalhar o creme manualmente não se consegue uma homogeneidade em todos os testes.

Verificou-se que o atrito da borracha de silicone com o creme hidratante aplicado é superior ao atrito da borracha de silicone em vazio. Isto pode dever-se às características físicas do creme, pois apresenta baixa viscosidade, e também as características da cabeça da sonda utilizada. Durante os ensaios com o creme hidratante verificou-se que se criava vácuo entre a cabeça da sonda e a borracha de silicone ficando a cabeça da sonda “colada” à borracha interferindo no atrito medido, ver na Figura 56.



Figura 56 – Borracha de silicone adere à cabeça da sonda devido ao vâcuo

Em termos qualitativos, nos ensaios realizados na pele e na borracha de silicone, com o equipamento Frictiometer®, verificou-se que o atrito com o creme esfoliante é inferior quando comparado com o atrito obtido em vazio e com o creme hidratante. Sendo o maior atrito verificado com o creme hidratante.

Ao comparar com os resultados obtidos com o FRICTORQ, o coeficiente de atrito obtido com o creme esfoliante foi o menor em ambos os equipamentos. Depois com o creme hidratante, nos ensaios realizados com o Frictiometer® obteve-se o maior coeficiente de atrito enquanto no FRICOTRQ® o maior coeficiente de atrito foi verificado nos ensaios com a borracha de silicone em vazio.

5.4 Conclusões

O Frictiometer® é um equipamento desenvolvido essencialmente para a medição de atrito na pele, mas também pode ser utilizado noutras superfícies como foi o caso da borracha de silicone. Apesar de os resultados serem em unidades Frictiometer®, características do instrumento, é possível comparar atritos entre superfícies analisadas.

O aparelho pode utilizar distintas cabeças apalpadoras produzidas em teflon, com diferentes superfícies de contacto, o que permite realizar testes de atrito em diversas condições. No caso dos ensaios com os cremes cosméticos foi utilizada uma cabeça em forma de disco

plano, para não correr o risco de arrastar o creme na frente das superfícies de contacto. Por outro lado, este tipo de apalpador, tal como se verificou nos ensaios com o creme hidratante, cria vácuo entre a cabeça e a borracha de silicone, o que acaba por interferir no resultado final. Nos ensaios na pele isto não se verificou devido as características da superfície da pele pois não se trata de uma superfície plana e apresenta pelos e porosidades.

O valor médio de atrito mais baixo ocorre quando se aplica o creme esfoliante sobre a borracha de silicone, em seguida com a borracha de silicone em vazio e o valor mais elevado encontrou-se quando se aplica o creme hidratante. Ao reduzir a quantidade de creme aplicado verificou-se uma redução no valor de atrito, mantendo-se a relação entre o mais elevado e mais baixo.

Ao comparar o atrito verificado sobre a pele do antebraço com o da borracha de silicone, verifica-se que em vazio o valor de atrito da pele é ligeiramente superior ao da borracha de silicone. Quando se aplica um dos cremes na pele o valor do atrito verificado é próximo, embora ligeiramente superior, do verificado na borracha de silicone quando se espalha uma quantidade de 0,5 ml do mesmo creme sobre uma área aproximada de 28 cm^2 .

Para finalizar, com os ensaios realizados no equipamento Frictiometer® verificou-se que os valores do atrito medidos encontram-se dentro da gama de medição do equipamento, logo, este pode ser utilizado para este tipo de testes. O facto de o creme hidratante criar vácuo está relacionado com as características do creme, o que não impossibilita a realização dos ensaios no equipamento Frictiometer®.

Capítulo 6 - Conclusões

6.1 Sumário dos desenvolvimentos

O trabalho aqui apresentado sistematiza a evolução de um equipamento laboratorial para a caracterização e análise objetiva de superfícies, nomeadamente no que respeita à determinação do seu coeficiente de atrito. O aparelho foi concebido para a análise do coeficiente de atrito de superfícies têxteis, logo, para progredir para a análise de produtos/cremes cosméticos foi necessário analisar em detalhe outros equipamentos utilizados para realização de testes de atrito em situações similares. Inicialmente realizou-se uma pesquisa sobre o atrito, e conseqüentemente, de equipamentos utilizados para medir atrito em superfícies flexíveis (como é o caso dos tecidos, têxteis lar, papéis delicados, etc.), na pele (medição direta, com ou sem a aplicação de produtos cosméticos) e depois de equipamentos que permitem avaliar produtos cosméticos (sem que seja necessária a sua aplicação). Foram analisados os princípios de funcionamento desses equipamentos, assim como alguns materiais e componentes que podem vir a ser utilizados em versões posteriores do FRICTORQ®.

Foi recolhida toda a informação sobre o equipamento FRICTORQ® e para melhor perceber o ponto em que se encontra o aparelho elaborou-se um breve sumário das suas fases de evolução, incluindo as alterações realizadas, que tornaram possível a realização de ensaios ao coeficiente de atrito de cremes cosméticos. Foi descrito o seu princípio de funcionamento, uma vez que se tem mantido ao longo das versões desenvolvidas. Depois para melhor explicar o funcionamento do aparelho foi elaborado um protocolo de ensaios onde se explicam os passos a seguir para a realização de um teste de atrito no equipamento.

Uma vez integrada a função para a análise de cremes cosméticos foi necessário testar o aparelho para averiguar se se obtém os resultados esperados. Então realizaram-se uma série de ensaios sistemáticos, os quais se denominaram preliminares, com dois tipos de cremes cosméticos, creme hidratante e esfoliante corporal. Neste relatório podem-se ver as condições de ensaio em que foram realizados estes testes, assim como os seus resultados com uma breve análise e discussão.

Após a realização dos ensaios preliminares no equipamento FRICTORQ® e como não se possuía nenhum valor de referência do coeficiente de atrito para poder comparar os resultados, recorreu-se ao CENTI onde, com o equipamento Frictiometer®, analisou-se o atrito com os mesmos cremes hidratante e esfoliante. Foram registados os procedimentos dos ensaios e resultados obtidos e em seguida efetuou-se uma análise comparativa qualitativa com os resultados obtidos no FRICTORQ®.

Para finalizar são apresentadas as conclusões deste trabalho e são apresentados alguns aspetos que podem servir de trabalhos futuros relacionados com o equipamento FRICTORQ® e que podem ajudar para seu melhoramento e contribuir para a sua versatilidade.

6.2 Conclusões

A necessidade de avaliar de forma objetiva certas variáveis que direta ou indiretamente estão relacionadas com o conforto dos produtos que são utilizados em contacto com o corpo humano levou ao estudo e desenvolvimento de equipamentos laboratoriais. Um exemplo disto foi o FRICTORQ® que surgiu da necessidade de avaliar o coeficiente de atrito de alguns tecidos. Com o passar do tempo foram-lhe efetuadas algumas alterações e implementadas novas funções. O último desenvolvimento foi a evolução para a análise com cremes cosméticos.

Foram apresentadas as etapas que conduziram ao desenvolvimento e melhoria de alguns componentes do FRICTORQ®, como o caso do corpo de prova, de forma a melhorar o seu desempenho. Com ligeiras alterações no equipamento tornou-se possível adaptá-lo para a análise do coeficiente de atrito de outros produtos. Desta forma, têm sido introduzidas novas funções no equipamento que permitem avaliar outras superfícies em diferentes estados, como é o caso da análise em meio aquoso, com a aplicação de cremes cosméticos, entre outros.

Após a implementação da nova função para a análise com cremes cosméticos, realizaram-se ensaios sistemáticos, que foram denominados testes preliminares, para avaliar o comportamento do equipamento. Em média, os resultados obtidos nas diferentes fases dos testes preliminares mantiveram-se de uns ensaios para os outros, o que leva a concluir que o equipamento apresenta uma boa repetibilidade dos resultados.

Dos resultados obtidos no FRICTORQ®, verifica-se que o coeficiente de atrito da borracha de silicone em vazio é superior relativamente a quando se aplica o creme hidratante ou o creme esfoliante. Na borracha de silicone, quando se aplica o creme hidratante, o coeficiente de atrito é superior comparado com o verificado com o creme esfoliante, o que parece correto uma vez que a viscosidade do creme esfoliante é inferior à do creme hidratante.

Nos ensaios foram encontradas algumas limitações, onde se verificou que a configuração do corpo de prova não é a melhor para este tipo de testes, uma vez que quando se aplica uma quantidade maior de creme sobre a borracha de silicone, as superfícies de contacto do corpo de prova arrastam na sua frente algum desse creme, o que vem a interferir no resultado final do coeficiente de atrito.

Com a configuração atual, o equipamento apresenta algumas dificuldades em medir o coeficiente de atrito de cremes que apresentem baixo coeficiente de atrito. Isto deve-se à gama de medição do sensor utilizado que abaixo de um certo binário deixa de funcionar. Isto foi verificado com o creme esfoliante, quando se aplica uma quantidade menor de creme, o que gera um coeficiente de atrito muito baixo.

Com o equipamento Frictiometer® começou-se por medir o atrito da pele do antebraço, sem e com os cremes cosméticos, para poder averiguar se existem variações no atrito com a aplicação dos produtos cosméticos. Por outro lado serve também para comparar com os resultados obtidos na borracha de silicone, visto ser o material que melhor se compara com a pele humana. Contudo, o atrito verificado na borracha de silicone, com ou sem os cremes aplicados foi sempre ligeiramente inferior.

Nos testes com o equipamento Frictiometer®, apesar de não se obter o coeficiente de atrito, os resultados demonstram que o atrito com o creme hidratante aplicado sobre a borracha de silicone é superior ao atrito da borracha em vazio, e este é superior ao atrito com o creme esfoliante.

A cabeça apalpadora de atrito utilizada no equipamento Frictiometer® para a análise com cremes cosméticos permite realizar os ensaios sem juntar/arrastar o creme, ao contrário do que acontece com o corpo de prova utilizado no FRICTORQ®. Em contrapartida, nos ensaios realizados com o creme hidratante, no equipamento Frictiometer®, verificou-se que, devido às

características do creme e das superfícies em contacto, a cabeça da sonda cria vácuo sobre a borracha de silicone, o que vem a interferir no resultado do atrito.

De uma forma qualitativa, quando se aplicou o creme esfoliante, na pele ou na borracha de silicone, obteve-se o menor atrito em ambos os equipamentos, FRICTORQ® e Frictiometer®, quando comparado com o atrito com creme hidratante ou até mesmo sem nenhum creme aplicado. Com o creme hidratante os valores do FRICTORQ® e do Frictiometer® são inferiores e superiores, respetivamente, quando comparados com o da borracha de silicone em vazio, isto deve-se ao facto do vácuo criado entre a cabeça apalpadora do Frictiometer® e a borracha de silicone.

6.3 Trabalhos futuros

O projeto FRICTORQ® encontra-se em contínuo desenvolvimento, como se pode ver ao longo desta dissertação, tem sido alvo de diversas alterações e implementação de novos módulos. Ao longo deste relatório, foram feitas algumas considerações sobre aspetos que podem ser melhorados no equipamento e neste capítulo são apresentadas propostas de trabalhos futuros tal como:

- Alteração do corpo de prova utilizado em ensaios com cremes cosméticos de forma a não arrastar o creme na frente das superfícies de contacto;
- Estudar um novo processo que permita avaliar o coeficiente de atrito na presença de produtos cosméticos que apresentem menor viscosidade, como foi o caso do creme esfoliante utilizado;
- Substituir sensor de binário de forma a ampliar a sua gama de medição, mais propriamente para valores inferiores;
- Efetuar alteração na aplicação “*Frictorq*” de forma a ser possível guardar o gráfico do binário medido em função do tempo diretamente a partir da aplicação;
- Incorporar sensor de temperatura ambiente e humidade relativa no equipamento, para a aplicação “*Frictorq*” importar estes dados diretamente, não sendo necessário introduzi-los manualmente;
- Introduzir variador de velocidade no motor acionador do equipamento;
- Implementação de um novo sensor para acrescentar função de medir a rugosidade.

Referências bibliográficas

Referências citadas

1. *O Conforto Total do Vestuário: Design para os Cinco Sentidos*. **Broega, Ana Cristina e Silva, Maria Elisabete Cabeço**. Guimarães : s.n.
2. **CSIRO**. SiroFAST™ - Fabric Assurance by Simple Testing. [Online] Junho de 2012. http://www.csiro.au/~Media/CSIROau/Divisions/CSIRO%20Materials%20Science%20and%20Engineering/Sirofast_CMSE_PDF%20Standard.pdf.
3. *Problems of Friction in Textile Processes*. **Nosek, S.** TU Liberec, Czech Republic : s.n., 1993, International Conference TEXTILE SCIENCE 93.
4. **Miranda, António Augusto de Sousa**. Noções Básicas de Tribologia. Porto : s.n., 1988.
5. Etude de L'Etat de Surface des Textiles. [Online] Outubro de 2011. http://www.scei-concours.fr/tipe/sujet_2010/exemple_sujet_SI_TSI.pdf.
6. *The Standardisation Analysis of Hand Evaluation*. **Kawabata, S.** Quioto : s.n., 1980, Textile Machine Society of Japan.
7. KESKATO TECH CO.,LTD. *Measuring the Senses through Innovation*. [Online] Outubro de 2011. http://english.keskato.co.jp/products/kes_fb4.html.
8. *A Sensor for Measurement of Friction Coefficient on Moving Flexible Surfaces*. **Jackson, M. K. Ramasubramanian and Steven D.** Outubro de 2005, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 5, NO. 5.
9. *A Friction Sensor for Real-Time Measurement of Friction Coefficient on Moving Flexible Surfaces*. **M. K. Ramasubramanian, Steven D. Jackson.** 2003, IEEE.
10. **AXS, Bruker**. [Online] Fevereiro de 2012. <http://www.bruker-axs.com/tribometers.html>.

11. **AXS Bruker.** Leaders in Tribology Test Instrumentation. [Online] Janeiro de 2012. http://www.cetr.com/Brochures/automotive/Friction_Characteristics_Friction_Clutches.pdf.

12. **Labthink, Instruments.** Labthink Products Center. [Online] Janeiro de 2012. <http://www.labthink.cn/en/product-info-1040500.html>.

13. *Tribological testing of skin products: gender, age, and ethnicity on the volar forearm.* **Raja K. Sivamani, Gabriel Wu, Norm V. Gitis, Howard I. Maibach.** San Francisco, CA, USA : s.n., 2003, Skin Research and Technology.

14. *Friction coefficient of skin in real-time.* **Raja K. Sivamani, Jack Goodman, Norm V. Gitis, Howard I. Maibach.** San Francisco : s.n., 2003, Backwell Munksgaard.

15. *The influence of normal load and sliding speed on frictional properties of skin.* **Wei Tang, Shi-rong Ge, Hua Zhu, Xi-chuan Cao, Ning Li.** Xuzhou : s.n., 2008, Journal of Bionic Engeneering 5.

16. *Development and validation of a new method for measuring friction between skin and nonwoven materials.* **A. M. Cottenden, W. k. Wong, D. J. Cottenden, A. Farbrot.** London, UK : SAGE, 1 de May de 2008, Journal of Engeneering in Medicine.

17. *Adhesion, friction and wear characterization of skin and skin cream using a atomic force mocoscope.* **Wei Tang, Bharat Bhushan.** Xuzhou : s.n., 2009, Elsevier.

18. *Surface, Tribological, and Mechanical Characterization of Synthetic Skins for Tribological Applications in Cosmetic Science.* **Bharat Bhushan, Wei Tang.** Xuzhou : s.n., 2010, Wiley Online Library.

19. *A hand-held friction meter.* **J.S.Comaish, P.R.H.Harborow, D.A.Hofman.** 89, Br.J.Dermatol.

20. *Skin friction coefficient: changes induced by skin hydration and emollient application and correlation with perceived skin feel.* **Sergio Nacht, Jo-Ann Close, David Yeung, Eugene H. Gans.** San Francisco : s.n., 1980, Journal of the Society of Cosmetic Chemists.

21. **DUTECH SCIENTIFIC**. Khazaka electronic GmbH - Scientific Skin Test. [Online] Junho de 2012. http://www.dutechscientific.com/products_scientific_ck_scientific.php.

22. **SCIENTIFIC, DUTECH**. Product Datasheet. [Online] Junho de 2012. <http://www.dutechscientific.com/download/FR770.pdf>.

23. *Relationship Between Tactile Sensation and Friction Signals in Cosmetic Foundation*. **Keita Horiuchi, Akio Kashimoto, Ryuta Tsuchiya, Masahito Yokoyama, Ken Nakano**. Tokyo : s.n., 2009, Tribol Lett.

24. *Evaluation of post-application rheological changes in cosmetics using a novel measuring device: Relationship to sensory evaluation*. **Ken Kusakari, Mari Yoshida, Fumiaki Matsuzaki, Toshio Yanaki, Hiroshi Fukui, Munehiro Date**. Tokyo : s.n., 2002, Journal of Cosmetic Science.

