



**FCTUC** FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

## **Estudo das condições de contacto com atrito envolvendo a pele humana**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**Edgar Filipe de Matos Fernandes**

**Orientador**

**Prof. Amílcar Lopes Ramalho**

**Júri**

**Presidente** Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro

**Vogais** Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho

Professora Doutora Cândida Maria dos Santos Pereira

Professor Doutor José Domingos Moreira da Costa

**Coimbra, Setembro, 2010**

“Os trabalhos escolares são provas para o carácter, não para a inteligência.  
Quer se trate de ortografia, de poesia ou de cálculo, está sempre em causa aprender a  
querer”.

Alain, em *Les Idées et les Âges*, 1927.

*Aos meus pais e aos meus irmãos.*

## Agradecimentos

Este espaço destina-se a agradecer a todas as pessoas que contribuíram directa ou indirectamente para a realização deste trabalho, pelo que expresso aqui o meu agradecimento em particular:

Ao Senhor Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho, pela dedicação na orientação, pela paciência, pelo brio e rigor de trabalho que tentou transmitir-me, pelos ensinamentos, pela disponibilidade constante, pelo encorajamento e boa disposição.

Aos Engenheiros Mestres Peter Szekeres e Luis Figueiredo por toda a amizade, apoio e suporte que me porporcionaram ao longo deste trabalho.

Ao grupo de Construções Mecânicas, pela forma como me recebeu no seu laboratório, por ter colocado à disposição todos os equipamentos e instalações.

A todos os meus amigos e colegas pelo apoio, pelo equilíbrio que me proporcionaram atingir, pela amizade, ajuda e todos os momentos de alegria e folia.

Aos meus Pais e aos meus irmãos, porque sem eles nada disto seria possível, o muito obrigado pelo apoio incondicional e confiança depositada.

Por último, mas não menos importante, à Margarida por tudo, por todo o apoio, encorajamento e confiança que depositou e deposita em mim.

A todos um **MUITO OBRIGADO**.

## Resumo

As características da pele variam significativamente ao longo do corpo humano, portanto, ser capaz de medir o coeficiente de atrito em todas as regiões do corpo humano, levou a que se desenvolvesse um equipamento de medição portátil de accionamento manual. O equipamento é baseado num sensor de força multi-componente em que as forças normais e tangenciais podem ser medidas para determinar o coeficiente de atrito.

O presente trabalho pretende medir o coeficiente de atrito da pele humana contra diferentes tipos de tecidos. No âmbito desta dissertação foram estudados cinco tecidos e foi avaliado o atrito num grupo de 19 indivíduos.

O coeficiente de atrito entre a pele e os tecidos é afectado por vários factores como a humidade, o tecido propriamente dito e, naturalmente, as propriedades da pele.

Para estimar o efeito da rugosidade da superfície da pele, foi desenvolvida uma ponta de prova baseada num sensor piezoelétrico de vibração. O sensor detecta a vibração ao ser deslizado ao longo de uma superfície. A vibração tangencial provocada pelas forças de contacto é usada como complementaridade entre as características da superfície e as propriedades do atrito medido mecanicamente. Além do atrito e vibração, a perda de água transepidérmica (TEWL) foi também avaliada.

A relação afectiva entre a pele humana e um material não depende apenas das propriedades dos materiais de contacto, mas também da percepção individual das características dos mesmos materiais de contacto. Para avaliar as diferentes percepções/sensações ao toque, foi criado um questionário em que era pedido para se quantificar as seguintes propriedades dos tecidos: suave – áspero, macio – duro, escorregadio – adesivo, quente – frio e agradável ao toque: muito – pouco.

Comparando os resultados das respostas aos questionários com os valores de atrito medidos foi possível ter uma ideia da relação entre as sensações tácteis e o atrito.

Quanto ao estudo da vibração como complemento do atrito, não foi possível efectuar nenhuma correlação. Contudo, foi estudada a resposta mecânica do sensor na tentativa de entender as razões pelas quais não foi possível relacionar os dois fenómenos.

**Palavras-chave:** Pele humana, biotribologia, atrito, vibração, tãxteis.

## Abstract

The skin characteristics varies significantly along the human body; thus, to be able to measure the corresponding friction coefficient in every point of the human body a portable and easily useable measuring probe is indispensable. The developed probe is based on a multi-component force sensor whereby the normal and tangential forces could be measured to determine the friction coefficient.

This study aims to measure the friction coefficient of human skin against different type of fabrics. This dissertation is based in the friction analysis of five different types of fabrics in a group of 19 people.

The friction coefficient between the skin and fabrics is affected by several factors such as humidity, the fabric itself and, of course, the properties of the skin.

To estimate the effect of the skin surface roughness, a probe based on a piezoelectric vibration sensor was developed. The sensor detects the vibration during a slid along a surface. The vibration caused by the tangential contact forces, is used as a complementarity between the surface characteristics and properties of friction measured mechanically. In addition to friction and vibration, transepidermal water loss (TEWL) was also evaluated.

The affective relationship between human skin and a material depends not only on the properties of contact materials, but also on the subjective perception of the contact materials. To evaluate the tactile perception when people touches a textile a questionnaire was used to quantify the following aspects of fabrics: smooth - rough, soft - hard, slippery - adhesive, hot - cold and pleasant to the touch: a lot - little. Comparing the results of the questionnaire with the measured values of friction was possible to have an idea of the relationship between tactile sensations and the friction.

Unfortunately any correlation between vibration and friction was achieved by the present study. However, in order to understand the reason why these two phenomena could not be related, the mechanical response of the sensor was analyzed.

**Keywords** Human skin, biotribology, friction, vibration, textiles.

## Índice

Índice de Figuras .....	v
Índice de Tabelas .....	vii
Simbologia e Siglas .....	viii
Simbologia.....	viii
Siglas .....	viii
1. Introdução .....	1
1.1. Motivação do tema.....	2
1.2. Organização da dissertação.....	3
1.3. Anatomia e função da pele humana .....	4
1.3.1. Estrutura e função .....	4
1.3.2. Epiderme.....	6
1.3.3. Derme .....	8
1.3.4. Subcutâneo .....	8
2. Revisão Bibliográfica .....	9
2.1. Introdução .....	9
2.2. Estudos de atrito da pele humana .....	9
2.3. Estudos de vibração da pele humana .....	16
3. Trabalho Experimental .....	19
3.1. Sumário .....	19
3.2. Materiais usados e partes anatómicas estudadas.....	20
3.2.1. Materiais usados .....	20
3.2.2. Zonas anatómicas estudadas.....	22
3.3. Equipamento usado nos testes .....	23
3.3.1. Equipamento portátil para medição de atrito da pele .....	23
3.3.2. As pontas de prova .....	25
3.4. Os questionários efectuados.....	27
3.5. Metodologias e procedimentos experimentais.....	28
3.5.1. Processo de medição.....	28
3.5.2. Metodologia de cálculo da <i>w</i> nda PPV .....	30
3.5.3. Protocolo de ensaio.....	32
4. Análise e Tratamento de Dados.....	33
4.1. Análise de dados de atrito pele – têxtil .....	33
4.2. Análise de dados de Vibração .....	34
5. Apresentação e Discussão de Resultados .....	39
5.1. Resultado de atrito pele – têxtil .....	39
5.2. Resultados de vibração .....	44
6. Conclusões e Perspectivas de Trabalhos Futuros .....	53
7. Referências Bibliográficas.....	56
Anexo A.....	60
Anexo B.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura da pele humana. ....	6
Figura 2. Gama de coeficientes de atrito obtidos por vários autores. ....	10
Figura 3. Têxteis usados nos testes de contacto pele – têxteis. A – Lã; B – Poliéster; C – Poliamida; D – Seda; F – Algodão. ....	20
Figura 4. Produto aplicado para tirar réplicas da topografia da pele. ....	21
Figura 5. Regiões anatómicas estudadas e respectivas ampliações; à esquerda o antebraço e à direita a palma da mão. ....	22
Figura 6. Equipamento portátil (Sonda). ....	23
Figura 7. Rectas de calibração da célula de carga. Em abcissas representa-se a força aplicada na célula e em ordenadas a tensão medida na saída do amplificador. (a) – Direcção tangencial, X; (b) – Direcção normal, Z. ....	24
Figura 8. Ponta de prova usada nos ensaios do contacto pele-têxteis. ....	25
Figura 9. Ponta de prova de medição de vibração. À esquerda o modelo desenvolvido em computador. À direita o modelo real construído. ....	25
Figura 10. Material piezoelétrico. A imagem da esquerda representa um cristal de quartzo e a imagem da direita representa o princípio de funcionamento de uma placa piezoelétrica do tipo <i>bimorph</i> . ....	26
Figura 11. Voluntária durante a realização dos questionários sobre os têxteis. ....	28
Figura 12. Sinal de resposta no tempo da vibração livre da PPV. ....	30
Figura 13. Curva de amplificação dos sinais medidos pela PPV. ....	31
Figura 14. (a)- Evolução típica da força normal e da força de atrito. (b) – Recta de regressão linear correspondente ao coeficiente de atrito, $\mu$ . ....	33
Figura 15. Resposta no domínio do tempo dos sinais medidos pela PPV. ....	35
Figura 16. Análise FFT. (a) – Resposta no domínio do tempo. (b) – Divisão da resposta no domínio do tempo nas várias sinusoidais que a constituem. (c) – Espectro de resposta no domínio da frequência (FFT). ....	36
Figura 17. Espectros obtidos na análise FFT. (a) – Representa o espectro de potência da resposta em frequência. (b) – Representa as nove bandas de oitava na qual foram divididos os espectros do tipo (a). O valor unitário da amplitude destas bandas corresponde à quinta banda de oitava. ....	37
Figura 18. Coeficientes de atrito medidos no antebraço. ....	40
Figura 19. Coeficientes de atrito medidos na palma da mão. ....	41
Figura 20. Respostas dos voluntários aos questionários sobre os têxteis. ....	41
Figura 21. Relação entre os coeficientes de atrito medidos e a sensação afectiva dos voluntários sobre os tecidos. ....	42
Figura 22. Coeficientes de atrito medidos no contacto pele-vidro. ....	45
Figura 23. Coeficiente de atrito Vs. TEWL. ....	46
Figura 24. Esquema representativo da solicitação da PPV. ....	49
Figura 25. Cortes transversais das réplicas tiradas em cada parte anatómica. (a) – antebraço; (b) – palma da mão. ....	50
Figura 26. Esquema do modelo de previsão construído para a solicitação esperada da PPV. ....	51
Figura 27. Efeito do atrito na resposta em frequência da PPV. ....	52

---

Figura 28. Microscópio óptico. ....	60
Figura 29. Osciloscópio digital <i>Pico</i> ® ADC - 216 .....	61
Figura 30. Placa de conversão analógica digital A/D National Instruments USB 6009. ....	62
Figura 31. Efeito cruzado da sonda. ....	63
Figura 32. Procedimento experimental de medição da rigidez relativa. ....	65
Figura 33. Carga normal obtida no procedimento ilustrado na figura 32.....	66



---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Temperatura e humidade relativa do espaço envolvente durante os testes. ....	29
Tabela 2. Coeficientes de atrito medidos e os correspondentes intervalos de confiança para uma probabilidade de 95% de ocorrência.....	39
Tabela 3. Valores de TEWL medidos nas regiões anatómicas estudadas. ....	44
Tabela 4. Padrões de variação do coeficiente de atrito e da frequência obtidos nos homens. ....	47
Tabela 5. Padrões de variação do coeficiente de atrito e da frequência obtidos nas mulheres. ....	47
Tabela 6. Frequências de resposta da PPV na direcção tangencial para os comprimentos de onda tipicamente medidos nas regiões anatómicas estudadas.....	50
Tabela 7. Características do osciloscópio.....	61
Tabela 8. Erros de medida em função do coeficiente de atrito.....	64

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$K$  – Constante de mola

$c$  – Coeficiente de amortecimento viscoso

$\omega$  – Velocidade angular

$\omega_n$  – Frequência própria de vibração

$\omega_a$  – Frequência de vibração do sistema amortecido

$f$  – Frequência

$T$  – Período

$t$  – Tempo

$\dot{x}$  – Velocidade

$\lambda$  – Comprimento de onda

$\varphi$  – Factor de amortecimento

$\alpha$  – Ângulo de inclinação da sonda

$\mu$  – Coeficiente de atrito

$\mu_r$  – Coeficiente de atrito real

$\mu_m$  – Coeficiente de atrito medido

### Siglas

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra

PP – Ponta de prova

PPT – Ponta de prova de têxteis

PPV – Ponta de prova de vibração

PVC – Cloreto de polivinila

TEWL – Transepidermal Water Loss

UV – Ultra Violeta

## 1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação insere-se no curso de Engenharia Mecânica e tem como objectivo fazer uma avaliação final da aptidão para a obtenção do grau de Mestre. O objectivo desta dissertação é caracterizar o comportamento tribológico da pele humana em variadas partes do corpo, nomeadamente, a palma da mão e o antebraço.

"Tribologia" deriva das palavras gregas clássicas *τρίβω* e *λόγος*, e significa literalmente traduzida como "ciência de atrito". A tribologia da pele humana atrai actualmente um crescente interesse científico, porque os mecanismos físicos subjacentes são ainda fragmentariamente entendidos. Além disso, a tribologia desempenha um papel bastante importante em várias acções em que a pele humana está em contacto directo com materiais externos, a fricção elevada é muitas vezes a causa de irritações na pele, abrasões ou até mesmo lesões.

O atrito é um fenómeno físico omnipresente na vida quotidiana, este permite-nos desempenhar variadas tarefas do dia-a-dia sem sequer darmos conta, como por exemplo, virar o volante do carro, segurar um copo na mão. O desenvolvimento de bolhas durante actividades desportivas ou a utilização cautelosa de lâminas durante o barbear da manhã é um exemplo notável desse facto.

Além disso, a vibração é um factor complementar na avaliação ao toque e na percepção sensorial no processo decisivo, em especial na determinação do conforto de vestuário, têxteis e outros bens de consumo em contacto directo com a nossa pele, daí a importância do seu estudo como complementaridade dos estudos de atrito da pele humana, para uma melhor compreensão da nossa percepção ao toque e da nossa sensação de conforto.

## 1.1. Motivação do tema

A pele humana é um “tecido” muito interessante e com comportamentos bastantes complexos. Estudar a pele humana é não só estudar as suas propriedades como também a sua resposta quando sujeita a diferentes solicitações e condições.

Existe um crescente interesse entre os fabricantes de bens de consumo para relacionar as propriedades físicas de um produto com a resposta emocional/sensorial do consumidor ao usar/sentir esse produto recorrendo ao toque. Os fabricantes procuram saber acerca das relações afectivas das pessoas ao manusearem materiais com diferentes propriedades, topografias e texturas. Esta informação é essencial para poderem produzir materiais com superfícies agradáveis ao toque e que provoquem no consumidor, emoções congruentes com uma determinada marca de produto e ou um determinado tipo de material.

Também a indústria cosmética tem investido no estudo do comportamento da pele humana, de forma a desenvolverem novos produtos (cremes hidratantes, por exemplo) que satisfaçam as exigências dos consumidores.

Perceber como e porquê as pessoas têm diferentes respostas afectivas aquando do toque numa determinada superfície ou textura é difícil. A tentativa de explorar e melhor compreender estas diferenças sensoriais e afectivas das pessoas ao toque, serviu de motivação para a presente dissertação. Esta incide assim no estudo de contacto com atrito envolvendo a pele humana em contacto com diferentes materiais (têxteis) e também, na complementaridade desse estudo recorrendo a uma nova abordagem que vem sendo estudada nos últimos tempos e tem mostrado poder ser uma boa complementaridade aos estudos de atrito, o estudo da vibração que ocorre durante o contacto com a pele humana.

## 1.2. Organização da dissertação

Para uma melhor compreensão da presente dissertação, far-se-á neste subcapítulo uma breve descrição dos objectivos e da estrutura deste trabalho.

O objectivo do trabalho consiste em estudar o comportamento da pele humana em contactos com atrito. A concretização do estudo implicou a definição de procedimentos adequados à realização dos ensaios e o desenvolvimento de um equipamento para o estudo da resposta em vibração da pele como complementaridade dos mecanismos de medição de atrito já existentes. Paralelamente, no decurso desta tese foram estudados contactos pele – têxteis.

Definido o procedimento dos ensaios, e desenvolvidos os equipamentos necessários, foram estudados 5 têxteis em contacto com duas partes do corpo (palma da mão e antebraço). Os testes foram realizados em 19 voluntários, aos quais era também pedido para responderem a um questionário sobre as suas sensações afectivas em relação aos têxteis estudados, a fim de se poder comparar os resultados obtidos por atrito com as respostas dos voluntários. Foi também medida e analisada a resposta em vibração da pele para todos os voluntários e em ambas as localizações anatómicas.

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos distintos. Neste primeiro capítulo além da introdução e motivação do tema, é também feita uma descrição da estrutura e propriedades da pele humana. No segundo capítulo é feita a revisão bibliográfica dos estudos desenvolvidos por vários autores nos últimos anos. Este capítulo encontra-se dividido em duas partes, os estudos realizados incidindo no atrito da pele e os estudos que incidiram no estudo da vibração da pele humana.

O capítulo 3 inclui a descrição do trabalho experimental realizado, onde se encontra o tipo de abordagem feita neste estudo, os materiais usados bem como as partes anatómicas estudadas, todo o equipamento usado e desenvolvido ao longo da dissertação e por fim, são apresentadas as metodologias de medição, os inquéritos realizados e o protocolo de ensaio proposto.

No capítulo 4, é feita a análise e o tratamento dos dados obtidos. O capítulo encontra-se dividido em duas partes, a primeira onde se expõem a análise dos dados das medições de atrito pele – têxteis e dos questionários utilizados, a segunda referente à análise dos dados obtidos com o sensor de vibração.

O capítulo 5 encontra-se dividido da mesma forma forma que o capítulo 4, a primeira parte incide sobre o contacto com atrito pele – têxteis, onde se apresentam, discutem e comparam os resultados obtidos mecanicamente com as respostas dos voluntários aos questionários. Na segunda parte serão apresentados e discutidos os dados de vibração e será exposto um modelo que possa explicar os resultados obtidos nesta abordagem.

No capítulo 6 são resumidas as conclusões globais deste trabalho e apresentadas sugestões para futuros trabalhos.

### **1.3. Anatomia e função da pele humana**

Para entender as funções e características específicas da pele, seguidamente far-se-á uma breve introdução às características anatómicas da pele, que é uma tradução da informação contida em vários sítios Web (Ribeiro, 2007 e Wikipedia, 2010).

#### **1.3.1. Estrutura e função**

O nome anatómico da pele é *cútis*. Sendo o maior órgão do corpo humano, corresponde a 15% do peso corporal, cobrindo quase todo o corpo à excepção dos orifícios genitais e alimentares, olhos e superfícies mucosas genitais. É um órgão muito mais complexo do que aparenta. A sua função principal é a protecção do organismo das ameaças externas físicas e químicas. No entanto ela tem também funções imunitárias, é o principal órgão da regulação do calor e protege contra a desidratação. Tem também funções nervosas, constituindo o sentido do tacto, e metabólicas, como a produção da vitamina D.

A pele tem três camadas, a epiderme, a derme e a hipoderme subcutânea (tecnicamente externa à pele mas a ela relacionada funcionalmente). Há ainda vários órgãos anexos, como folículos pilosos, glândulas sudoríparas e sebáceas, ou, noutras espécies animais, penas, escamas e cascos. A pele é praticamente idêntica em todos os grupos étnicos humanos. Nos indivíduos de pele escura, os melanócitos produzem mais melanina que naqueles de pele clara.

A epiderme segrega proteínas e lípidos (a principal, é a queratina) que protegem contra a invasão por parasitas, previnem contra a injúria mecânica em geral e por atrito.

Nesta prevenção é fundamental a acção do tecido conjuntivo da derme, no qual os fibrócitos depositam proteínas fibrilares, como os colagénios e a elastina, com propriedades de resistência à tracção e elasticidade. A melanina produzida na pele pelos melanócitos protege contra a radiação, principalmente UV, e quando é produzida em quantidades elevadas produz o bronzeamento da pele.

Uma das funções vitais da pele é a protecção contra a desidratação. Os seres humanos como animais terrestres, necessitam de proteger os seus corpos, maioritariamente compostos por água, contra a evaporação excessiva, a desidratação, e o subsequente choque hipovolémico (pouco volume de sangue devido à perda de água) e morte, que seriam inevitáveis num meio seco e quente. É comum que as vítimas de queimaduras graves, possam morrer de choque hipovolémico se perderem extensas superfícies cutâneas. A pele protege da desidratação por dois mecanismos, as junções celulares como *tight junctions* e desmossomas que dão coesão às células da epiderme e a sua superfície contínua de membrana lipídica que impede a saída de água (que não se mistura com os lípidos).

A pele também é o principal órgão da regulação da temperatura corporal através de diversos mecanismos. Os vasos sanguíneos subcutâneos contraem-se com o frio e dilatam-se com o calor, de modo a minimizar ou maximizar as perdas de calor. Os folículos pilosos têm músculos que produzem a sua erecção com o frio (pele de galinha), aprisionando bolhas de ar estático junto à pele que retarda as trocas de calor - um mecanismo mais eficaz nos nossos antepassados mais peludos. A presença de tecido adiposo (gordura) subcutâneo também protege contra o frio, uma vez que a gordura é má condutora de calor. As glândulas sudoríparas segregam líquido aquoso cuja evaporação diminui a temperatura superficial do corpo.

