



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Ana Filipa dos Santos Pastilha

**COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL DE
DISPOSITIVOS PARA AVALIAÇÃO DA PRESSÃO
PLANTAR**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica orientada pelas Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro e Professora Doutora Maria António Ferreira de Castro e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Outubro de 2021

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Comparação Experimental de Dispositivos para Avaliação da Pressão Plantar

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

Experimental Comparison of Plantar Pressure Devices

Autor

Ana Filipa dos Santos Pastilha

Orientadores

Ana Paula Bettencourt Martins Amaro

Maria António Ferreira de Castro

Júri

Presidente	Professora Doutora Maria Augusta Neto Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra
Orientador	Professora Doutora Maria António Castro Professora Coordenadora do Instituto Politécnico de Leiria Mestre Ana Catarina Martins Miguens Amaro Doutoranda da Universidade de Coimbra
Vogais	Doutora Maria de Fátima da Costa Paulino Professora Auxiliar Convidada da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



**Instituto Superior de
Engenharia de
Coimbra**



**Laboratório de
Biomecânica Aplicada
do Instituto
Politécnico de
Coimbra**



**Body Keeper – Clínica
de Fisioterapia,
Osteopatia e Nutrição**

Coimbra, outubro, 2021

Quero, terei –
Se não aqui,
Noutro lugar que ainda não sei.
Nada perdi.
Tudo serei.

Fernando Pessoa, em *Poesias Inéditas (1930-1935)*, 1955.

Agradecimentos

A dissertação que aqui se apresenta, apesar de ser um trabalho da autora, só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, não podendo deixar de parte o meu devido agradecimento e reconhecimento.

Às minhas orientadoras, Prof^a. Doutora Ana Paula Amaro e Prof^a. Doutora M^a António Castro, pela disponibilidade, apoio, sapiência e boa disposição.

Aos Prof. Doutor Luis Roseiro e fisioterapeuta Carlos Morgado Santos, pelos aparelhos de medição confiados, sem os quais o estudo não aconteceria.

À Mestre Catarina Amaro, pela disponibilidade e ajuda incansável, tendo sido um elemento fundamental na realização dos ensaios.

À Doutora. Fátima Paulino e Eng. Linda Pinto de Jesus, por todo o auxílio prestado na fase de tratamento de dados, sempre com a máxima prontidão.

Aos meus pais, pelo exemplo que sempre foram, pelo apoio incondicional e por toda a compreensão.

Ao meu irmão, pela familiaridade que me trouxe face à área da saúde e, em particular, da fisioterapia. E pela dedicação e empenho que demonstra, sendo um exemplo e fonte de motivação.

Aos meus colegas e amigos Pedro, Gonçalo, João, Joana, Rute, Sara, Carlos, Zé e Inês, por todos os momentos de amizade e companheirismo partilhados.

Ao Tony, por acreditar em mim mesmo quando eu não acredito, pelo exemplo que é e por toda a paciência que sempre teve.

Aos meus amigos e colegas Rita, Carlos, Francisco, Gabriel, Gonçalo, Hugo, Joana, João, Zé, Mariana, Joana, Mariana, Matilde, Joana e Pedro, por toda a colaboração e disponibilidade.

Resumo

A pressão plantar tem-se revelado, cada vez mais, como uma ferramenta de elevada importância no estudo do comportamento do pé, da influência que diversas patologias têm sobre a distribuição da mesma e, em geral, na postura corporal. O crescente conhecimento nesta área, tem permitido abrir portas na área quer do diagnóstico, quer na área da fisioterapia e reabilitação. Dada a variedade de instrumentos existente, para garantir a comparabilidade de dados, torna-se clara a importância de um estudo experimental que compare os resultados obtidos com diferentes dispositivos de avaliação da pressão plantar.

O objetivo deste trabalho é a comparação experimental de três dispositivos de avaliação da pressão plantar: palmilhas Pedar®, da Novel, plataforma de pressão Emed®, da Novel e plataforma de pressão Physiosensing®, da Sensing Future.

Com o intuito de aferir a fiabilidade dos dispositivos, foi considerada uma amostra de 15 voluntários, alunos da Universidade de Coimbra, com idades compreendidas entre os 19 e os 24 anos. Cada voluntário realizou 5 ensaios com cada dispositivo, seguindo um protocolo de testes previamente definido, perfazendo um total de 225 testes válidos.

Os resultados foram comparados segundo uma análise estatística, recorrendo ao software IBM SPSS®, tendo sido verificadas diferenças estatisticamente significativas. A correlação intraclasse permitiu verificar uma relação linear entre os resultados, demonstrando uma boa consistência na diferença entre os valores. Assim sendo, verificou-se sempre diferença nos resultados, não se verificando um acordo entre dados.

Considerando o objetivo de comparar os dispositivos com foco na sua fiabilidade, foi também desenvolvido um sistema mecânico, de forma a assegurar a repetibilidade dos testes. Porém, o sistema desenvolvido não foi passível de produzir resultados em dois dos três dispositivos em estudo, impossibilitando a comparação experimental.

Palavras-chave: Pressão Plantar, Fiabilidade, Sistema Pedar®, Sistema Emed®, Sistema Physiosensing®, Sistema Mecânico.

Abstract

Plantar pressure has increasingly proved to be a highly important tool in the study of foot behavior, the influence that various pathologies have on its distribution and body posture in general. The growing knowledge in this area has allowed to make progress in the diagnosis area, as well as in physiotherapy and rehabilitation. Given the variety of existing instruments, to guarantee the comparability of results, the importance of an experimental study that compares the results with different instruments for assessing plantar pressure becomes clear.

The main objective of the work presented is the experimental comparison of three plantar pressure devices: Pedar® insoles, by Novel, Emed® pressure platform, by Novel, and Physiosensing® pressure platform, by Sensing Future.

To measure the reliability of the devices, a sample of 15 volunteers, students from Coimbra University, aged between 19 and 24 years old was considered. For each volunteer, 5 tests were performed with each device, following a previously defined test protocol, totaling up in 225 valid tests.

The results were compared according to a statistical analysis, using IBM SPSS® software, and statistically significant differences were found. The ICC correlation was analyzed, and a linear relationship was verified, demonstrating a good consistency in the difference in the results, which means a poor agreement between data.

Considering the objective of comparing the devices focusing on their reliability, a mechanical system was also developed to ensure the repeatability of the tests. However, the developed system was not able to produce results in two of the three devices under study, making the experimental comparison impossible.

Keywords Plantar Pressure, Reliability, Pedar® System, Emed® System, Physiosensing® System, Mechanical System.

Índice

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xi
Simbologia e Siglas	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Pressão Plantar	3
2.2. Sistemas de Medição da Pressão Plantar	4
2.2.1. Plataformas	4
2.2.2. Palmilhas	4
2.2.3. Fiabilidade e Repetibilidade dos Sistemas de Medição	5
2.3. Parâmetros Associados ao Estudo da Pressão Plantar	6
2.3.1. Pico de Pressão	7
2.3.2. Curva do Pico de Pressão	7
2.3.3. Integral de Pressão-Tempo ou Impulso	7
2.3.4. Centro de Pressão	8
2.3.5. Área de Contacto	9
2.3.6. Coeficiente de Correlação Intraclasse	9
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	11
3.1. Dispositivos	11
3.1.1. Palmilhas Pedar® da Novel.....	11
3.1.2. Plataforma Emed® da Novel.....	12
3.1.3. Plataforma Physiosensing® da Sensing Future Technologies	13
3.2. Sistema Mecânico	13
3.2.1. Protocolo de Testes.....	16
3.3. Grupo de Voluntários.....	16
3.3.1. Protocolo de Testes.....	18
4. REGISTO E TRATAMENTO DE DADOS	19
4.1. Pedar®	19
4.2. Emed®	20
4.3. Physiosensing®.....	22
4.4. Análise Estatística.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1. Sistema Mecânico	23
5.2. Grupo de Voluntários.....	23
5.3. Estudo Estatístico.....	26
5.4. Limitações do Estudo.....	29