25. *Relationship Between Tactile Sensation and Friction Signals in Cosmetic Foundation*. **Keita Horiuchi, Akio Kashimoto, Ryuta Tsuchiya, Masahito Yokoyama, Ken Nakano**. Tokyo : s.n., Springer Science+Business Media.

26. **Borracha, A Central da**. [Online] Maio de 2012. [Citação: 24 de Maio de 2012.] http://www.acb.pt/acb/industria/Borracha/Folha/Folha-de-Borracha_BIEX.

27. *Development and validation of a new method for measuring friction between skin and nonwoven materials*. **A. M. Cottenden, W.K. Wong, D.J. Cottenden, A. Farbrot**. London, UK : SAGE, Jan de 2008, Institution Mechanical Engineers.

Outras referências

Mário Lima, Rosa M. Vasconcelos, Luis F. Silva, Jorge Martins, (2006) *“FRICTORQ, inovação na medição objectiva do atrito em têxteis e papel”* Revista Nova Têxtil, Guimarães, Portugal.

M. Lima, L. F. Silva, R. Vasconcelos, J. Martins, L. Hes, *“FRICTORQ, Tribómetro para Avaliação Objectiva de Superfícies Têxteis”*, III Congresso Ibérico de Tribologia (IBERTIB 2005) e 9^{as} Jornadas Portuguesas de Tribologia, 16 - 17 de Junho, 2005, Universidade do Minho – Escola de Engenharia, Guimarães, Portugal.

José Magalhães, Edgar Gonçalves, Tiago Costa, António Oliveira, André Nogueira, *“Equipamento laboratorial para medição do coeficiente de atrito entre peles artificiais com emulsões cosméticas”*, Integradora VI, ano letivo 2010/2011, Universidade do Minho.

Tactile sensing for mechatronics - a state of the art survey. M. H. Lee, H. R. Nicholls. Christchurch, New Zealand : s.n., 26 de Maio de 1998, Mechatronics 9.

Surface finish and touch - a case study in a new human factors tribology. C.J. Barnes, T.H.C. Childs, B. Henson, C.H. Southee. Leeds, UK: s.n., 16 de Março de 2004.

Stick-slip in sliding systems with tangential contact compliance. Ken Nakano, Satoru Maegawa. Yokohama, Japan: s.n., 24 Abril de 2009.

Human tactile perception of screen-printed surfaces: self-report and contact mechanics experiments. T. H. C. Childs, B. Henson. Leeds, UK: s.n., 19 de Julho de 2006.

Friction noise of human skin in vivo. H. Zahouani, R. Vargiolu, G. Boyer, C. Paillet-Mattei, L. Laquière, A. Mavon. Ecully, France: s.n., 9 de Março de 2009.

Webgrafia

http://www.cetr.com/Brochures/tribology_of_skin.htm [Janeiro, 2012]

<http://www.stablemicrosystems.com/> [Janeiro, 2012]

<http://english.keskato.co.jp/> [Janeiro, 2012]

<http://www.rubberextrusion.com.pt/3-2-silicone-rubber-sheet.html> [Março, 2012]

http://www.elisil.com.br/dicas_2.php [Março, 2012]

http://www.gruppomg.com.br/rev_fibras/FibraseFatos_29.pdf [Fevereiro, 2012]

<http://sitos.anhembri.br/damt6/arquivos/41.pdf> [Maio, 2012]

<http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=54572&op=all> [Junho, 2012]

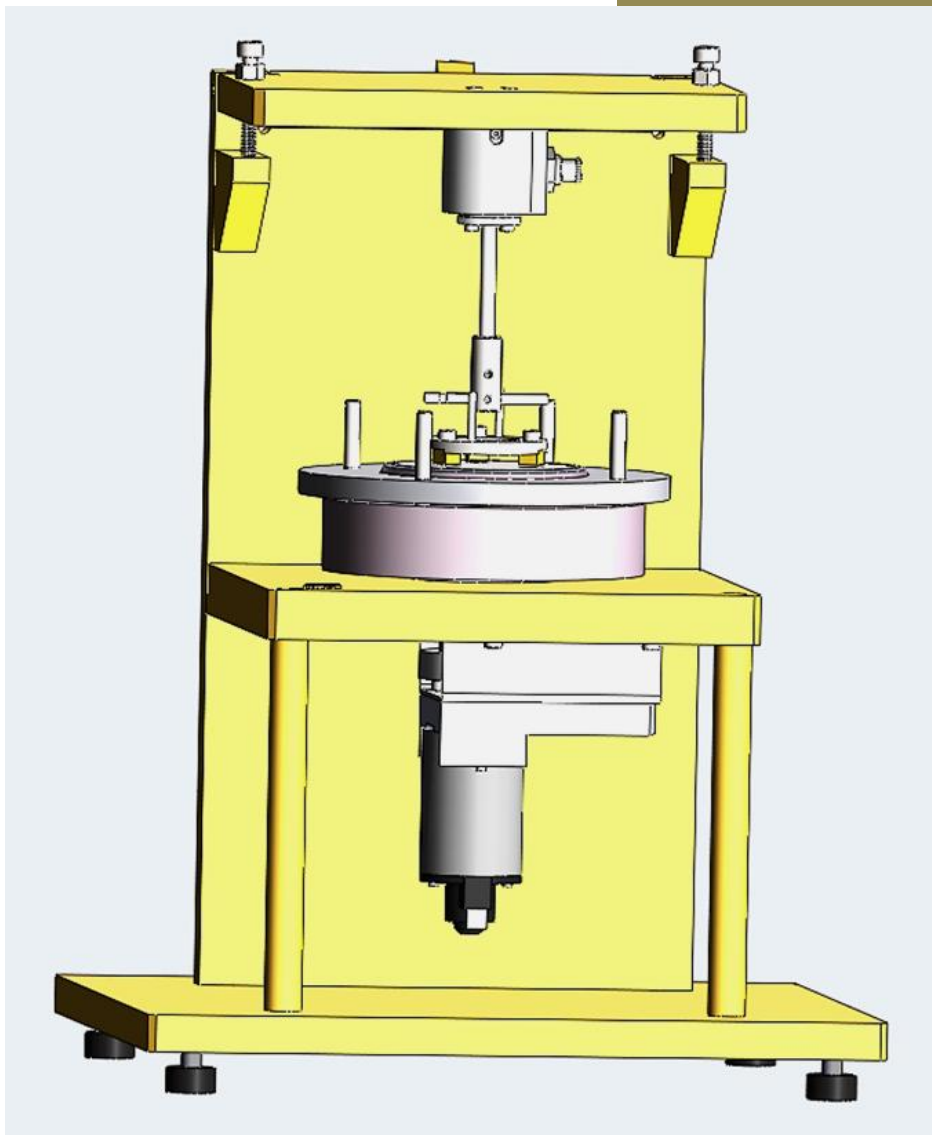
<http://www.csiro.au/en/Organisation-Structure/Divisions/Materials-Science-Engineering/Innovation/SiroFASTreport.aspx> [Junho, 2012]

Anexos

Anexo 1 – Manual de fabrico

2012

Manual de fabrico do FRICTORQ



Dinis Macedo
Universidade do Minho
22-06-2012

O FRICTORQ foi desenvolvido pelo Departamento de Mecatrónica da Universidade do Minho sendo posteriormente produzido nas Oficinas de Formação e Apoio (OFA) do departamento de Engenharia Mecânica.

Ao longo deste manual encontram-se explícitos os materiais, ferramentas e processos utilizados para a produção do equipamento FRICTORQ. Os processos de fabrico escolhidos foram os que melhor se adequavam dentro dos disponíveis nas OFA.

1. Equipamentos utilizados

Para a produção do equipamento foi preciso verificar os equipamentos necessários para a sua execução. Deste modo elaborou-se uma lista das ferramentas e máquinas ferramentas fundamentais para o fabrico do equipamento.

Máquinas ferramentas:

- Fresadora universal;
- Serrote de fita;
- Serrote mecânico;
- Torno mecânico;
- Quinadora.

Ferramentas:

- Fresa de topo (diâmetros [mm]: 15; 10; 5; 4,5; 4; 3; 2,5);
- Fresa de dico (espessura [mm]: 1)
- Broca de furação (diâmetros [mm]: 40; 20; 15; 8; 6,8; 6,6; 6; 6,25; 5; 4,25; 3,3; 3,4; 2,5);
- Broca de escarear (ângulo 90);
- Mandril com guia (diâmetros [mm]: 11; 6,5);
- Macho (M8, M4, M3);
- Caçonete (M6, M4; M3);
- Cabeçote divisor
- Lima

Instrumentos de medição:

- Paquímetro;

2. Processo de Fabrico dos componentes

Ao longo deste capítulo são explicados os processos de fabrico utilizados para o fabrico de cada componente do FRICTORQ. Os desenhos técnicos dos componentes encontram-se em anexo. Neste manual separou-se os componentes de a cordo com o seu grupo: Estrutura, Acionamento, Sensor, Base de Ensaio e Corpo Padrão. Assim serão explicados os processos de fabrico dos componentes dentro de cada grupo.

2.1. Estrutura

A matéria-prima, chapa e perfis para os componentes deste grupo é adquirida com dimensões próximas das finais, necessitando em alguns casos, apenas de um corte e de facejamento. Neste módulo são maquinados os seguintes componentes: placa da base, placa de trás, placa do meio, placa do topo, pilares, batente de trás, batentes da frente, pinos, casquilho, espaçador e veio.

2.1.1. Placa da Base

Para o fabrico da placa base (FT E 10-1,0) é adquirida uma chapa de Alumínio Al 5083 de 15 mm de espessura e com as dimensões 303 x 303 mm. A primeira operação a efetuar nesta peça é o facejamento das superfícies laterais até atingir as cotas de 300 x 300 mm (fig. 1 A). Esta operação é realizada na fresadora universal utilizando uma fresa de topo (diâmetro 10 mm). No final desta operação deve-se limpar, com uma lima, eventuais rebarbas que possam surgir nas arestas. A próxima operação é a marcação e execução dos furos. Começa-se pelos cinco furos passantes para os parafusos M6 ISO 4762. Estes furos são executados com uma broca de diâmetro 6,6 mm. Em seguida com um mandril de diâmetros 11 mm abre-se a caixa para alojar a cabeça dos parafusos (fig. 1 B). Estas operações são realizadas com a fresadora universal para garantir o posicionamento correto dos furos.

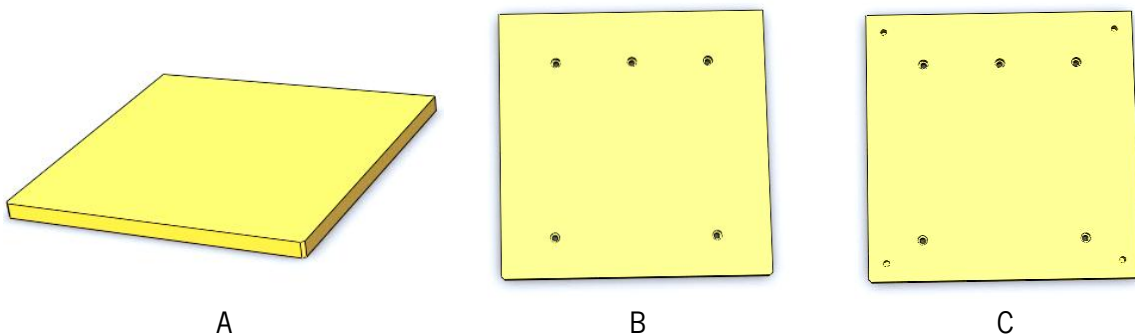


Figura 57 - Etapas de fabrico da placa da base

Por último, efetuam-se os quatro furos para o aparafusamento dos apoios niveladores. Por se tratar de furos roscados M8, primeiro fura-se uma broca de 6,8 mm de diâmetro e depois faz-se a rosca com um macho M8.

2.1.2. Placa de trás

A placa de trás (FT E 11-1,0) é construída a partir de uma placa de alumínio AL 5083 de 15 mm de espessura adquirida com as dimensões de 370 x 203 mm. A primeira operação a realizar com esta peça é o facejamento lateral até obter as dimensões de 365 x 200 mm (fig. 2 A). Esta operação é realizada na fresadora universal com uma fresa de topo (diâmetro 10 mm). Após esta operação deve-se limpar, com uma lima, eventuais rebarbas que possam surgir nas arestas. Esta operação vai também eliminar as quinas vivas, que podem ser perigosas no manuseamento da peça.

O próximo passo é maquinar a zona representada na fig. 2 B. Esta deve ser realizada na fresadora universal com uma fresa de topo. Previamente deve-se realizar dois furos nos vértices interiores da zona a maquinar, isto para evitar que fique uma aresta arredondada (com a forma da ferramenta de maquinagem). Os furos são efetuados com uma broca de diâmetro igual ou superior ao da fresa de topo utilizada para a maquinagem da zona apresentada. Neste caso utilizou-se uma broca e uma fresa de 5 mm de diâmetro.

Aproveitando, a fixação da peça nesta posição, fazem-se os sete furos passantes para parafusos M6 ISO 4762 com respetiva caixa para alojar a cabeça do parafuso (fig. 2 C). Estes efetuam-se na fresadora, com uma broca de 6,6 mm e um mandril de 11 mm de diâmetro.

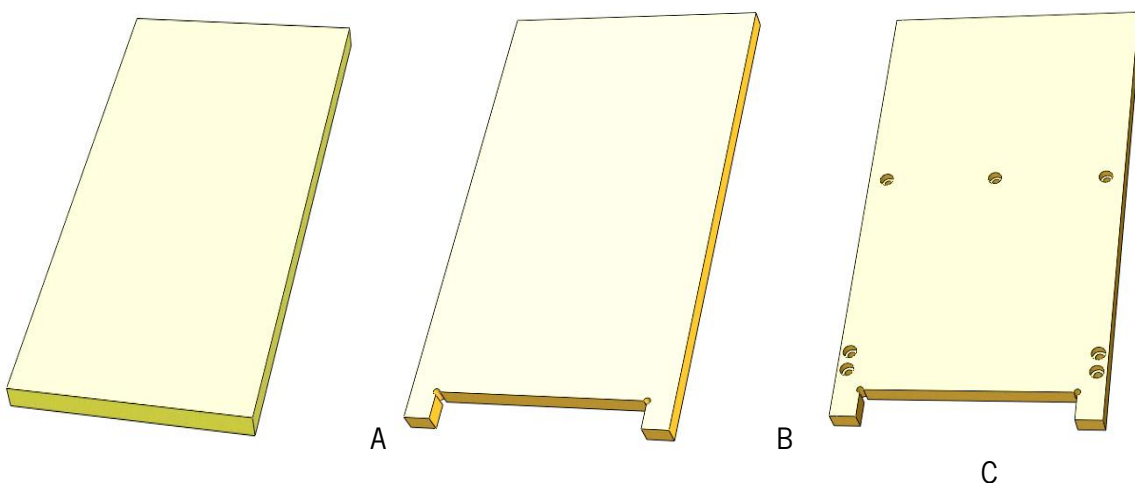


Figura 58 – Étapes de fabrico da placa de trás

Em seguida efetuam-se os dois furos roscados M6 (fig. 3 A), começando por furar com uma broca de 5 mm e depois roscar com um macho M6. A furação é efetuada na fresadora universal enquanto a rosca é manualmente.

Esta peça vai suportar a placa superior através de dois pinos de 6 mm de diâmetro. Por sua vez estes pinos são fixos por dois parafusos M4. Nesta operação, abrem-se os furos com uma broca de 6 mm de diâmetro para os pinos, e com uma broca de 3,3 mm de diâmetro para os furos a roscar. Os furos são efetuados na fresadora e a rosca manualmente (fig. 3 B).

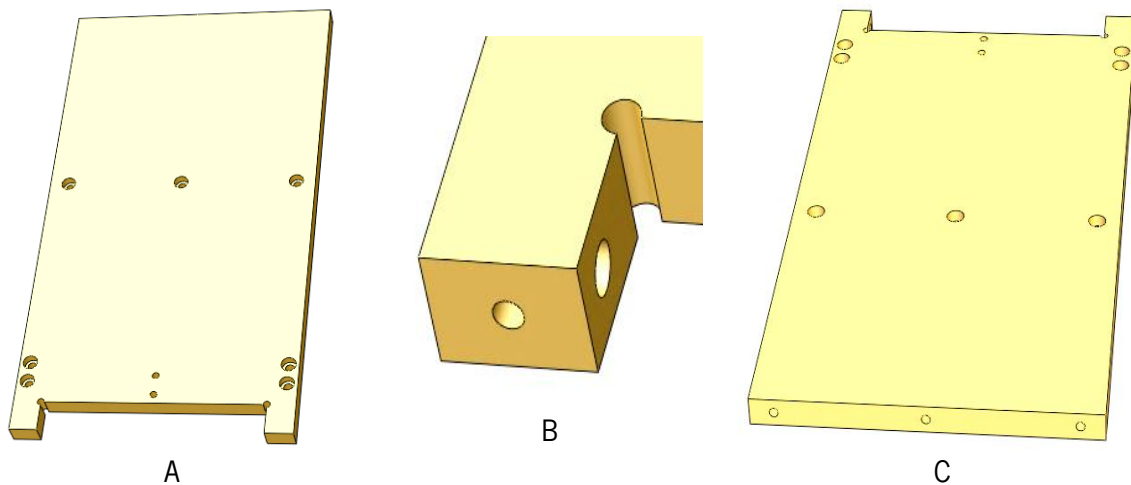


Figura 59 - Étaps de fabrico da placa de trás continuação

Por último, existem três furos roscados M6 na lateral inferior da placa (fig. 3 C). Deve-se começar por efetuar os furos na fresadora universal utilizando uma broca de 5 mm de diâmetro. Por fim utiliza-se um macho M6 para roscar os três furos manualmente.