A pele é um órgão importante do sistema imunitário. Ela alberga diversos tipos de leucócitos. Há linfócitos que regulam a resposta imunitária e desenvolvem respostas específicas; células que apresentam antigénio (histiócitos ou células de Langerhans) recolhem moléculas estranhas (possíveis invasores) e as levam para os gânglios linfáticos onde as apresentam aos linfócitos CD4+; mastócitos envolvidos em reacções alérgicas de luta contra parasitas.

As funções metabólicas da pele são bastante importantes. É neste órgão que é produzida, numa reacção dependente da luz solar, a vitamina D, uma vitamina essencial para o metabolismo do cálcio e portanto na formação/manutenção saudável dos ossos. A

pele é também um órgão sensorial, constituindo o sentido do tacto. Ela apresenta numerosas terminações nervosas, algumas livres, outras com comunicação com órgãos sensoriais especializados, como as células de Merckel e os folículos pilosos. Tem ainda a capacidade de detectar sinais que criam as percepções da temperatura, movimento, pressão e dor. A imagem da Figura 1 ilustra esquematicamente a estrutura da pele humana.

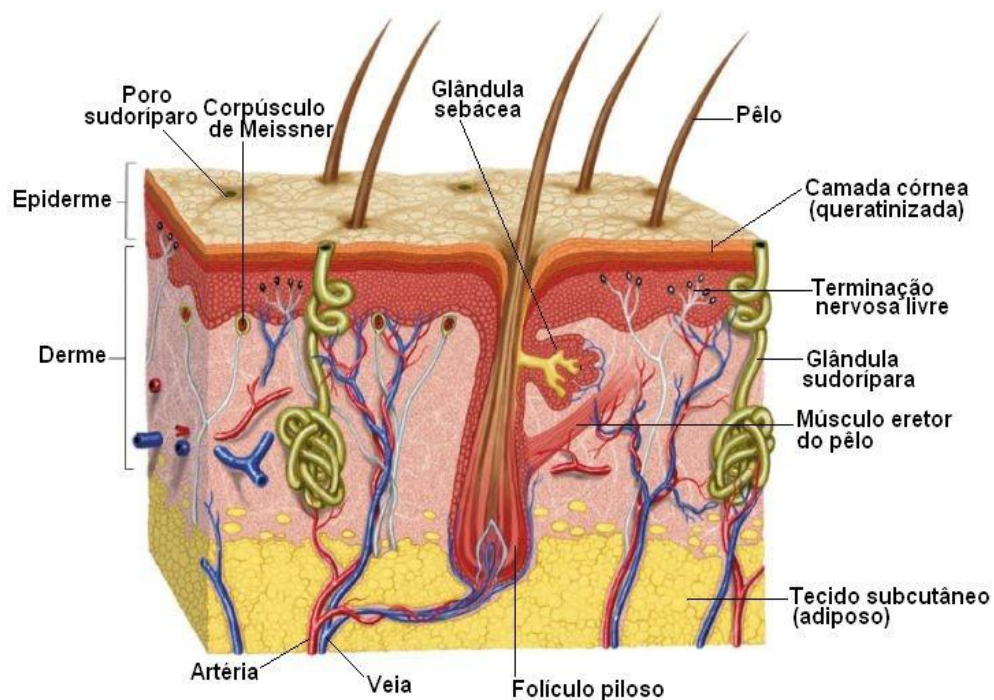


Figura 1. Estrutura da pele humana.

### 1.3.2. Epiderme

A epiderme é uma camada com profundidade diferente conforme a região do corpo. Zonas sujeitas a maior atrito, como palmas das mãos e pés, têm uma camada mais grossa que chega até 2 mm de espessura. A epiderme é constituída por um epitélio estratificado pavimentoso (achatado) queratinizado (células escamosas em várias camadas). A célula principal é o queratinócito (ou ceratinócito), que produz a queratina. A queratina é uma proteína resistente e impermeável responsável pela protecção. Existem também ninhos de melanócitos (produtores de melanina) e células imunitárias, principalmente células de Langerhans, com prolongamentos membranares. A epiderme não possui vasos sanguíneos, porque se houvesse vasos na epiderme ela ficaria mais sujeita a ser "penetrada" por



microorganismos. Os nutrientes e oxigénio chegam à epiderme por difusão a partir de vasos sanguíneos da derme.

A epiderme apresenta várias camadas. A origem da multiplicação celular é a camada basal (camada mais profunda) que se encontra em contacto com a derme. Todas as outras são constituídas de células cada vez mais diferenciadas, que com o crescimento basal vão ficando cada vez mais periféricas, acabando por descamar e cair (uma origem importante do pó que se acumula nos locais onde vivem pessoas ou animais).

Camada basal: é a mais profunda, em contacto com a derme, constituída por células cúbicas pouco diferenciadas que se dividem continuamente, dando origem a todas as outras camadas. Contém muito pouca queratina. Algumas destas células diferenciam-se e passam para as camadas mais superficiais, enquanto outras permanecem na camada basal e continuam a se dividir.

Camada espinhosa: células cúbicas ou achatadas com mais queratina que as basais. Começam a formar junções celulares umas com as outras, como desmossomas.

Camada granulosa: células achatadas, com grânulos de queratina proeminentes e outros como substância extracelular e outras proteínas (colagénios).

Camada lúcida: células achatadas hialinas eosinófilas devido a grânulos proteicos muito numerosos. Estas células libertam enzimas que as digerem. A maior parte já está morta (sem núcleo). Estão presentes na pele sem folículos pilosos.

Camada córnea: constituída de células achatadas eosinófilas sem núcleo (mortas) com grande quantidade de filamentos, principalmente queratinas.

A junção entre a epiderme e a derme tem forma de papilas, que dão maior superfície de contacto com a derme e maior resistência ao atrito.

Além das camadas já identificadas, a pele tem órgãos anexos, como os folículos pilosos, que produzem uma estrutura maciça queratinizada, o pêlo, que é produzido por células especializadas na sua raiz, constituindo o bulbo piloso. Tem músculo liso erector e terminações nervosas sensitivas associadas. Os folículos pilosos dos bigodes de alguns animais como o gato são altamente especializados como órgãos dos sentidos.

### 1.3.3. Derme

A derme é um tecido conjuntivo que sustenta a epiderme. É constituído por elementos fibrilares, como o colágeno e a elastina e outros elementos da matriz extracelular, como proteínas estruturais, glicosaminoglicanos, iões e água de solvatação. Os fibroblastos são as células envolvidas com a produção dos componentes da matriz extracelular.

- A derme é subdividida em duas camadas: a camada papilar em contacto com a epiderme, formada por um tecido conjuntivo frouxo, e a camada reticular, constituída por tecido conjuntivo denso não modelado, onde predominam as fibras colagenosas. É na derme que se localizam os vasos sanguíneos e linfáticos, que vascularizam a epiderme, e também os nervos e os órgãos sensoriais a eles associados. Estes incluem vários tipos de sensores, nomeadamente:
  - Corpúsculo de Vater-Pacini, sensíveis à pressão.
  - Corpúsculo de Meissner com função de detecção de pressões de frequência diferente.
  - Corpúsculo de Krause, sensíveis ao frio (pele glabra).
  - Órgão de Ruffini, sensíveis ao calor.
  - Célula de Merckel, sensíveis a tacto e pressão.
  - Folículo piloso, com terminações nervosas associadas.
  - Terminação nervosa livre, com dendritos livres sensíveis à dor e à temperatura.

### 1.3.4. Subcutâneo

Tecnicamente o tecido subcutâneo já não faz parte da pele. É constituído por um tecido adiposo que nos protege contra o frio, como referido anteriormente. É um tecido conjuntivo frouxo ou adiposo que faz conexão entre a derme e a fáscia muscular. A camada de tecido adiposo é variável com a pessoa e a localização. Tem como funções: reservatório energético; isolante térmico; modelador da superfície corporal; absorção de choque e fixação dos órgãos.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Introdução**

Neste capítulo apresentam-se os resultados da pesquisa bibliográfica realizada sobre algumas investigações relacionados com o tema da presente dissertação. O objectivo é, conseguir dar uma visão geral, embora sumária, dos resultados obtidos até à presente data em trabalhos relacionados com o tema em estudo.

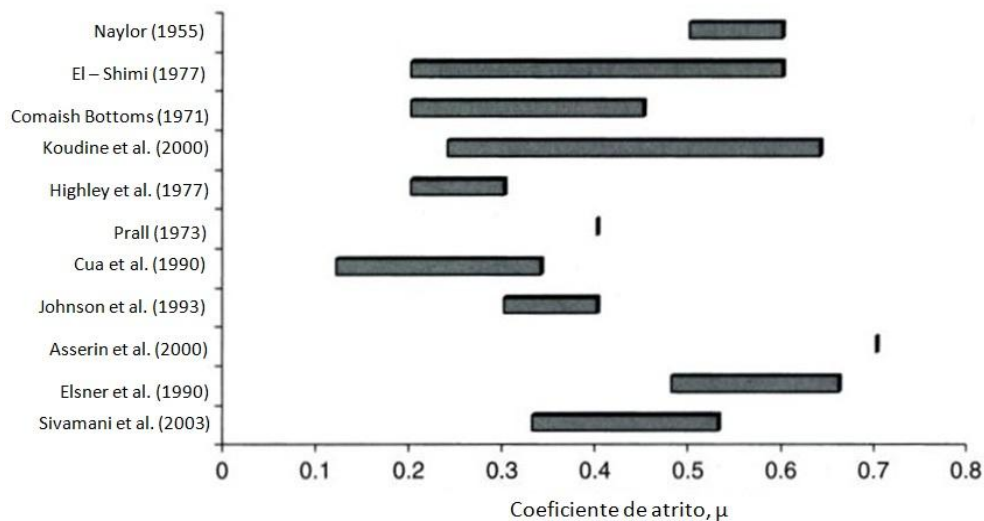
Embora este seja um tema relativamente recente e não muito explorado, existem já vários trabalhos experimentais muito interessantes que motivaram a realização desta dissertação. Na seguinte revisão far-se-á, de início, uma abordagem sobre vários aspectos, já estudados, que têm influência no atrito da pele e no fim dar-se-á relevância aos trabalhos que introduziram a vibração no estudo do comportamento da pele humana.

### **2.2. Estudos de atrito da pele humana**

O atrito é uma característica importante da pele, permite-nos executar muitas das nossas tarefas diárias, tais como segurar um copo na mão ou virar o volante de um carro por exemplo. Os estudos de atrito podem mostrar variados aspectos da pele humana, como por exemplo, a alteração das características da pele com a idade, género, raça, parte do corpo e reacções a aplicações médicas e químicas. Estes estudos podem ser realizados recorrendo a métodos não invasivos e podem informar sobre o estado da saúde da pele, como a hidratação ou desidratação por exemplo. Todas estas informações são úteis para uma melhor compreensão “mecânica” da pele e das suas alterações quando sujeita a diferentes condições.

Recentemente foi publicada uma revisão bibliográfica por Sivamani et al. (2005), acerca dos estudos de atrito realizados por vários autores até à data da publicação. Nestes estudos, os ensaios foram realizados aplicando uma carga normal constante durante os testes. Os valores de atrito obtidos foram, no entanto, bastante variáveis. Segundo a revisão

de Sivamani et al. (2005), a maioria dos coeficientes de atrito dinâmico medidos encontrava-se numa gama de valores entre 0,2 e 0,5 (figura 2).



**Figura 2.** Gama de coeficientes de atrito obtidos por vários autores.

Vários estudos têm também sido feitos para qualificar o comportamento tribológico da pele mediante a variação de alguns aspectos, tais como, a região anatómica do corpo, género, idade, etnia e uso de hidratantes ou lubrificantes.

Os estudos sobre lubrificantes, emolientes e hidratantes têm um papel importante no desenvolvimento de produtos cosméticos e de outros produtos que fazem a pele parecer e “sentir-se” mais saudável.

O efeito inicial verificado com o uso de óleos lubrificantes é um abaixamento do coeficiente de atrito (El-Shimi, 1977; Highley et al., 1977; Nach et al., 1981). Porém Highley et al. (1977) e Nach et al. (1981) observaram que, apesar do decremento inicial do atrito com o uso deste tipo de produtos, ao fim de algum tempo (algumas horas) o coeficiente de atrito da pele aumentava.

Quanto ao uso de hidratantes, vários estudos revelaram que existia um aumento do coeficiente de atrito com o uso de hidratantes (Sivamani et al., 2005). A maioria dos estudos de hidratação foram realizados numa zona de hidratação intermédia, ou seja, a pele foi hidratada sem se verificar um efeito de escorregamento causado por uma possível camada de água sobre a pele (Sivamani et al., 2005).

A etnia, idade, género e região anatómica têm também sido abordados nos últimos tempos, contudo, os resultados quanto à etnia e género não são muito conclusivos (Cua et al., 1995; Manuskiatti et al., 1998; Sivamani et al. 2003).

Cua et al. (1990, 1995), Elsner et al. (1990) e Sivamani et al. (2003), verificaram que o coeficiente de atrito varia consoante a parte do corpo. Cua et al. (1990, 1995) verificou que existia um coeficiente de atrito maior na testa que no abdómen. Elsner et al. (1990) obteve valores superiores de atrito na zona vulvar comparativamente com o antebraço.

Em 1992 Hatch et al. (1992), publicaram um estudo sobre os métodos de avaliação da resposta da pele devido ao contacto estático com tecidos em termos de alterações no fluxo sanguíneo capilar e hidratação da pele. Outros estudos investigaram a influência do atrito da pele sobre a percepção da textura do tecido e simpatia numa sequência de condições ambientais do neutro para quente – seco e quente – húmido, e concluíram que a humidade da pele aumentava o atrito (Gwosdow et al., 1986). O estudo de Kenins (Kenins, 1994) destaca o efeito do tipo de fibra e da humidade sobre o atrito da pele em contacto com o tecido. Os estudos de Knapik, et al. (Knapik et al., 1995) mostraram que as bolhas que resultam na superfície da pele por acção de forças de atrito eram, de facto, as células epidérmicas separadas mecanicamente ao nível da camada espinhosa, quando a área resultante da separação era preenchida com fluido. Por outro lado, Zhang e Mak (Zhang e Mak, 1999) analisaram os efeitos do atrito da pele em contacto com cinco materiais têxteis diferentes e descobriram que os coeficientes de atrito variaram de 0,37 (nylon /pele) para 0,61 (silicone / pele).

Em 2009, Ramalho apresentou um estudo sobre o efeito da humidade do espaço ambiente no contacto com atrito entre a pele e cinco têxteis. Verificou que, para as cargas normais aplicadas nos ensaios, entre 0 e 30 – 50 N, o modelo linear de Amontons – Coulomb era aplicável e que em todos os têxteis, excepto no algodão, existia uma diminuição do coeficiente de atrito quando a humidade variava de 30 para 50 %, aumentando para valores superiores a 50 %.

Bertaux et al. (Bertaux et al., 2007) estudaram as relações entre o atrito e as sensações tácteis, mas os resultados não foram conclusivos.

A resposta da pele tem também sido investigada através de modelos de simulação numérica. Aplicando métodos numéricos foi possível concluir que as tensões de contacto

desenvolvidas em tecidos moles, como pele de porco, podem aumentar 50% quando se compara a acção das cargas desprezando ou não o efeito do atrito (Wu et al., 2003; Wu et al., 2004) de contacto que descrevam a resposta mecânica não linear da pele humana (Cordier e Thalmann, 2000; Hendriks et al., 2004; Hendriks et al., 2003).

Tem sido feito um esforço significativo de investigação no desenvolvimento de produtos têxteis para proteger a pele contra as lesões por atrito mais comuns. Estes desenvolvimentos levaram a que nos últimos anos aparecessem no mercado os primeiros produtos comerciais ([www.hipsaver.com.au](http://www.hipsaver.com.au); [www.active-textiles.com](http://www.active-textiles.com); PCT/EP2007/057231).

Gee. et al. (2005) desenvolveram um novo sistema de análise de atrito, de forma a analisar a sensação de toque entre a pele e vários materiais e tecidos. Os autores testaram o atrito entre vários materiais em contacto com o dedo ou uma sonda esférica com extremidades de borracha e de aço e comparam os valores obtidos. Observaram que, o contacto com o dedo apresentou um coeficiente de atrito superior ao contacto esfera de borracha, e este por outro lado apresentou um atrito superior ao contacto esfera de aço. Entre os testes realizados, um dos materiais antagonistas foi o papel, para o qual se verificou, no caso de contacto com o dedo, que o coeficiente de atrito ia diminuindo com o aumento das passagens consecutivas do dedo sobre o papel.

Em 2006, na Austrália, os cientistas do CSIRO (Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) reivindicaram a criação de um tecido inovador que baptizaram "segunda pele" feito de lã e lycra para ajudar a proteger o corpo humano contra ferimentos e traumas graves (<http://www.csiro.au/news/ps1pw.html>). A incorporação da chamada tecnologia de "têxteis inteligentes" como "segunda pele" é um campo emergente na biomédica com aplicações na medicina, no desporto, ao nível da segurança no trabalho, em aplicações militares e em serviços hospitalares. Todavia, o maior uso desta tecnologia deverá ser ao nível dos cuidados com idosos e acamados. De acordo com estudos recentes, cerca de 15 por cento das pessoas em lares de idosos que estão sujeitas a cuidados intensivos podem sofrer lesões cutâneas a qualquer momento, justificando-se assim, que nestas situações se apliquem tecidos especiais ([www.hipsaver.com.au](http://www.hipsaver.com.au); [www.active-textiles.com](http://www.active-textiles.com); PCT/EP2007/057231). Gerhardt, L.-C. et al. (Gerhardt et al., 2008) desenvolveram um analisador de atrito têxtil a ser usado no desenvolvimento de produtos têxteis médicos com melhor desempenho e maior eficiência

na prevenção de úlceras de decúbito. No entanto, apesar de diversos estudos e pesquisas, reconhece-se que as interações entre a pele humana e os têxteis, necessita de uma compreensão mais aprofundada de forma a permitir novos desenvolvimentos tanto no domínio técnico como no domínio da saúde.

Recentemente, Ramalho et al. (2006) investigaram o contacto de atrito entre a ponta do dedo e o vidro em 25 indivíduos. Os resultados obtidos apresentaram dois comportamentos distintos. Na maioria dos indivíduos, o coeficiente de atrito apresentou um regime estável. Um segundo grupo de indivíduos apresentou um coeficiente de atrito caracterizado por dois regimes distintos, o primeiro correspondente a cargas normais baixas, onde se verificou um coeficiente de atrito baixo e o segundo correspondente a cargas normais mais elevadas, no qual resultou uma subida súbita do coeficiente de atrito.

Nestes testes foi também medido o TEWL, mas nenhuma relação foi encontrada entre este parâmetro e o atrito. Os autores realizaram ainda um pequeno estudo da rigidez de contacto dedo – vidro para tentar validar a aplicação de um modelo Hertziano, mas os resultados foram inconclusivos.

Em 2007, Ramalho et al. (2007) voltaram a publicar um estudo do contacto entre pele humana e vidro, desta vez estudando duas partes anatómicas, a palma da mão e o antebraço. Neste estudo foi analisado o efeito do uso de hidratantes (vaselina e glicerina) no comportamento de atrito da pele humana.

Os autores concluíram que o atrito variava consoante a parte anatómica. O atrito na palma da mão apresentou um regime de evolução constante com o aumento da carga normal, já o antebraço, apresentou dois regimes distintos com o aumento da carga normal, um para cargas normais baixas e outro para cargas normais mais elevadas.

Quanto ao uso de hidratantes, concluíram que, para ambos os casos (palma da mão e antebraço) o coeficiente de atrito diminuía nos primeiros cinco minutos após a sua aplicação, embora, com um aumento do tempo após a aplicação dos hidratantes, se tenha verificado que o atrito aumentava, e que, para ambas as partes anatómicas, a vaselina tenha apresentado um maior aumento do coeficiente de atrito do que a glicerina.

Apesar de se ter verificado uma variação no TEWL com o uso de hidratantes (em ambas as partes anatómicas) nenhuma relação foi obtida entre este parâmetro e o atrito da pele humana.

Wei Tang et al. (2008) estudaram a influência da carga normal e da velocidade de escorregamento nas propriedades de atrito da pele humana e verificaram existir uma dependência do atrito com a variação da carga normal e da velocidade. Demonstraram que com o aumento da carga normal o coeficiente de atrito aumentava e também que o mesmo se verificava com o aumento da velocidade de escorregamento.

Mattei et al. (2009) desenvolveram um novo método mecânico de caracterização das propriedades físico-químicas da pele humana e as suas variações aquando do contacto com líquidos (água destilada). Mostraram que a camada lipídica presente na superfície da pele era a responsável pelo efeito de adesão da pele. Estudaram também o efeito da aplicação de água destilada nas propriedades da pele e verificaram um aumento do efeito de adesão e do coeficiente de atrito da pele, uns minutos após a aplicação da água destilada.