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	31
6.1. Conclusões.....	31
6.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
APÊNDICE A	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Exemplo de sistema de plataforma Emed® da Novel, retirado de [14].	4
Figura 2.2. Exemplo de sistema de palmilhas Pedar® da Novel, retirado de [15].	5
Figura 2.3. Curva típica do pico de pressão, retirado de Rosenbaum e Becker [26].	7
Figura 2.4. Trajetória típica do CoP no pé. (A) Trajetória do CoP num eixo X-Y, relativo ao pé. (B) Trajetória do CoP no eixo Y em função do tempo [29].	8
Figura 3.1. Sistema de medição Pedar®, da Novel [15].	11
Figura 3.2. Sistema de medição Emed®, da Novel [14].	12
Figura 3.3. Sistema de medição Physiosensing®, da Sensing Future Technologies [38].	13
Figura 3.4. Primeiro sistema mecânico desenvolvido (SM1).	14
Figura 3.5. Segundo sistema mecânico desenvolvido (SM2).	15
Figura 3.6. Palmilhas de cortiça coladas à base dos sistemas SM1 e SM2, produzindo uma área de contacto semelhante às palmilhas Pedar® V 1872 R / 1869 L.	16
Figura 4.1. Distribuição da pressão plantar, observada através do <i>software</i> Pedar®, durante um ensaio.	19
Figura 4.2. Análise quantitativa feita pelo <i>software</i> Pedar®.	20
Figura 4.3. Imagem original (esquerda) e transformada (direita) [39].	21
Figura 4.4. Resumo das análises qualitativa e quantitativas realizadas pelo <i>software</i> Physiosensing®.	22
Figura 5.1. Comparação da média dos MPP nos vários dispositivos de aquisição.	24
Figura 5.2. Comparação das áreas de contacto nos vários dispositivos de aquisição.	25
Figura 5.3. Imagens pedobarográficas dos 5 ensaios do paciente 5, utilizando o sistema Pedar®.	26

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Dados antropométricos, sexo e informação sobre eventuais lesões dos indivíduos voluntários.	17
Tabela 5.1. ICC e α de Cronbach das médias dos MPP medidos com os vários equipamentos.	27
Tabela 5.2. ICC e α de Cronbach das médias das áreas de contacto obtidas com os vários equipamentos.	27
Tabela 5.3. α de Cronbach e ICC relativos à comparação simultânea dos três dispositivos em estudo, considerando as médias dos MPP e das áreas de contacto.	28
Tabela A.1. Valores médios do pico de pressão e da área de contacto dos cinco ensaios de cada paciente, em cada um dos três dispositivos: Pedar®, Emed® e Physiosensing®.	37

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

α – Alfa de Cronbach

Δt – Intervalo de amostragem

A_i – Área do sensor i

A_L – Área de contacto do pé esquerdo

A_R – Área de contacto do pé direito

A_T – Área de contacto total

$C_{pé}$ – Comprimento do pé

L_{calc} – Largura do calcanhar

n – Número de sensores

P – Pressão

P_1, P_2, \dots, P_n – Pressões medidas nos sensores 1, 2, ..., n

P_i – Pressão medida pelo sensor i

PP_i – Produto das pressões

(X_i, Y_i) – Coordenadas do centro do sensor i

Siglas

CoP – Centro de Pressão

IMC – Índice de Massa Corporal

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

MPP – Máximo Pico de Pressão

MVP – Valor Médio da Pressão

PP – Pico de Pressão

PPC – Curva do Pico de Pressão

PTI – Integral Pressão-Tempo

SEM – Erro Padrão da Média

1. INTRODUÇÃO

A pressão plantar tem-se revelado, cada vez mais, como uma ferramenta de elevada importância no estudo do comportamento do pé, da influência que diversas patologias têm sobre a distribuição da mesma e, em geral, na postura corporal. O crescente conhecimento nesta área tem permitido abrir portas na área quer do diagnóstico, quer na área da fisioterapia e reabilitação.

A avaliação deste parâmetro é feita recorrendo a instrumentos de medição da pressão plantar, sendo genericamente divididos em dois tipos de sistemas, palmilhas e plataformas de pressão. Independentemente do tipo de sistema, o modelo conceitual base do funcionamento dos instrumentos é idêntico. Estes aparelhos incluem uma matriz de sensores que permite aferir a pressão exercida sobre cada um deles.

Com a utilização de dispositivos de medição da pressão plantar é possível, não só medir a pressão que o pé exerce como um todo, mas analisar que zonas estão a ser mais solicitadas, determinar a área do pé que está em contacto com o solo, conhecer o centro de pressão, entre outros.

Apesar de o princípio de funcionamento assentar sobre os mesmos alicerces, há algumas diferenças no método de testagem e de tratamento de dados, em parte associadas às particularidades de cada *software*. Nomeadamente, algumas plataformas iniciam registo apenas quando o utilizador sobe para a plataforma, impossibilitando que este esteja já em posição de repouso aquando do início do teste. As plataformas permitem testes quer o utilizador esteja calçado ou descalço, porém as palmilhas são colocadas dentro do calçado, obrigando a que os testes sejam sempre feitos com o utilizador calçado. Adicionalmente, como acontece com aparelhos de medição com os mais diversos propósitos, a resolução varia de aparelho para aparelho, havendo diferenças de sensibilidade nas leituras.

Dada a variedade de aparelhos existente, um conceito que se torna central é a fiabilidade, isto é, a garantia de que testes feitos sobre as mesmas condições levam a resultados iguais ou semelhantes. Assim, torna-se clara a importância de um estudo experimental que compare os resultados obtidos com diferentes dispositivos de avaliação da pressão plantar, averiguando a fiabilidade dos equipamentos. Sendo o fim dos referidos

dispositivos avaliar a pressão plantar de pessoas, é pertinente desenvolver um estudo cujo sistema em estudo é o corpo humano. Porém, dada a intenção de estudar a fiabilidade, é relevante criar um sistema mecânico que assegure a repetibilidade dos testes que o corpo humano não consegue ter.

A presente dissertação foi desenvolvida com este intuito, encontrando-se dividida em seis capítulos, que se iniciam com a introdução. De seguida, é apresentada uma revisão bibliográfica, permitindo ao leitor uma melhor compreensão dos conceitos abordados. No terceiro capítulo é descrito o procedimento experimental, explicitando as características dos aparelhos em estudo, da amostra escolhida e do sistema mecânico desenvolvido, e estruturando o protocolo de testes adotado. O capítulo quatro expõe como foram feitos o registo e o tratamento dos dados adquiridos. Seguidamente, no quinto, capítulo é feita a apresentação e comparação dos resultados, fazendo uma análise estatística dos mesmos e identificando algumas limitações do estudo. Por último, o capítulo seis sumariza as principais conclusões, apresentando também algumas sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo elucidar o leitor relativamente aos principais temas, instrumentos e conceitos que a presente dissertação aborda. Deste modo, o presente capítulo foca a relevância do estudo da pressão plantar, os instrumentos utilizados para a medição da mesma e os vários parâmetros relevantes a analisar.

2.1. Pressão Plantar

A planta do pé atua como intermediário entre o solo e o corpo humano, estando sujeita a variados padrões de pressão. Estas pressões estão associadas a tensões que podem atuar de forma temporária ou permanente nos tecidos, podendo, portanto, estar associadas a condições que envolvam algum problema estrutural no pé [1]. Um método de avaliar estas tensões é medir a distribuição da pressão plantar, permitindo relacionar a postura do pé e a função biomecânica dos membros inferiores [2].

A informação retirada da medição da pressão plantar assume um papel importante no estudo da marcha e da postura. A relevância destes estudos relaciona-se com o diagnóstico de problemas nos membros inferiores, *design* de calçado, biomecânica desportiva, prevenção de lesões, entre outras [3]. Numa perspetiva clínica, pode estabelecer-se uma relação entre os padrões de pressão plantar e patologias, como artrite do mediopé [4], disfunção do tendão do tibial [5], artrites reumáticas [6], diabetes [7], *Parkinson* [8] e vários outros problemas mais diretamente relacionados com o pé [9].