2.1.3. Placa do Meio

A placa do meio (FT E 12-1,0) é a que suporta a base de ensaios assim como o motor redutor. Para o fabrico desta, foi utilizada uma placa de alumínio AL 5083 de 20 mm de espessura comprada com as dimensões de 203 x 203 mm. Da mesma forma que as restantes peças, a primeira operação a realizar é o facejamento lateral até obter as dimensões de 200 x 200 mm (fig. 4 A). Esta operação é realizada na fresadora universal com uma fresa de topo (diâmetro 10 mm). Após esta operação deve-se limpar, com uma lima, eventuais rebarbas que possam surgir nas arestas. Esta operação vai também eliminar as quinas vivas, que podem ser perigosas no manuseamento da peça.

A operação seguinte é realizar o furo de diâmetros 40 mm. Este furo, por ter um grande diâmetro deve ser feito primeiro com brocas de diâmetro intermédio e só depois com o diâmetro final. Esta operação é realizada na fresadora, utilizando uma broca de 8 mm, depois uma de 20 mm e por fim a broca de diâmetro 40 mm (fig. 4 B).

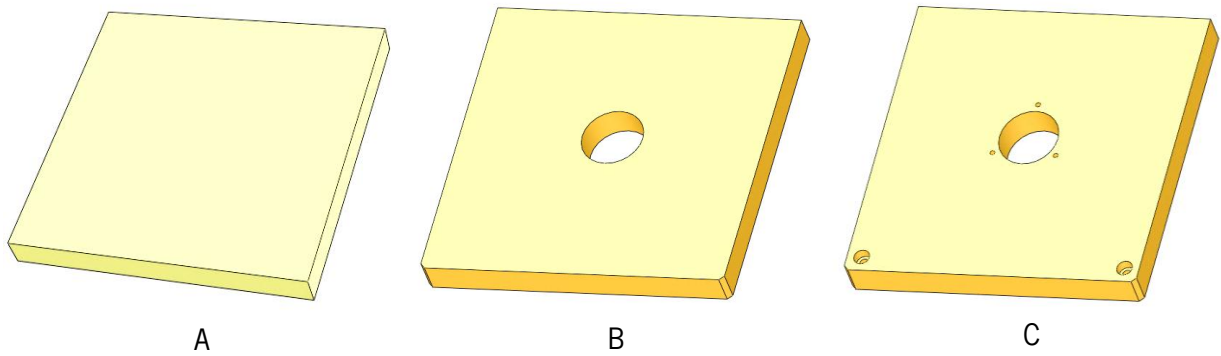


Figura 60 - Sequência de operações na placa do meio

Em seguida procede-se à execução dos dois furos passantes para parafusos M6 ISO 4762 e respetivas caixas para alojar a cabeça dos parafusos. Estas operações são realizadas na fresadora com uma broca de 6,6 mm e com um mandril de 11 mm de diâmetro. Ainda nesta face da peça é necessário realizar 3 furos roscados M4 para a fixação do casquilho dos rolamentos. Estes são furados com uma broca de 3,3 mm de diâmetro e roscados manualmente com um macho M4 (fig. 4 C).

Do lado inferior da placa existem quatro furos roscados para o aparafusamento do suporte do motor redutor. Estes furos são efetuados na fresadora para garantir o seu posicionamento e para tal é utilizada uma broca de 3,3 mm de diâmetro para efetuar os furos e um macho M4 para os roscar (fig. 5 A).

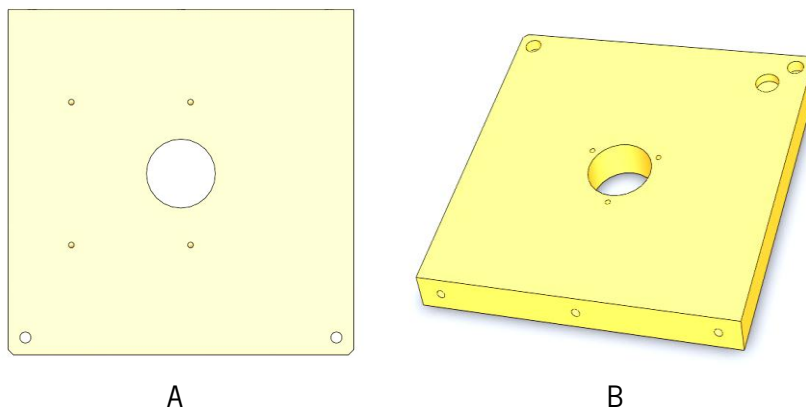


Figura 61 - Sequência de operações na placa do meio continuação

Para finalizar esta peça, resta efetuar os três furos roscados, na lateral da peça, que servem para o aparafusamento com a placa traseira e o rebaixo para o encaixe da bolha niveladora. Estes furos são realizados na fresadora utilizando uma broca de 5 mm de diâmetros, sendo roscados com um macho M6. O rebaixo para a bolha niveladora é efetuado com uma fresa de topo de 15 mm de diâmetro (fig. 5 B).

2.1.4. Placa do Topo

A placa do topo (FT E 13-1,0) é a que suporta o sensor de binário. Para o fabrico desta, foi utilizada uma placa de alumínio AL 5083 de 15 mm de espessura comprada com as dimensões de 143 x 203 mm. Da mesma forma que as restantes peças, a primeira operação a realizar é o facejamento lateral até obter as dimensões de 140,5 x 200 mm (fig. 6 A). Esta operação é realizada na fresadora universal com uma fresa de topo (diâmetro 10 mm). Após esta operação deve-se limpar, com uma lima, eventuais rebarbas que possam surgir nas arestas. Esta operação vai também eliminar as quinas vivas, que podem ser perigosas no manuseamento da peça.

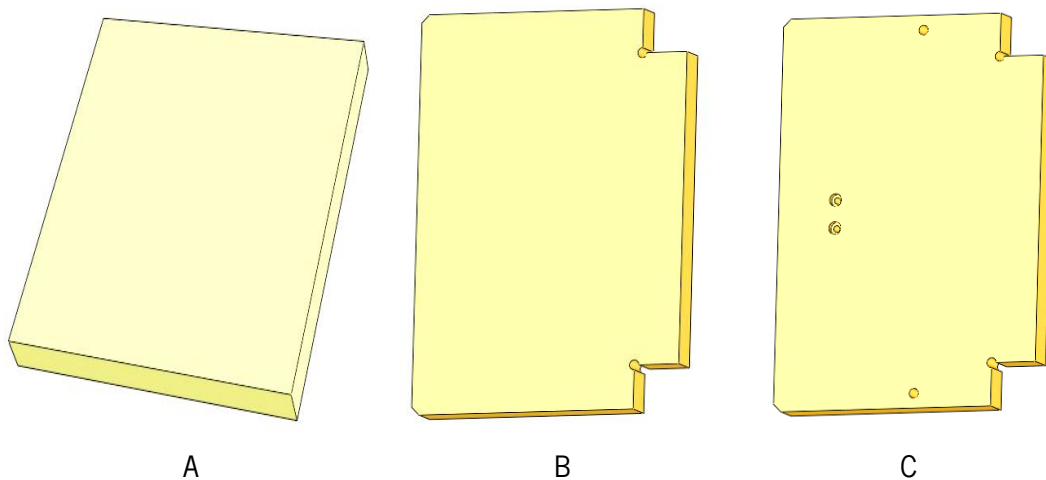


Figura 62 - Etapas do fabrico da placa do topo

O próximo passo é maquinar a zona representada na fig. 6 B. Esta deve ser realizada na fresadora universal com uma fresa de topo. Previamente deve-se realizar dois furos nos vértices interiores da zona a maquinar, isto para evitar que fique uma aresta arredondada (com a forma da ferramenta de maquinagem). Os furos são efetuados com uma broca de diâmetro igual ou superior ao da fresa de topo utilizada para a maquinagem da zona apresentada (fig. 6 B). Neste caso utilizou-se uma broca e uma fresa de 5 mm de diâmetro.

Em seguida, realizam-se os furos roscados M6 para os parafusos reguladores do batente, e depois os furos passantes para a fixação do sensor. Os furos roscados devem ser furados com uma broca de 5 mm e depois roscados manualmente. Os furos passantes devem ser furados com uma broca de 3,4 mm e depois abrir a caixa para alojar a cabeça dos parafusos com um mandril de diâmetro 6,5 mm.

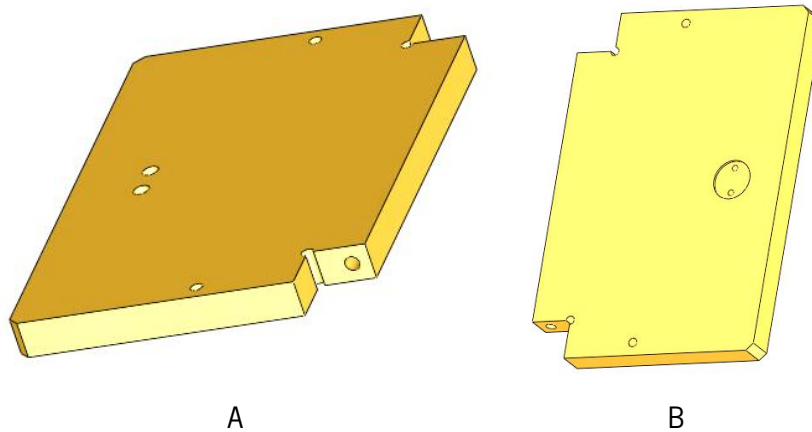


Figura 63 - Etapas do fabrico da placa do topo continuação

Como o acoplamento com a placa traseira é feito por um pino de 6 mm de diâmetro é necessário efetuar os dois furos na placa do topo para o seu encaixe. Estes furos são realizados na fresadora com uma broca de 6 mm de diâmetro (fig. 7 A).

Por último, efetua-se do lado inferior da placa do topo, um rebaixo para o encaixe do sensor de binário. O rebaixo é efetuado na fresadora com uma fresa de topo com diâmetro de 22,4 mm (fig. 7 B).

2.1.5. Pilares

Os pilares (FT E 14-1,0) são os componentes que suportam a placa do meio na parte frontal do equipamento, encontram-se aparafusados quer na placa da base quer na placa do meio por um parafuso M6 (fig. 8). Para a sua produção é adquirido varão de alumínio de diâmetro 16 mm com um comprimento de 310 mm, o suficiente para os dois pilares.

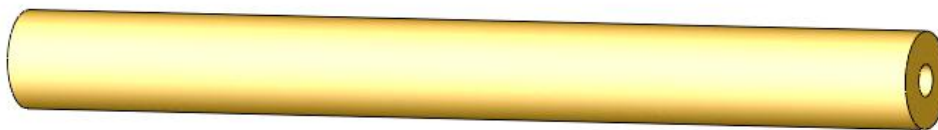


Figura 64 - Pilar

Começa-se por cortar, no serrote mecânico, o varão com um comprimento aproximadamente de 154 mm. A partir deste, no torno mecânico, faceja-se uma das faces. Aproveitando a fixação da peça efetua-se o furo centrado com uma broca de 5 mm e de seguida rosca-se o furo com um macho M6. Vira-se a peça do outro lado, e faceja-se até obter o comprimento de 150mm e de seguida fura-se com a broca de 5 mm e rosca-se com o macho M6.

2.1.6. Batente de trás

O batente de trás (FT E 15-1,0) é o elemento onde a placa do topo fica apoiada quando aberta. Para a sua produção é adquirida uma chapa de alumínio Al 5083 de 15 mm de espessura e com as dimensões de 23 x 58 mm. A primeira operação a realizar é o facejamento das faces até ficar com as dimensões finais de 55 x 20 mm (fig. 10 A). Esta operação é realizada na fresadora com uma fresa de topo de diâmetro 10 mm. Ainda com a mesma ferramenta, roda-se a peça e maquina-se a superfície representada em fig. 10 B. Em seguida, coloca-se a peça a formar o angulo da superfície inclinada e fresa-se até à cota desejada (fig. 10 C).

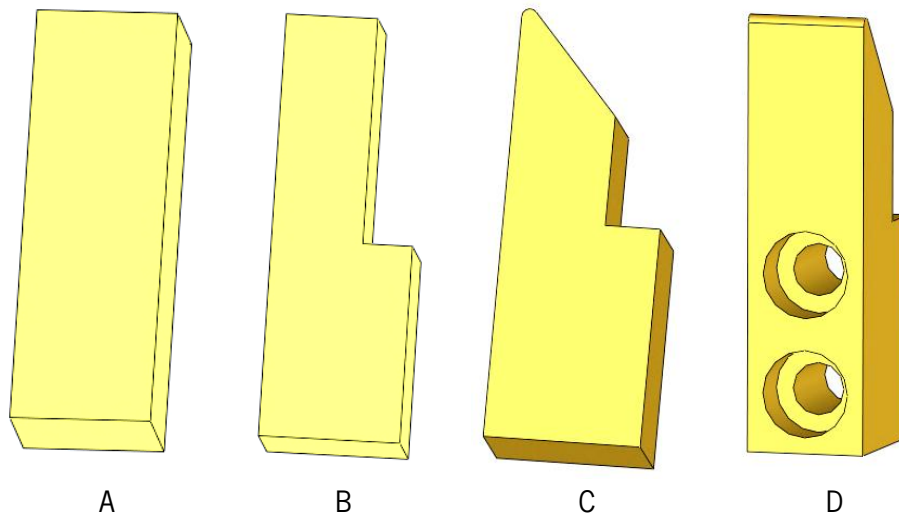


Figura 65 - Etapas de fabrico do batente de trás

Por último, efetuam-se os furos passantes para os parafusos ISO 4762 com a respetiva caixa para alojar a cabeça. Os furos são realizados na fresadora universal com uma broca de diâmetro 6,6 mm e a caixa é efetuada com um mandril de 11 mm de diâmetro (fig. 10 D).

2.1.7. Batentes da Frente

Os batentes da frente (FT E 16-1,0) são dois componentes onde a placa do topo fica apoiada quando colocada na posição de funcionamento. Para a sua produção é adquirida uma chapa de alumínio Al 5083 de 15 mm de espessura e com as dimensões de 126 x 43 mm. A primeira operação a realizar com esta chapa é cortá-la ao meio no serrote de fita ficando com as dimensões aproximadas de 62 x 43 mm. Em seguida, na fresadora efetua-se o facejamento das quatro faces até ficar com as dimensões de 60 x 40 mm (fig. 9 A). Nesta operação utiliza-se uma fresa de topo diâmetro 10 mm.

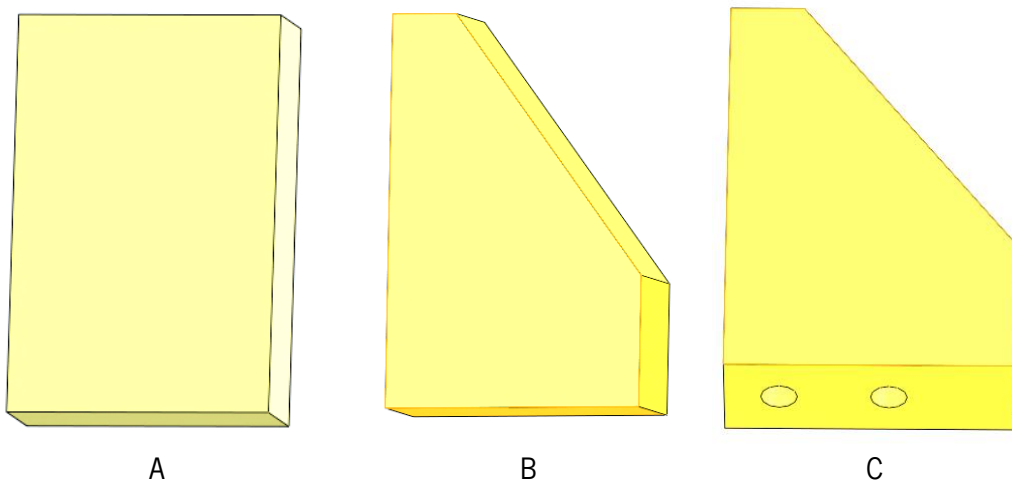


Figura 66 - Fases de fabrico do batente da frente

A operação seguinte é maquinar a superfície inclinada representada em fig. 9 B. Para isto, coloca-se a peça fixa com o ângulo que pretendemos e depois na fresadora maquina-se até à cota desejada. Pode ser utilizada uma fresa de topo (diâmetro 10 mm).