Derler et al. (2009) fizeram estudos de atrito da pele usando duas partes anatómicas, a ponta do dedo e a parte lateral da mão. Os testes consistiram em deslizar a parte anatómica em questão em duas superfícies de vidro, uma rugosa e outra lisa, em diferentes condições de contacto (os deslizamentos foram feitos tanto com os vidros secos como com os vidros molhados), fazendo aumentar a carga normal, logo a pressão de contacto. Verificaram que o fenómeno de adesão estava presente em todos os casos estudados e que, se os mecanismos de adesão predominassem no contacto, caso da pele em contacto com o vidro liso seco e pele em contacto com vidro rugoso molhado, os coeficientes de atrito eram geralmente altos (tipicamente  $> 1$ ) e decresciam com o aumento da pressão de contacto de acordo com leis de potência, com expoentes tipicamente entre -0,5 e -0,2. Verificaram que a contribuição da deformação visco-elástica da pele para o coeficiente de atrito era relativamente baixa. Nos casos em que a componente de deformação do atrito tinha um papel importante (contacto da pele com vidro rugoso seco), os valores do coeficiente de atrito rondavam os 0,5 e mostravam uma fraca tendência de decrescimento com a carga, caracterizada por expoentes entre -0,1 e 0,2. Observaram ainda que se houvessem condições de lubrificação hidrodinâmica (pele em contacto com vidro liso molhado) os coeficientes de atrito se reduziam drasticamente comparativamente com o atrito em vidro seco, e o seu decrescimento com o aumento da pressão de contacto era caracterizado por expoentes inferiores a -0,7.

Chen et. al. (2009), desenvolveram um estudo sobre materiais para embalagens de



confeitaria. O objetivo foi explorar as percepções tácteis de diferentes texturas e identificar as suas relações com as propriedades físicas das superfícies. Dezoito participantes tocaram, sem ver, em 37 amostras diferentes de superfícies e classificaram-nas (quantitativamente) com as palavras quente-frio, escorregadio-pegajoso, liso-áspero, duro-mole, irregular-liso e molhado-seco. Além disso, foram medidas em todas as superfícies, a rugosidade, a conformabilidade, o atrito e a taxa de arrefecimento.

Os resultados obtidos através de uma análise de correlação mostraram que a percepção do toque é frequentemente associada a mais do que uma propriedade física. Por exemplo, as avaliações das palavras quente-frio, dependeram da conformabilidade e da taxa de arrefecimento da superfície e as avaliações de molhado-seco, dependiam do coeficiente de atrito, da conformabilidade e da rugosidade da superfície. Os modelos de regressão demonstraram como e com que intensidade, o conjunto das contribuições dessas propriedades de superfície influenciam as percepções obtidas. Por exemplo, a percepção do calor de uma superfície encontra-se relacionada com a percepção de maciez e a percepção de secura relaciona-se à percepção da aspereza, alisamento e aderência.

Esse trabalho, desempenhou um importante papel para compreender a relação existente entre as propriedades físicas do material e as respostas afectivas do consumidor, trazendo respostas sobre que tipo de superfície se deve utilizar para causar um determinado impacto afectivo nos consumidores.

Todos os estudos referidos anteriormente mostraram resultados bastantes úteis na compreensão do comportamento tribológico da pele bem como das suas alterações e relações quando os indivíduos são sujeitos a diferentes tipos de acções e/ou condições. São estudos que mostram a importância de um melhor conhecimento das propriedades da nossa pele para se desenvolverem novos produtos e materiais (médicos e desportivos, por exemplo) que contribuam para um maior conforto e bem-estar das pessoas. Esta dissertação visa investigar o atrito da pele em contacto com vários materiais têxteis e também estudar a vibração da pele humana quando submetida a acções de deslizamento.

### 2.3. Estudos de vibração da pele humana

Os trabalhos apresentados de seguida incidiram sobre uma “nova” abordagem nos estudos da pele humana, a abordagem em vibração. A vibração durante o toque é uma das formas de compreensão da nossa percepção e sensibilidade, daí a importância do seu estudo.

O estudo de vibração da pele humana é ainda um tema pouco desenvolvido na actualidade, daí a motivação e interesse por este tipo de abordagem nesta dissertação. De seguida serão apresentados os escassos trabalhos desenvolvidos nesta área.

Em 1982, Lederman et al. (1982) publicaram um estudo interessante sobre a importância da vibração da pele na nossa percepção da textura e rugosidade de um material. Neste estudo, os autores pretendiam verificar se algumas teorias defendidas por outros autores estariam correctas, para tal, desenvolveram um aparato experimental que consistiu em usar um sistema vibratório ao qual se poderiam acoplar materiais com diferentes texturas e rugosidades, que estaria posteriormente em contacto com o dedo médio dos voluntários. Foram usados doze materiais diferentes e 3 voluntários.

O estudo foi dividido em duas experiências. Na primeira experiência, os voluntários tinham o braço imobilizado e o dedo médio era colocado em contacto com o sistema vibratório que iria vibrar em duas frequências, 20 e 250 Hz. Nesta experiência o objectivo era medir a capacidade de adaptação vibro-táctil dos voluntários à medida que se ia aumentando a intensidade de vibração em ambas as frequências em estudo.

Na segunda experiência, era pedido aos voluntários para tocarem, à mão livre, os diferentes materiais, nas mesmas condições de vibração que na primeira fase. O objectivo era perceber qual a influência da vibração na percepção de rugosidade das superfícies.

Na primeira experiência demonstram que a adaptação vibro-táctil selectiva afecta de forma diferente a estimativa de magnitude dos estímulos de teste em baixa e em alta frequência. Quando um estímulo de adaptação de baixa frequência era aplicado ao dedo, o valor percebido por estímulos vibratórios de teste, da mesma frequência, era muito reduzido em comparação com as estimativas correspondentes dos estímulos de teste de alta frequência.

Na segunda experiência foi demonstrado que, as mesmas condições de adaptação vibro-táctil não tinham essencialmente nenhum efeito sobre a percepção da rugosidade das superfícies estudadas, através do toque.

Recentemente, Konyo et al. (2005) apresentaram um método vibro-táctil para conhecer a textura dos materiais, a partir das sensações de aspereza, pressão e atrito. Estas foram caracterizadas através da mudança temporal das frequências e da amplitude de vibração, estimulada pela resposta do movimento do dedo sobre a superfície a estudar.

Os autores desenvolveram um dispositivo que era colocado na ponta do dedo e simulava a resposta da pele humana a várias frequências de estimulação. O dispositivo baseado em actuadores do tipo ICPF (*Ionic Conducting Polymer gel Film*) simulava as frequências de resposta dos vários sensores naturais que se encontram na pele.

Para representar a sensação de pressão (corpúsculos de Merkel) foi utilizado o receptor do tipo SA I (*Slow Adapting Afferents, type 1*), que detecta baixas frequências, inferiores a 5 Hz, para a sensação de rugosidade (corpúsculos de Meissner), foi utilizado um receptor de vibração do tipo FA I (*Fast Adapting Afferents, type 1*), que é sensível a valores medios de frequência, entre aproximadamente 5 e 40 Hz, finalmente, para a sensação de atrito (corpúsculos de Pacini) foi utilizado o receptor FA II (*Fast Adapting Afferents, type 2*) que detecta altas frequências, até cerca de 200 Hz.

Foi montado um aparato experimental que consistiu em ter duas placas, umas com quatro materiais reais e ou com quatro materiais artificiais. Os voluntários colocavam o dispositivo no dedo da mão direita. Com a mão esquerda tocavam os materiais reais e com a direita (com o dispositivo no dedo) tocavam os materiais artificiais. O objectivo era saber se com este dispositivo os autores conseguiriam simular a percepção de textura, rugosidade e atrito através de superfícies artificiais.

Concluíram que, com este aparato experimental, seriam capazes de simular as sensações tácteis transmitidas pela pele quando se usavam contactos com superfícies artificiais com características adequadas.

Mais recentemente, em 2009, Zahouani et al. (2009) publicaram um estudo sobre uma “nova” abordagem sobre os estudos de atrito. Esta abordagem consistia em estudar a pressão acústica emitida durante os testes de atrito como complementaridade da informação obtida por medição directa do atrito, a fim de poder inferir da suavidade ou asperidade da pele.

Neste estudo os autores desenvolveram uma sonda tribo – acústica capaz de medir o nível de pressão sonora emitida durante os testes de atrito realizados na pele. Foram estudadas duas zonas anatómicas, a testa e a parte lateral da face, de quinze voluntários do sexo feminino com idades entre os 30 e os 40 anos. Foi medido o efeito da camada córnea da epiderme e da idade no nível sonoro médio (dBA). Para o estudo do efeito da idade foram sujeitos aos testes, quinze crianças e quinze adultos.

Os autores concluíram que o nível sonoro médio na testa era superior ao da parte lateral da face e que, no caso do atrito, o resultado foi o inverso. Quanto ao estudo do efeito da camada córnea, os autores verificaram que com a diminuição das camadas córneas, se verificava também uma diminuição do nível médio sonoro. Por fim os testes do efeito da idade revelaram que o nível médio sonoro da pele das crianças era inferior ao dos adultos, com uma significância de 0,005.

Este estudo veio mostrar existir uma boa correlação entre o nível médio sonoro emitido com a rugosidade, as propriedades adesivas e a dureza da pele.

Como se verifica nestes estudos, a vibração da pele humana tem um interesse relevante, como complementaridade dos estudos de atrito de forma a obtermos mais informação sobre a resposta da pele e da nossa percepção ao toque em diferentes condições/situações.

Atendendo a que a pressão acústica medida por Zahouani et al. (2009) deverá espelhar a vibração que lhe deu origem, esta dissertação pretende abordar o estudo da pele através de uma abordagem semelhante à seguida por aqueles autores, mas analisando os dados de vibração obtidos em frequência, com recurso a uma sonda baseada num sensor piezoeléctrico. O objectivo é obter mais informação sobre o comportamento da pele, cruzando os dados da resposta em frequência da pele com os dados de atrito.

### **3. TRABALHO EXPERIMENTAL**

Este estudo é um trabalho de base essencialmente experimental. No presente capítulo, apresentar-se-á a abordagem experimental levada a cabo no decorrer deste estudo, bem como os materiais usados e as partes anatómicas estudadas, os equipamentos usados e desenvolvidos durante a dissertação, e por fim serão descritas as metodologias experimentais usadas e os procedimentos de ensaio.

#### **3.1. Sumário**

Foram efectuados testes em 19 indivíduos, de ambos os sexos e diferentes faixas etárias. Os testes realizados durante esta dissertação foram realizados com recurso a uma sonda especialmente desenvolvida para o tema em estudo. Visto haver necessidade de estudar várias partes do corpo humano, o dispositivo em questão foi desenvolvido para ter as seguintes características:

- ✓ Fácil de usar;
- ✓ Accionamento manual;
- ✓ Suficientemente pequeno para poder aceder a várias regiões do corpo;
- ✓ Fácil mudança da ponta de prova.

Importa mencionar que, no caso da última característica referida, foram usadas duas pontas de prova, uma já se encontrava desenvolvida antes do início deste trabalho e outra que foi totalmente desenvolvida durante a dissertação a fim de juntar ao estudo do atrito, o estudo em vibração da pele.

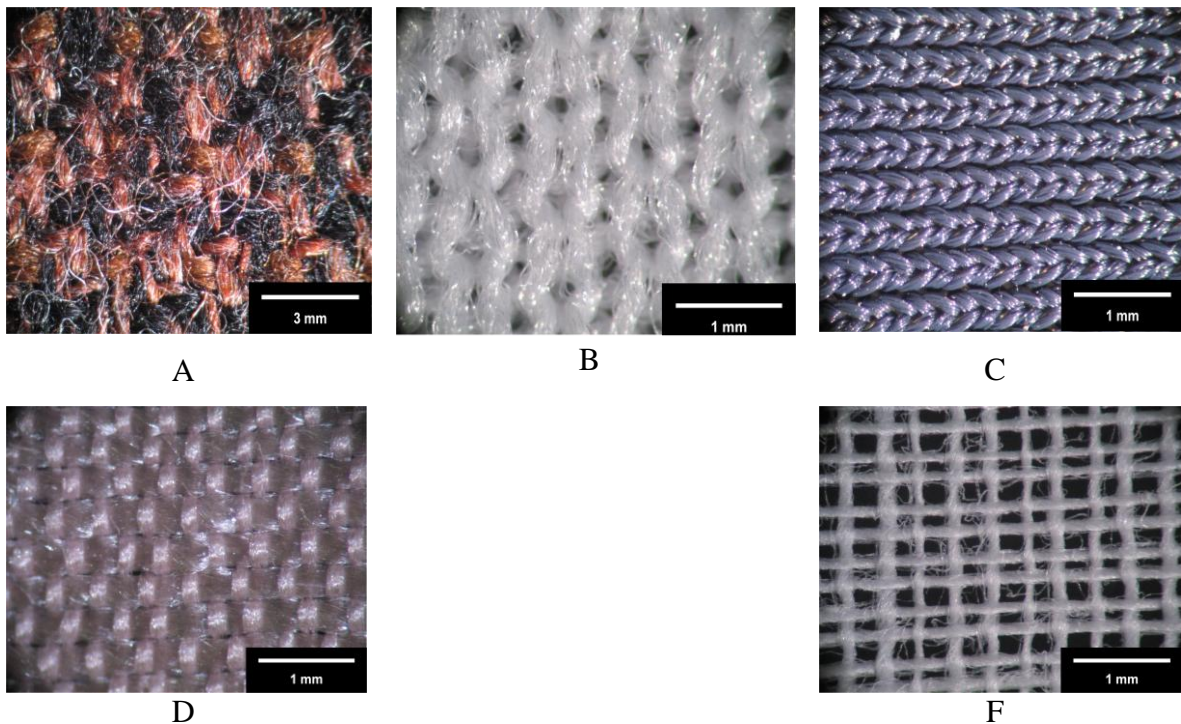
A abordagem efectuada foi dividida em duas partes distintas, uma abordagem que visou o estudo do atrito de contacto pele-têxteis, e outra parte que visou o estudo de vibração como forma de complementaridade do estudo de atrito.

## 3.2. Materiais usados e partes anatómicas estudadas

### 3.2.1. Materiais usados

#### 3.2.1.1. Têxteis usados

Na realização dos ensaios de atrito pele-têxteis, foram usados cinco materiais distintos: a lã, o poliéster, a poliamida, a seda e o algodão. Estes materiais apresentam diferentes propriedades, texturas e transmitem diferentes sensações ao toque, daí o seu uso neste estudo.



**Figura 3.** Têxteis usados nos testes de contacto pele – têxteis. A – Lã; B – Poliéster; C – Poliamida; D – Seda; F – Algodão.

A lã, figura 3 (A), é derivada do pêlo da ovelha que, depois de tosquiado, é processado industrialmente para usos têxteis.

Poliéster, figura 3 (B), é um plástico sintético que se obtém por policondensação de ácidos orgânicos e álcoois que no mínimo tenham, respectivamente, dois grupos carboxílicos e dois grupos hidroxilos na sua molécula.

Poliamida, figura 3 (C), é um polímero termoplástico composto por monômeros de amida conectados por ligações peptídicas, podendo conter outros agrupamentos.

A seda, figura 3 (D) é uma fibra proteica usada na indústria têxtil. A fibra de seda natural é um filamento contínuo da proteína, produzido pelas lagartas de certos tipos de mariposas. Obtém-se a partir dos casulos do bicho-da-seda por um processo designado desericicultura.

O algodão, figura 3 (F) é uma fibra branca ou esbranquiçada obtida dos frutos de algumas espécies do gênero *Gossypium*, família Malvaceae. O principal componente da fibra de algodão é a celulose, que representa a maior parte da sua composição química.

### 3.2.1.2. Material usado para replicar a pele

Foram feitas réplicas da pele em ambas as partes anatómicas a fim de se estudar a sua topografia e obter uma informação mais detalhada do perfil da pele em ambas as partes estudadas. Depois de testadas várias possibilidades para construir as réplicas, optou-se por testar a viabilidade de utilização de materiais de replicagem para aplicações em medicina dentária. Assim, foi usado um produto da marca *Colténe® Whaledent* denominado por *AFFINIS PRECIOUS – Perfect Impressions (art. No 6775 light body)* (figura 4). Este produto possui características bastante favoráveis para a realização de réplicas de pele. É feito de polivinilsiloxano (PVS) e possui um ângulo de molhabilidade de apenas 10°. As suas excelentes propriedades de escoamento permitem uma boa impressão da superfície obtendo-se um bom detalhe da mesma. Possui ainda um tempo de secagem bastante rápido, 5 a 60 segundos, o que torna a sua utilização neste estudo bastante conveniente. A reduzida contracção durante a polimerização garante réplicas muito fiéis.

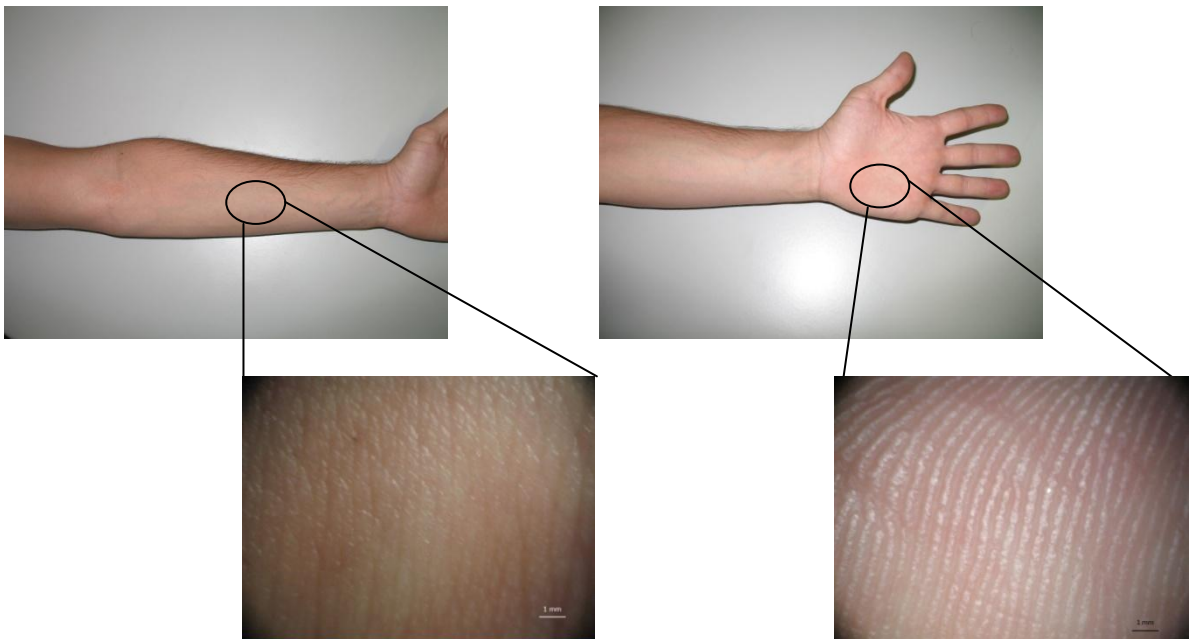


Figura 4. Produto aplicado para tirar réplicas da topografia da pele.

### 3.2.2. Zonas anatómicas estudadas

Estudaram-se duas partes anatómicas distintas, o antebraço e a palma da mão. A opção de se estudarem duas zonas do corpo justifica-se pelo facto de estas serem duas partes com comportamentos relativamente distintos e topografias também distintas. A palma da mão e a planta do pé são as zonas do corpo sujeitas a maiores agressões diárias e as quais têm um comportamento e umas propriedades distintas do resto do corpo humano, neste caso, foi escolhida a palma da mão por razões de comodidade para os indivíduos na realização dos testes. Quanto ao antebraço as suas propriedades são semelhantes ao resto do corpo humano e também devido a ser uma parte do corpo de fácil acesso para realização de testes, esta foi escolhida para a realização dos ensaios nos indivíduos em estudo.

Para além das razões já referidas, estas duas partes anatómicas foram escolhidas por serem duas partes já estudadas anteriormente por vários autores, de forma a se poder comparar os valores adquiridos com valores obtidos por outros autores.



**Figura 5.** Regiões anatómicas estudadas e respectivas ampliações; à esquerda o antebraço e à direita a palma da mão.

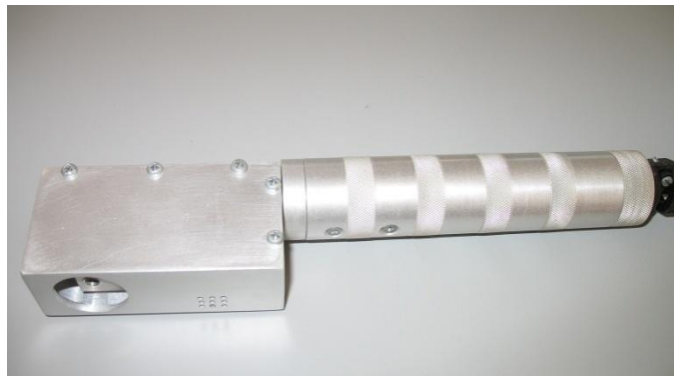


### 3.3. Equipamento usado nos testes

No presente subcapítulo será apresentado todo o equipamento que foi usado e também desenvolvido no decorrer desta dissertação. Como foi referido no subcapítulo anterior, dada a necessidade de se estudarem várias partes anatómicas, anteriormente a este estudo, foi desenvolvido, um equipamento portátil cujas principais características foram já referidas. Como este trabalho incidir também sobre o estudo de vibrações da pele foi desenvolvida uma ponta de prova especificamente para esse efeito.