O estudo da pressão plantar tem-se desenvolvido com particular ênfase na comparação entre diferentes calçados, com intenção de reduzir a pressão no pé. Lavery *et al.* [10] compararam a eficácia de calçados de conforto, terapêutico e desportivo com e sem palmilhas viscoelástica. Seguiram-se ainda estudos como o de Mueller [11] que aplicou a análise da pressão plantar ao *design* de calçado para pessoas com e sem deficiências. Abboud *et al.* [12] sugeriram uma relação entre a disfunção muscular dos membros inferiores e uma anormal distribuição da pressão plantar (e conseqüente ulceração do pé) em pacientes diabéticos.

2.2. Sistemas de Medição da Pressão Plantar

Há alguma variedade de sistemas de medição da pressão plantar. Porém, podem, genericamente, classificar-se segundo dois tipos: plataformas e palmilhas [3].

2.2.1. Plataformas

As plataformas são construídas a partir de uma matriz plana e rígida de sensores de pressão. As plataformas são colocadas, preferencialmente, embutidas no chão, permitindo uma marcha normal [3]. A utilização deste sistema permite análises quer estáticas quer dinâmicas. São instrumentos simples e de fácil utilização por serem planos e estáticos, limitando, contudo, o local onde o estudo pode ser realizado. A medição com estes dispositivos pode ser particularmente difícil com pacientes que apresentem uma passada irregular, dado que se torna desafiante conseguirem pisar a plataforma de forma natural, pousando todo o pé na mesma [13]. Na Figura 2.1 apresenta-se um exemplo deste tipo de sistema de medição da pressão plantar.



Figura 2.1. Exemplo de sistema de plataforma Emed® da Novel, retirado de [14].

2.2.2. Palmilhas

Os sistemas de sensores nas palmilhas são flexíveis e inseridos no calçado de forma que as medições reflitam a interação entre o pé e o calçado. Estes sistemas são portáteis, permitindo uma ampla variedade de estudos, com diferentes tipos de marcha, *design* de calçado e pavimentos [3]. Além de usados de forma embutida no calçado, poderão

também ser simplesmente presos à planta do pé. No entanto, deve garantir-se que ficam bem seguros, impedindo o deslizamento entre o pé e os sensores [13]. Quando comparados com as plataformas de pressão plantar, apresentam ainda a vantagem de recolherem dados a cada passo, não havendo a dificuldade associada a passadas irregulares. Na Figura 2.2 apresenta-se um exemplo do sistema de palmilhas.

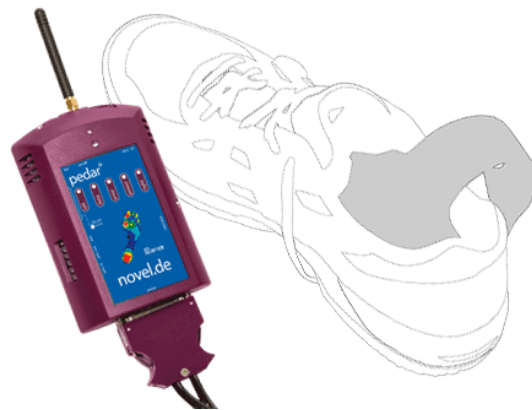


Figura 2.2. Exemplo de sistema de palmilhas Pedar® da Novel, retirado de [15].

2.2.3. Fiabilidade e Repetibilidade dos Sistemas de Medição

A fiabilidade dos dispositivos de medição da pressão plantar tem vindo a ser alvo de vários estudos. Hurkmans *et al.* [16] testaram a precisão e repetibilidade do sistema Pedar Mobile na medição de força vertical em longos períodos de tempo. Concluíram que este sistema apresenta uma boa repetibilidade, no entanto lembraram a importância de fazer correção dos pequenos desvios de forma individual para cada palmilha. Analisando também a repetibilidade de palmilhas de pressão, Putti *et al.* [17] estudaram 122 parâmetros das palmilhas Pedar®, obtendo um coeficiente de repetibilidade inferior a 10% em 114 dos parâmetros (93,4%). Mais ainda, Quesada *et al.* [18] compararam o mesmo sistema com as palmilhas F-Scan, sugerindo que as palmilhas Pedar® apresentam melhor precisão e repetibilidade que o sistema F-Scan. Porém, referem que este último consegue ser bastante útil em aplicações clínicas.

No caso dos sistemas de plataforma, a fiabilidade de vários dispositivos foi já alvo de estudos. Hughes *et al.* [19] analisaram a fiabilidade de medições feitas com a plataforma EMED F, percebendo que a fiabilidade varia de parâmetro para parâmetro. No

caso do pico de pressão conseguiram obter uma fiabilidade de 0,904 para uma média de três tentativas. Realçam o aumento dos valores de fiabilidade com o incremento do número de testes, propondo um mínimo de três tentativas para testes de comparação entre diferentes indivíduos. Décadas mais tarde, Hafer *et al.* [20] analisaram a fiabilidade de duas plataformas (Emed-x® e Matscan®), comparando resultados quer intra-plataforma quer inter-plataforma. No caso dos primeiros, obtiveram uma fiabilidade de 0,9 em 51 dos 56 dos parâmetros analisados. Já nos testes inter-plataforma a fiabilidade mostrou-se igual ou superior a 0,7 em praticamente todos os parâmetros. O estudo indica que os dados recolhidos com diferentes plataformas é equivalente, corroborando ainda a ideia de Hughes *et al.* [19] relativamente à garantia de bons valores de fiabilidade com um mínimo de três testes.

Torna-se ainda relevante referir o trabalho de comparação entre a medição da pressão plantar com plataformas (com e sem calçado) e palmilhas de pressão, elaborado por Chevalier *et al.* [21]. O estudo revelou um pico de pressão médio inferior em testes com palmilha relativamente a testes com a plataforma, sempre com os voluntários com calçado. Os autores sugerem que a diferença possa estar relacionada com a maior área de contacto que a palmilha cria. Para Chevalier *et al.* [21], embora muitas das diferenças entre os resultados se possam atribuir às diferenças intrínsecas de condições, tornou-se claro que os sistemas em si produzem um efeito sobre o resultado das medições. Deste modo, alertam para o cuidado que deve haver aquando da obtenção de dados com estes sistemas e diferentes condições.

2.3. Parâmetros Associados ao Estudo da Pressão Plantar

Os dispositivos de medição da pressão plantar registam essencialmente três variáveis: força, área e tempo. A força é obtida diretamente através dos sensores capacitivos. A área é dada pela área do sensor na qual está a ser aplicada força. E o tempo corresponde ao período de medição [22]. Note-se que, apesar de não registar diretamente a pressão, basta dividir a força pela sua área de aplicação para obter valores de pressão. Porém, este procedimento tem o erro associado à multiplicação dos espaços entre os sensores, cuja pressão não é avaliada. Segundo Orlin e McPoil [23], os parâmetros mais relevantes num estudo clínico de avaliação biomecânica são: picos de pressão, curva do pico de pressão, integrais de pressão-tempo (impulso), centro de pressão e área de contacto.

2.3.1. Pico de Pressão

O pico de pressão define-se como sendo o valor máximo de pressão registado numa medição [24,25]. Matematicamente, o pico de pressão (PP), num sistema com n sensores, é dado por

$$PP = \max(P_1, P_2 \dots P_n), \quad (2.1)$$

em que P_1, P_2, \dots, P_n são as pressões medidas nos sensores 1, 2, ..., n .

2.3.2. Curva do Pico de Pressão

A curva do pico de pressão (PPC) é obtida pela interpolação de sucessivos valores máximos de pressão durante uma medição [24]. Usualmente, a curva do pico de pressão é apresentada num gráfico cartesiano, como o da Figura 2.3. O eixo horizontal corresponde ao tempo de carga, e o eixo vertical corresponde à pressão plantar máxima instantânea [24].

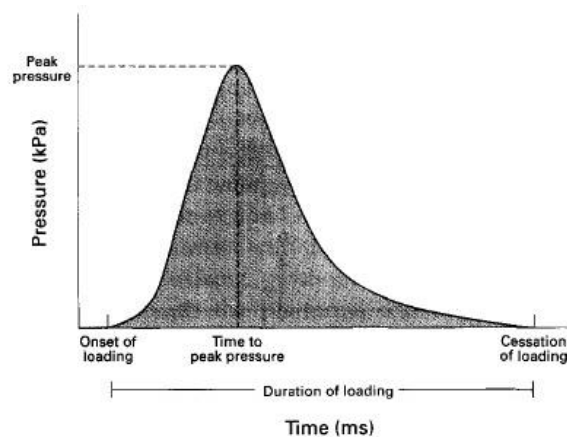


Figura 2.3. Curva típica do pico de pressão, retirado de Rosenbaum e Becker [26].