A última operação nesta peça é fazer os furos roscados (fig. 9 C). Para isso, utiliza-se a fresadora, para garantir o posicionamento dos furos, com uma broca de 5 mm. Após furar, fazem-se as roscas manualmente com um macho M6.

2.1.8. Pino

O pino (FT E 17-1,0) é utilizado para o acoplamento da placa de topo à placa traseira permitindo um movimento rotacional. Este componente é produzido a partir de um varão de latão com um diâmetro de 6 mm. Como se comprou um varão com comprimento suficiente para outros componentes, a primeira operação a realizar é cortar aproximadamente 33 mm do varão. Em seguida no torno mecânico facejam-se as faces até que o comprimento do pino fique

com 30 mm. Para facilitar a montagem deve-se deixar as pontas do pino ligeiramente abauladas (fig. 11).

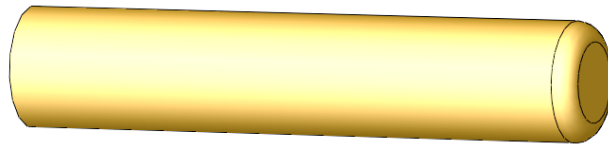


Figura 67 - Pino

2.1.9. Casquilho

O casquilho (FT E 18-1,0) é o componente que vai suportar os rolamentos do veio. Para o seu fabrico é adquirido um varão de latão de diâmetro de 60 mm e um comprimento de 32 mm. Por se tratar de uma peça de revolução a sua maquinagem é maioritariamente efetuada no torno mecânico (com a exceção dos furos roscados). A primeira operação a realizar nesta peça é o facejamento dos topos até obter um comprimento de 28,5 mm (fig. 12 A).

Fixando a peça numa das extremidades, desbasta-se a até obter o diâmetro externo de 40 mm deixando apenas uma aba de 4 mm com o diâmetro primitivo (fig. 12 B). Em seguida maquina-se o furo interno até ao diâmetro de 32 mm (fig. 12 C).

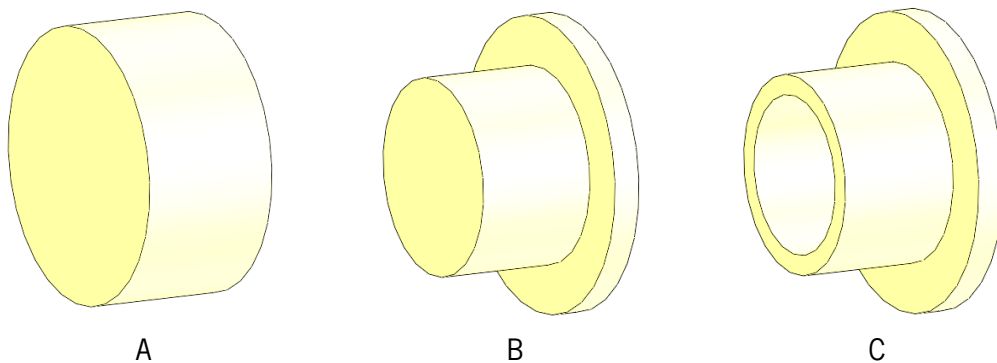


Figura 68 - Etapas de fabrico do casquilho

Após a maquinagem do furo interno, é necessário maquinar as duas cavidades que alojam os anéis de retenção (fig. 13 A). Estes são maquinados no torno mecânico.

Por último, fazem-se os três furos passantes para fixar o casquilho à placa do meio. Estes furos encontram-se num raio de 25 mm do centro da peça. Este raio pode ser marcado no torno mecânico. Depois, na fresadora fazem-se os furos utilizando uma broca de 4,2 mm e o cabeçote divisor para garantir o ângulo de 120° entre cada furo.

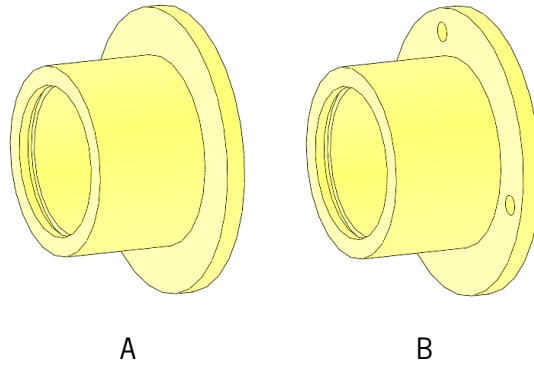


Figura 69 - Etapas de fabrico do casquilho continuação

2.1.10. Espaçador

O espaçador (FT E 19-1,0) é utilizado para garantir o afastamento entre os rolamentos do veio. Este componente foi produzido a partir de um varão de latão com um diâmetro de 32 mm e um comprimento de 15 mm. Apesar de o espaçador apenas ter 3 mm de comprimento é necessário um comprimento superior para facejamento e para fixação no torno. A sequência de operações no torno são as seguintes:

- ✓ Fixação do varão no torno;
- ✓ Facejamento da face;
- ✓ Maquinagem do interior até diâmetro interno de 28 mm, com uma profundidade de 5 mm;
- ✓ Cortar o anel espaçador, com um ferro de sangrar.

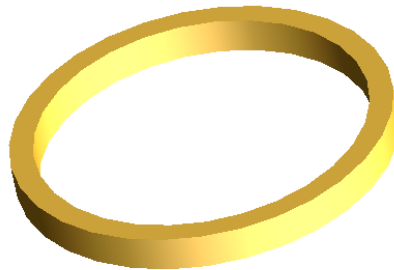


Figura 70 - Anel espaçador

2.1.11. Veio

O veio (FT E 20-1,0) é o componente responsável pela transmissão do movimento da polia para a base de ensaio. Para o seu fabrico foi adquirido um veio de latão com 17 mm de diâmetro e um comprimento de 90 mm.

Para a produção deste componente, começa-se por facejar uma das faces, no torno mecânico. Aproveitando a mesma fixação, maquinam-se as zonas para o encaixe dos rolamentos e da polia (fig. 15 A).

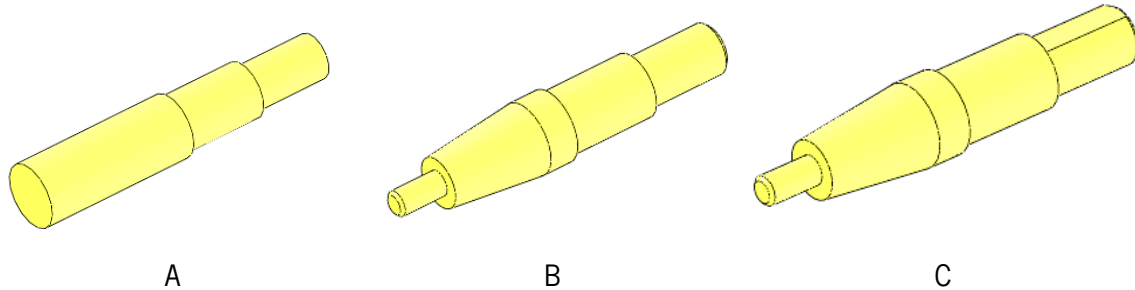


Figura 71 - Fases de produção do veio

Para maquinar a outra metade da peça, deve-se fixar a peça por uma das partes já maquinadas. Uma vez fixa, maquina-se o perno de diâmetro 6 mm e em seguida o corpo cónico (fig. 15 B). Aproveitando a fixação da peça pode-se abrir a rosca M6 no perno. Para isto utiliza-se um caçonete M6 e abre-se manualmente a rosca. Por fim, na fresadora universal maquina-se a superfície plana no veio onde vai encaixar a polia maior (fig. 15 C).

2.2. Acionamento

No módulo de acionamento a maior parte dos componentes são produtos *standards* pelo que são adquiridos prontos a instalar. O suporte do motor é o único componente produzido neste módulo.

2.2.1. Suporte do Motor

O suporte do motor (FT A 10-1.0) é o componente que permite o acoplamento do motor redutor com a respetiva polia e correia ao restante equipamento. Para a sua produção é comprada chapa de aço inoxidável de 1,5 mm de espessura e com 100 x 300 mm de dimensões.

Para a produção deste componente começa-se por cortar a chapa com as dimensões corretas. Em seguida, com um paquímetro, marca-se os locais onde deve ser dobrada e na quinadora fazem-se as dobras (fig. 16 A).

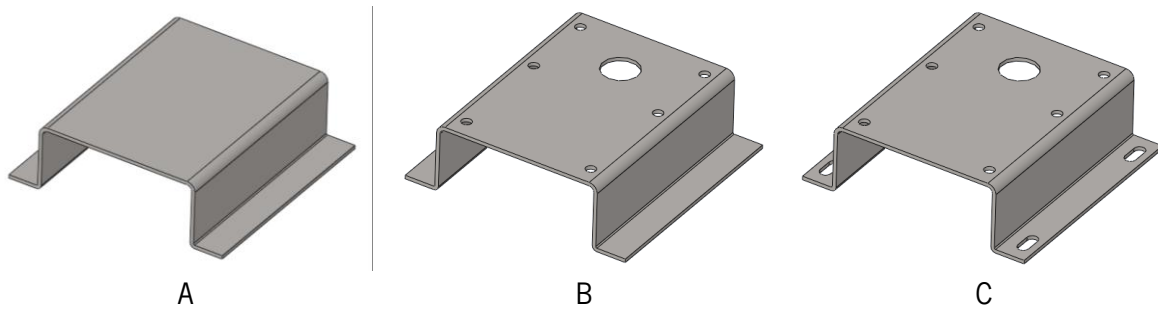


Figura 72 - Fases de produção do suporte do motor

Para fazer os furos utilizou-se a fresadora com uma broca de 4,25 e 15 mm de diâmetro para os furos passantes e para o furo do veio do motor respetivamente (fig. 16 B). Para os furos rasgados utilizou-se uma fresa de topo de diâmetro 4,5 mm (fig. 16 C).

2.3. Sensor

No módulo do sensor, para além dos componentes *standards* adquiridos, existem alguns que têm de ser maquinados. Deles fazem parte a barra de acoplamento, o veio do sensor e o ajuste de veio.

2.3.1. Barra de Acoplamento

A barra de acoplamento (FT S 10-1.0) é o componente que estabelece o contacto do corpo de prova com o veio do sensor de binário. Para a sua produção é comprado varão de aço inoxidável de 4 mm de diâmetro. Inicialmente corta-se com um sobre espessura para facejamento dos topos e depois com a utilização da fresadora com uma fresa de 3 mm de diâmetro abrem-se dois entalhes para o encaixe dos pinos do corpo de prova.



Figura 73 - Barra de acoplamento

2.3.2. Veio do Sensor

O veio do sensor (FT S 11-1.0) é o elemento responsável pela ligação da barra de acoplamento ao sensor de binário. É construído a partir de varão de aço inoxidável de 25 mm de diâmetro. Inicialmente faceja-se um dos topos no torno mecânico, e desbasta-se até obter um diâmetro de 6 mm (fig. 18 A). Depois troca-se a fixação da peça e faceja-se o outro topo até obter uma aba de 3 mm. Nesta face pode-se marcar o diâmetro onde são incluídos os dois furos para a fixação do sensor.

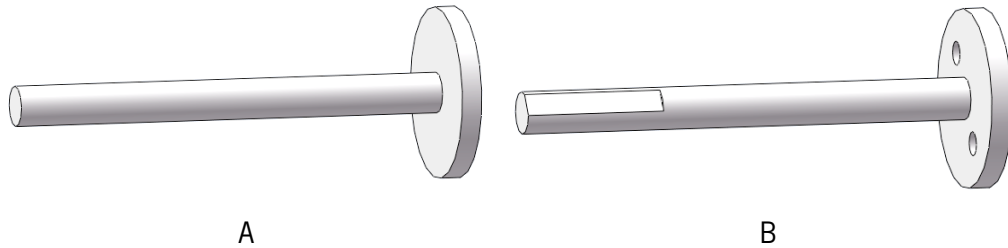


Figura 74 - Fase de fabrico do veio do sensor

Depois, na fresadora, para garantir o posicionamento, fazem-se os furos com uma broca de 3 mm de diâmetro. Por fim, com uma fresa de topo (diâmetro 10 mm) faz-se o rebaixo no veio (fig. 18 B).

2.3.3. Ajuste de Veio

O ajuste de veio (FT S 12-1.0) permite o ajustamento da barra de acoplamento com o veio do sensor. Para o seu fabrico é necessário varão de aço inoxidável de diâmetro 12 mm e 33 mm de comprimento. A primeira operação a realizar é o facejamento dos topos ficando com um comprimento de 30 mm. Em seguida, abre-se o furo centrado de diâmetro 6 mm (fig. 19 A). Estas operações são efetuadas no torno mecânico.

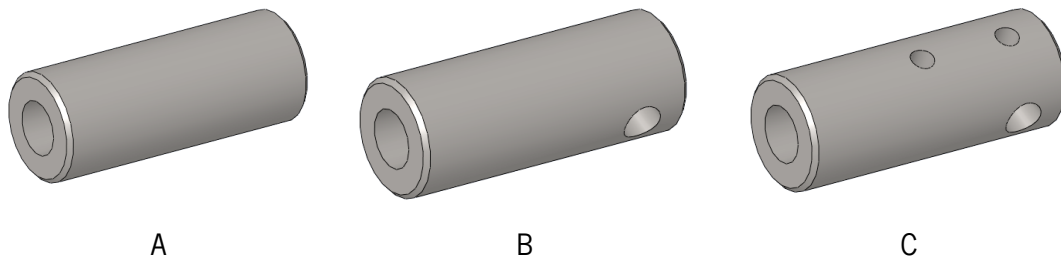


Figura 75 - Fases de fabrico do ajuste de veio

Na fresadora e utilizando uma fresa de topo de 4 mm de diâmetro efetua-se o furo lateral (fig. 19 B). Este furo é realizado com uma fresa de topo pois por se tratar de uma superfície cilíndrica uma broca tem tendência a desviar do centro. Por último, com uma fresa de topo de diâmetro 2,5 mm abrem-se os furos para os parafusos de fixação do ajuste de veio (fig. 19 C). Estes furos depois são roscados manualmente com um macho M3.

2.4. Base de Ensaio

A base de ensaios é parte do equipamento onde são colocadas as amostras para analisar, incluindo os dispositivos de fixação da amostra. Deste módulo fazem parte: cilindro base, perno, anel de pressão, anel de centragem e a base.

2.4.1. Cilindro base

O cilindro base (FT BE 10-1.0) é o componente estrutural para a base de ensaios. Para o seu fabrico foi adquirido um bloco de alumínio Al 5983 com as dimensões 133 x 133 x 45 mm. Na sua maquinagem, começa-se por facejar e desbastar, no torno mecânico, um dos lados da peça (fig. 20 A). Aproveitando a mesma fixação da peça maquina-se o interior (fig. 20 B) e posteriormente o furo cónico (fig. 20 C).

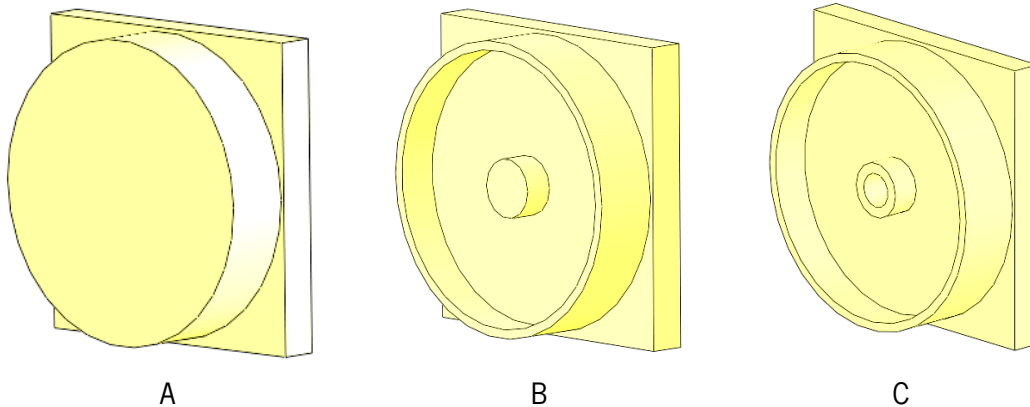


Figura 76 - Etapas de produção do cilindro da base

Para maquinar o outro lado da peça, fixa-se pela parte cilíndrica já maquinada, e maquina-se até obter a superfície cónica (fig. 21 A). Em seguida, fazem-se os rebaixos para a base de ensaios e para a porca de fixação do cilindro da base ao veio de acionamento (fig. 21 B).