#### 3.3.1. Equipamento portátil para medição de atrito da pele

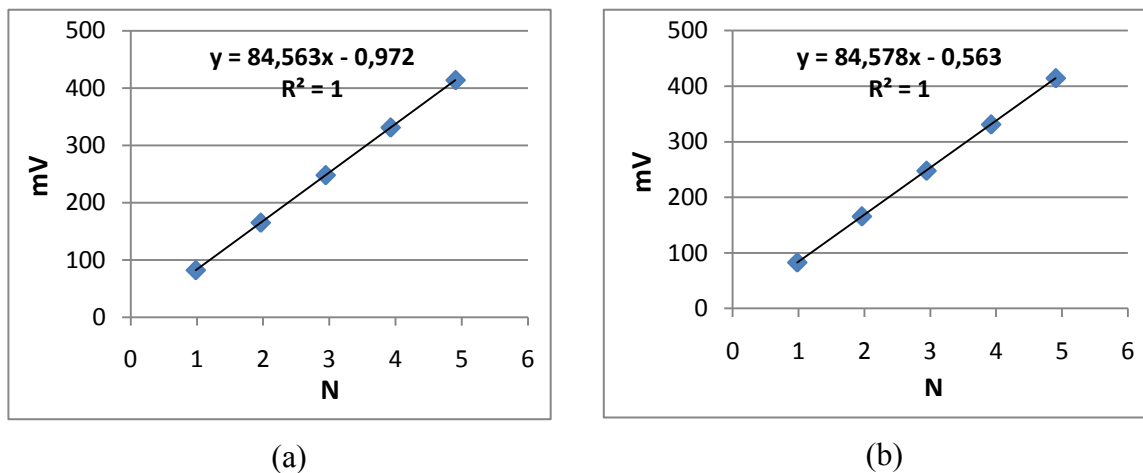
O equipamento que seguidamente se passa a apresentar e descrever foi totalmente desenvolvido por Amílcar Ramalho e Peter Szekeres nos laboratórios de Construções Mecânicas do DEM da FCTUC.



**Figura 6.** Equipamento portátil (Sonda).

Este equipamento é uma sonda de uso manual que inclui uma ponta de prova (PP) amovível que se encontra directamente ligada (enroscada) a um sensor de força de 2 eixos de forma a medir as forças normal e tangencial durante o movimento de deslizamento da PP sobre a pele. Este sensor de força é baseado em duas células de carga. Uma célula de carga baseia-se na variação da resistência ohmica de um sensor denominado por extensómetro ou *strain gage* quando está sujeito a uma deformação, e tem como consequência a conversão da força aplicada na célula de carga num sinal eléctrico, habitualmente em tensão. Usualmente as células de carga contêm 4 extensómetros ligados

entre si, de forma a constituírem um circuito em ponte de *Wheatstone*. Importa ainda referir que as células de carga desta sonda foram devidamente calibradas no início deste estudo. Na calibração efectuada verificou-se uma boa linearidade em ambos os eixos, com uma correlação bastante elevada, como se pode verificar nos gráficos da figura 7, onde a inclinação das rectas nos dá o factor de calibração, nas respectivas direcções.



**Figura 7.** Rectas de calibração da célula de carga. Em abcissas representa-se a força aplicada na célula e em ordenadas a tensão medida na saída do amplificador. (a) – Direcção tangencial, X; (b) – Direcção normal, Z.

Os sinais das células de carga são condicionados por um amplificador, *Vishay Strain Gage Amplifier with Auto-Zero*. A grande vantagem deste amplificador é a capacidade de eliminação do *offset* dos sinais medidos por aplicação de um sinal externo, simplificando assim o posterior processamento dos dados no *software* usado e também tornando mais simples o seu uso em diferente partes do corpo onde a ponta de prova assume várias posições em relação à direcção da gravidade. A sonda está ligada a uma placa de conversão analógica digital, A/D, (*National Instruments USB 6009*) para permitir a aquisição dos dados, ao longo dos testes, pelo computador.

O processamento e aquisição de dados foram feitos num programa desenvolvido em plataforma *labVIEW®* que foi adaptado no decorrer do presente trabalho.

### 3.3.2. As pontas de prova

#### 3.3.2.1. PP com ponta esférica de PVC

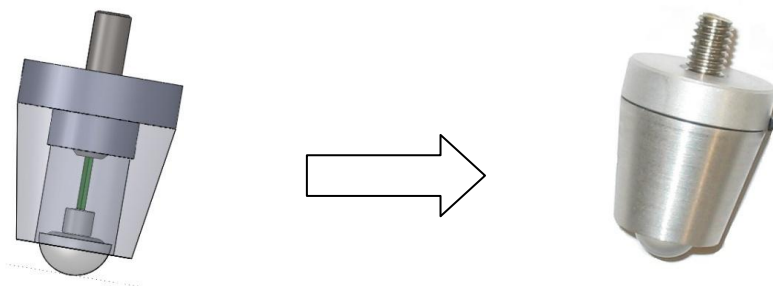
Esta PP é bastante simples e consiste apenas numa ponta em PVC com a forma indicada na figura 8 na qual há apenas a destacar a sua superfície de contacto que tem uma forma esférica com um raio de 26mm de forma a evitar efeitos de aresta por interferência com a pele. Como se observa na figura 8, esta ponta está preparada para que nela sejam acoplados os diferentes tecidos em estudo.



**Figura 8.** Ponta de prova usada nos ensaios do contacto pele-têxteis.

#### 3.3.2.2. Ponta de medida de vibrações

Esta ponta de prova foi totalmente desenvolvida durante esta dissertação pelo autor e pelo orientador do presente trabalho. Esta PP apresenta uma configuração um pouco mais complexa que a referida antes, no entanto, o seu funcionamento é bastante simples. A PP é constituída por um sensor piezoelétrico, do tipo *bimorph*, ao qual foi acoplada uma ponta hemisférica de vidro com cerca de 0,52g de massa, figura 9.



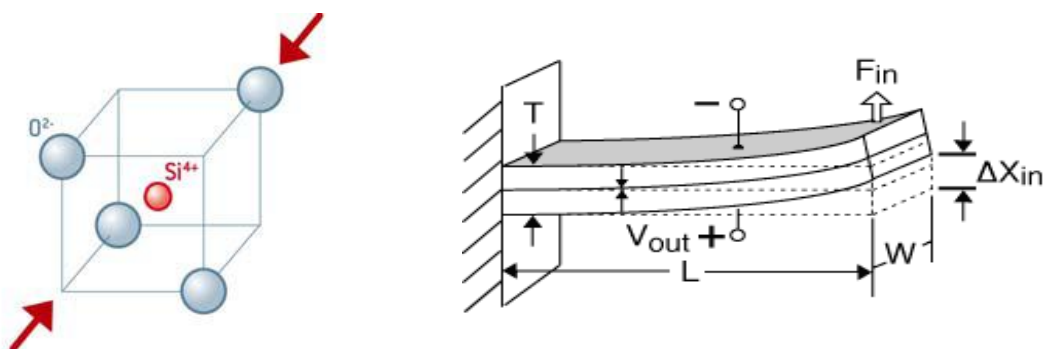
**Figura 9.** Ponta de prova de medição de vibração. À esquerda o modelo desenvolvido em computador. À direita o modelo real construído.

A cápsula que se pode ver na figura 9 foi desenhada de forma a “esconder” e proteger a montagem do sensor piezoelétrico, tornando assim também o conjunto final numa PP mais consistente e também mais agradável visualmente. A cápsula foi toda construída em liga de alumínio, tal como o resto do equipamento de medição, de forma que o conjunto final (PP + Sonda) fosse de fácil manuseamento, visto ser um dispositivo portátil, para uso em várias zonas do corpo, necessita ser leve e pouco volumoso. Para preservar um aspecto visual mais agradável as peças de alumínio foram anodizadas.

Importa ainda referir que não foi feita calibração da amplitude do sinal de saída desta PP, visto que, esta PP foi desenvolvida para se estudar a resposta em frequência da pele e não se tiveram em conta as amplitudes dos sinais medidos.

De seguida será feita uma breve descrição sobre o sensor piezoelétrico usado nesta PP para uma melhor compreensão do seu funcionamento.

Os sensores piezoelétricos baseiam-se no efeito piezoelétrico, descoberto pelos irmãos Curie no final do século XIX. Pierre e Jacques Curie perceberam que alguns materiais disponíveis na natureza, tais como a turmalina e o quartzo, tinham a capacidade de transformar a energia mecânica numa carga eléctrica. Mais especificamente, quando uma pressão é aplicada num material piezoelétrico, este processo mecânico de deformação provoca um deslocamento de cargas eléctricas. Essas descargas electricas são altamente proporcionais à pressão aplicada. A este fenómeno, dá-se o nome de piezoelectricidade ou efeito piezoelétrico.



**Figura 10.** Material piezoelétrico. A imagem da esquerda representa um cristal de quartzo e a imagem da direita representa o princípio de funcionamento de uma placa piezoelétrica do tipo *bimorph*.

As placas bimorfas associam lâminas finas dispostas em paralelo, orientadas em direcções alternadas e separadas por placas isolantes de forma que, quando são deformadas em flexão produzem cargas eléctricas significativas. Quando uma força mecânica de flexão é aplicada num elemento devidamente polarizado de duas camadas, uma camada é comprimida e a outra traccionada. Uma carga é desenvolvida em cada camada e existe um esforço para neutralizar as tensões impostas. Esta carga pode ser recolhida como se pode observar na figura 10. O número de placas associadas permite controlar a rigidez e a sensibilidade destes sensores. No caso presente as placas bimorfas são colocadas com o seu eixo perpendicular à superfície de escorregamento e com a sua direcção de medida orientada segundo a direcção de aplicação da força de atrito.

Na construção desta PP utilizou-se uma hemisfera de vidro com raio de curvatura de 5 mm ligada à placa bimorfa. A escolha do vidro deve-se ao facto de ser um dos materiais de referência mais usado em estudos de contacto com a pele humana (Derler et al., 2009; Ramalho et al., 2006).

### **3.4. Os questionários efectuados**

Neste estudo foi pedido aos voluntários que respondessem a dois tipos de questionários. Estes questionários foram realizados partindo de uma análise de senso comum e tendo em conta estudos publicados anteriormente (Chen et al., 2009). Um acerca dos hábitos e rotinas diárias (ver anexo B) que pudessem ter efeito no estado da pele dos voluntários. Neste questionário, eram feitas questões como, cuidados com a pele, tipo de comida normalmente ingerida, quantidade de água e bebidas alcoólicas normalmente ingeridas, etc.

O outro tipo de questionário consistia numa série de perguntas acerca da percepção e/ou sensações transmitidas pelos materiais ao toque. Para tal, cinco têxteis foram “pendurados” (figura 11) e os voluntários iam tocando um a um com as mãos e respondendo ao questionário (figura 11). Neste questionário os voluntários tinham de caracterizar as suas percepções tácteis sobre cada material segundo uma escala de 1 a 5, quanto aos seguintes aspectos:

- Suave – Áspero;
- Macio – Duro;
- Escorregadio – Adesivo;
- Sensação de temperatura: Quente – Frio;
- Agradável ao toque: Muito – Pouco.

A última questão era se a pessoa gostava ou não do material. Este questionário encontra-se em anexo (ver anexo B) onde se pode compreender melhor a sua estrutura.



**Figura 11.** Voluntária durante a realização dos questionários sobre os têxteis.

## 3.5. Metodologias e procedimentos experimentais

### 3.5.1. Processo de medição

Tal como foi referido, os testes foram realizados na palma da mão e no antebraço de 19 voluntários de ambos os géneros e de diferentes idades (tabela 1).

Durante os ensaios, devido ao accionamento manual da sonda, as condições dos testes não foram exactamente as mesmas para todos os testes. Contudo, as condições médias para o deslizamento, da ponta de prova na pele, eram de cerca de 40 a 50mm de distância de escorregamento, para uma carga normal aplicada crescente de 0 a cerca de 2N. Tipicamente as velocidades de deslizamento foram de  $35 \pm 10$  mm/s. Ambos os 5 materiais, foram fixos na ponta de prova para o efeito (PPT) e posteriormente deslizados

sobre ambas as partes anatómicas em estudo. As condições e o procedimento durante o uso da ponta de prova de vibração (PPV) foram as mesmas.

Durante os testes foram medidas a humidade relativa e a temperatura do espaço, bem como, o TEWL (*Transepidermal water loss*) em ambas as partes do corpo em estudo. O TEWL foi medido com recurso a um equipamento portátil cedido pela Faculdade de Farmácia da Universidade de Coimbra e foi usado consoante o guia de uso do equipamento.

TEWL é uma medida da difusão de água através da pele humana, usualmente expresso em  $\text{g/m}^2\text{h}$ .

Os valores de humidade relativa medida foram de cerca de  $59,42 \pm 3,86 \%$  e a temperatura média do espaço foi de  $24,95 \pm 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Como se verifica estes valores praticamente não variaram ao longo dos vários testes o que garantiu umas condições do espaço envolvente bastante estáveis.

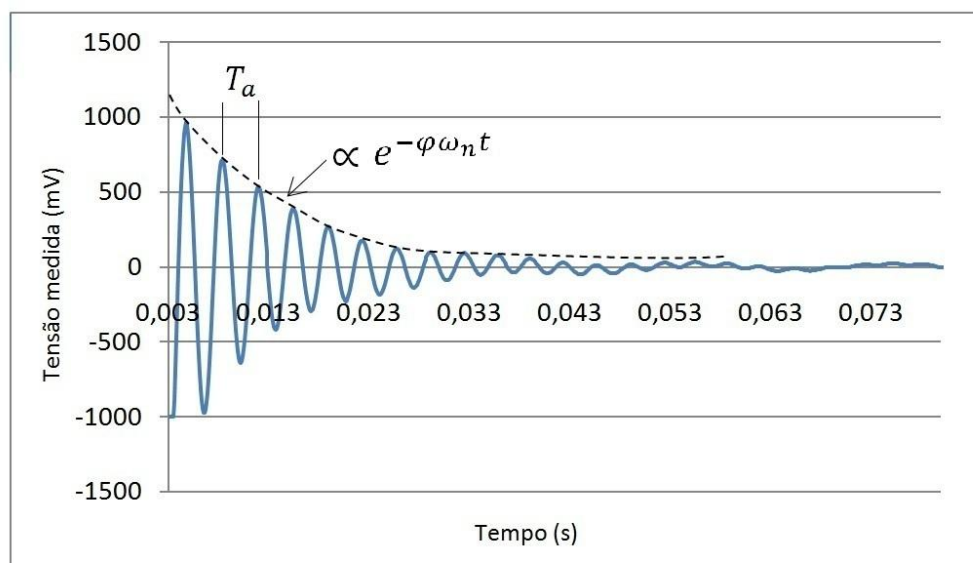
**Tabela 1.** Temperatura e humidade relativa do espaço envolvente durante os testes.

	Idade	Sexo	Temperatura do espaço ( $^\circ\text{C}$ )	Humidade Relativa (%)
1º	25	M	25	66
2º	25	M	25	63
3º	26	M	25	63
4º	24	F	25	63
5º	25	F	25	61
6º	27	M	25	58
7º	21	F	26	58
8º	23	M	26	56
9º	24	M	26	56
10º	24	M	25	62
11º	44	F	24	67
12º	48	F	25	59
13º	35	M	25	57
14º	48	M	25	58
15º	39	M	25	56
16º	26	M	25	51
17º	27	F	24	61
18º	57	M	24	58
19º	36	F	24	56

### 3.5.2. Metodologia de cálculo da $\omega_n$ da PPV

Após toda a montagem da PPV concluída, o primeiro teste experimental realizado foi encontrar a frequência própria de vibração,  $\omega_n$ , da montagem final. Para tal foi realizado o seguinte procedimento experimental:

- Pegou-se na PPV;
- Com o auxílio de um martelo de impacto, deu-se uma ligeira “pancada” na ponta do sensor, que desta forma vibrou livremente;
- Adquiriu-se, com auxílio de um osciloscópio (ver anexo A) e um computador, o sinal de resposta no tempo da vibração livre da PPV (figura 12);
- Observou-se o gráfico do sinal de resposta no tempo da vibração livre do sensor (figura 12) e mediu-se o seu período,  $T_a$ .



**Figura 12.** Sinal de resposta no tempo da vibração livre da PPV.

Sabendo o período,  $T_a$ , do sinal de resposta em vibração livre pode-se então calcular a frequência de vibração amortecida,  $\omega_a$ , através da equação (1),

$$f_a = \frac{1}{T_a} = \frac{\omega_a}{2\pi} \quad (1)$$

Onde  $\omega_a = \omega_n \sqrt{1 - \varphi^2}$ .



Como se vê na figura 12, o decremento da amplitude pode ser aproximado pela expressão  $e^{-\varphi\omega_n t}$ . Calculando o decremento, obtêm-se um factor de amortecimento,  $\varphi$ , bastante inferior a 0,1, de onde se pode concluir que,  $\omega_a \cong \omega_n$ . Sabendo que:

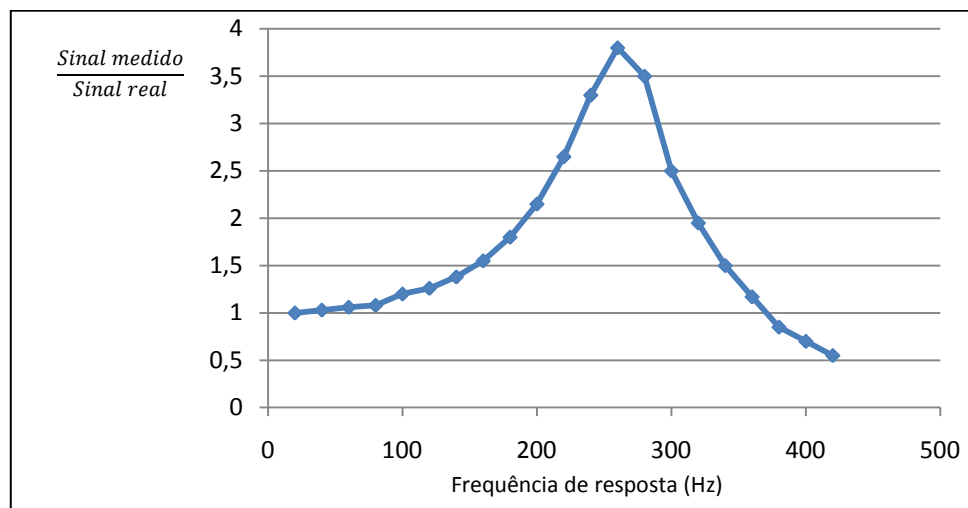
$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \quad (2)$$

Obteve-se assim, através de (2) um valor de 275 Hz (aproximadamente) como  $f_n$  desta PPV.

Com o valor de  $\omega_n$  e com o factor de amortecimento, usando as expressões da mecânica clássica para sistemas de vibração com 1 grau de liberdade (S. Rao, 2003), pode-se construir um gráfico com a curva de amplificação do sinal medido pela PPV.

$$\frac{\text{Sinal medido}}{\text{Sinal real}} = \sqrt{\frac{1}{(1 - \beta^2)^2 + (2\varphi\beta)^2}} \quad (3)$$

Onde,  $\beta = \frac{\omega}{\omega_n}$ .



**Figura 13.** Curva de amplificação dos sinais medidos pela PPV.

Para frequências de solicitação inferiores a 100 Hz sensivelmente, existe uma boa linearidade entre os valores reais e os valores medidos, verificando-se para 100 Hz um aumento de 20% dos valores medidos em relação aos valores reais. Todos os valores entre 100 e  $\sqrt{2} \times f_n$  Hz serão amplificados, não correspondendo portanto aos valores reais

---

medidos, mas sim a valores amplificados pela vibração da PPV. Os valores superiores a  $\sqrt{2} \times f_n$  não têm qualquer significado porque a partir deste valor todos os sinais medidos serão atenuados.

### 3.5.3. Protocolo de ensaio

Visto este ser um estudo que envolvia pessoas, e logo, por consequência, a sua disponibilidade, os ensaios foram planeados de forma a terem uma duração, em média, de 15 a 20 minutos por pessoa. Desta forma foi necessário estabelecer um protocolo de ensaio que consistiu nos seguintes passos:

1. Em primeiro lugar, era pedido ao voluntário que respondesse aos questionários sobre as suas percepções tácteis acerca dos 5 têxteis em estudo (ver anexo B);
2. De seguida o voluntário sentava-se e era-lhe medido o TEWL na palma da mão e no antebraço (não necessariamente por esta ordem);
3. Após medir o TEWL, era colocado um dos têxteis na PPT, esta era acoplada à sonda e eram feitas 3 a 4 passagens em cada zona anatómica em estudo;
4. O procedimento anterior era repetido para os restantes têxteis em estudo;
5. Após todas as passagens com todos os têxteis, era trocada a PPT pela PPV;
6. Eram novamente feitas 3 a 4 passagens com a PPV em cada zona anatómica;
7. Anotava-se a temperatura e a humidade relativa do espaço;
8. Por fim, o voluntário respondia a outro questionário sobre os seus hábitos diários (ver anexo B).