2.3.3. Integral de Pressão-Tempo ou Impulso

Segundo Sauseng *et al.* [27], citado por Melai *et al.* [28], o integral de pressão-tempo, ou simplesmente impulso, representa o efeito cumulativo da pressão ao longo do tempo numa determinada área do pé. Portanto, permite conhecer o valor da carga total na superfície plantar no período de tempo em que esta se encontra em contacto com o solo. O

integral de pressão-tempo (PTI) pode ser calculado através do somatório do produto das pressões (PP_i) pelo intervalo de amostragem (Δt) [28]:

$$PTI = \sum PP_i \times \Delta t. \quad (2.2)$$

2.3.4. Centro de Pressão

O centro de pressão (CoP) define-se como sendo o ponto de aplicação do vetor da força vertical de reação ao solo. Representa uma média ponderada de todas as pressões exercidas sobre a superfície plantar em contacto com o solo [29]. Na Figura 2.4 apresenta-se uma trajetória típica do CoP no pé durante a marcha.

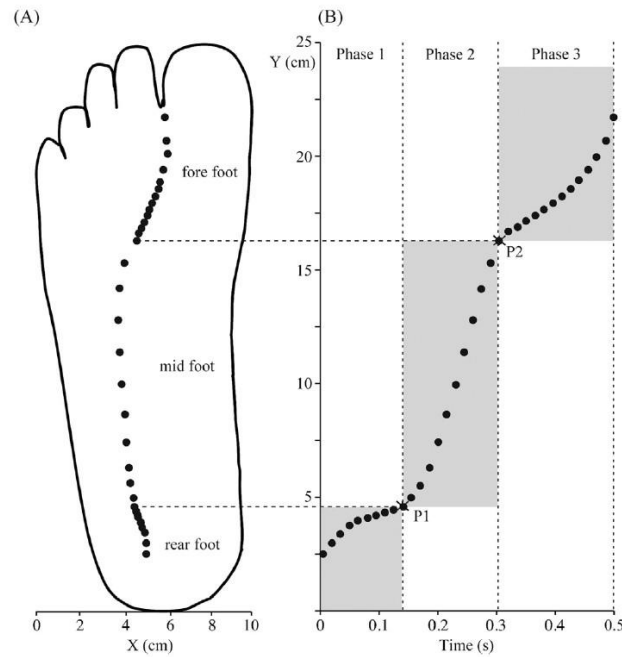


Figura 2.4. Trajetória típica do CoP no pé. (A) Trajetória do CoP num eixo X-Y, relativo ao pé. (B) Trajetória do CoP no eixo Y em função do tempo [29].

As coordenadas instantâneas do centro de pressão (X_{COP}, Y_{COP}) podem ser determinadas para todo o período da medição através de [30]:

$$X_{COP} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i A_i}, \quad (2.3)$$

$$Y_{COP} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i A_i}, \quad (2.4)$$

sendo:

P_i – Pressão medida pelo sensor i ;

A_i – Área do sensor i ;

(X_i, Y_i) – Coordenadas do centro do sensor i ;

n – Número de sensores.

2.3.5. Área de Contacto

A área de contacto corresponde ao somatório da área de todos os sensores solicitados [31]. Vários estudos [32–34] apontam uma relação inversa entre a área de contacto e o pico de pressão, realçando a importância da avaliação deste parâmetro.

2.3.6. Coeficiente de Correlação Intraclasse

Dado o propósito do presente estudo a fiabilidade é um parâmetro crucial a avaliar. Uma forma de o fazer é analisando coeficientes de correlação. Um bom coeficiente a ter em consideração é o coeficiente de correlação intraclasse (ICC), que define de, 0 a 1, a relação entre as variações dos valores, podendo ser tomado como uma medida de fiabilidade [35]. Outro parâmetro a analisar aquando de estudos de fiabilidade é o α de Cronbach, devolvendo, também numa escala de 0 a 1, o grau de correlação entre os dados [36]. O cálculo destes coeficientes é complexo, pelo que uma forma prática de os determinar é recorrendo a programas de análise estatística, como IBM SPSS *Statistics* 27.0 (IBM Corporation, Nova York, EUA).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo apresentam-se os dispositivos e métodos utilizados na obtenção de dados, descrevendo-se também o sistema mecânico e a amostra usados, bem como as respetivas metodologias de ensaios.

3.1. Dispositivos

O estudo realizado pretende fazer comparação experimental de dispositivos para avaliação da pressão plantar, tendo sido colocados três dispositivos distintos em análise: palmilhas Pedar® da Novel, Figura 3.1, plataforma Emed® da Novel, Figura 3.2, e plataforma Physiosensing®, da Sensing Future Technologies, Figura 3.3.

3.1.1. Palmilhas Pedar® da Novel

Este sistema de medição é composto por um par de palmilhas flexíveis, contendo uma matriz de 99 sensores distribuídos de forma homogénea em cada uma das palmilhas. Cada sensor ocupa cerca de 1 cm² da palmilha, área que pode variar consoante a localização do sensor na própria palmilha [37].



Figura 3.1. Sistema de medição Pedar®, da Novel [15].

Dado que os ensaios do presente estudo recorreram ao corpo humano, a utilização de diferentes tamanhos de palmilhas tornou-se essencial, de forma a utilizar

palmilhas apropriadas ao tamanho do pé de cada voluntário. Assim sendo, utilizaram-se os seguintes tamanhos de palmilhas:

- V 1872 R / V 1869 L;
- W1928 R / W 1927 L;
- X 2746 R / X 2747 L;
- XW 532 R / XW 533 L.

Este sistema permite aquisição de dados com ligação a um computador (através de cabo ou de *Bluetooth*), ou registo em cartão de memória para posterior análise. Como referido anteriormente, as palmilhas apresentam uma matriz de 99 sensores, sendo estes sensores do tipo piezorresistivo, com as seguintes especificidades:

- Espessura dos sensores: 1,9 mm;
- Amplitude de pressão: 637,5 kPa;
- Histerese: 7 %;
- Resolução: 2,5 kPa;
- Frequência: 50-100 Hz.

3.1.2. Plataforma Emed® da Novel

A plataforma de pressão da Novel, modelo Emed® - a50 é uma plataforma rígida que permite fazer a aquisição de dados com ligação direta por cabo a um computador. Com dimensões de 610x323x18 (mm³), apresenta uma matriz de 1760 sensores uniformemente distribuídos. Cada sensor ocupa uma área de 0,5 cm², traduzindo-se numa área ativa de 389x226 (mm²).



Figura 3.2. Sistema de medição Emed®, da Novel [14].

Este sistema de aquisição apresenta ainda as seguintes características:

- Frequência: 100 Hz;
- Gama de pressões: 10-1270 kPa.

3.1.3. Plataforma Physiosensing® da Sensing Future Technologies

A plataforma Physiosensing® permite fazer aquisição de dados através de ligação direta por cabo a um computador. Este sistema de medição consiste numa plataforma rígida com uma área de 61x58 (cm²), que contém 1600 sensores uniformemente distribuídos. Cada sensor ocupa uma área de 1 cm², perfazendo uma área ativa de 40x40 (cm²). Os sensores são do tipo resistivo e apresentam as seguintes características:

- Pressão máxima: 100 N/cm²;
- Frequência: 100 Hz.



Figura 3.3. Sistema de medição Physiosensing®, da Sensing Future Technologies [38].

3.2. Sistema Mecânico

A intenção de criar um sistema mecânico para realização de ensaios adveio da grande variabilidade humana, dificultando a repetibilidade de testes. Assim, de forma a ter testes de controlo, foi desenvolvido um sistema mecânico que pudesse simular o comportamento do corpo humano, mas com movimento repetível e reproduzível.

O sistema desenvolvido teve por base uma ventoinha de uso doméstico, habitualmente designada “ventoinha de mesa”. A ventoinha apresenta um movimento de rotação que passa sempre pelas mesmas posições, sendo cíclico e cujo período é sempre o mesmo. A escolha deste equipamento deveu-se à possibilidade de ter um movimento com repetibilidade e reprodutibilidade, indo ao encontro das necessidades e do propósito da criação do sistema mecânico.