Por último, no torno mecânico marca-se o diâmetro a que devem ser feitos os furos no cilindro da base. Na fresadora com uma broca de 3,3 mm de diâmetro e com a utilização do cabeçote divisor fazem-se os furos. Em seguida com um macho M4 roscam-se manualmente (fig. 21 C).

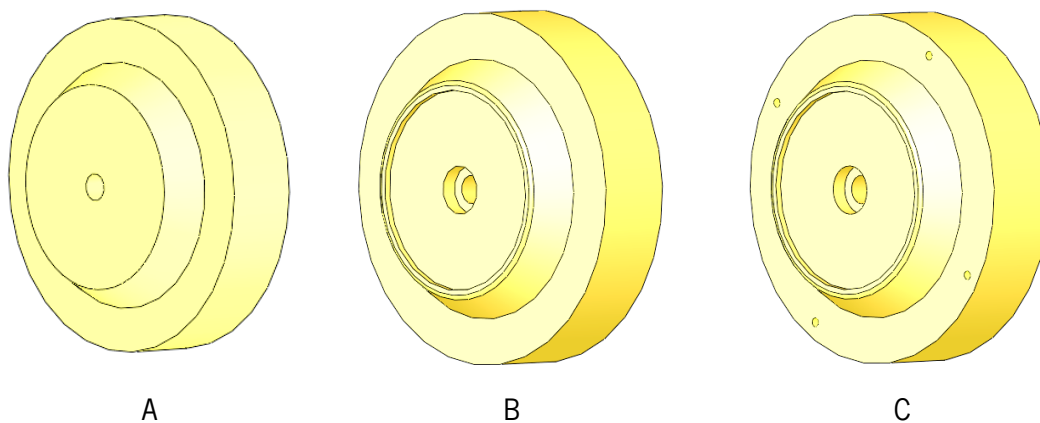


Figura 77 - Etapas de produção do cilindro da base continuação

2.4.2. Pernos

Os pernos (FT BE 11-1.0) garantem o posicionamento do anel de pressão e de centragem sobre a amostra. São produzidos a partir de varão de latão de diâmetro 6 mm, e que é comprado com comprimento suficiente para os quatro pernos. A primeira operação a realizar é cortar os pernos com 46 mm de comprimento. Em seguida no torno mecânico, facejam-se os topos e maquina-se uma das extremidades para o diâmetro de 4 mm, sendo posteriormente roscado manualmente com um caçonete M4 (fig. 22 A).

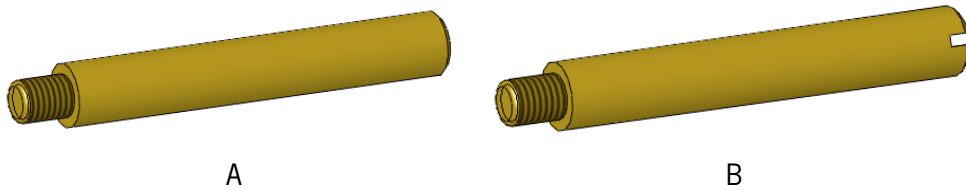


Figura 78 - Fases de fabrico do perno

Por fim, utilizando uma fresa de disco com espessura de 1 mm e utilizando a fresadora abre-se o entalhe na outra extremidade do perno (fig. 22 B).

2.4.3. Anel de pressão

O anel de pressão (FT BE 12-1.0) é o responsável pela fixação da amostra no caso dos tecidos. Para a sua produção é adquirido um disco de aço inoxidável com um diâmetro de 153 mm e uma espessura de 10 mm. O seu fabrico começa pelo facejamento dos topos no torno mecânico até obter uma espessura de 9 mm. Em seguida, maquina-se no torno um furo centrado de aproximadamente 70 mm de diâmetro. Fixa-se a peça por esse furo interior e maquina-se o exterior até obter um diâmetro de 150 mm.

Volta-se a fixar a peça pelo diâmetro exterior e maquina-se a superfície cônica (fig. 23 A). Por último, marca-se o diâmetro onde serão feitos os furos.

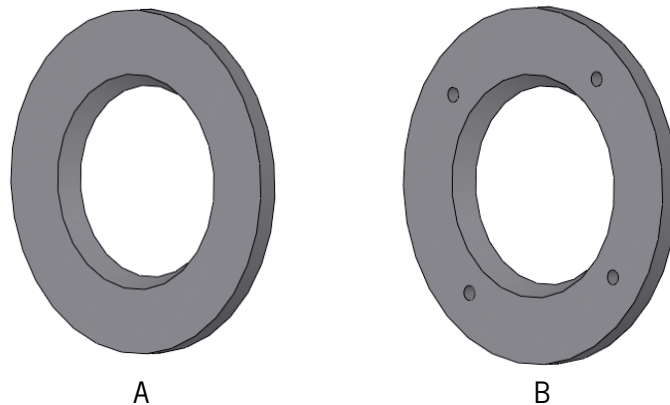


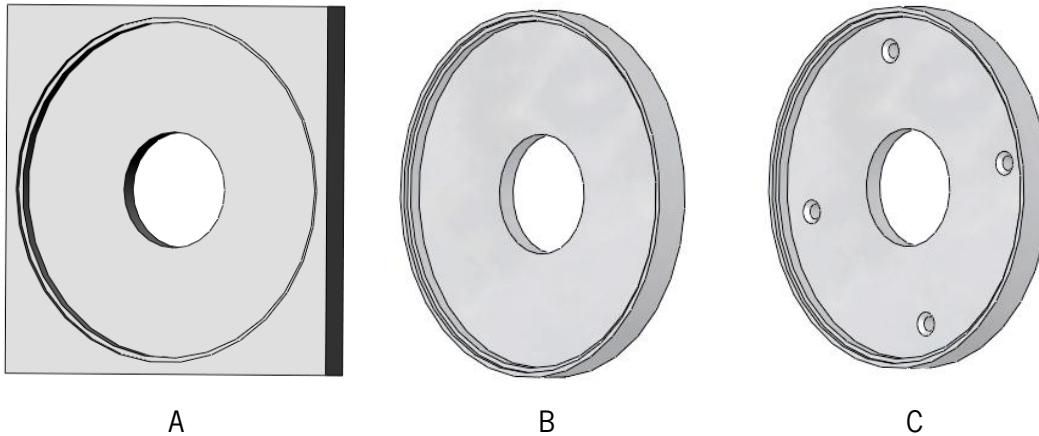
Figura 79 - Fases de fabrico do anel de pressão

Na fresadora com uma broca de 6,25 mm de diâmetro e com a utilização do cabeçote divisor efetuam-se os furos (fig. 23 B).

2.4.4. Anel de Centragem

O anel de centragem (FT BE 13-1.0) é utilizado no momento de colocação do corpo de prova para garantir que este fique concêntrico com a base de ensaios e com o sensor de binário.

Para a sua produção parte-se de uma placa de acrílico com 160 x 160 x 15 mm. No torno mecânico começa-se por fixar a peça pelos lados exteriores e maquinam-se as zonas interiores, incluindo o furo para a colocação do corpo padrão (fig. 24 A). Após isto, fixa-se a peça pelo interior e maquina-se o exterior até obter um cilindro de 154 mm de diâmetro (fig. 24 B).

**Figura 80 - Fases de fabrico do anel de centragem**

Para finalizar, ainda no torno, marca-se a linha dos furos. Depois, na fresadora com uma broca de 6,25 mm e utilizando o cabeçote divisor fazem-se os furos. No fim com uma broca de escarear faz-se o escareamento dos furos (fig. 24 C).

2.4.5. Base

A base (FT BE 14-1.0) em borracha de silicone é a superfície onde é aplicada a amostra a analisar. Para o fabrico desta é comprada uma borracha de silicone com 3 mm de espessura e com as dimensões de 80 x 80 mm.

Utilizando um compasso, marca-se uma circunferência de raio 37 mm e depois com uma tesoura corta-se pela circunferência obtendo-se assim a base de borracha de silicone (fig. 25).

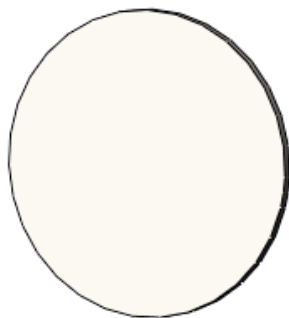


Figura 81 - Base de borracha de silicone

2.5. Corpo de padrão

O corpo padrão é o dispositivo com uma superfície padronizada que vai deslizar sobre a amostra transmitindo ao sensor o binário gerado no contacto com a amostra. Dele fazem parte: agulha, pé (superfície de contacto), anel e perno.

2.5.1. Agulha

As agulhas (FT CP 10-1.0) são coladas na base inferior da superfície de contacto do corpo de prova de forma gerar uma superfície padronizada não lisa. As agulhas são em aço inoxidável e são adquiridas com o diâmetro de 1mm e um comprimento de 10 mm. Como o comprimento necessário é de 7,8 mm foi necessário corta-las.



Figura 82 - Agulha do corpo de prova

Para as cortar, devido ao seu diâmetro reduzido não foi possível maquina-las no torno mecânico. Pelo que se utilizou um alicate de corte e depois uma máquina de polir para retificar a superfície cortada e ajustar o comprimento até este ficar com 7,8 mm.

2.5.2. Pé (superfície de contacto)

O pé ou superfície de contacto (FT CP 11-1.0) é o componente que suporta as agulhas do corpo de prova. Este é produzido a partir de varão de perfil quadrado de latão com 8 x 8 mm de lado. Para o seu fabrico, começa-se por cortar com um comprimento de 8 mm, facejando as extremidades no torno mecânico até este ficar com 6 mm de comprimento (fig. 27 A).

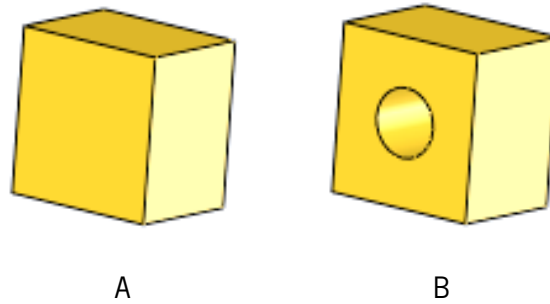


Figura 83 - Fase de fabrico do pé (superfície de contacto)

Na fresadora, com uma fresa de topo machina-se um dos lados com 8 mm até que se tenha 7,8 mm. Depois, colocando uma broca de 3,3 mm faz-se o furo. Manualmente com um macho M4 rosca-se esse furo (fig. 27 B).

2.5.3. Anel

O anel (FT CP 12-1.0) é a estrutura do corpo de padrão, ou seja, é ele que suporta os restantes componentes. Para o seu fabrico parte-se de uma chapa de aço inoxidável com 12 mm de espessura e com as dimensões de 60 x 60 mm. No torno mecânico, começa-se por fazer o furo interior (fig. 28 A). Em seguida, fixa-se a peça pelo furo interior e machina-se o exterior até obter um diâmetro exterior de 50 mm (fig. 28 B). Como a altura do anel é de 11,5 mm, facejam-se os dois lados de forma a obter a espessura desejada. Enquanto se tem a peça fixa no torno, aproveita-se para marcar o diâmetro dos furos, quer os de fixação dos pés (superfícies de contacto) que os dos pernos roscados.

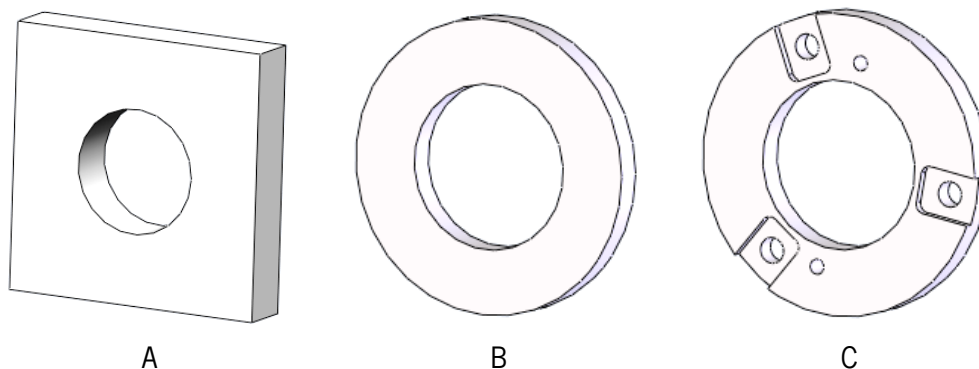


Figura 84 - Etapas de fabrico do anel do corpo de prova

Na fresadora, com uma broca de 4,25 mm e com a utilização do cabeçote divisor, furam-se os três furos passantes para a fixação das superfícies de contacto. Em seguida, com uma broca de 2,5 mm furam-se os dois furos para a colocação dos pernos. Estes furos são depois

roscados manualmente com um macho M3 (fig. 28 C). Por último, na fresadora e utilizando uma fresa de topo de diâmetro 3 mm efetuam-se os rebaixos para o encaixe dos pés (superfícies de contacto).

2.5.4. Perno

O perno é o elemento responsável pelo estabelecimento do contacto do corpo padrão com o sensor de binário. Para o seu fabrico, parte-se de varão de aço inoxidável de diâmetro 3 mm. Corta-se com um comprimento de 26 mm e no torno mecânico facejam-se os topos até obter um comprimento de 24,5 mm. Por último, utilizando um caçonete M3 rosca-se uma das pontas ao longo de 4 mm.

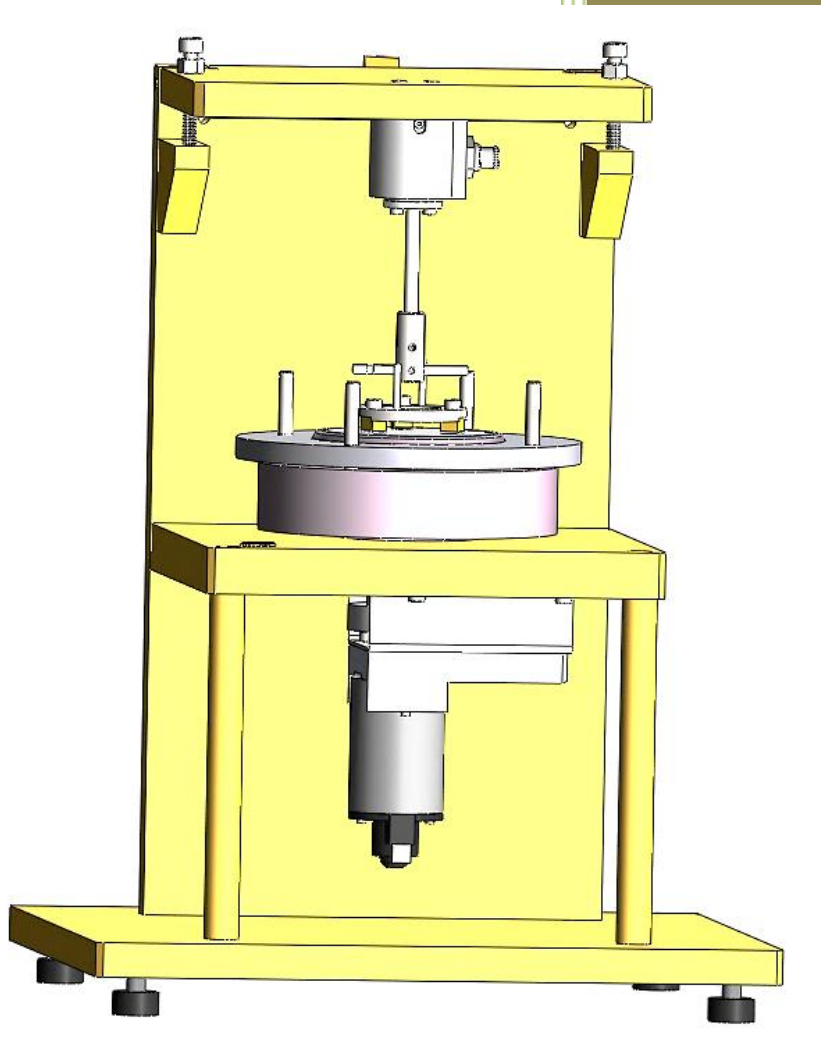


Figura 85 - Perno do corpo padrão

Anexo 2 – Manual de montagem

2012

Manual de Montagem do FRICTORQ



Dinis Macedo

Universidade do Minho

22-06-2012

Este manual tem como objetivo prestar toda a informação fundamental e necessária, para a montagem do equipamento FRICTORQ. Sendo este equipamento constituído por alguns componentes frágeis, a montagem deve ser realizada por pessoal qualificado, para evitar danificar qualquer componente.

Para facilitar e simplificar a explicação da montagem, o equipamento será dividido em cinco módulos, onde será explicada a montagem individual dos módulos e posteriormente a montagem final de todos os módulos, tendo como resultado o equipamento FRICTORQ.