Com este procedimento era garantido que cada pessoa não tinha de despende mais tempo que aquele que estava estipulado. Importa referir que os questionários referidos se encontram em anexo (ver anexo B) e que não foi pedido aos voluntários para terem quaisquer cuidados de higiene e/ou hidratação das partes anatómicas estudadas antes de serem sujeitos aos testes.

Os dados foram adquiridos e guardados com recurso a um programa desenvolvido em *labVIEW®* para o efeito e posteriormente analisados em *Microsoft Excel*.

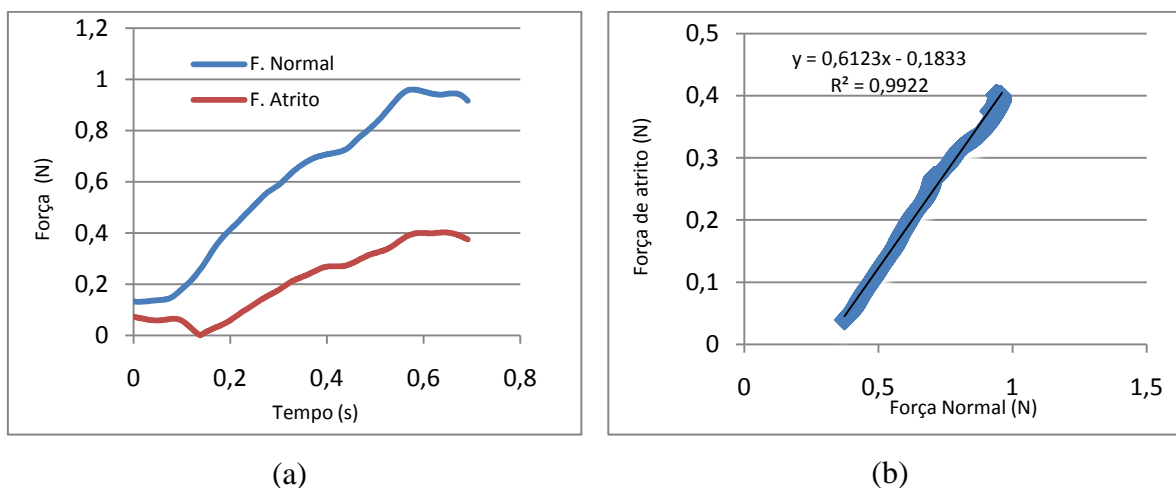
## 4. ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS

No presente capítulo serão apresentadas as metodologias de análise e tratamento de dados usadas nos estudos de atrito e vibração. O capítulo será dividido em duas partes, a parte do estudo de atrito de contacto pele – têxteis e de seguida estudo de vibração da pele.

### 4.1. Análise de dados de atrito pele – têxtil

Durante os ensaios efectuados foram adquiridos simultaneamente no programa desenvolvido, os valores das forças normal e tangencial resultantes do deslizamento da ponta da sonda na parte anatómica em questão, obtendo-se um gráfico do tipo ilustrado na figura 14. O gráfico da figura 14 a) mostra a variação das forças durante um ciclo de carga.

De acordo com o modelo linear de Amontons – Coulomb (equação (4)), a força de atrito ( $F$ ) é proporcional à força normal ( $N$ ) aplicada e o coeficiente de proporcionalidade entre elas corresponde ao coeficiente de atrito  $\mu$  (Ramalho, 2010).



**Figura 14.** (a)- Evolução típica da força normal e da força de atrito. (b) – Recta de regressão linear correspondente ao coeficiente de atrito,  $\mu$ .

$$F = \mu \cdot N \quad (4)$$

Assim sendo e assumindo este modelo linear na análise de dados de atrito, e tendo em conta os dados disponíveis de cada teste, a forma mais adequada de calcular o coeficiente de atrito é representar graficamente a força de atrito em função da força normal. Com isto, obtemos uma dispersão de pontos na qual se pode traçar uma recta de regressão linear. Com recurso ao *Microsoft Excel*, foi traçada uma recta de regressão linear aos pontos do gráfico, obtendo assim o coeficiente de atrito que mais não é que o declive da recta de regressão linear dos pontos, figura 14 b).

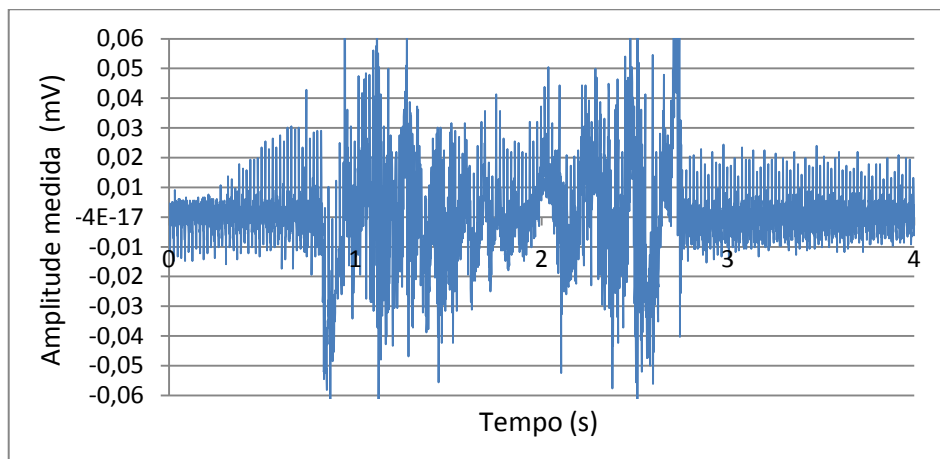
Para cada pessoa estudada foram efectuadas três passagens em cada zona anatómica em estudo, obtendo-se assim três valores do coeficiente de atrito para cada zona e cada paciente. Finalmente, para cada pessoa e em cada zona anatómica foi calculada a média e o respectivo desvio padrão.

Foi feita uma análise estatística de todas as respostas aos questionários sobre os tecidos que posteriormente foi comparada com os valores obtidos por atrito no contacto pele-têxteis. Quanto aos questionários sobre os hábitos das pessoas, nenhuma análise foi feita, visto não se conseguir estabelecer parâmetros comparativos entre as respostas e os dados obtidos nos ensaios.

## **4.2. Análise de dados de Vibração**

Nos testes efectuados com a ponta de prova de vibração, obtiveram-se não só os dados de vibração, mas também em simultâneo, os valores da força normal e de atrito do contacto da ponta hemisférica de vidro com a pele. Quanto ao atrito, estes dados foram analisados seguindo o mesmo processo de análise referido em 4.1. O mesmo programa em *labVIEW®* foi usado para adquirir e guardar os dados de cada ensaio, em cada pessoa.

Com os dados de vibração medidos, foram criados gráficos do tipo que se ilustra na figura 15. Como podemos ver na figura 15, com este tipo de gráfico obtemos no domínio do tempo uma evolução caótica. Assim, seria difícil estabelecer parâmetros comparativos por análise directa deste tipo de gráfico.



**Figura 15.** Resposta no domínio do tempo dos sinais medidos pela PPV.

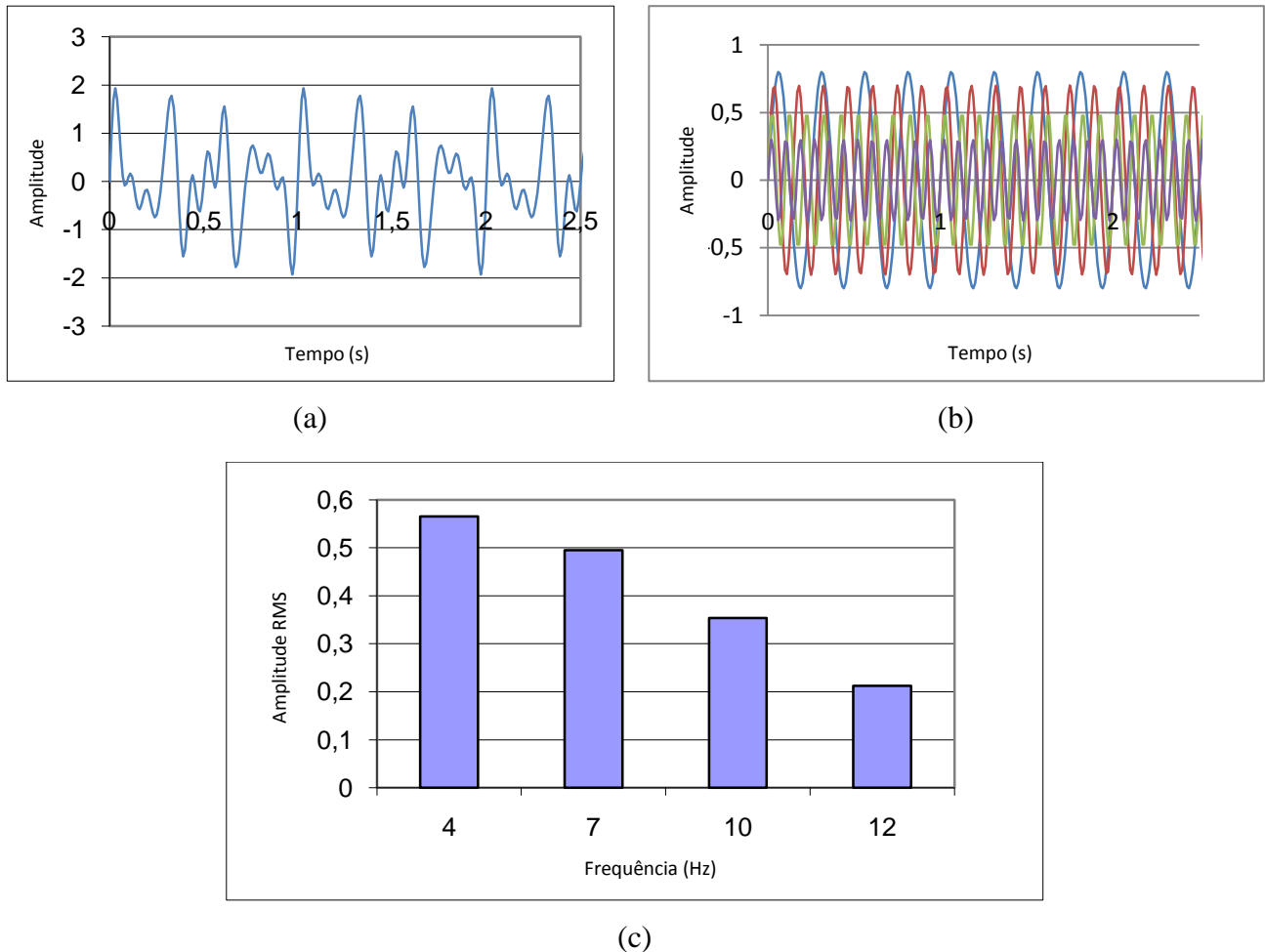
Após esta observação, optou-se por uma análise em frequência dos dados de vibração obtidos. Para tal recorreu-se à análise de Transformada Rápida de *Fourier*, mais conhecida por FFT (*Fast Fourier Transform*) que foi realizada com recurso ao programa *OriginLab*, que se revelou uma ferramenta bastante útil, rápida, e de fácil utilização neste tipo de análise.

A transformada de Fourier baseia-se numa descoberta do matemático francês Jean Baptiste Joseph Fourier. Segundo Fourier qualquer fenómeno de natureza periódica pode ser decomposto numa série infinita de funções sinusoidais, com amplitudes variáveis, mas com frequências múltiplas da frequência fundamental do sinal original. O inconveniente deste processo é que ele deve necessariamente lidar com fenómenos que sejam periódicos, ou seja se repitam de tempos em tempos. Após um estudo mais aprofundado sobre o assunto, Fourier concluiu que se esse período fosse extremamente grande, tendendo para o infinito, a sua descoberta poderia ser aplicada inclusive a fenómenos com duração muito curta – impulsos.

Isto permite que um único impulso, de duração e intensidade mensurável, possa ser “desmontado” nas frequências e intensidades que o compõem, figura 16 (b). Ou seja, associa-se à variação no domínio do tempo, figura 16 (a), a correspondente evolução no domínio da frequência, figura 16 (c).

Durante este processo de transformação, o impulso inicial vai sendo dividido numa quantidade praticamente infinita de intervalos menores, os quais contêm todas as informações pertinentes da composição desse impulso em termos de frequências, que existem naquele momento específico. Para fins práticos de cálculo na prática comum de

engenharia, este processo não se mostra vantajoso, em razão de utilizar uma quantidade muito grande de amostras e cálculos.



**Figura 16.** Análise FFT. (a) – Resposta no domínio do tempo. (b) – Divisão da resposta no domínio do tempo nas várias sinusoidais que a constituem. (c) – Espectro de resposta no domínio da frequência (FFT).

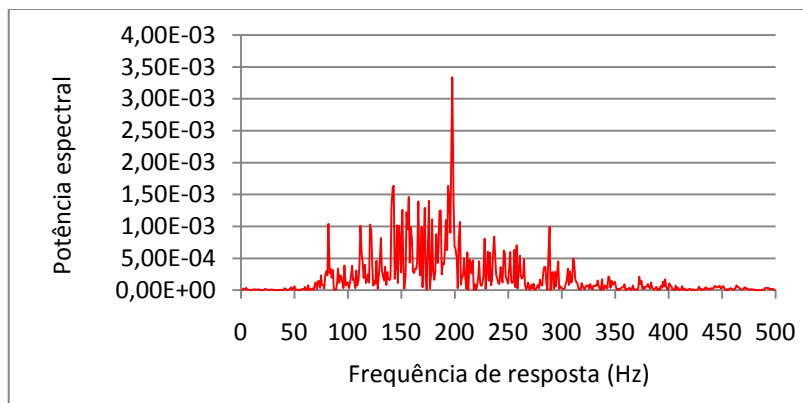
Se forem impostas certas restrições a esse processo de “fatiamento” da amostra, pode-se trabalhar com relativa rapidez e precisão de cálculos. É neste princípio que se baseia a chamada Transformada Rápida de Fourier ou *Fast Fourier Transform* (FFT).

Este é um tipo de análise, que pode ser aprofundada em obras de matemática para engenheiros, (Smith, 2007).

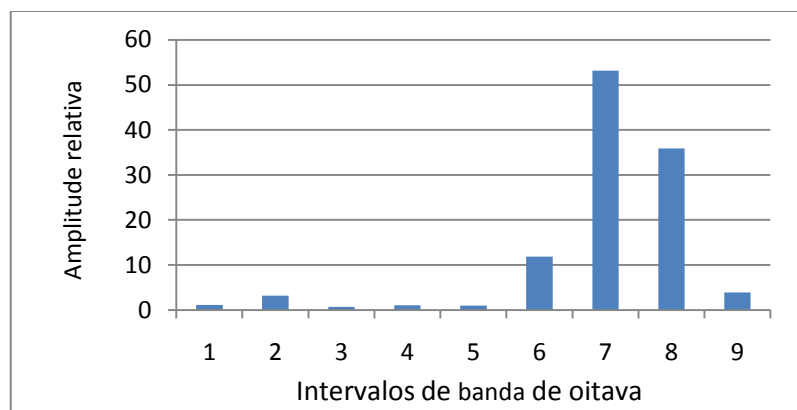
Em cálculos de engenharia, recorrendo a ferramentas de cálculo como o *OriginLab*, ou versões mais avançadas do *Microsoft Office* por exemplo, pode-se realizar uma análise FFT com relativa rapidez e facilidade.

Com este tipo de análise, foram construídos vários espectros FFT para cada pessoa (resultantes das diversas passagens efectuadas em cada ensaio). Dada a metodologia de aquisição de dados, a análise dos espectros foi feita manualmente em *Microsoft Excel* porque nem todo o espectro de amplitude/tempo continha informação correspondente à solicitação. Devido a este procedimento, o número de pontos considerados para a análise FFT não foi sempre o mesmo. No entanto, considerou-se um número de pontos,  $N$ , entre 500 e 2000 pontos o que levou à obtenção de espectros com diferentes resoluções e consequentemente uma difícil comparação entre os espectros obtidos.

Desta forma, para se poder ter espectros comparáveis, todos os espectros foram divididos em bandas de oitava, assim no lugar de se ter espectros de banda estreita com muitos “picos” difíceis de identificar, figura 17 (a), passou-se a ter espectros como o da figura 17 (b) e desta forma a análise comparativa entre todos os dados tornou-se mais simples e perceptível.



(a)



(b)

**Figura 17.** Espectros obtidos na análise FFT. (a) – Representa o espectro de potência da resposta em frequência. (b) – Representa as nove bandas de oitava na qual foram divididos os espectros do tipo (a). O valor unitário da amplitude destas bandas corresponde à quinta banda de oitava.

A divisão foi feita em 9 bandas de oitava no domínio de frequências de 2 Hz até 500 Hz, de acordo com a norma CEI 225.

Após esta divisão, aplicada a todos os espectros obtidos nos ensaios efectuados, fez-se uma análise comparativa entre as frequências de resposta obtidas e os coeficientes de atrito medidos durante o contacto da PPV com a pele (contacto pele – vidro).



## 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados todos os resultados obtidos nos ensaios realizados e será feita a sua análise e discussão. Tal como no capítulo anterior este será também desenvolvido em duas partes distintas, a primeira incidindo sobre o contacto com atrito pele – têxteis, onde se apresentam, discutem e comparam os resultados obtidos mecanicamente com as respostas dos voluntários aos questionários. Por fim serão apresentados e discutidos os dados de vibração e serão expostos vários modelos que possam explicar os resultados obtidos nesta abordagem.

### 5.1. Resultado de atrito pele – têxtil

Da análise dos dados de atrito do contacto pele-têxteis, aplicando o procedimento referido em 4.1, obteve-se uma boa linearidade entre a força de atrito e a força normal. Em todos os casos em estudo, o factor de correlação da regressão linear apresentou-se superior a 0,95. Assim sendo, para a gama de valores das cargas normais que foram aplicadas, os resultados reiteram a aplicabilidade, do modelo linear de Amontons – Coulomb neste estudo do comportamento de atrito pele-têxteis (Ramalho, 2009). A tabela 2 sumariza os valores dos coeficientes de atrito obtidos com o conjunto sonda + PPT para os cinco tecidos em estudo.

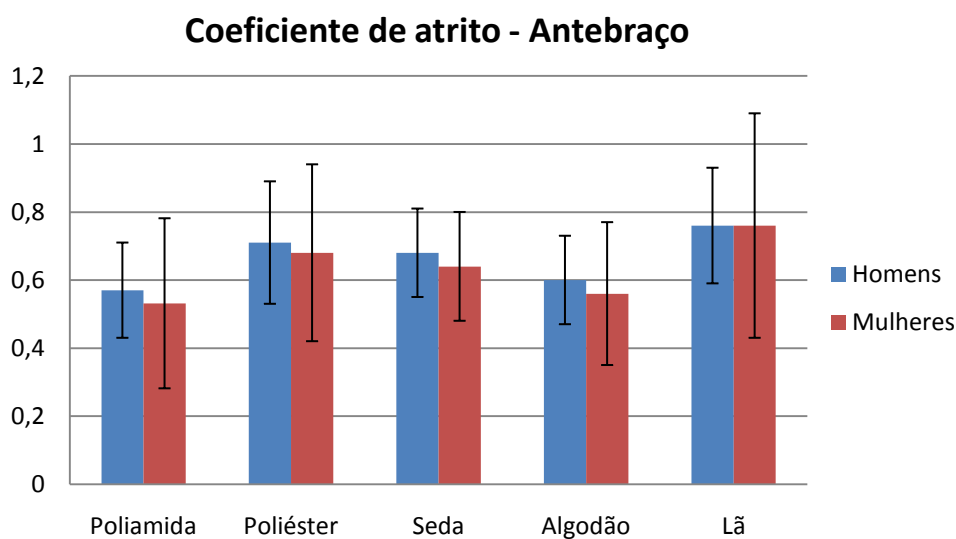
**Tabela 2.** Coeficientes de atrito medidos e os correspondentes intervalos de confiança para uma probabilidade de 95% de ocorrência.