As forma e área da base deste eletrodoméstico, 20x25 (cm²) não permite leituras idênticas nos vários dispositivos, já que as plataformas de pressão conseguiriam fazer leitura de toda a área da base ventoinha, mas no caso das palmilhas a área de sensores é inferior à mesma. Deste modo, houve necessidade de acoplar dois paralelepípedos à base da ventoinha, permitindo simular os pés humanos e ir ao encontro da forma das palmilhas de pressão, garantindo uma área de leitura igual nos 3 dispositivos de medição da pressão plantar.

O sistema mecânico inicialmente desenvolvido (SM1), Figura 3.4, é composto por uma ventoinha cuja tampa da base foi aparafusada a 4 cilindros de madeira maciça, que por sua vez foram aparafusados a dois blocos de cortiça. Apresenta uma massa total de 2,7 kg e 69 cm de altura. Dado que as dimensões dos blocos de cortiça manteriam o mesmo problema relativamente à diferença de áreas que os dispositivos conseguem registar, foram ainda coladas palmilhas de cortiça aos blocos, tendo estas sido previamente recortadas com a forma das palmilhas Pedar® V 1872 R / V 1869 L. É de notar que a forma como os vários componentes foram ligados entre si teve sempre em consideração a rigidez da estrutura, permitindo mover a mesma sem que houvesse alteração da posição relativa dos vários elementos.



Figura 3.4. Primeiro sistema mecânico desenvolvido (SM1).

Com uma massa de apenas 2,7 kg, distribuída por toda a área das palmilhas, o SM1 não exerce pressão suficiente nos aparelhos de aquisição de dados, tornando impossível a obtenção de resultados. Assim sendo, por forma a aumentar a massa do corpo, e tornar as características mais próximas às do corpo humano, foram adicionadas ao SM1 placas de aço com dimensões 30x9x2 (cm³) e um pistão de motor de camião, criando o SM2, Figura 3.5, passando agora o sistema a apresentar uma massa total de 30 kg e os mesmos 69 cm de altura.



Figura 3.5. Segundo sistema mecânico desenvolvido (SM2).

Na Figura 3.6 observa-se a base comum aos sistemas SM1 e SM2, sendo possível verificar que a área de contacto entre os sistemas e os dispositivos tem a forma de duas palmilhas. Estas foram, como referido anteriormente, recortadas com o tamanho e formato das palmilhas Pedar® V 1872 R / V 1869 L.



Figura 3.6. Palmilhas de cortiça coladas à base dos sistemas SM1 e SM2, produzindo uma área de contacto semelhante às palmilhas Pedar® V 1872 R / 1869 L.

3.2.1. Protocolo de Testes

Para cada equipamento de aquisição de dados são realizadas 10 aquisições com duração de 30 segundos, começando a aquisição quando a ventoinha se encontra no seu ponto máximo de rotação à direita.

Nos testes realizados recorrendo às palmilhas Pedar®, estas são colocadas em superfície plana e de forma a garantir que ambas estão em contacto com o sistema mecânico. Nos ensaios efetuados com ambas as plataformas de pressão, esta é colocada em superfície plana e o sistema mecânico é pousado na área de sensores.

3.3. Grupo de Voluntários

A amostra considerada na recolha de dados é constituída por um grupo de 15 indivíduos, com idades compreendidas entre os 19 e os 24 anos, sendo a sua média de idades de $21 \pm 1,25$ anos. O grupo apresenta uma média de alturas de $1,69 \pm 0,09$ m e um Índice de Massa Corporal (IMC) médio de $23,45 \pm 4,48$ kg/m².

A aquisição de dados foi realizada no Laboratório de Mecânica Estrutural Prof Nuno Rilo, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, tendo o estudo sido aprovado pela Comissão de Ética do Instituto Politécnico de Coimbra. Todos os participantes foram devidamente esclarecidos quantos aos objetivos pretendidos e qual a metodologia a usar, tendo assinado de forma voluntária um consentimento informado, livre e esclarecido.

Na Tabela 3.1 encontram-se os dados antropométricos dos vários indivíduos, identificados pelo código ID, de forma a garantir o anonimato. Além dos dados antropométricos, encontram-se também informações sobre o sexo, eventuais lesões nos membros inferiores e valores do Índice de Massa Corporal (IMC), dado por

$$IMC = \frac{Massa}{Altura^2}, \quad (3.1)$$

sendo a massa considerada em quilogramas e a altura em metros.

Tabela 3.1. Dados antropométricos, sexo e informação sobre eventuais lesões dos indivíduos voluntários.

ID	Sexo	Idade (anos)	Altura (m)	IMC (kg/m²)	Lesões	Ano da lesão
<i>01</i>	F	19	1,59	32,4	NÃO	-
<i>02</i>	M	22	1,69	31,5	NÃO	-
<i>03</i>	M	22	1,75	20,9	SIM	2005; 2013; 2015; 2015
<i>04</i>	M	21	1,89	26,3	SIM	2014; 2016; 2018
<i>05</i>	F	21	1,62	19,4	NÃO	-
<i>06</i>	F	20	1,62	20,2	NÃO	-
<i>07</i>	F	20	1,73	19,4	SIM	2015
<i>08</i>	M	20	1,74	22,1	NÃO	-
<i>09</i>	M	23	1,78	22,1	NÃO	-
<i>10</i>	M	24	1,70	20,1	NÃO	-
<i>11</i>	M	22	1,69	23,5	SIM	2013
<i>12</i>	M	22	1,75	31,0	SIM	2013; 2015
<i>13</i>	F	22	1,57	19,1	NÃO	-
<i>14</i>	F	22	1,63	21,1	NÃO	-

15	F	21	1,57	22,7	NÃO	-
----	---	----	------	------	-----	---

Legenda: F- Feminino; M- Masculino

3.3.1. Protocolo de Testes

De forma a garantir que as condições de ensaio se mantêm, foi previamente definido um protocolo de testes. Este protocolo define a ordem de passos realizados antes da aquisição, a postura dos voluntários e o tempo de duração, e de intervalo, de aquisições.

A preparação do sistema Pedar® começa com a ligação entre o sistema e o computador, via *Bluetooth*. Após determinar o tamanho de palmilha indicado para o voluntário, procede-se à calibração do sistema, através de cartão de memória com dados de calibração referentes às palmilhas a utilizar. Segue-se a explicação da postura que o voluntário deverá adotar, pés à largura dos ombros, tronco vertical, braços ao longo do corpo e olhar dirigido para um ponto previamente marcado a 2 metros de altura e a uma distância de 3,5 metros do voluntário. Posteriormente, procede-se à recolha de dados: cinco aquisições válidas, com duração de 30 segundos cada e um intervalo de 30 segundos entre aquisições.

Nas aquisições de dados através de plataforma, quer Emed® quer Physiosensing®, a preparação do sistema é semelhante. O primeiro passo é fazer a ligação entre o computador e a plataforma, através de ligação direta por cabo. A plataforma é colocada no chão, a 3,5 metros de uma parede onde é marcado um ponto a 2 metros de altura. Novamente, explica-se a postura que o voluntário deverá adotar, pés à largura dos ombros, tronco vertical, braços ao longo do corpo e olhar dirigido para o ponto previamente marcado. Finalmente, procede-se à recolha de dados: cinco aquisições válidas, com duração de 30 segundos cada e um intervalo de 30 segundos entre aquisições.

Note-se que são considerados ensaios não válidos todos aqueles em que o voluntário faça alterações à postura pretendida. Deste modo, nalguns casos foram realizados mais do que 5 testes.

4. REGISTO E TRATAMENTO DE DADOS

No presente capítulo é referida a forma como foram adquiridos e tratados os dados obtidos através de cada um dos equipamentos de medição da pressão plantar. A frequência utilizada em todas as aquisições foi de 100 Hz.

A aquisição de dados feita através de qualquer um dos dispositivos em estudo requer um *software* próprio. Todos eles permitem acompanhar a evolução da pressão plantar através de imagens, como exemplifica a Figura 4.1, sendo possível observar que zonas do pé estão a ser mais solicitadas.