A divisão em módulos foi efetuada em função das características que estes desempenham. Assim têm-se os módulos estrutura, acionamento, sensor, corpo padrão e base de teste.

1. Módulo Estrutura

Este é um módulo essencialmente estrutural, composto maioritariamente por chapa de aço maquinado e ligadas por parafusos.

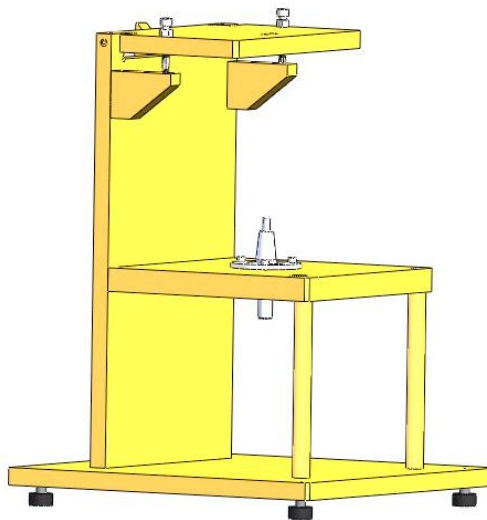


Figura 86 - Módulo Estrutura

Para além dos componentes maquinados, este módulo também tem na sua constituição componente standards, como é o caso dos parafusos, rolamentos, entre outros. Na Figura 1 e **Tabela 9** estão apresentados os componentes utilizados neste módulo assim como as quantidades necessárias.

Tabela 8 - Componentes maquinados para o módulo estrutura

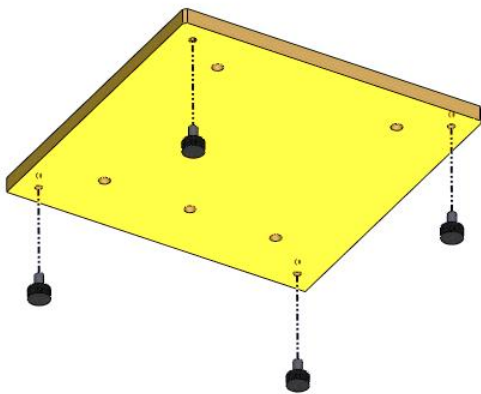
| Quantidade | Nome | Denominação no Modelo 3D | Codificação no desenho |
|------------|-------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | Placa da base | BasePlate_N20 | FT E 10-1.0 |
| 1 | Placa de trás | RearPlate_N26 | FT E 11-1.0 |
| 1 | Placa do meio | MiddlePlate_N32 | FT E 12-1.0 |
| 1 | Placa do topo | TopPlate_N25 | FT E 13-1.0 |
| 2 | Pilar | Pilar_N37 | FT E 14-1.0 |
| 2 | Batente da frente | Stop_N24 | FT E 15-1.0 |
| 1 | Batente de trás | Stop_N3 | FT E 16-1.0 |
| 2 | Pino | Shaft_N1 | FT E 17-1.0 |
| 1 | Casquilho | BearingsBush_N45 | FT E 18-1.0 |
| 1 | Espaçador | Spacer_N22 | FT E 19-1.0 |
| 1 | Veio | Shaft_N31 | FT E 20-1.0 |

Tabela 9 - Componentes standards utilizados no módulo estrutura

| Quantidade | Nome | Norma |
|------------|------------------|--------------------|
| 14 | Parafuso M6 x 20 | ISO 4762 |
| 2 | Parafuso M6 x 25 | ISO 4762 |
| 2 | Parafuso M6 x 40 | ISO 4762 |
| 2 | Porca M6 | ISO 4034 |
| 2 | Rolamento | NSK 6002ZZ |
| 2 | Anel de retenção | DIN 472 – 32 x 1,2 |
| 3 | Parafuso M4 x 10 | ISO 4762 |
| 1 | Parafuso M3 x 8 | ISO 4026 |
| 1 | Polia maior | Polia 16T 2,5/60 |
| 4 | Apoio Nivelador | N4 D32 |

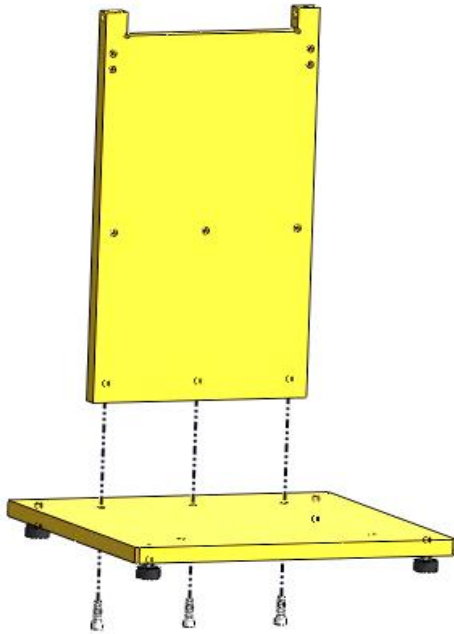
Para efetuar a montagem da estrutura devem seguir-se os seguintes passos:

1.1. Colocação dos apoios [Support] na placa da base [BasePlate_N20]

**Ilustração 0.1**

- Os apoios são em Borracha, contêm um perno roscado M6
- Roscar na totalidade
- Na fase final de montagem devem ser ajustados de forma a nivelar o equipamento

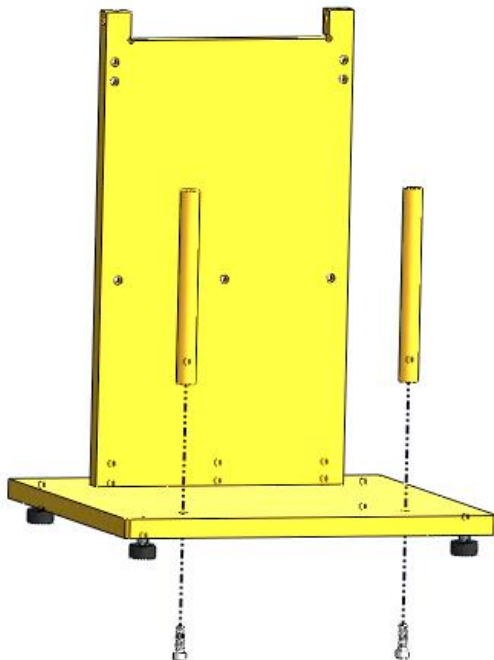
1.2. Montagem da placa de trás [RearPlate_N26]



- Deve ser colocada a placa de trás sobre a placa da base, garantindo o alinhamento dos furos
- Os rebaixos para as cabeças dos parafusos da placa traseira ficam voltados para as costas do equipamento
- Fixar com 3 parafusos ISO 4762 M6 x 20

Ilustração 0.2

1.3. Montagem dos Pilares [Pilar_N37]



- Colocar os pilares sobre a placa da base, garantindo o alinhamento com os furos
- Os pilares são roscados M6 dos dois lados, por isso é indiferente qual a face que fica para cima ou para baixo
- Aparafusar com 2 parafusos ISO 4762 M6 x 20

Ilustração 0.3

1.4. Colocação da Placa do meio [MiddlePlate_N32]

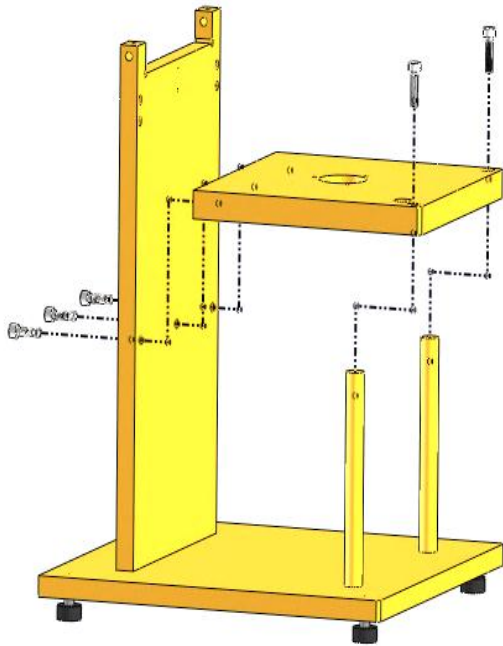


Ilustração 0.4

- Pousar a placa do meio sobre os pilares, garantindo o alinhamento com os furos dos pilares e com os furos da placa traseira
- A face superior é que apresenta uma rebaixo para o nivelador, e 3 furos M4 para o casquilho dos rolamentos
- Fixar aos pilares com 2 parafusos ISO 4762 M6 x 25
- Aparafusar à placa traseira com 3 parafusos ISO 4762 M6 x 20

1.5. Instalar os batentes para a placa do topo [TopPlate_N25]

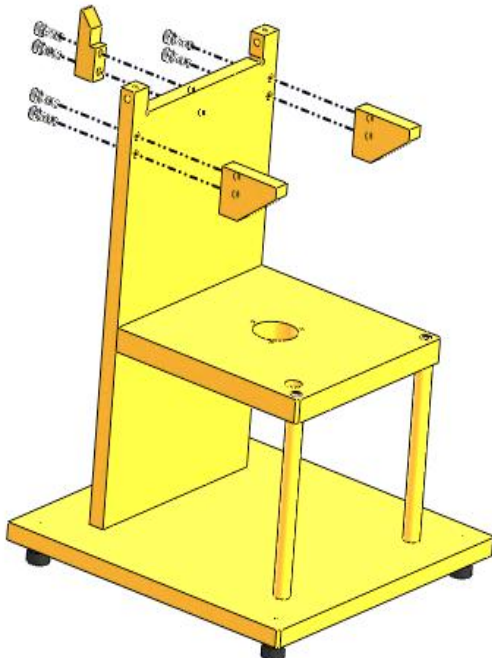


Ilustração 0.5

- Alinhar os furos do batente com os furos da placa traseira
- Aparafusar batente da frente [Stop_N24] com 2 parafusos ISO 4762 M6 x 20
- Aparafusar batente de trás [Stop_N3] com 2 parafusos ISO 4762 M6 x 20

1.6. Colocar placa do topo [TopPlate_N25]

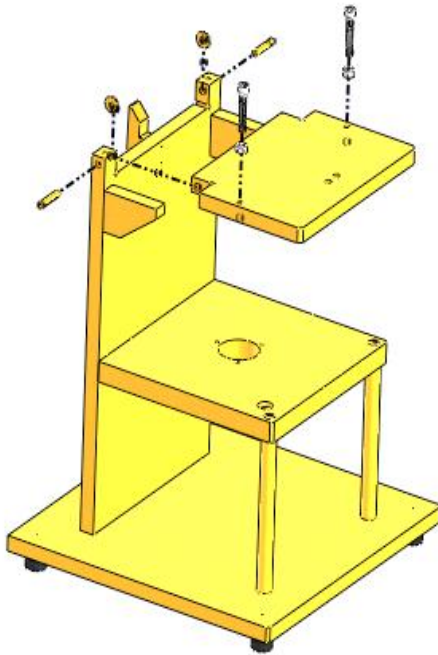


Ilustração 0.6

- Alinhar os furos da placa do topo com os da placa traseira
- Introduzir o pino [Shaft_N1] com uma anilha ISO 7096 M6 entre a placa do topo e a placa traseira
- Aparafusar o parafuso ISO 4762 M6 x 40 com porca ISO 4034 M6 para regular a inclinação da placa do topo contra os batentes da frente

1.7. Montagem dos rolamentos no casquilho [BearingsBush_N45] e no veio [Shaft_N31]

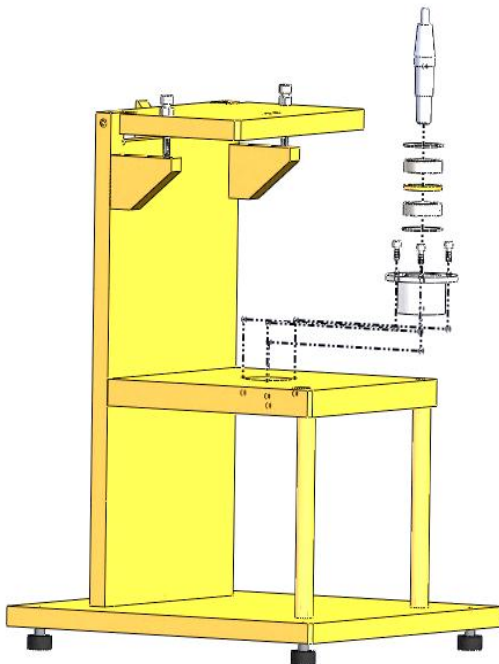
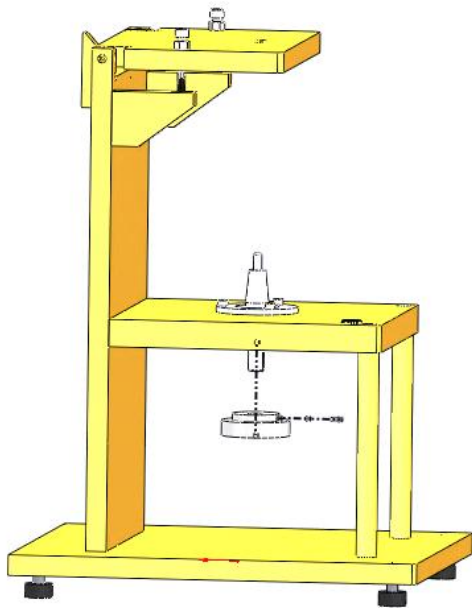


Ilustração 0.7

- Colocar o anel de retenção 1 na ranhura existente no casquilho dos rolamentos
- Inserir um rolamento
- Colocar o anel espaçador [Spacer_N22]
- Inserir outro rolamento
- Colocar o anel de retenção2
- Inserir o veio [Shaft_N31]
- Colocar o conjunto sobre a placa do meio, mantendo os furos alinhados
- Aparafusar o conjunto à placa do meio com 3 parafusos ISO 4762 M4 x 10

1.8. Colocar a polia maior [LargerPulley_N50]



- Encaixar a polia no veio [Shaft_N31]
- Direcionar o furo da polia para o entalhe do veio
- Aparafusar com parafuso sextavado interior sem cabeça (pino)

Ilustração 0.8

2. Módulo de Acionamento

Este módulo é constituído pelo motor redutor e acessórios necessários para o acoplar à estrutura. Neste módulo incluem-se as polias e a correia de transmissão utilizada para transferir o movimento para o veio que por sua vez transmite à base de ensaios.

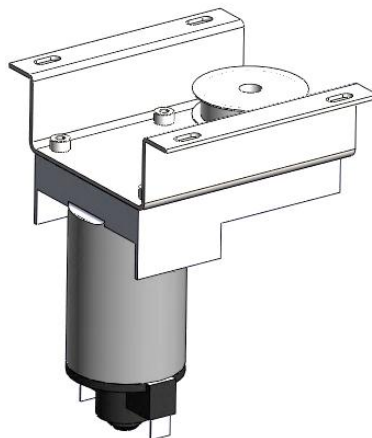


Figura 87 - Módulo de Acionamento

Os componentes maquinados e standards necessários para este módulo encontram-se na Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 10 - Componentes maquinados para o módulo acionamento

| Quantidade | Nome | Denominação no desenho 3D | Codificação no desenho |
|------------|---------------|---------------------------|------------------------|
| 1 | Suporte motor | MotorSupport_N36 | FT A 10-1.0 |

Tabela 11 - Componentes standards utilizados no módulo de acionamento

| Quantidade | Nome | Norma |
|------------|----------------------|-----------------------|
| 6 | Parafuso M4 x 10 | ISO 4762 |
| 1 | Parafuso M3 x 8 | ISO 4026 |
| 1 | Motor redutor | |
| 1 | Polia menor | 16T 2,5/40 (com abas) |
| 1 | Correia Sincronizada | T 2,5 230, 92 d |

Para se efetuar a montagem deste módulo deve-se seguir os seguintes passos:

2.1. Montagem do motor redutor [Motor] no suporte de motor [MotorSupport_N36]

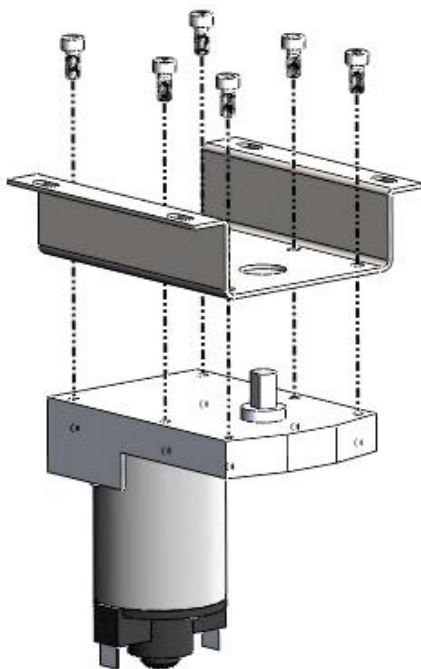
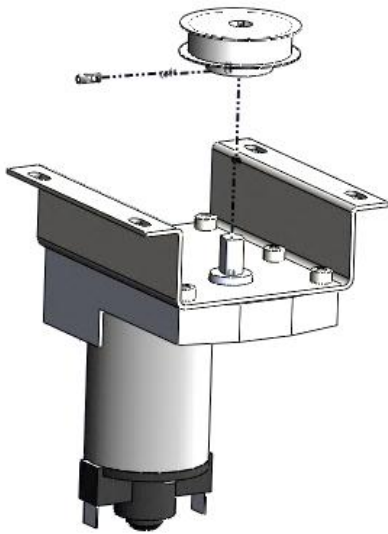


Ilustração 0.9

- O motor e respetivo redutor são adquiridos em conjunto (já encaixados)
- Colocar o motor redutor junto ao apoio alinhando os furos de fixação
- Aparafusar o motor redutor ao suporte com 6 parafusos ISO 4762 M4 x 10

2.2. Montagem da polia menor [LowerPulley_N51]



- Encaixar polia menor no veio do motor redutor
- Direcionar o furo da polia para o entalhe do veio
- Aparafusar com parafuso sextavado interior sem cabeça ISO 4026 M3 x 8

Ilustração 0.10

3. Módulo sensor

Este é o módulo responsável pela aquisição de dados. É composto pelo sensor de binário e por um conjunto de acessórios que o permitem interagir com o corpo de prova.