	Antebraço				Palma da mão			
	Homens	Confiança	Mulheres	Confiança	Homens	Confiança	Mulheres	Confiança
<b>Poliamida</b>	<b>0,57</b>	±0,14	<b>0,53</b>	±0,25	<b>0,62</b>	±0,17	<b>0,53</b>	±0,11
<b>Poliéster</b>	<b>0,71</b>	±0,18	<b>0,68</b>	±0,26	<b>0,85</b>	±0,29	<b>0,64</b>	±0,14
<b>Seda</b>	<b>0,68</b>	±0,13	<b>0,64</b>	±0,16	<b>0,88</b>	±0,22	<b>0,48</b>	±0,1
<b>Algodão</b>	<b>0,6</b>	±0,13	<b>0,56</b>	±0,21	<b>0,76</b>	±0,21	<b>0,51</b>	±0,11
<b>Lã</b>	<b>0,76</b>	±0,17	<b>0,76</b>	±0,33	<b>0,89</b>	±0,26	<b>0,77</b>	±0,13

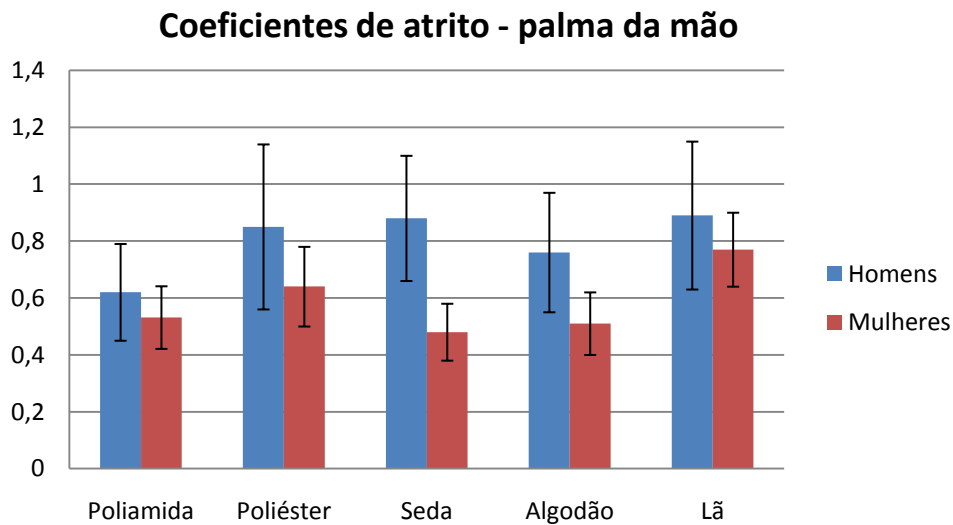
Na tabela 2 apresenta-se ainda o intervalo de confiança dos valores do coeficiente de atrito para cada tecido em cada zona anatómica. Estes intervalos de confiança correspondem a uma probabilidade de 95 %.

Os valores obtidos demonstram um coeficiente de atrito sempre mais elevado nos homens que nas mulheres, para ambas as zonas estudadas. Verifica-se também que, no caso dos homens, o coeficiente de atrito na palma da mão é mais elevado que no antebraço não se verificando a mesma tendência no caso das mulheres. Através dos gráficos das figuras 18 e 19, pode-se ainda verificar que os coeficientes de atrito seguem a mesma tendência de evolução em ambos os géneros e em ambas as partes anatómicas nos cinco materiais testados, verificando-se, em média, um coeficiente de atrito no antebraço dos homens cerca de 4 % maior que no antebraço das mulheres e na palma da mão esta diferença foi bastante mais significativa, cerca de 36 %.

Ramalho et al. (2006), efectuaram testes de atrito da palma da mão contra uma superfície de vidro, aplicando cargas normais até aproximadamente 70 N, e concluíram que tipicamente as mulheres apresentavam valores de coeficiente de atrito inferior aos homens, especialmente para os valores mais reduzidos de carga normal. Os valores obtidos neste trabalho, e particularmente para a palma da mão, estão pois em consonância com aqueles resultados, uma vez que no domínio desta dissertação foram aplicadas cargas normais com valor muito mais reduzido.



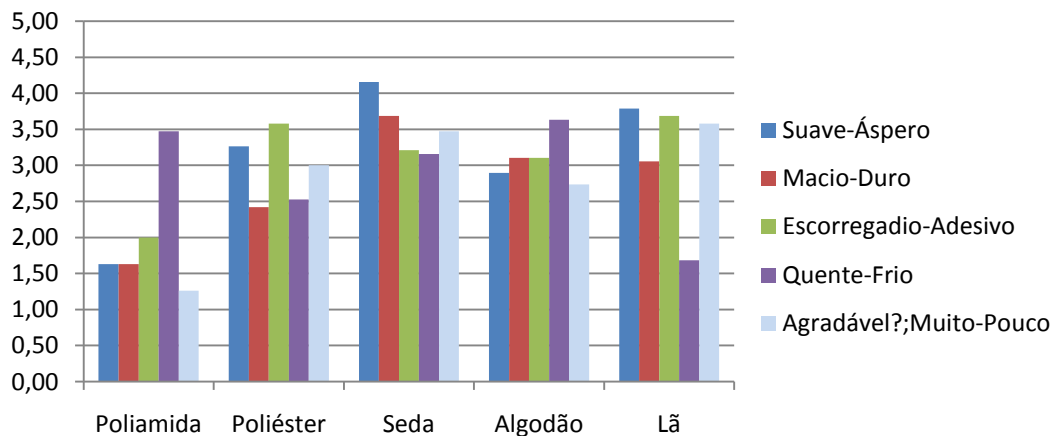
**Figura 18.** Coeficientes de atrito medidos no antebraço.



**Figura 19.** Coeficientes de atrito medidos na palma da mão.

Embora não tenha sido feito nenhum estudo de verificação, o facto de as mulheres não apresentarem uma variação muito significativa de atrito entre a palma da mão e o antebraço, poderá dever-se à espessura total da pele ter menor variação entre as regiões anatómicas estudadas, comparativamente com os homens.

Observando a figura 20, onde se sumariam as respostas dos voluntários ao questionário da percepção táctil dos têxteis, verifica-se que as pessoas conseguiram identificar as propriedades relevantes para o atrito recorrendo à sua percepção e sensações transmitidas pela análise manual dos materiais. Como se vê na figura 20 e tal como obtiveram Chen et al. (2009), as respostas aos questionários seguem a mesma tendência de evolução dos resultados de atrito medidos, excepto quanto à percepção de temperatura sentida pelas pessoas.

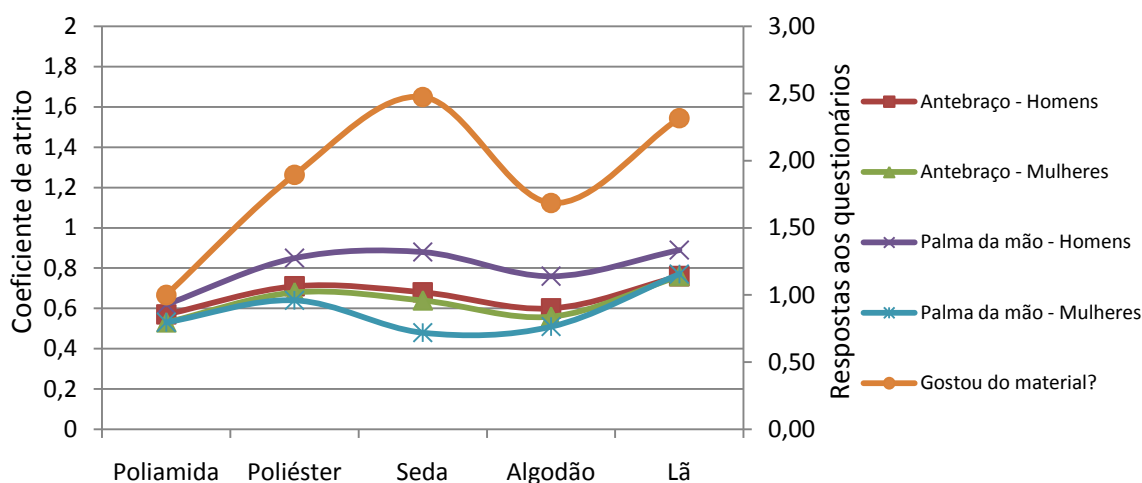


**Figura 20.** Respostas dos voluntários aos questionários sobre os têxteis.

O gráfico da figura 20 é interpretado da seguinte forma: se 1 representa o máximo de uma das características, 5 representará o oposto dessa mesma característica. Por exemplo, na escala suave – áspero (ver questionário, anexo B), 1 quer dizer que o tecido é muito suave e 5 será o oposto, ou seja, muito áspero.

Na figura 21 representa-se a linha de tendência da última resposta do questionário juntamente com os coeficientes de atrito medidos.

Comparando os dados de atrito obtidos mecanicamente com a última resposta aos questionários, em termos de tendência de evolução, verifica-se que os materiais preferidos (escala de 1 a 3, sendo 1 que gostou e 3 o oposto) pelas pessoas são aqueles que apresentam coeficientes de atrito mais baixos. Como se verifica na figura 21 os materiais preferidos pelos voluntários foram a poliamida e o algodão, que correspondem aos materiais de mais baixo coeficiente de atrito. A única exceção a esta regra foi o caso do atrito medido na palma da mão das mulheres que se verificou mais baixo no caso da seda, que foi precisamente o material que em geral menos gostaram.



**Figura 21.** Relação entre os coeficientes de atrito medidos e a sensação afectiva dos voluntários sobre os tecidos.

No entanto, em geral, os valores dos intervalos de confiança obtidos, são muito elevados comparativamente com os valores médios do coeficiente de atrito. Estes resultados podem dever-se essencialmente ao reduzido número de pessoas em estudo, à variedade elevada de géneros e idades para a gama de pessoas em estudo, mas também a vários factores que influenciam as condições da pele dos voluntários (Sivamani et al.,

2005). Contudo, nesta dissertação, devido ao curto tempo para desenvolver um estudo deste tipo, estes parâmetros não foram controlados. Para se poderem avaliar com mais rigor e precisão todas estas condicionantes, seria necessário um número muito maior de voluntários que fosse significativo, mesmo quando separados por género e idade.

Outro factor que pode influenciar os resultados é a rigidez da palma da mão e do antebraço que dependem fortemente da posição dos dedos durante a medição. Se os dedos estiverem dobrados os músculos tensores estão mais relaxados, tanto na palma da mão como no antebraço, o que pode causar diferenças de rigidez em ambas as regiões anatómicas. Estas diferenças de rigidez aumentam a dificuldade em definir valores absolutos de coeficiente de atrito. No entanto, foi assumido que cada voluntário manteve a sua mão em condições relativamente semelhantes ao longo dos ensaios com os cinco têxteis em estudo. Contudo, para se ter uma noção relativa da rigidez entre as duas regiões anatómicas em estudo, fez-se ainda um estudo preliminar, que se apresenta em anexo (ver anexo A), onde se demonstra um procedimento experimental desenvolvido para se ter uma noção empírica da rigidez relativa. Apesar do esforço para se tentar relacionar este parâmetro com os valores obtidos, nenhuma conclusão foi obtida. Todavia a abordagem que se fez foi muito superficial justificando-se a realização de estudos posteriores mais aprofundados.

Outro factor que se pensou ter influência nos resultados obtidos foi a variação da inclinação do equipamento de medida devido ao seu accionamento ser manual. Foi então desenvolvido um estudo sobre esse efeito nos dados medidos, de forma a se ter uma noção do erro cometido no procedimento experimental. Este estudo encontra-se em anexo (ver anexo A) e mostrou que ao contrário do que se pensou inicialmente, para as inclinações que se estimou que pudessem ser praticadas durante os ensaios e atendendo aos valores de coeficiente de atrito medidos, o erro cometido era no máximo de cerca de 15%, que, para procedimentos experimentais, se pode considerar admissível.

Como referido, foi também medido o TEWL de cada voluntário em ambas as partes em estudo, mas nenhuma relação foi encontrada entre este parâmetro e o coeficiente de atrito medido contra os materiais têxteis. Esta conclusão havia já sido extraída em estudos anteriores (Ramalho et al., 2006).

**Tabela 3.** Valores de TEWL medidos nas regiões anatómicas estudadas.

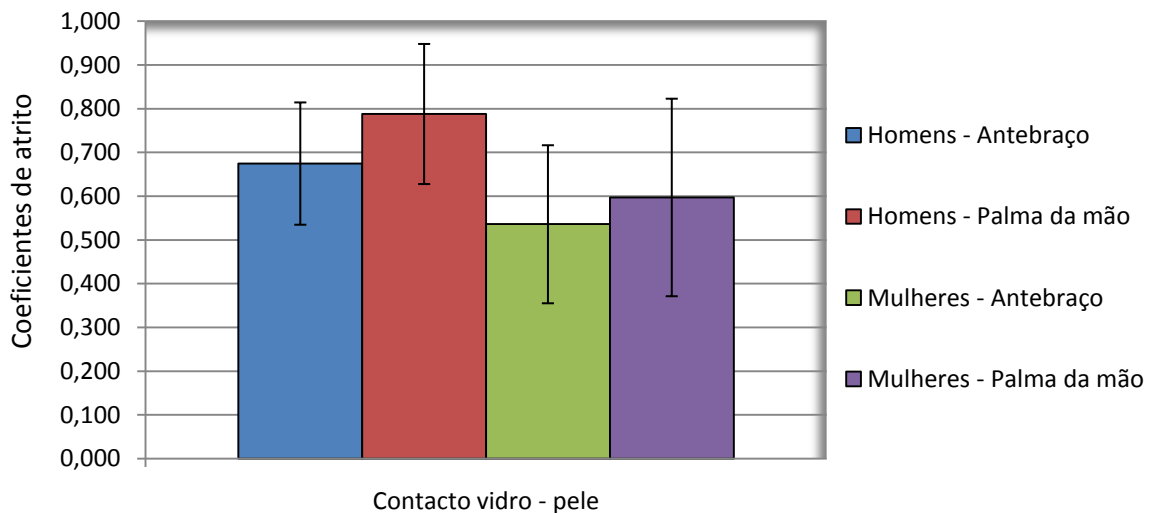
	Idade	Sexo	TEWL (g/m <sup>2</sup> h)	
			Palma da mão	Antebraço
1º	25	M	44,6	13,5
2º	25	M	25,4	4,5
3º	26	M	50,5	23,6
4º	24	F	37,4	7,6
5º	25	F	31,6	6,7
6º	27	M	35,2	9,6
7º	21	F	45,9	15,2
8º	23	M	63,1	8,4
9º	24	M	44,6	6,4
10º	24	M	57,1	16,4
11º	44	F	65,1	35,8
12º	48	F	51,3	7,5
13º	35	M	43,5	7,4
14º	48	M	63,9	11,8
15º	39	M	53,6	47,2
16º	26	M	51,2	8,9
17º	27	F	55,5	14,8
18º	57	M	28,8	21
19º	36	F	15,6	6,1

## 5.2. Resultados de vibração

Tal como referido no subcapítulo 4.2, durante a aquisição dos dados de vibração, foi medido em simultâneo o coeficiente de atrito do contacto pele-vidro. O objectivo principal era cruzar estes dados de atrito obtidos com a resposta da PPV em frequência de vibração e verificar se esta resposta complementar a informação relativamente aos valores de atrito medidos, tal como Zahouani et al. (2009) concluíram no seu estudo em relação à pressão acústica.

Quanto aos coeficientes de atrito medidos, estes apresentaram valores de ordens de grandeza similar a outros estudos efectuados sobre o contacto pele-vidro (Ramalho et al., 2006; Ramalho et al., 2007) e mostraram que o coeficiente de atrito varia consoante a parte anatómica estudada (Ramalho et al., 2007).

Na figura 22 apresentam-se os valores dos coeficientes de atrito obtidos no contacto pele-vidro.



**Figura 22.** Coeficientes de atrito medidos no contacto pele-vidro.

Como se observa na figura 22 os valores de coeficiente de atrito obtidos nos homens são sempre cerca de 30% superiores aos obtidos nas mulheres, para ambas as partes anatómicas estudadas, seguindo a mesma tendência dos valores obtidos no contacto pele – têxteis. Contudo verifica-se aqui, contrariamente ao contacto pele – têxteis, que também no caso das mulheres o atrito é superior na palma da mão em relação ao antebraço, embora esta diferença seja pouco significativa. O aumento do coeficiente de atrito do antebraço para a mão é de cerca de 17% no caso dos homens e 11% no caso das mulheres.

Também aqui foi comparado o TEWL com os valores de atrito, neste caso de contacto pele – vidro os valores mostraram uma ligeira tendência de evolução semelhante à encontrada na evolução do coeficiente de atrito como se pode observar na figura 23.

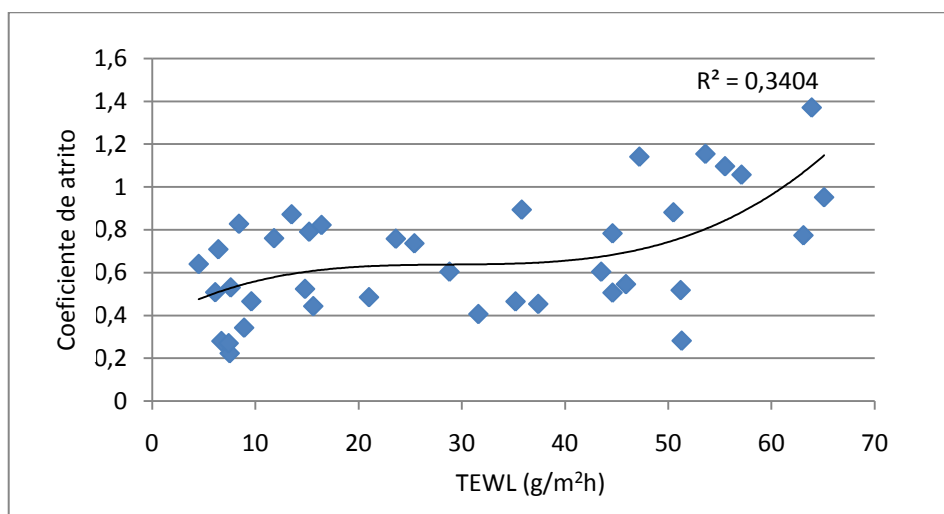


Figura 23. Coeficiente de atrito Vs. TEWL.

Porém, nada se pode concluir com estes valores, visto que, embora se possa obter uma aproximação através de uma linha de tendência polinomial de grau 3, a dispersão apresentada é bastante elevada. Esta tendência vem reforçar a ideia de que como se tratam de dados obtidos *in vivo* seria necessário alargar o estudo a um universo mais amplo para melhorar a fiabilidade dos resultados.

Como já foi referido anteriormente, um dos objectivos desta dissertação era comparar os dados obtidos na análise em vibração com os dados obtidos por atrito, de forma a verificar se a informação da vibração complementaria ou não o estudo do atrito, tal como Zahouani et al. (2009) estudaram para a pressão acústica. De seguida serão então apresentados os resultados obtidos da análise em vibração que foi referida no subcapítulo 4.2.

Atendendo à dificuldade de proceder a uma análise comparativa dos resultados, mesmo utilizando filtros de banda de oitava, optou-se por representar a variação dos valores do atrito e de frequência recorrendo a uma tabela onde são expostas as evoluções relativas do coeficiente de atrito, comparando os valores medidos no antebraço em relação à palma da mão, quanto aos seguintes aspectos: coeficiente de atrito e frequência do sinal de vibração. As tabelas 4 e 5 mostram os resultados dos vários padrões de evolução encontrados.



**Tabela 4.** Padrões de variação do coeficiente de atrito e da frequência obtidos nos homens.

		Homens		
		Coeficiente de atrito	Frequência	Quantidade Relativa (%)
Variações		↓	↓	8,33
		↑	↑	25,00
		↑	↓	16,67
		↓	↓↑	8,33
		↑	↓↑	25,00
		↓↑	↓	8,33
		↓↑	↓↑	8,33

**Tabela 5.** Padrões de variação do coeficiente de atrito e da frequência obtidos nas mulheres.

		Mulheres		
		Coeficiente de atrito	Frequência	Quantidade Relativa (%)
Variações		↓	↑	14,29
		↓	↓	14,29
		↑	↑	14,29
		↑	↓	28,57
		↓	↓↑	14,29
		↑	↓↑	0,00
		↓↑	↓↑	14,29

Os dados das tabelas 4 e 5, são interpretados da seguinte forma: a coluna da esquerda mostra a variação do coeficiente de atrito da palma da mão em relação ao antebraço, ou seja, por exemplo, a seta para baixo, representa que naquele caso o coeficiente de atrito baixou na palma da mão comparativamente com o antebraço. A coluna do meio representa a variação da frequência e a interpretação segue a mesma lógica

referida antes, ou seja, a seta para baixo por exemplo, significa que a frequência baixou na palma da mão comparativamente com o antebraço. Por fim, a coluna da direita representa o número relativo de casos em que ocorreu aquele padrão, representando-se a percentagem de ocorrências em relação ao número de casos analisados.

Como se pode observar nas tabelas 4 e 5, ao contrário do que seria de se esperar, não foi encontrada nenhuma relação entre a resposta em vibração e o coeficiente de atrito.

Estes resultados não concordam com os dados obtidos por Zahouani et al. (2009) que mostraram existir uma relação entre o coeficiente de atrito e a resposta em vibração da pele.