Para efeitos comparativos, foram selecionados dois parâmetros: área de contacto e máximo pico de pressão (MPP). Assim sendo, o tratamento de dados contempla já a preparação destes valores para a posterior comparação.

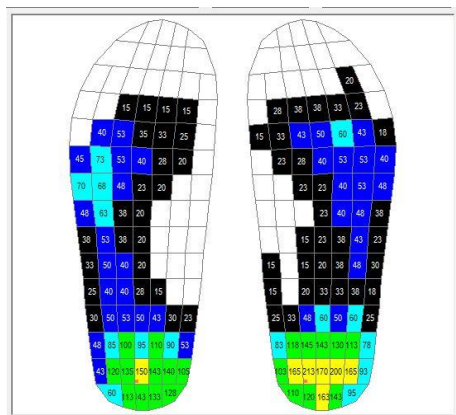


Figura 4.1. Distribuição da pressão plantar, observada através do *software* Pedar®, durante um ensaio.

4.1. Pedar®

O *software* Pedar® inclui um conjunto de ferramentas que possibilita uma análise de dados bastante detalhada. Além de permitir o estudo dos valores de cada instante de medição, o programa efetua, para cada ensaio, o cálculo da média e do desvio padrão de vários parâmetros:

- Área de contacto pé esquerdo;

- Área de contacto pé direito;
- Força máxima pé esquerdo;
- Força máxima pé direito;
- Pico de pressão pé esquerdo;
- Pico de pressão pé direito.

A Figura 4.2 exemplifica a análise quantitativa fornecida pelo programa.



Pedar ME	Contact area (L) cm ²	Contact area (R) cm ²	∇ Max force (L) N	Max force (R) N	Peak pressure (L) kPa	Peak pressure (R) kPa
	113,94 ± 1,84	104,30 ± 1,68	529,79 ± 9,00	437,89 ± 7,14	119,7 ± 4,7	108,0 ± 6,7
	116,00 ± 1,61	110,31 ± 2,24	531,16 ± 6,19	468,36 ± 9,17	117,0 ± 6,5	113,2 ± 5,2
	118,51 ± 2,69	109,99 ± 2,99	536,42 ± 13,16	478,80 ± 9,00	111,0 ± 7,3	113,9 ± 18,1
	117,64 ± 2,99	107,34 ± 1,99	541,78 ± 8,57	443,52 ± 5,64	113,8 ± 8,0	97,3 ± 8,9
	118,69 ± 3,50	113,16 ± 5,89	557,52 ± 17,34	468,91 ± 16,18	125,4 ± 8,6	122,9 ± 25,4

Figura 4.2. Análise quantitativa feita pelo *software* Pedar®.

Os resultados calculados pelo programa podem ser exportados para uma folha de cálculo, permitindo um posterior tratamento dos mesmos. De forma a uniformizar os dados obtidos com cada um dos aparelhos de medição, foi calculada a área de contacto total (A_T), através de:

$$A_T = A_L + A_R, \quad (4.1)$$

em que A_L e A_R são as áreas de contacto dos pés esquerdo e direito, respetivamente.

Foram ainda calculadas as médias da A_T e do MPP dos cinco ensaios de cada paciente.

4.2. Emed®

O *software* Emed® permite fazer uma análise de cada instante da medição. No entanto, apresenta algumas limitações no que toca o tratamento dos dados de um ensaio como um todo. Assim, foi necessário recorrer ao programa PEDOBAR desenvolvido no Laboratório de Biomecânica do ISEC, que permite a avaliação pedobarográfica a partir de imagens da pressão plantar.

O referido programa, implementado em linguagem Matlab, permite obter um conjunto de dados médios a partir de qualquer número de imagens, obrigando a que as

imagens estejam todas dimensionadas e alinhadas para o mesmo número de pixéis [39]. Assim, para cada ensaio foi efetuado um tratamento de imagem, com recurso ao *software* Emed®, permitindo homogeneizar cada imagem para uma dimensão de 137x55 pixéis. Esta transformação pode visualizar-se na Figura 4.3, onde se mostra uma imagem original seguida da transformada. É esta imagem transformada (formato .lst) que é passível de ser tratada pelo programa PEDOBAR.

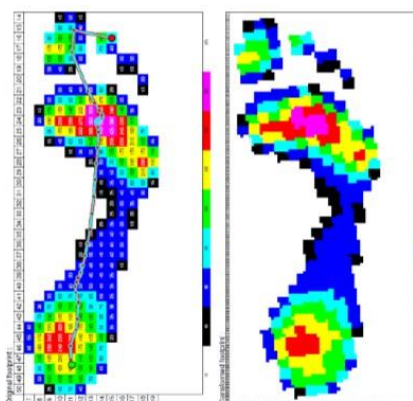


Figura 4.3. Imagem original (esquerda) e transformada (direita) [39].

Com base nos cinco ficheiros em formato .lst de cada voluntário, o programa PEDOBAR procede ao cálculo da média dos seguintes parâmetros:

- MPP;
- Valor Médio da Pressão (MVP);
- Comprimento do pé;
- Largura do peito do pé;
- Largura do calcanhar.

À semelhança do *software* Pedar®, o programa PEDOBAR permite a exportação de dados para uma folha de cálculo, facilitando o posterior tratamento dos mesmos.

De forma a uniformizar os dados obtidos com cada um dos aparelhos de medição, foi calculada a área de contacto total (A_T), através de:

$$A_T = C_{pé} \times L_{calc}, \quad (4.2)$$

em que $C_{pé}$ é o comprimento do pé e L_{calc} é a largura do calcanhar.

4.3. Physiosensing®

O *software* Physiosensing® permite a exportação direta de resultados para uma folha de cálculo, incluindo-se nesta, não só valores da área de contacto e MPP, mas também coordenadas do centro de pressão, MVP e outros parâmetros não considerados no presente estudo. Além disto, o programa permite ainda obter um documento em formato .pdf, com o resumo das análises realizadas: qualitativa (imagem da distribuição de pressão plantar) e quantitativa (parâmetros calculados). A Figura 4.4 mostra um excerto do referido documento.

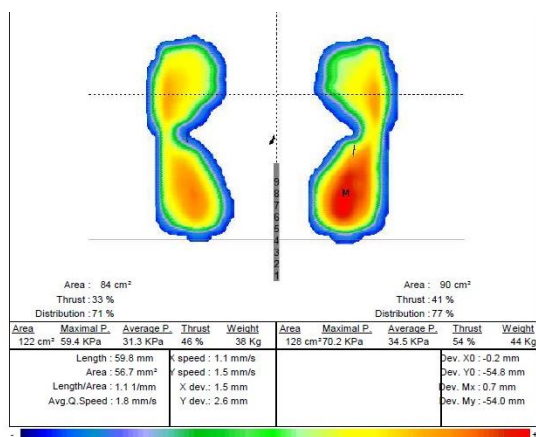


Figura 4.4. Resumo das análises qualitativa e quantitativas realizadas pelo *software* Physiosensing®.

De forma a ter valores comparáveis com os dados dos restantes equipamentos de aquisição, foram ainda calculadas as médias da área de contacto e do MPP dos cinco ensaios de cada voluntário.

4.4. Análise Estatística

Os dados obtidos foram processados estatisticamente recorrendo ao *software* IBM SPSS 27.0 (IBM Corporation, Nova York, EUA), permitindo determinar os coeficientes de fiabilidade ICC e α . A normalidade da distribuição dos valores foi testada segundo o teste de Shapiro-Wilk, tendo-se assumido um nível de significância de 0,05.

De forma a permitir uma boa leitura, interpretação e processamento de dados, estes foram previamente organizados numa folha de cálculo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo inclui a apresentação dos resultados, bem como discussão dos mesmos, numa perspetiva comparativa. São ainda expostas algumas limitações associadas ao presente estudo.

5.1. Sistema Mecânico

O sistema mecânico desenvolvido (SM2), apesar de apresentar uma massa teoricamente passível de ser reconhecida pelos vários dispositivos de aquisição, possui uma base cuja área de contacto é excessiva. Desta forma, a força exercida pelo SM2 fica demasiadamente distribuída, provocando uma pressão reduzida.