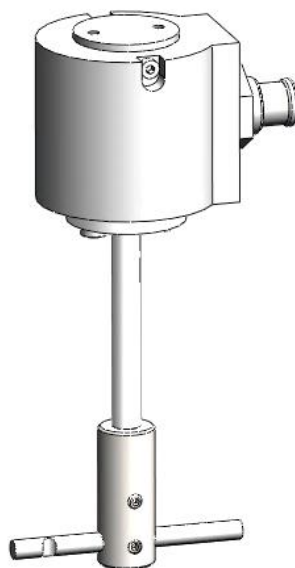


Figura 88 - Módulo Sensor

Os componentes maquinados e standards necessários para este módulo encontram-se na **Tabela 12** e **Tabela 13**.

Tabela 12 - Componentes maquinados para o módulo acionamento

| Quantidade | Nome | Denominação no desenho 3D | Codificação no desenho |
|-------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Barra de acoplamento | Coupling Bar | FT S 10-1.0 |
| 1 | Veio do sensor | Sensor_Shaft | FT S 11-1.0 |
| 1 | Ajuste de veio | ShaftFit_N5 | FT S 12-1.0 |

Tabela 13 - Componentes standards utilizados no módulo de acionamento

| Quantidade | Nome | Norma |
|-------------------|-----------------|--------------|
| 2 | Parafuso M3 x 8 | ISO 4762 |
| 2 | Parafuso M3 x 4 | ISO 4026 |
| 1 | Sensor | |

Para a montagem deste módulo deve-se seguir as seguintes recomendações:

3.1. Montagem do veio do sensor [Sensor_Shaft] no sensor

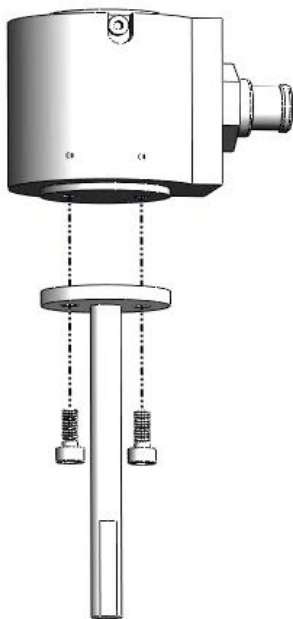


Ilustração 0.11

- Colocar o veio do sensor coaxialmente com o sensor
- Direcionar os furos existentes na haste do veio com os do sensor
- Aparafusar com 2 parafusos ISO 4762 M3 x 8

3.2. Montagem do ajuste de veio [ShaftFit_N5] e barra de acoplamento [Coupling Bar]

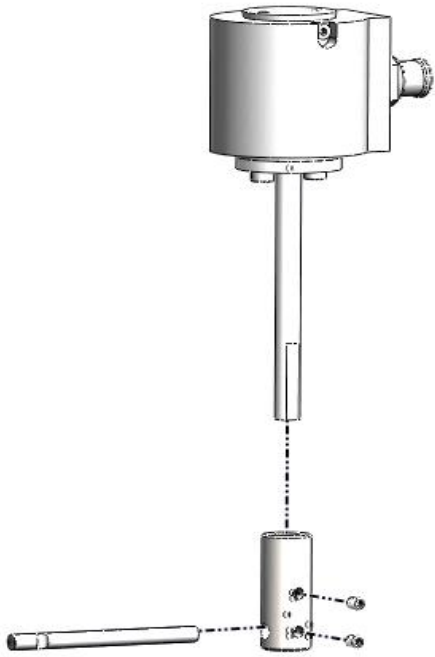


Ilustração 0.12

- Encaixar o ajuste no veio, deixando os furos roscados direcionados para o rebaixo
- Aparafusar com parafuso sextavado interior sem cabeça ISO 4026 M3 x 8
- Introduzir a barra de acoplamento
- Aparafusar com parafuso sextavado interior sem cabeça ISO 4026 M3 x 8

4. Módulo base de ensaios

Este é o módulo que irá suportar o material ao qual se pretende medir o coeficiente de atrito da sua superfície. É composto pela base de ensaios e os dispositivos de fixação e centragem da amostra e corpo padrão respetivamente (**Figura 89**).

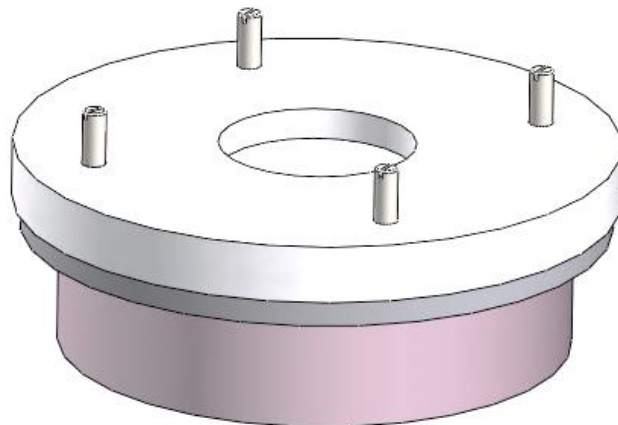


Figura 89- Módulo base de ensaios

Este módulo é composto apenas por componentes maquinados, que se encontram listados na **Tabela 14**.

Tabela 14 - Componentes maquinados para o módulo acionamento

| Quantidade | Nome | Denominação no desenho 3D | Codificação no desenho |
|-------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Cilindro base | Cylinder_N30 | FT BE 10-1.0 |
| 4 | Perno | Pin_PressureRing | FT BE 11-1.0 |
| 1 | Anel pressão | PressureRing_N29 | FT BE 12-1.0 |
| 1 | Anel de centragem | CenteringDisc_N44 | FT BE 13-1.0 |
| 1 | Base | SiliconBase | FT BE 14-1.0 |

Para a montagem dos componentes referidos deve-se seguir os passos apresentados.

4.1. Montagem dos pernos [Pin_PressureRing] no cilindro [Cylinder_N30]

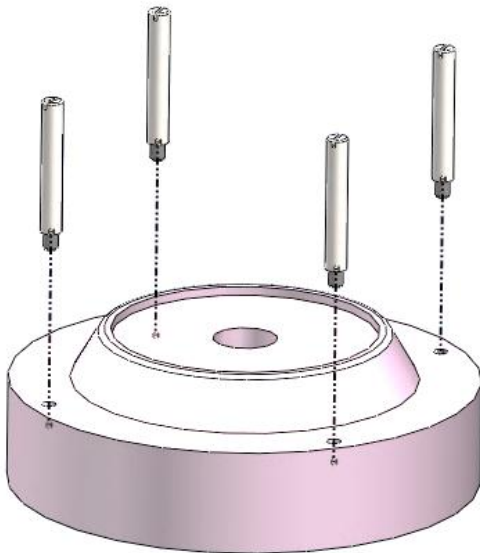
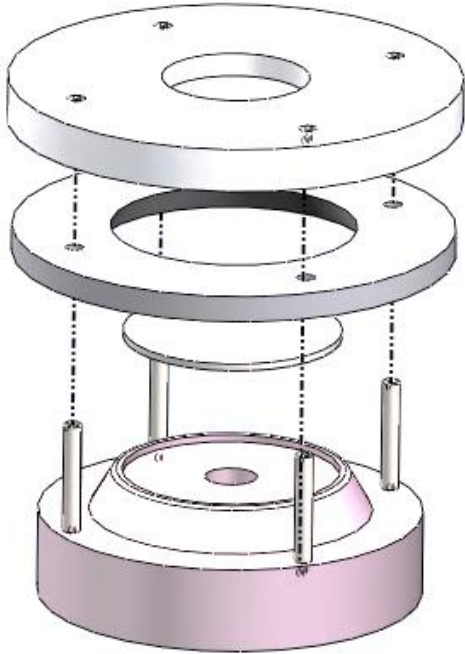


Ilustração 0.13

- Os pernos são utilizados como guias para os anéis de pressão e de centragem
- São roscados no cilindro da base como esquematizado

4.2. Montagem da base de silicone, do anel de pressão e do anel de centragem



- A base de silicone é colocada após a montagem deste módulo com o módulo estrutura
- A montagem da base de silicone é apenas encaixada por aperto
- Os anéis de pressão e centragem não têm nenhum meio de fixação apenas os pernos de guiamento
- Estes anéis bastam montar quando se pretender realizar um ensaio

Ilustração 0.14

5. Módulo corpo padrão

Este módulo funciona como o sensor de atrito que vai entrar em contacto com a amostra. Foi concebido de forma a gerar uma pressão de contacto constante. A zona de contacto com a amostra é constituída por agulhas de 1 milímetro de diâmetro de forma a ter uma superfície não plana em contacto com a amostra.

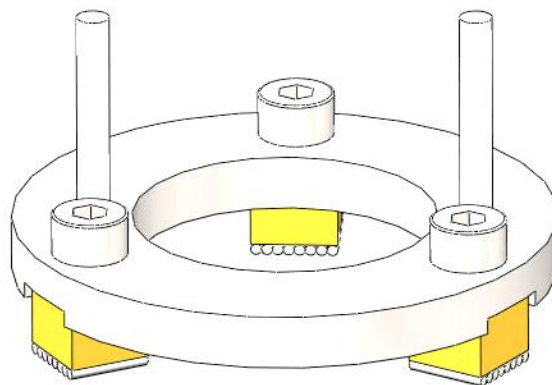


Figura 90 - Módulo corpo padrão

Este módulo é constituído essencialmente por componentes maquinados, ver **Tabela 15**, possuindo apenas 3 parafusos ISO 4762 M4 x 6.

Tabela 15 - Componentes maquinados constituintes do módulo corpo padrão

| Quantidade | Nome | Denominação no desenho 3D | Codificação no desenho |
|-------------------|-------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 24 | CP_Agulha | Foot_Pin | FT CP 10-1.0 |
| 3 | CP_Pé | NB_Foot | FT CP 11-1.0 |
| 1 | CP_Anel | NB_Ring | FT CP 12-1.0 |
| 2 | CP_Pino | NB_Pin | FT CP 13-1.0 |

Para a montagem deste componente deve-se seguir os passos apresentados.

5.1. Montagem das Agulhas [Foot Pin] nos Pés [NB_Foot]

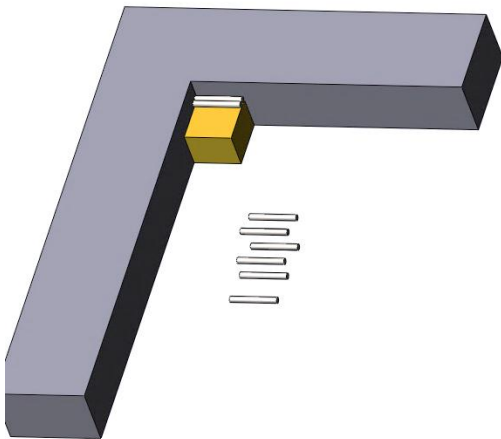
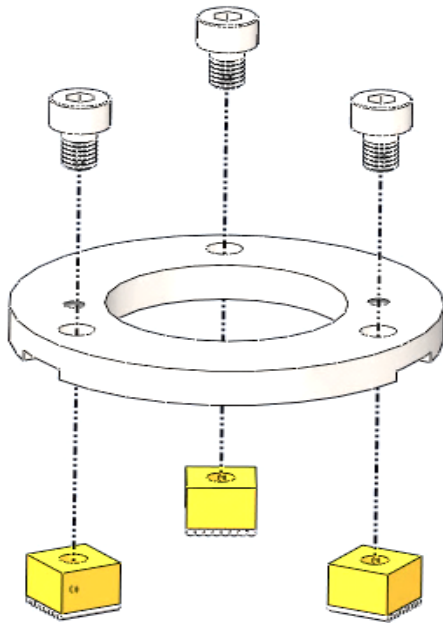


Ilustração 0.15

- As agulhas são coladas nos pés com uma cola especial, então, começa-se por espalhar a cola na base do pé
- Para garantir o paralelismo das agulhas com o pé utiliza-se um esquadro
- Coloca-se as agulhas uma a uma com a ajuda de uma pinça sobre o pé, verificando que fique encostadas umas as outras e ao esquadro
- Cada pé é composto por 8 agulhas
- Com uma superfície plana calcam-se as agulhas todas ao mesmo tempo para que fiquem da mesma altura
- Esperar o tempo suficiente para a cola secar

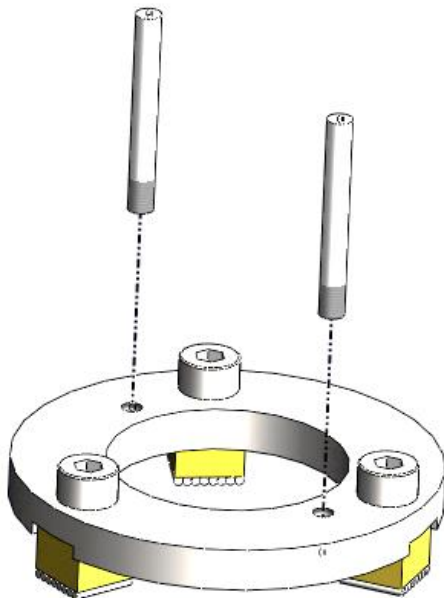
5.2. Montagem dos pés [NB_Foot] no anel [NB_Ring]



- O anel do corpo de prova contém uns rebaixos para alojar os pés
- Os pés devem ser colocados para que as agulhas fiquem numa posição transversal em relação ao anel
- Aparafusar com 3 parafusos ISO 4762 M4 x 6

Ilustração 0.16

5.3. Montagem dos pernos no corpo de prova



- Os pernos encontram-se roscados numa das pontas para permitir roscar no anel
- Devem ser roscados na totalidade
- Após esta operação o corpo de prova encontra-se pronto a utilizar

Ilustração 0.17

6. Montagem dos módulos do FRICTORQ

Para a montagem dos módulos a estrutura é considerada a base da montagem, assim todos os outros módulos são acoplados à estrutura.

6.1. Montagem do módulo de acionamento

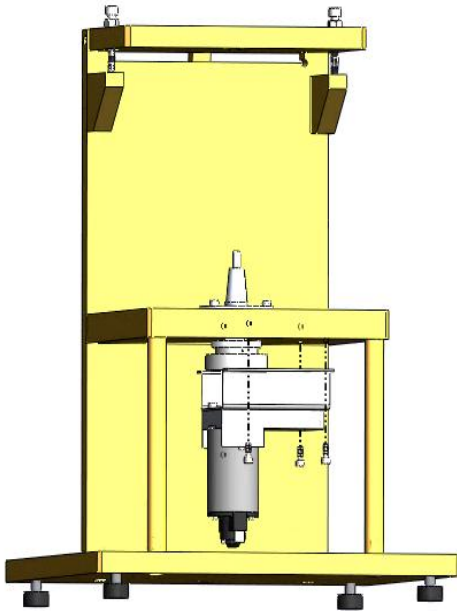


Ilustração 0.18

- Alinhar os furos do suporte do motor [MotorSupport_N36] com os furos inferiores da placa do meio [MiddlePlate]
- Pré aparafusar com 4 parafusos ISO 4762 M4 x 10
- Colocar a correia
- Esticar a correia e dar o aperto final nos 4 parafusos ISO 4762 M4 x 10
- Estabelecer a ligação do motor redutor à placa de controlo

6.2. Montagem do módulo do sensor

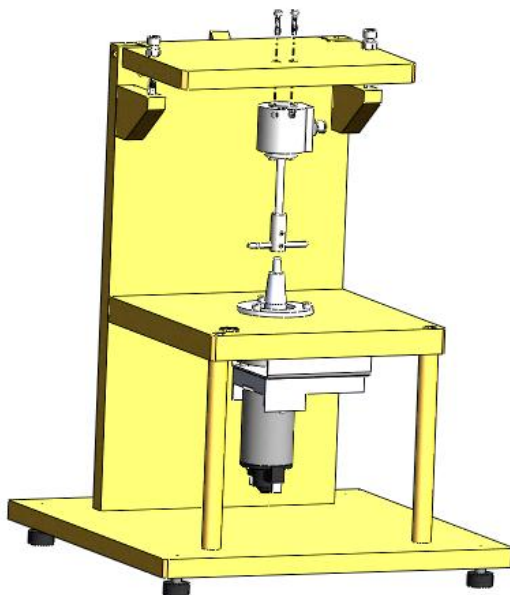


Ilustração 0.19

- Na placa do topo [TopPlate_25] existe um rebaixo para encaixar o sensor
- Com 2 parafusos ISO 4762 M3 x 16 efetua-se a fixação do módulo do sensor à estrutura do equipamento
- Estabelecer as ligações do sensor à placa de controlo/aquisição de dados.