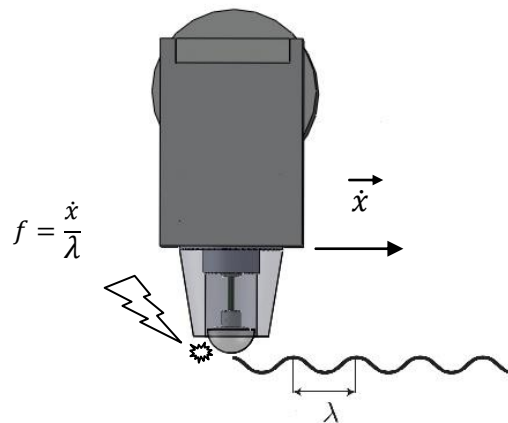
Analisando as razões que podem justificar esta diferença foi possível identificar as seguintes causas possíveis:

- 1- Zahouani et al. (2009) analisaram a pressão acústica e não o sinal de vibração;
- 2- Zahouani et al. (2009) fizeram uma análise do nível global do sinal, isto é, não fizeram separação em frequência e analisaram a amplitude do sinal.

Reflectindo sobre as razões plausíveis apontadas acima é possível inferir que a variação da pressão acústica detectada por Zahouani deverá ter origem na vibração das superfícies de contacto. Desta forma, resulta a questão da razão pela qual não foi possível obter resultados aceitáveis no presente estudo. As razões possíveis deverão ser as seguintes:

- a) a rigidez do material de contacto da ponta de prova no caso presente é muito superior à utilizada por Zahouani et al. (2009). De facto, embora a descrição não seja exaustiva, aqueles autores usaram uma casca fina de polímero, enquanto aqui foi usada uma hemisfera maciça de vidro. Esta diferença só por si permite crer que a ponta de prova que se desenvolveu deverá tender a deslocar o sinal para frequências muito elevadas;
- b) o raio de curvatura utilizado por Zahouani et al. (2009) é muito superior ao usado no estudo presente;
- c) poderá ainda pôr-se a questão se no caso da sonda que se desenvolveu não haverá algum fenómeno dinâmico que atenuar os valores medidos.

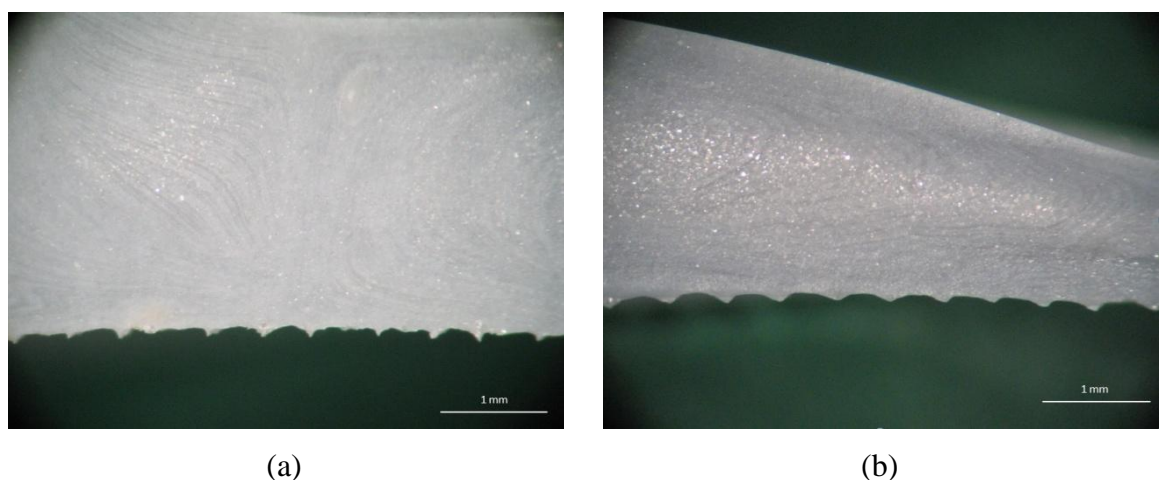
Por outro lado, analisando a natureza do contacto, seria de se esperar uma variação do espectro de frequências quando se comparam os sinais medidos no antebraço e na palma da mão. Esta variação justifica-se com base na variação da topografia da pele nas duas regiões anatómicas. Segundo, Konoyo et al. (2009) a rugosidade da pele apresenta sensivelmente um perfil sinusoidal com um determinado comprimento de onda,  $\lambda$ . Assim, para uma velocidade constante, o valor da frequência de resposta pode ser definida por,  $f = \frac{\dot{x}}{\lambda}$  (figura 24).



**Figura 24.** Esquema representativo da solicitação da PPV.

Para se ter uma noção dos comprimentos de onda da pele foram tiradas réplicas, com recurso ao produto referido no capítulo três, cujos cortes transversais foram medidos em microscópio óptico como se representa na figura 25.

Como se pode ver na figura 25, os perfis típicos da pele quer na palma da mão quer no antebraço podem-se considerar perfis do tipo sinusoidal, desta forma, seria então de se esperar uma resposta da PP que só dependesse do comprimento de onda de cada perfil e da velocidade de deslizamento da PPV na pele.



**Figura 25.** Cortes transversais das réplicas tiradas em cada parte anatómica. (a) – antebraço; (b) – palma da mão.

Obtidos os comprimentos de onda típicos da pele, calcularam-se os valores da frequência de variação das forças de contacto, especialmente na direcção tangencial, correspondente à direcção de solicitação da PPV. Os valores obtidos são apresentados na tabela 6.

**Tabela 6.** Frequências de resposta da PPV na direcção tangencial para os comprimentos de onda tipicamente medidos nas regiões anatómicas estudadas.

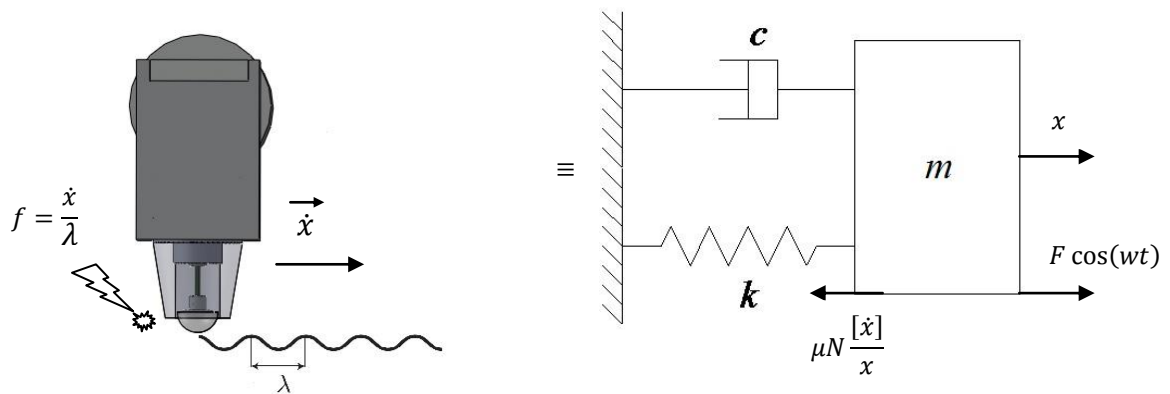
		Comprimento de onda (mm)			
		$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Velocidade (mm/s)	25	50	35,71	27,78	25
	30	60	42,86	33,33	30
	35	70	50	38,89	35
	40	80	57,14	44,44	40
	45	90	64,29	50	45

Como se pode observar na tabela 6, considerando uma gama de  $\lambda$  dentro dos valores típicos medidos, seriam de se esperar frequências de excitação entre 25 e 90 Hz. Portanto para estas frequências, a PPV deveria responder correctamente, o que não se verificou.

Este factor levou a que se tentasse encontrar uma explicação para os resultados. Com base as equações da mecânica clássica para sistemas de vibração com um grau de liberdade (S. Rao, 2003), foi desenvolvido um modelo teórico que permita verificar qual a

dissipação (por efeito de amortecimento) que é introduzida pelo atrito no contacto da PPV com a pele.

O modelo consiste em simular a resposta do sensor, recorrendo a um esquema apresentado na figura 26 que traduz o funcionamento da PPV quando solicitada por uma superfície sinusoidal tendo em conta o efeito do atrito.



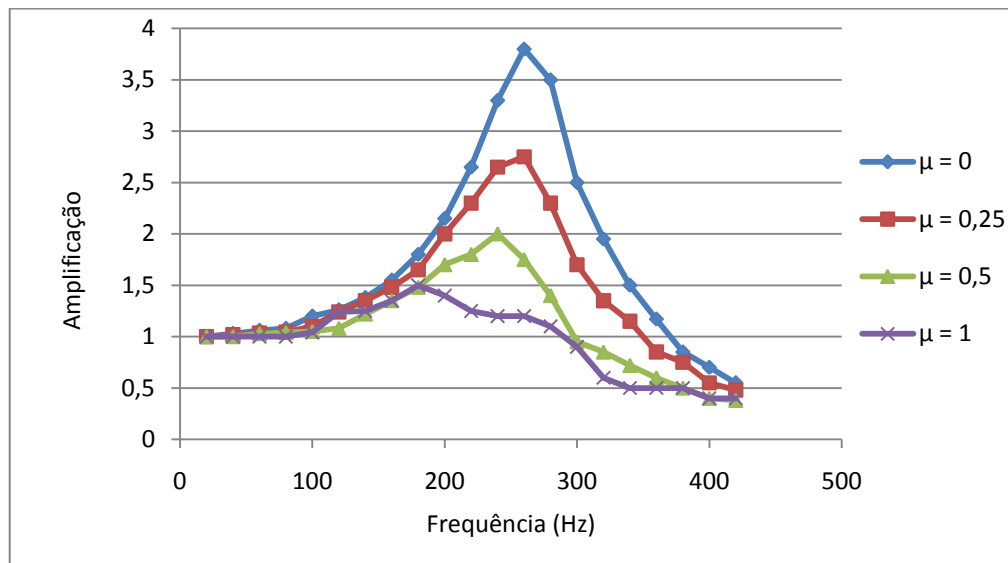
**Figura 26.** Esquema do modelo de previsão construído para a solicitação esperada da PPV.

Através da figura 26 e recorrendo mais uma vez às equações da mecânica clássica para vibração com um grau de liberdade, obtém-se:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + \mu N \frac{[\dot{x}]}{x} = F \cos(\omega t) \quad (5)$$

Onde,  $\mu N \frac{[\dot{x}]}{x}$  nos dá o efeito da força de atrito na resposta deste modelo, sendo  $\frac{[\dot{x}]}{x}$  o versor da velocidade de deslocamento da PPV. Atendendo à não linearidade introduzida pela energia dissipada por atrito, esta equação foi integrada numericamente para o domínio de frequências entre 10 e 420 Hz. O efeito do atrito foi estudado considerando valores do coeficiente de atrito entre 0 e 1.

Recorrendo a este modelo de simulação muito simples, construiu-se um gráfico, representado na figura 27 onde se pode verificar o efeito do atrito na resposta em frequência da PPV.



**Figura 27.** Efeito do atrito na resposta em frequência da PPV.

Como se pode observar na figura 27, o atrito tem um enorme efeito de atenuação nos sinais obtidos, logo, para coeficientes de atrito na ordem dos que foram obtidos (entre 0,224 e 1,371) nestes testes não obtemos uma resposta em frequência que corresponda à realidade medida, dado que, o sinal obtido é significativamente atenuado pelo atrito.

Comparando o estudo de Zahouani et al. (2009) com o presente trabalho é ainda possível concluir que atendendo a que a ponta de prova daqueles autores é pouco rígida e tem um raio de curvatura elevado, provavelmente não será afectada pela topografia da pele. Certamente revelará outros factores como a rigidez da pele na zona anatómica considerada, veja-se que aqueles autores compararam a resposta da face com a da testa.

## 6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho pretendeu medir o coeficiente de atrito entre a pele humana contra diferentes tipos de tecidos recorrendo a um equipamento portátil de accionamento manual.

Para estimar o efeito da rugosidade da superfície da pele, foi desenvolvida uma ponta de prova baseada num sensor piezoelétrico de vibração. Além de atrito e vibração, a perda de água transepidérmica (TEWL) foi também avaliada.

Foram realizados questionários sobre as propriedades dos tecidos, a fim de se ter uma noção das sensações transmitidas ao toque.

Quanto ao contacto pele – têxteis as conclusões foram as seguintes:

- Os valores de coeficiente de atrito mostraram-se sempre mais elevados nos homens que nas mulheres, para ambas as regiões anatómicas estudadas;
- No caso dos homens verificou-se um coeficiente de atrito mais elevado na palma da mão em relação ao antebraço, não se verificando a mesma tendência no caso das mulheres. Verificou-se que, em média, o coeficiente de atrito no antebraço dos homens foi cerca de 4 % maior que no antebraço das mulheres e na palma da mão esta diferença foi bastante mais significativa, cerca de 36 %;
- Os voluntários conseguiram identificar as propriedades dos tecidos relevantes para o atrito recorrendo à sua percepção táctil, excepto para o caso da percepção de temperatura;
- Os materiais preferidos pelas pessoas foram aqueles que apresentaram coeficientes de atrito mais baixos seguindo a mesma tendência de evolução das respostas aos questionários. Ficou assim claro que o atrito é determinante na agradabilidade do toque;
- Quanto ao TEWL nenhuma relação foi encontrada entre este parâmetro e o coeficiente de atrito medido.

Do contacto pele – vidro concluiu-se o seguinte:

- Os valores de coeficiente de atrito medidos seguiram a mesma tendência de evolução do contacto pele-têxteis, ou seja, apresentaram-se sempre maiores nos homens em relação às mulheres. Porém, neste tipo de contacto verificou-se que tanto nas mulheres como nos homens o coeficiente de atrito era maior na palma da mão em relação ao antebraço;
- O aumento de atrito da palma da mão comparativamente com o antebraço foi cerca de 17% no caso dos homens e 11% no caso das mulheres;
- Os valores de TEWL medidos foram comparados com o coeficiente de atrito deste tipo de contacto e foi encontrada uma ligeira tendência de correlação. Contudo, nada se pode concluir acerca da relação entre estes dois parâmetros, pois a amostra não foi suficientemente grande;
- No estudo de vibração efectuado no contacto pele-vidro não foi encontrada nenhuma relação entre a resposta em vibração e o coeficiente de atrito medido;
- Atendendo à natureza do contacto, devido à variação topográfica da pele nas duas regiões anatómicas estudadas, seria de esperar uma variação no espectro de frequência, mas tal não se verificou;
- O facto de não se obterem resultados, levou a que se tentasse encontrar uma explicação para os resultados obtidos;
- Foi desenvolvido um modelo teórico que permitia verificar qual a dissipação de energia (por efeito de amortecimento) que era introduzida pelo atrito no contacto da PPV com a pele, de onde se concluiu que o atrito tinha uma enorme efeito de atenuação nos sinais obtidos, sendo essa atenuação tanto maior quanto maior fosse o coeficiente de atrito.

Com a metodologia de ensaio proposta, foi possível medir os diferentes valores de coeficientes de atrito entre as duas regiões anatómicas estudadas bem como relacioná-los com as respostas aos questionários. No entanto, quanto aos ensaios de contacto pele-têxteis, conclui-se que para se obterem resultados mais significativos em termos estatísticos seria necessário cumprir as seguintes condições:



1. A amostra (número de pessoas) neste tipo de estudo deve ser maior, do mesmo género e de idades não muito variáveis;
2. Devem controlar-se as condições da pele dos voluntários antes dos ensaios, visto este ser um factor que pode influenciar os valores medidos.

Quanto aos dados medidos com a PPV, estes mostraram não haver qualquer relação entre o coeficiente de atrito e a resposta em frequência medida.

Estas conclusões levaram a que se sugerissem alguns trabalhos futuros de forma a poder efectuar-se um estudo mais preciso sobre o papel da vibração na nossa percepção ao toque. Os trabalhos futuros sugeridos são os seguintes:

- a) Estudar uma possível alteração da ponta de prova, de forma a ser possível estudar o sinal medido não só em frequência como também em amplitude, visto que, com este tipo de sensor não é possível calibrar os dados em amplitude;
- b) Tentar variar a frequência própria de vibração da PPV, alterando a ponta de contacto da PPV e/ou o tipo de sensor usado;
- c) Avaliar e estudar o tipo de accionamento usado nos ensaios. Deverá controlar-se a velocidade de deslizamento e a pressão de contacto;
- d) Tentar desenvolver um método experimental que quantifique com mais exactidão a rigidez da pele, entre as várias regiões antómicas estudadas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (WO/2008/015093) Textile material for management of skin health complications associated with skin folds, and its method of use- International Application for patent No.: PCT/EP2007/057231
- Asserin, L.**, Zahouani, H., Humbert, Ph., Couturaud, V., and Mougin, D., “Measurement of the friction coefficient of the human skin in vivo”, Quantification of the cutaneous smoothness; *Colloids Surf. B Biointerfaces*; 2000; 19:1-12.
- Chen, X.**, Shao, F., Barnes, C., Childs, T., & Henson, B. (2009), “Exploring relationships between touch perception and surface physical properties”. *International Journal of Design*, 3(2), 67-77. Acedido a 10 julho de 2010, em: <http://www.ijdesign.org/ojs/index.php/IJDesign/article/view/596/261>
- Coltene®, acedido em Maio 2010 em, [www.coltene.com](http://www.coltene.com).
- Comaish, S., and Bottoms, E.**, “The skin and friction: deviations from Amonton’s laws, and the effects if hydration and lubrication”, *Br. J. Dermatol.*; 1971; 84:37-43.
- Cua, A.**, Wilhelm, K.P., and Maibach, H.I., “Frictional properties fo the human skin: relation to age, sex, and anatomical region, stratum corneum hydration and transepidermal water loss”, *Br. J. Dermatol.*; 1990; 123: 473-479.
- Cua, A.B.**, Wilhelm, K.-P., and Maibach, H.I., “Skin surface lipid and skin friction: relation to age, sex, and anatomical region”, *Skin Pharmacol.*; 1995; 8: 246-251.
- Derler, S.**, Gerhardt L.-C., Lenz A., Bertaux E., Hadad M., “Friction of human skin against smooth and rough glass as a function of the contact pressure”, *Tribology International* 42 (2009) 1565–1574.
- Dermasaver®, [www.hipsaver.com.au](http://www.hipsaver.com.au)
- El-Shimi, A.F.**, “In vivo skin friction measurements”, *J. Soc. Cosmet. Chem.*; 1977; 28: 37-51.
- Elsner, P.**, Wilhelm, D., and Maibach, H.I., “Frictional properties of the human forearm and vular skin: influence of the age and correlation with transepidermal water loss and capacitance”, *Dermatologica*; 1900; 181: 88-91.
- Emilie Bertaux**, Maryline Lewandowski and Siegfried Derler, “Relationship between Friction and Tactile Properties for Woven and Knitted Fabrics”, *Textile Research Journal*, Vol. 77, No. 6, 387-396 (2007).
- Frederic Cordier** and Nadia Magnenat-Thalmann, “Integrated system for skin deformation”, *Proceedings Computer animation 2000*, IEEE Computer Society, Philadelphia, USA, May 3 (2000) 2-8.
- Gee, M.G.**, Tomlins P., Calver A., Darling R.H., Rides M., “A new friction measurement system for the friction component of touch”, *Wear* 259 (2005) 1437–1442.
- Gerhardt L-C**, Mattle N, Schrade GU, Spencer ND, Derler S., “Study of skin-fabric interactions of relevance to decubitus”, friction and contact-pressure measurements

- Skin Research and Technology 2008;14(1):77-88.
- Gwosdow, A. R.**, Stevens, J. C., Berglund, L. G. and Stolwijk, J. A. J. (1986), "Skin Friction and Fabric Sensations in Neutral and Warm Environments", *Textile Research Journal* 56, 574-580.
- Hatch, K. L.**, Markee, N. L. and Maibach, H. I. (1992), "Skin Response to Fabric: A Review of Studies and Assessment Methods", *Clothing and Textile Research Journal* 10, 54-63.
- Hendriks, F. M.**, Brokken, D., Oomens, C. W. J. and Baaijens, F. P. T. (2004), "Influence of hydration and experimental length scale on the mechanical response of human skin in vivo, using optical coherence tomography", *Skin Research and Technology* 10, 231-241.
- Hendriks, F. M.**, Brokken, D., van Eemeren, J., Oomens, C. W. J., Baaijens, F. P. T. and Horsten, J. (2003), "A numerical-experimental method to characterize the non-linear mechanical behaviour of human skin", *Skin Research and Technology* 9, 274-283.
- Highley, D.R.**, Coomey, M., DenBeste, M., and Wolfram, L.J., "Frictional properties of skin", *J. Invest. Dermatol.*; 1977; 69: 303-305.
- Johnson, S.A.**, Gorman, D.M., Adams, M.J., and Briscoe, B.J., "The friction and lubrication of human stratum corneum, thin films in tribology", Dowson, D. et al. (eds), *Proceedings of the 19<sup>th</sup> Leeds-Lyon Symposium on Tribology*, Elsevier Science Publishers, B.V.; 1993, pp. 663-672.
- Kenins, P.** (1994), "Influence of fiber-type and moisture on measured fabric-to-skin friction", *Textile Research Journal* 64, 722-728.
- Knapik, J. J.**, Reynolds, K. L., Duplantis, K. L. and Jones, B. H., (1995), "Friction Blisters - Pathophysiology, Prevention and Treatment", *Sports Medicine* 20, 136-147.
- Konyo, Masashi**, Tadokoro Satoshi, Yoshida Akinori, Saiwaki Naoki, "A Tactile Synthesis Method Using Multiple Frequency Vibrations for Representing Virtual Touch", 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- Koudine, A.A.**, Barquins, M., Anthoine, Ph., Auberst, L., and Leveque, J.-L., "Frictional properties of skin: proposal of a new approach", *Int. J. Cosmet. Sci.*; 2000; 22:11-20.
- Lederman, Susan J.**, Loomis Jack M. and Williams Deborah A., "The role of vibration in tactual perception of roughness", *Perception and Psychophysics*, 1982, 32 (2), 109 – 116.
- Manuskiatti, W.**, Schwindt, D.A., and Maibach, H.I., "Influence of age, anatomic site and race on skin roughness and scaliness", *Dermatology*; 1998; 196: 401-407.
- Nacht, S.**, Close, J., Yeung, D., and Gans, E.H., "Skin friction coefficient: changes induced by skin hydration and emollient application and correlation with perceived skin feel", *J. Soc. Cosmet. Chem.*; 1981; 32: 55-65.
- Naylor, P.F.D.**, "The skin surface and friction", *Br. J. Dermatol.*, 1955; 67: 239-248.