Os ensaios realizados com ambos os sistemas Pedar® e Emed® resultaram em dados nulos, já que os aparelhos não detetaram a pressão provocada pelo sistema mecânico. Contudo, a plataforma Physiosensing® teve capacidade de captar a pressão exercida, permitindo realizar todos os testes desejados.

A incapacidade de obter valores com dois dos três aparelhos de aquisição implica a impossibilidade de realizar uma análise comparativa, como se pretendia com o presente estudo. Assim, a comparação experimental dos aparelhos é referente aos resultados obtidos com o grupo de voluntários.

5.2. Grupo de Voluntários

Para cada paciente, foram calculadas as médias dos valores do pico de pressão (MPP) e da área de contacto registados em cada um dos aparelhos de aquisição de dados, como se apresenta no Apêndice A. Devido a falhas do *software* Emed® aquando da transformação de imagens para posterior uso do programa PEDOBAR, os ficheiros do paciente 13 ficaram corrompidos, pelo que este paciente apenas apresenta registos Pedar® e Physiosensing®.

A Figura 5.1 apresenta os valores médios de MPP obtidos com cada aparelho de avaliação da pressão plantar, correspondentes a cada paciente. Pode verificar-se que em

todas as situações, o valor mais elevado é sempre correspondente à plataforma Emed®, seguindo-se o sistema Pedar® e tendo a plataforma Physiosensing® a registar sempre os valores mais baixos de pressão.

Genericamente, os valores obtidos através dos sistemas Pedar® e Physiosensing® são relativamente próximos entre si. Em média, a diferença entre os valores conseguidos recorrendo aos referidos sistemas é de 39,0 kPa. Já a plataforma Emed® revela valores de pressão substancialmente mais elevados, destacando-se com uma diferença média de 69,0 kPa relativamente às palmilhas e 107,9 kPa, em média, a mais que os dados Physiosensing®.

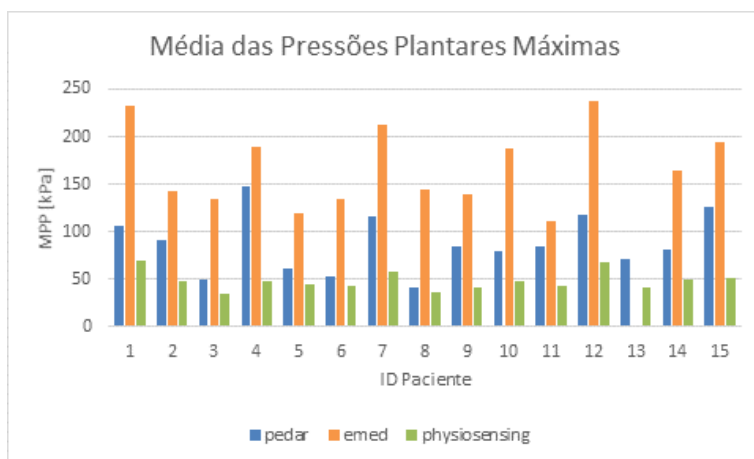


Figura 5.1. Comparação da média dos MPP nos vários dispositivos de aquisição.

A plataforma de pressão Emed® apresenta uma característica muito particular: a recolha de dados tem de iniciar com o paciente a subir para a plataforma. Esta particularidade implica que o início da recolha de dados apresenta picos de pressão consideravelmente mais elevados face aos valores obtidos aquando da posição de equilíbrio. Embora o tratamento de dados seja feito de forma a remover o momento de subida para a plataforma, há possibilidade de existirem alguns picos de pressão residuais que sejam ainda provenientes desse momento inicial.

Na Figura 5.2 apresentam-se os valores médios da da área de contacto, registados por cada um dos três dispositivos, referentes a cada paciente. Verifica-se uma óbvia proximidade entre os dados Emed® e Physiosensing® e, genericamente, valores Pedar® substancialmente menores face aos anteriores.

Em média, os valores Emed® e Physiosensing® apresentam uma diferença de 43,1 cm², não havendo um valor que seja em todos os casos superior ao outro. Porém, analisando os dados Pedar®, verifica-se uma diferença média de 170,2 cm² para o sistema Physiosensing® e 154,1 cm² para o sistema Emed®.

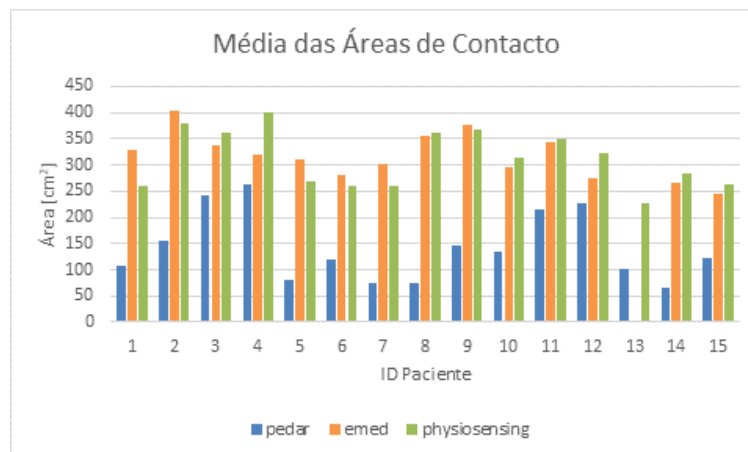


Figura 5.2. Comparação das áreas de contacto nos vários dispositivos de aquisição.

Ao analisar as aquisições obtidas recorrendo às palmilhas Pedar® verifica-se que, em várias situações, os sensores apresentaram dificuldade em registar valores de pressão plantar. Este sistema está preparado para fazer leitura de dados quando o paciente se encontra em marcha, ou nouro tipo de movimento mais ativo. No entanto, os ensaios foram realizados com os pacientes em posição de repouso, o que reduz significativamente a pressão plantar nalgumas zonas do pé.

Uma forma de verificar a dificuldade de leituras em posição de repouso do sistema Pedar® é analisando imagens pedobarográficas, apresentadas na Figura 5.3. Nas imagens pode verificar-se que a zona mais solicitada é a do calcanhar, havendo muito pouca pressão registada na restante área do pé. A escala de cores do programa associa preto aos valores mais baixos de pressão e a branco ficam os sensores que não registaram qualquer valor. Como se observa, prevalece a cor branca, significando que a maioria dos sensores das palmilhas não foram capazes de registar valores.

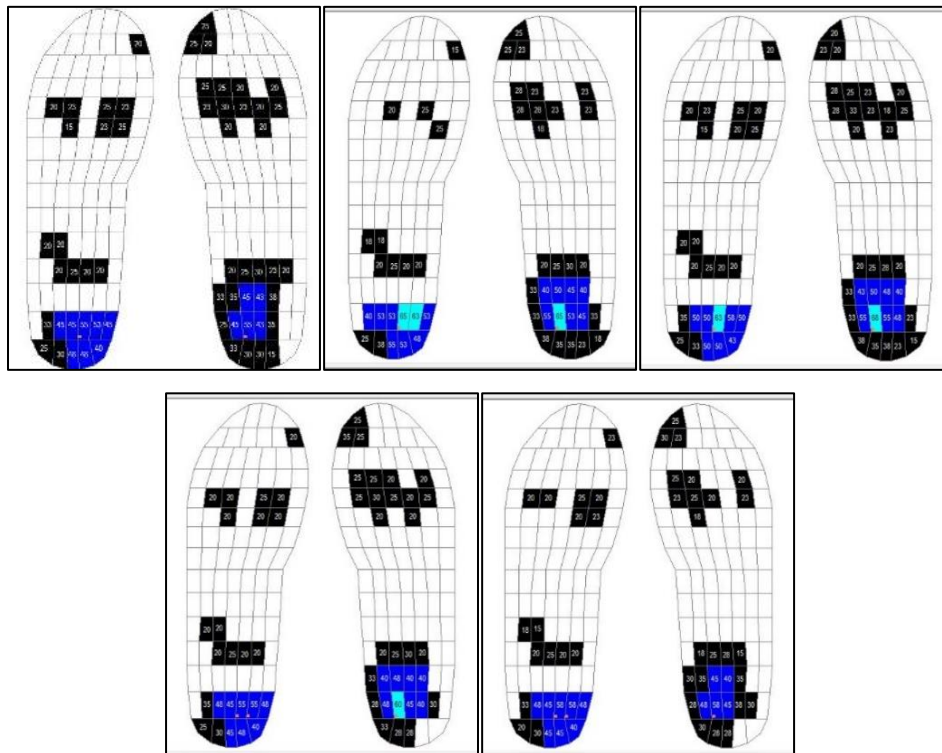


Figura 5.3. Imagens pedobarográficas dos 5 ensaios do paciente 5, utilizando o sistema Pedar®.