6.3. Montagem do módulo da base de ensaios

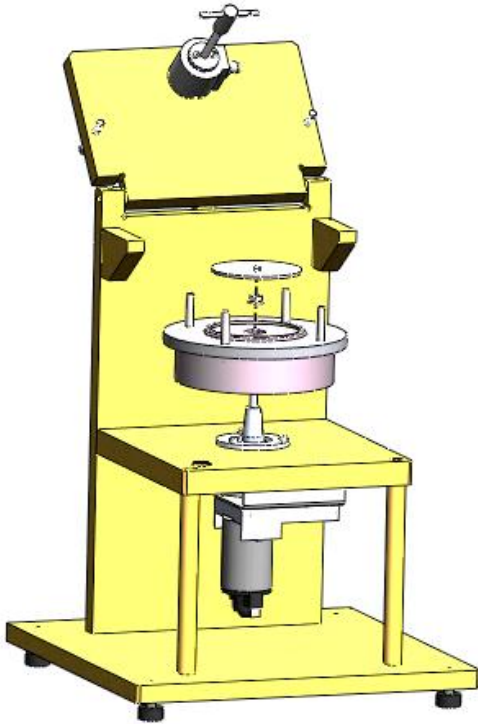


Ilustração 0.20

- Colocar o módulo da base de ensaios sobre o veio cônico [Shaft_N31]
- Aparafusar com uma porca com flange de encosto M6 ISO 4161
- Colocar a base de silicone, uma vez que a porca de fixação se encontra por baixo desta

6.4. Montagem do módulo corpo padrão

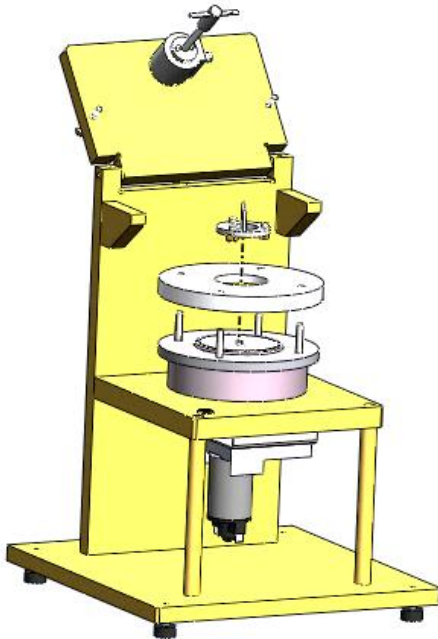


Ilustração 0.21

- A montagem do corpo padrão só se efetua para a realização de ensaios
- Uma vez colocada a amostra na base de ensaios, coloca-se o anel de centragem
- Coaxialmente coloca-se o corpo padrão tendo em atenção que os seus parafusos fiquem numa posição diagonal relativamente ao equipamento para, ao baixar o sensor não colidirem
- Retirar o anel de centragem
- Baixar o sensor
- O equipamento encontra-se apto para realizar o teste

**Anexo 3 – Artigo apresentado na conferência 41st Textile
Research Symposium**

FRICTORQ: Evaluation of Friction Coefficient in Cosmetic Creams

Dinis Macedo¹, Mário Lima¹, Luís F. Silva¹, Eurico Seabra¹, Rosa Vasconcelos²

¹Department of Mechanical Engineering, ²Department of Textile Engineering
School of Engineering, University of Minho
Campus de Azurém, Guimarães, Portugal
mlima@dem.uminho.pt

Abstract

There are numerous applications in which products or materials are in contact with the human body, including the skin, such as clothing, fine papers and even cosmetics. In this sense, and with special emphasis on cosmetic products, there are several parameters for assessing its quality and applicability. The coefficient of friction is one of these parameters for the objective assessment of a concept commonly known by touch. This paper aims to review the main developments that led to the redesign of FRICTORQ device for measuring the coefficient of friction of cosmetic creams, and the first preliminary tests carried out with cosmetic products are also presented, analysed and discussed. It was determined that the friction coefficient of a moisturizing cream is higher than the one obtained for an exfoliating cream.

Keywords: FRICTORQ, cosmetic creams, friction coefficient

1. Introduction

An important feature of the products that make contact with the human body, such as tissues, fine papers, and cosmetics, among others, is the coefficient of friction. This is one of the most important parameters in the objective 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.

Therefore there is a great interest in studying this subject, and some laboratory equipments have been developed, most of the times not so easy to be used, and with higher costs involved. In this sense, FRICTORQ has been developed by the Department of Mechanical Engineering (University of Minho), for the measurement of the friction coefficient in non-rigid materials (see figure 1).

This device was designed for the objective analysis and characterization of fabrics, mainly in terms of surface finish, since it is related with the comfort level generated by its contact with the human skin [1]. Later, other design changes have been carried out to improve the reliability of the testing device and to enable other experiments and evaluations within a liquid environment.

This paper highlights the development of the FRICTORQ device since its beginning up to the analysis of the friction coefficient of cosmetic creams. On the following sections further

references will be made to the experimental procedure used to test cosmetic creams and to the analysis and discussion of the (preliminary) results obtained so far.



Figure 1 – The FRICTORQ testing device

2. FRICTORQ Working Principle

This device has a working principle based on a rotating action and, therefore, on the measurement of the reactive torque generated by the drag motion between two bodies. It combines the following components:

1. An accurate torque sensor, with the respective data acquisition system,
2. A direct current motor with a gear reducer and a timing belt to drive the entire support

- of the lower sample holder, and
3. A computer application that commands and controls the whole system, allowing the acquisition and visualization of experiment data for further statistical treatment.

An important factor considered in the FRICTORQ development was the contact (upper) body (see figure 2), that slides over the fabric sample; it pushes the torque sensor probe to measure the torque generated by the sliding friction occurred between the contact of the two bodies, the fabric sample and the contact body.

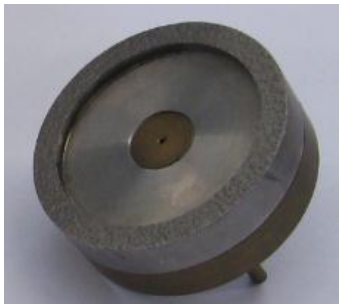


Figure 2 – Metallic (ring type) upper body used in previous FRICTORQ fabric tests

Other upper contact bodies were produced to enable different testing conditions (with different surfaces and contact pressures). Another type of contact body used presents just three contact surfaces placed at 120° (see figure 3), in which a new fabric portion is always tested by the contact established by the three surfaces.



Figure 3 – Upper body with three contact surfaces

A third design phase was also carried out, in which some arrangements were designed to enable experiments in a liquid environment. At this stage it was necessary to replace some of the contact body materials to increase its durability.

3. Modifications in the FRICTORQ

To use the FRICTORQ friction tester with

cosmetic creams was necessary to carry out some modifications to the device. The upper test body, shown in figure 3, had to be rebuilt in AISI 304 stainless steel.

The sponged support base surface, where the fabric samples were placed in the previous FRICTORQ method, was replaced by a silicone rubber, since it was the material that better simulates the human skin [2, 3]. Since the FRICTORQ is a rotary tribometer, the test support base (as presented in figure 4) is a disc shape with a thickness of 3 mm.

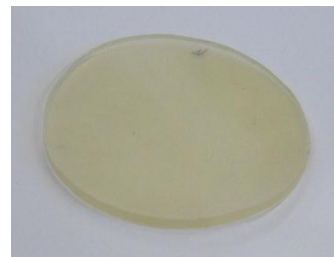


Figure 4 – Support test base surface in silicone rubber

A coupling bar was also designed and built to enable the torque transmission to the torque sensor. To avoid the upper contact body to slide in a radial direction of the silicon rubber, moving it away from the centered position and thus influencing the friction measurement, two notches were added in each of the extremities of the coupling bar to engage the pins of the upper contact body. This coupling bar is depicted in figure 5.



Figure 5 – Coupling bar with specific notches

4. Experimental Procedure and Results

Using the FRICTORQ device prepared for testing cosmetic creams, a series of tests were carried out to determine the friction coefficient of two types of cosmetic creams: a moisturizer daily cream and an exfoliant cream.

3.1 Test Conditions

Preliminary tests were performed initially to analyze the behaviour of the tester device. Some friction measurements were carried out using just the silicone rubber (dry situation), without any kind of cream. Afterwards other tests were performed using a moisturizing cream and an

exfoliating cream. In order to normalize the tests, an amount of 0.5 ml cream was applied and spread manually on the test face of the silicone rubber surface, which has an area of approx. 28 cm², corresponding to 0.018 ml cream per cm² (see figure 6 for the testing setup and cream deposition).



Figure 6 – Deposition of 0.5 ml of moisturizing cream

During the preliminary tests it was found that the amount of cream to be applied was exaggerated, and very high values for the friction coefficient were obtained, due to the accumulation of cream at the front of the three contact surfaces of the upper body. It was then decided to apply on the silicone rubber the same amount of cream that would be applied on the same area of the human skin (see figure 7).



Figure 7 – A cream film applied manually to the lower support base of the silicone rubber

It was observed a significant variation of the results for the friction coefficient of the exfoliating cream; a plastic spatula was used to spread the cream over the rubber surface, and to remove the excess of cream, leaving only a thin film of cream on the silicone rubber. For the exfoliating cream, the spatula tends to remove some of the microspheres that are characteristic of this type of cream. Nevertheless, and despite some of this drawbacks, systematic tests were carried out and the results obtained are detailed over the next section.

3.2 Results

The results obtained by the FRICTORQ device are displayed graphically and can be later

exported to an Excel worksheet. The graphical outputs represent torque, required to maintain the sliding of the base rubber testing surface, measured by the torque sensor. The input variable is the weight of the upper contact body. The application, through the laws of Amonton and the characteristics of the testing system, converts the torque into a coefficient of friction.

In preliminary tests, multiple measurements were carried out in a dry situation, without any cream present in the contact zone, and then with each one of the creams mentioned in the beginning of this section. In these tests, the cream was spread using a spatula with an amount sufficient to cover the entire silicone rubber surface, corresponding to the amount used on an equivalent area of skin. A typical graphical output obtained in these tests can be found in figure 8.

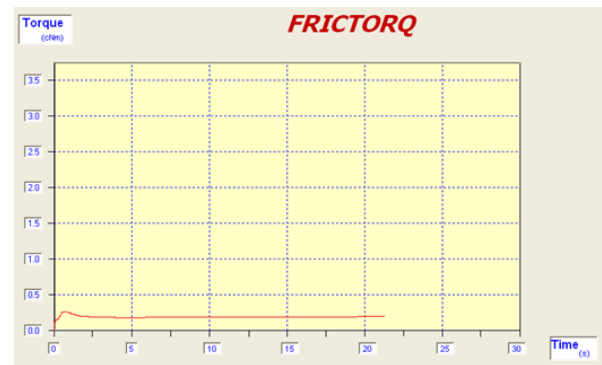


Figure 8 – Graphical output representing the torque measured versus time for the moisturizer cream

In this graph, it is possible to observe the initial peak, which corresponds to the static coefficient of friction. For all the tests, it will only be considered the kinetic friction coefficient.

While testing the exfoliating cream, the microspheres are dragged by the upper contact surfaces, and the friction coefficient is higher and the torque versus time graphical output denotes some variations.

The friction coefficient of the silicone rubber, in a dry situation, is within the range of the friction coefficient obtained by Cottenden studies [4], regarding the friction coefficient of the forearm skin. However, as it was expected, it was observed that the friction coefficient obtained with the silicone rubber is always higher than the one obtained with the exfoliating and moisturizing creams. The exfoliating cream presents, nevertheless, the lower coefficient of friction.

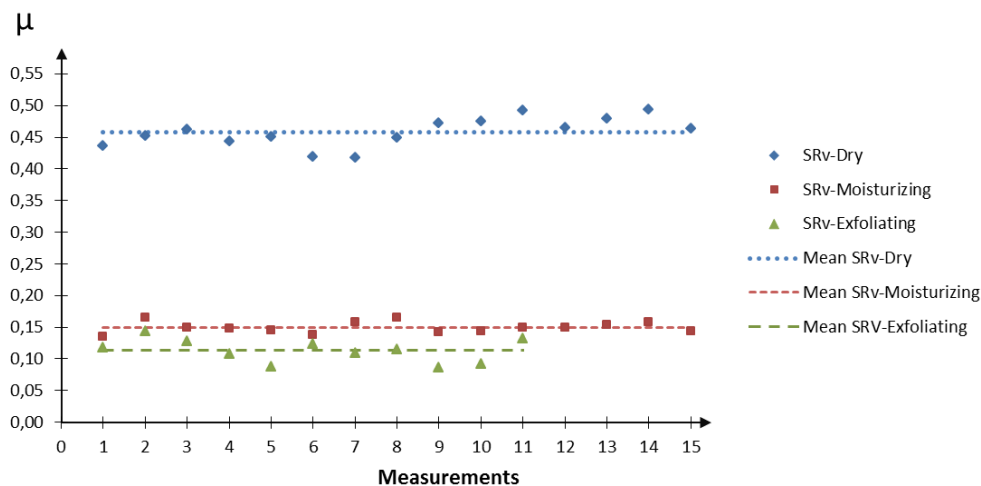


Figure 9 – Preliminary results of the kinetic friction coefficient obtained for cosmetic creams

Figure 9 display the results obtained in this phase of tests. The exfoliating cream, due to its properties, has been difficult to evaluate, and at this stage only some results have been acquired.

One of the limitations of these tests is the deposition of a desired quantity of cream. Although a specific spatula was used to spread the cream and to avoid an excess amount in the rubber surface, the total amount available for the test is dependent on the pressure exerted by the spatula: when the pressure is high, the film cream breaks up, and the torque sensor not only measures the friction of the cream as well as the friction of the silicone rubber (this effect is verified for both tested creams); when the pressure is reduced, a prominently cream film is deposited on the rubber surface and some (if not many) microspheres are removed from the film. When this happens, and due to the reduced viscosity of the exfoliating cream, it generates a (very) lower friction that the torque sensor cannot measure.

5. Conclusions

Using a testing device that was commonly used to measure the friction coefficient of fabrics, some new components design was carried out to accommodate a new function to measure the friction coefficient of cosmetic creams.

Using the moisturizer cream, the mean kinetic friction coefficient measured remained almost unchanged throughout all experiments. The same is applied to the friction coefficient measured for the silicone rubber in a dry situation.

In global terms, it was observed that the kinetic friction coefficient of the silicone rubber is always higher than the friction coefficient obtained with the moisturizer cream, being the latter, despite all limitations, higher than the one obtained with the exfoliating cream. The kinetic friction coefficient obtained with the silicone rubber is 0.46, while for the moisturizer cream is 0.15, and for the cream exfoliating is 0.11.

Future work will be based on the design and development of a proper and adequate system to deposit and spread the cream on the active silicone rubber surface, and new systematic experiments will be carried out.

References

1. M.Lima, L.F.Silva, R.Vasconcelos, J.Martins, L.Hes, "FRICTORQ, Tribómetro para Avaliação Objectiva de Superfícies Têxteis", IBERTRIB, 2005.
2. K.Kusakari, M.Yoshida, F.Matsuzaki, T.Yanaki, H. Fukui, M.Date, "Evaluation of post-application rheological changes in cosmetics using a novel measuring device: Relationship to sensory evaluation", *J. Cosmet. Sci.*, **54**, 321-333 (2003).
3. K.Horiuchi, A.Kashimoto, R.Tsuchiya, M.Yokoyama, K.Nakano, "Relationship between tactile sensation and friction signals in cosmetic foundation", *Tribol Lett* **36**, 113-126 (2009).
4. A.M.Cottenden, W.K.Wong, D.J.Cottenden, A.Farbrot, "Development and validation of a new method for measuring friction between skin and nonwoven materials", *J. Engineering in Medicine*, **5**, 222-236 (2008).

Anexo Digital – Desenhos técnicos