- Pailler-Mattei, C.**, Nicoli S., Pirot F., Vargiolu R., Zahouani H., “A new approach to describe the skin surface physical properties in vivo”, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 68 (2009) 200–206.
- Prall, J.K.**, “Instrumental evaluation of the effects of cosmetic products on skin surfaces with particular reference smoothness”, *J. Soc. Chem.*; 1973; 23: 693-707.
- Ramalho A.**, “A reliability model for friction and wear experimental data” *Wear*, Volume 269, Issue 3-4 (2010) 213-223
- Ramalho, A.**, Silva C.L., Pais A.A.C.C., Sousa J.J.S., “In vivo friction study of human palmopantar skin against glass”, *Tribologia–Finnish J. Tribol.* 25-3 (2006) 14–23.
- Ramalho, A.**, Silva C.L., Pais A.A.C.C., Sousa J.J.S., “In vivo friction study of human skin: Influence of moisturizers on different anatomical sites”, *Wear* (2007), 263, 1044–1049.
- Ramalho, A.**,” Influence of Environmental Humidity on the Friction of Human Skin Against Textiles”, Abstract of the poster P10.07.09, 17<sup>th</sup> International Conference on Wear of Materials, Las Vegas – USA, April (2009).
- Ribeiro, Ricardo**, 2007. Acedido em Junho de 2010 em <http://feridas.no.sapo.pt/pele.htm>.
- S. Rao** (2003), “Mechanical Vibrations “,Addison-Wesley, 3<sup>a</sup> Edição.  
Second skin, acedido em Junho 2010 em, <http://www.csiro.au/news/ps1pw.html>.
- Sivamani, R.K.**, Goodman, J., Gitis, N.V., and Maibach, H.I., “ Friction coefficient of the skin in real-time ”, *Skin Res. Technol.*; 2003; 9: 235-239.
- Sivamani, R.K.**, Wu, G.C., Gitis, N.V., and Maibach, H.I. “Tribological testing of skin products: gender, age, and ethnicity on the volar forearm”, *Skin Res. Technol.*; 2003; 9: 299-305.
- Sivamani, Raja K.**, Gabriel, W.u., Gitis Norm V. and Maibach Howard I. (2005), “Tribological Studies on Skin: Measurement of the Coefficient of Friction”, Em: Marie Lodén e Howard I. Maibach, “Dry Skin and Moisturizers, Chemistry and Function”, 2<sup>a</sup> Ed., CRC Taylor & Francis Group, 431 - 441.
- Skintex®, acedido em Maio 2010 em, [www.active-textiles.com](http://www.active-textiles.com).
- Smith III.**, Julius O. “MATHEMATICS OF THE DISCRETE FOURIER TRANSFORM (DFT) WITH AUDIO APPLICATIONS.” 2<sup>a</sup> edição; BookSurge Publishing, 2007
- Wei Tang**, Shi-rong Ge, Hua Zhu, Xi-chuan Cao, Ning Li; “The Influence of Normal Load and Sliding Speed on Frictional Properties of Skin”, *Journal of Bionic Engineering* 5 (2008) 33–38.
- Wikipedia, 2010.** Wikipedia [Online], Julho 2010, <http://pt.wikipedia.org/wiki/Pele>.
- Wu, J. Z.**, Dong, R. G. and Schopper, A. W. (2004), “Analysis of effects of friction on the deformation behavior of soft tissues in unconfined compression tests”, *Journal of Biomechanics* 37, 147-155.
- Wu, J. Z.**, Dong, R. G., Smutz, W. P. and Schopper, A. W. (2003), “Nonlinear and viscoelastic characteristics of skin under compression: experiment and analysis”, *Bio-Medical Materials and Engineering* 13, 373-385.

**Zahouani, H.**, Vargiolu R., Boyer G., Paillet-Mattei C., Laquière L., Mavon A.,  
“Friction noise of human skin in vivo”, *Wear* (2009), 267, 1274–1280.

**Zhang, M.** and Mak, A. F. (1999), “In vivo friction properties of human skin”, *Prosthet  
Orthot Int* 23, 135-41.

---

## ANEXO A

### Equipamentos utilizados

#### 1. Microscópio óptico

Microscópio óptico “NIKON STEREO PHOTO SMZ - 10” equipado com uma máquina fotográfica “Canon PowerShot A620” acoplada e com um equipamento de iluminação “INTRALUX 5000 - 1. Este conjunto permite observar os componentes com uma ampliação até 975 vezes.



**Figura 28.** Microscópio óptico.

## 2. Osciloscópio digital

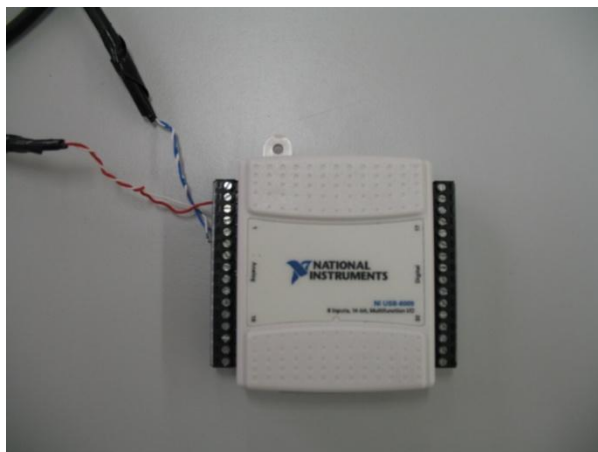


Figura 29. Osciloscópio digital Pico® ADC - 216

Tabela 7. Características do osciloscópio.

ADC-216 Basic Technical Specifications	
<b>Scope timebase</b>	20 $\mu$ s/div to 50 s/div
<b>Spectrum range</b>	0-166 kHz
<b>Spectrum dynamic range</b>	>90 dB;
<b>Maximum sample rate</b>	333 kS/sec (1 channel) 166 kS/sec (2 channels);
<b>Analog bandwidth</b>	166 kHz
<b>Buffer size</b>	32 kS
<b>Input-voltage ranges</b>	$\pm$ 10 mV to $\pm$ 20 V in 11 ranges, 20 V <sub>pp</sub> max
<b>External trigger input</b>	5V max
<b>Resolution</b>	16 bit
<b>Channels</b>	2 BNC, 1 M $\Omega$ AC/DC 1 BNC external trigger
<b>Accuracy</b>	$\pm$ 1%
<b>Power</b>	12V DC, 500 mA plug-in AC power adapter
<b>Size</b>	225 x 165 x 40 mm

### 3. Placa de aquisição A/D



**Figura 30.** Placa de conversão analógica digital A/D National Instruments USB 6009.



## Estudos complementares realizados

### 1. Efeito da inclinação da célula de carga

A célula de carga de dois eixos mede a força normal e tangencial no sentido do eixo  $z'$  –  $y'$  (figura 31). Se a direção da carga não coincidir com os eixos referidos, ocorre o efeito cruzado na célula de carga.

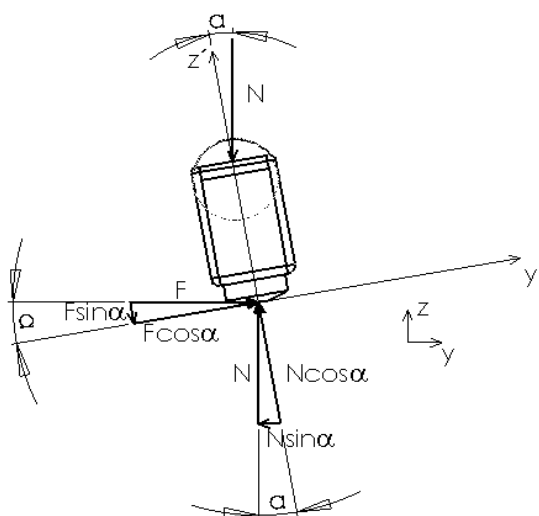


Figura 31. Efeito cruzado da sonda.

Assumindo o modelo de Amontons – Coulomb o coeficiente de atrito real é:

$$\mu_r = \frac{F}{N} \quad (1)$$

Para o caso da inclinação do equipamento, como se mostra na figura 31 o coeficiente de atrito medido é:

$$\mu_m = \frac{F \cdot \cos \alpha - N \cdot \sin \alpha}{N \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin \alpha} \quad (2)$$

Dividindo (2) por N,  $\mu_m$  ficará:

$$\mu_m = \frac{\mu_r \cdot \cos \alpha - \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu_r \cdot \sin \alpha} \quad (3)$$

Assumindo uma inclinação do equipamento,  $\alpha < 5^\circ$ , o factor “ $\mu_r \cdot \sin \alpha$ ” pode ser negligenciado e como  $\cos 5$  é próximo de 1, tem-se então:

$$\mu_m = \mu_r - \tan \alpha \quad (4)$$

De onde se obtém:

$$\Delta\mu = \frac{\tan \alpha}{\mu_r} \quad (5)$$

Através de (5), e assumindo uma inclinação máxima de  $5^\circ$  pode-se então calcular os erros relativos de medida cometidos pelo accionamento do equipamento portátil pelo operador. Na tabela 8, encontram-se expostos os erros relativos em função do coeficiente de atrito medido. Como se pode observar na tabela 8 o erro de medida relativamente grande no caso de contactos com coeficiente de atrito relativamente baixo, sendo cada vez mais pequeno à medida que o coeficiente de atrito aumenta.

**Tabela 8.** Erros de medida em função do coeficiente de atrito.

Coeficiente de atrito (-)	Erro Relativo (%)
0.1	87
0.2	44
0.3	29
0.4	22
0.5	17
0.6	15
0.7	12
0.8	11
0.9	10
1	9

## 2. Procedimento experimental de cálculo da rigidez relativa

A fim de se ter uma noção da rigidez relativa da pele entre a palma da mão e o antebraço, foram efectuados vários testes experimentais que consistiram em usar a mesma sonda portátil já referida anteriormente, mas usando uma ponta de prova (PP) que garantisse, à partida, a mesma penetração em ambas as partes anatómicas estudadas, para desta forma se poder comparar, em termos relativos, a rigidez entre a palma da mão e o antebraço. Para uma melhor compreensão do procedimento, a figura 32 ilustra a forma como foram feitos os testes.

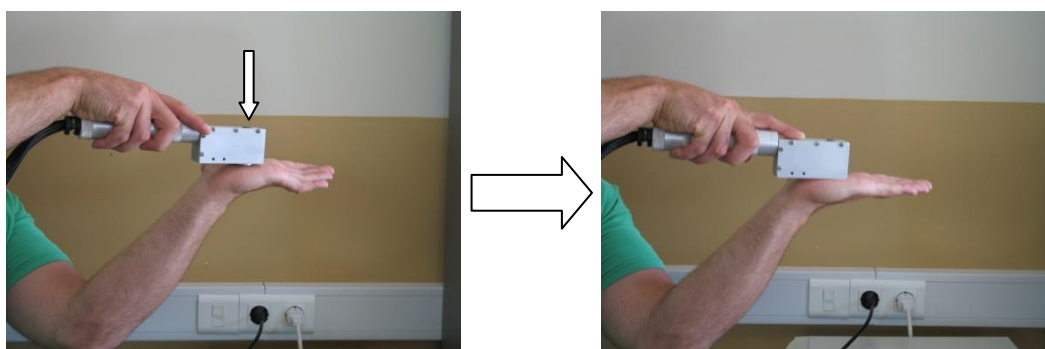
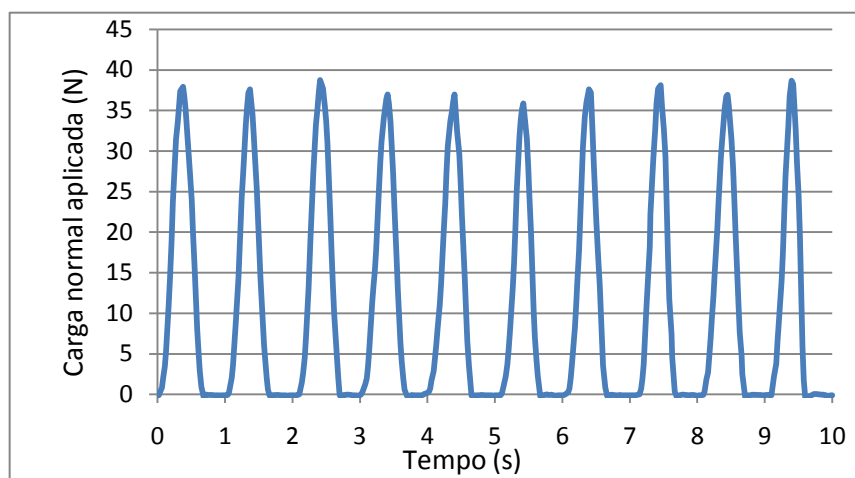


Figura 32. Procedimento experimental de medição da rigidez relativa.

O procedimento dos testes foi o seguinte:

- Carregou-se a sonda, como se ilustra na figura 32, com a PP para o efeito até esta estar totalmente “dentro” da pele;
- Repetiu-se o procedimento anterior varias vezes em ambas as partes anatómicas em estudo, obtendo-se um gráfico do tipo da figura 33 para cada parte anatómica;
- Calculou-se a média dos picos máximos da carga normal, para cada zona estudada;
- Calculou-se um parâmetro de rigidez como a razão entre o valor médio da força e a penetração;
- Comparam-se os valores médios dos parâmetros de rigidez, fazendo a razão entre as médias dos valores obtidos na palma da mão e as médias dos valores obtidos no antebraço.



**Figura 33.** Carga normal obtida no procedimento ilustrado na figura 32.

Com este procedimento, obteve-se assim a rigidez relativa entre a palma da mão e o antebraço que se verificou ser razoavelmente constante e com um valor de 1,5, ou seja, a rigidez da palma da mão mostrou ser, em média, 1,5 vezes maior que a do antebraço.

Contudo, este é um procedimento que não permite ter uma noção precisa da rigidez da pele em cada região anatômica, dado que, só permite avaliar a rigidez relativa entre ambas as regiões o que por si só não nos permite tirar conclusões acerca da influência deste parâmetro nos valores obtidos por atrito e vibração.

## **ANEXO B**

# 1. Questionário sobre os têxteis

TESTE Nº \_\_\_\_\_

**Dados da pessoa:**

- Idade - \_\_\_\_\_
- Sexo (M/F) - \_\_\_\_\_

**Condições do ensaio:**

- Hora/dia do teste - \_\_\_\_\_ h / \_\_\_\_\_
- Temperatura do espaço - \_\_\_\_\_ °C
- Humidade do espaço - \_\_\_\_\_ %
- TEWL (Palma da mão) - \_\_\_\_\_ g/m<sup>2</sup>h
- TEWL (Antebraço) - \_\_\_\_\_ g/m<sup>2</sup>h

**Material 1**

1. *Suave ou áspero?*

Suave 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Áspero

2. *Macio ou duro?*

Macio 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Duro

3. *Escorregadio ou macio?*

Escorregadio 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Adesivo

4. *Qual a sensação de temperatura?*

Quente 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Frio

5. *Agradável ao toque?*

Muito 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Pouco

*Gostou deste material?*

Sim	Não sei	Não

**Material 2****1. Suave ou áspero?**Suave      Áspero**2. Macio ou duro?**Macio      Duro**3. Escorregadio ou macio?**Escorregadio      Adesivo**4. Qual a sensação de temperatura?**Quente      Frio**5. Agradável ao toque?**Muito      Pouco**Gostou deste material?**

Sim	Não sei	Não
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Material 3****1. Suave ou áspero?**Suave      Áspero**2. Macio ou duro?**Macio      Duro**3. Escorregadio ou macio?**Escorregadio      Adesivo**4. Qual a sensação de temperatura?**Quente      Frio**5. Agradável ao toque?**Muito      Pouco**Gostou deste material?**

Sim	Não sei	Não
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Material 4**1. *Suave ou áspero?*Suave 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Áspero2. *Macio ou duro?*Macio 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Duro3. *Escorregadio ou macio?*Escorregadio 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Adesivo4. *Qual a sensação de temperatura?*Quente 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Frio5. *Agradável ao toque?*Muito 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Pouco*Gostou deste material?*

Sim	Não sei	Não
-----	---------	-----

**Material 5**1. *Suave ou áspero?*Suave 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Áspero2. *Macio ou duro?*Macio 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Duro3. *Escorregadio ou macio?*Escorregadio 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Adesivo4. *Qual a sensação de temperatura?*Quente 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Frio5. *Agradável ao toque?*Muito 

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

 Pouco*Gostou deste material?*

Sim	Não sei	Não
-----	---------	-----



## 2. Questionários sobre os hábitos pessoais

### Questionário sobre testes de atrito pele-têxtil

Teste Nº \_\_\_\_

Por favor, preencha o seguinte questionário de forma a ajudar-nos no nosso trabalho de avaliação das características da pele e o seu correspondente coeficiente de atrito.

1. O seu sexo

- Masculino
- Feminino

2. A sua idade

- 0 - 11
- 12 - 18
- 19 - 30
- 31 - 40
- 41 - 50
- 51 - 60
- 61 - 70
- 70 <

3. A sua etnia

- Branco/Caucasiano
- Negro ou de origem Africana
- Latino ou Latino-Americano
- Americano Nativo
- Hindu/Paquistanês
- Médio Oriente
- Chinês
- Japonês
- Sudoeste Asiato
- Ilhas do Pacífico
- Outros

4. Por favor identifique a cor natural do seu cabelo!

- Loiro
- Ruivo
- Castanho-claro
- Castanho-escuro
- Preto

5. Normalmente com que frequência toma duche ou banho?

- | Duche   | Banho   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Duas ou mais vezes por dia | <input type="checkbox"/> Duas ou mais vezes por dia |
| <input type="checkbox"/> Uma vez por dia            | <input type="checkbox"/> Uma vez por dia            |
| <input type="checkbox"/> De dois em dois dias       | <input type="checkbox"/> De dois em dois dias       |
| <input type="checkbox"/> Menos que a anterior       | <input type="checkbox"/> Menos que a anterior       |

6. Usa produtos de tratamento para a pele?

- Sim  
 Não

7. Se sim, por favor identifique-o/ (os), e diga em que parte do corpo usa cada produto (ex: nome do produto - (a))

(a); cara, (b); mãos, (c); busto, (d); pernas

.....	.....
.....	.....
.....	.....

8. Que quantidade de água normalmente bebe por dia?

- <0.5 Litros  
 0.5 < > 1l  
 1 < > 2 l  
 2 < > 3 l  
 > 3 Litros

9. Por favor, classifique numa de escala de 1 (nunca como) a 10 (como muitas vezes) os seguintes alimentos tendo em conta os seus consumos normais

- |                       |       |
|-----------------------|-------|
| Peixe                 | _____ |
| Carnes Brancas        | _____ |
| Carnes Vermelhas      | _____ |
| Arroz                 | _____ |
| Batatas               | _____ |
| Vegetais              | _____ |
| Frutas                | _____ |
| Pão, bolos, biscoitos | _____ |
| Chocolate             | _____ |
| Nozes                 | _____ |

10. Consume bebidas alcoólicas?

- Sim
- Não

11. Se sim. Por favor, indique a quantidade de bebidas alcoólicas que, em média, ingere semanalmente!

Cerveja	_____ l
Vinho	_____ l
Licor	_____ dl
Bebidas brancas	_____ dl

12. Fuma?

- Sim
- Não

13. Se sim. Por favor, indique quantos cigarros, em média, fuma por dia?

- <5 Cigarros
- 5 <math>\leftrightarrow</math> 10 Cigarros
- 10 <math>\leftrightarrow</math> 20 Cigarros
- 20 <math>\leftrightarrow</math> 30 Cigarros
- 30 <math>\leftrightarrow</math> 40 Cigarros
- > 40 Cigarros

14. Diga, aproximadamente, quanto tempo costuma estar em exposição directa ao sol!

- Nunca
- Raramente
- Algumas vezes
- Muitas vezes

15. Esteve exposto ao sol mais de 1h nas ultimas 24h?

- Sim
- Não

16. Por favor, indique se acha que existe algum factor que pode ter influência nas propriedades da sua pele (doença de pele, tratamentos cosméticos, queimaduras solares ou outras, etc. ...)

---

---

---

---

---