5.3. Estudo Estatístico

De forma a fazer uma comparação mais rigorosa dos resultados, foi realizada uma análise estatística dos mesmos. Foram consideradas as médias dos MPP e área de contacto dos 5 ensaios de cada voluntário em cada um dos três aparelhos de medição da pressão plantar.

Foram comparados os dados dois a dois, dentro da mesma grandeza medida (Média MPP Pedar® – Média MPP Emed®; Média área de contacto Emed® – Média área de contacto Physiosensing®, ...) e calculado para cada par o ICC e o α de Cronbach (α).

O ICC é um parâmetro que analisa os dados com foco no acordo absoluto entre valores, isto é, averigua se o valor medido com um aparelho é exatamente igual ao medido com um outro aparelho. Este coeficiente de correlação é elevado quando há reduzida disparidade de resultados, sendo igual a 1 em situações de total acordo entre valores.

No caso do coeficiente α , o seu valor reflete a consistência dos dados. Neste caso, para um coeficiente igual a 1, os valores poderão ser díspares desde que a sua diferença seja sempre idêntica

Na Tabela 5.1 apresentam-se os valores referentes à análise da média dos MPP, expondo-se os coeficientes de correlação (ICC e α) associados à comparação dos dispositivos dois a dois. Na Tabela 5.2 apresentam-se valores semelhantes, mas referentes à análise da média das áreas de contacto.

Tabela 5.1. ICC e α de Cronbach das médias dos MPP medidos com os vários equipamentos.

		ICC	α
Par 1	Pedar®	0,339	0,803
	Emed®		
Par 2	Pedar®	0,277	0,562
	Physiosensing®		
Par 3	Emed®	0,09	0,578
	Physiosensing®		

Tabela 5.2. ICC e α de Cronbach das médias das áreas de contacto obtidas com os vários equipamentos.

		ICC	α
Par 1	Pedar®	0,058	0,284
	Emed®		
Par 2	Pedar®	0,231	0,781
	Physiosensing®		
Par 3	Emed®	0,813	0,801
	Physiosensing®		

Analisando mais pormenorizadamente os coeficientes de correlação, pode verificar-se que, para ambas as grandezas medidas, a correlação é bastante satisfatória quando analisada com foco na consistência (α). No entanto, verifica-se que o acordo absoluto de dados fica bastante aquém da consistência, sendo o ICC genericamente muito reduzido. Esta constatação vai ao encontro da informação exposta nas Figura 5.1 e Figura 5.2, dado que há uma clara diferença entre os valores obtidos com os diferentes dispositivos, porém essa diferença é consistente ao longo dos vários ensaios.

Dos vários coeficientes atrás apresentados, salienta-se a fiabilidade α de cerca de 0,8 associada à relação entre a medição da área de contacto com as plataformas de pressão. No entanto, aquando da comparação de dados relativos às palmilhas, verifica-se uma correlação menor. Pode justificar-se esta redução de fiabilidade pela dificuldade que houve em registar valores. Sendo a área de contacto determinada somando a área dos vários sensores ativados, e sendo que a generalidade dos ensaios com o sistema Pedar® teve vários sensores sem qualquer registo, torna-se compreensível que a área de contacto medida pelas palmilhas seja inferior ao esperado. Acrescenta-se também o erro associado aos interstícios dos sensores, já que a sua área não é contabilizada.

Numa comparação mais global, pode analisar-se o coeficiente α da correlação dos três equipamentos em simultâneo, como se apresenta na Tabela 5.3.

Tabela 5.3. α de Cronbach e ICC relativos à comparação simultânea dos três dispositivos em estudo, considerando as médias dos MPP e das áreas de contacto.

	Média MPP	Média Área de Contacto
α de Cronbach	0,771	0,731
ICC	0,268	0,274

Ainda que o acordo absoluto entre valores fique aquém do desejável, reforça-se a considerável consistência que apresentam. Assim, os valores medidos pelos diferentes aparelhos são relacionáveis, considerando que estes não são idênticos, mas a sua diferença é linear.

Realça-se a clara diferença de características e método de exportação de dados que os três aparelhos de medição apresentam, ajudando a justificar a dificuldade em obter

resultados similares entre si. Contudo, a consistência de dados é aceitável, apoiando os resultados obtidos em estudos como os de J. Hughes *et al.*[19] e J. Hafer *et al.*[20], embora com fiabilidades inferiores às verificadas nos mesmos.

5.4. Limitações do Estudo

Estudos baseados em procedimentos experimentais, como é o caso, têm algumas limitações associadas. De facto, a discussão da fiabilidade dos equipamentos é dificultada pela complexidade do corpo humano, impossibilitando a repetibilidade dos ensaios.

Relativamente às palmilhas Pedar®, como estas apresentam tamanhos pré-definidos e apenas 4 tamanhos diferentes, implica que, em muitos dos casos, as dimensões não são adequadas ao pé de cada voluntário. Adicionalmente, poderá haver alguma perda de sensibilidade por parte dos sensores, devido ao desgaste associado ao uso das palmilhas.

Ainda sobre o sistema Pedar®, este foi desenvolvido com objetivo de ser portátil, estando otimizado para utilização em movimento, levando a que os ensaios feitos com o utilizador em repouso sejam difíceis de captar, prejudicando os valores lidos e os resultados.

No caso do sistema Emed® e, especificamente do *software* usado, o pormenor de o registo de dados iniciar com a subida para a plataforma leva a uma necessidade de truncamento de valores, na tentativa de eliminar esse momento inicial. Assim, fica dificultada a execução rigorosa de testes que tenham sempre o mesmo período, já que o tempo que o voluntário demora a ajustar-se à posição de repouso varia de ensaio para ensaio, e de voluntário para voluntário.

Relativamente à exportação de dados adquiridos com a plataforma Emed®, esta requer um excessivo tratamento e manipulação dos mesmos, podendo haver alguma adulteração de valores. Acrescenta-se ainda o facto de o programa PEDOBAR não devolver um valor de área de contacto, sendo apenas calculados pelo programa o comprimento do pé, e as larguras do calcanhar e do peito do pé, implicando uma diferença no método da determinação da área de contacto.

Ao nível do sistema mecânico, não foi possível fazer qualquer tipo de comparação de dados, já que apenas foi possível registar valores com um dos aparelhos de medição. Não havendo um sistema com repetibilidade em estudo, a análise da fiabilidade torna-se mais limitada.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente capítulo serve para resumir de forma concisa as conclusões retiradas ao longo desta dissertação, fazendo uma análise comparativa entre os três dispositivos de avaliação de pressão plantar em estudo. Incluem-se também algumas sugestões para trabalhos futuros.

6.1. Conclusões

Os três equipamentos de aquisição da pressão plantar em estudo apresentam características diferentes, que ajudam a justificar a dificuldade em obter resultados similares entre si. Apesar de haver duas plataformas em estudo, o seu funcionamento não é idêntico e a forma de extrair os resultados também diverge, o que acrescenta mais um fator que limita a fiabilidade inter-plataforma. No caso das palmilhas, o sistema apresenta claras dificuldades em recolher valores quando o utilizador se encontra em posição de repouso.

Numa análise comparativa dos dados obtidos, salienta-se a fiabilidade α de Cronbach de cerca de 0,8 associada à relação entre a medição da área de contacto com as plataformas de pressão. Tal não se verifica quando comparados os dados relativos às palmilhas, possivelmente pelas dificuldades no registo de valores. Dado que a área de contacto é determinada somando a área dos vários sensores ativados, e a generalidade dos ensaios com o sistema Pedar® teve vários sensores sem qualquer registo, torna-se compreensível que a área de contacto medida pelas palmilhas seja inferior ao esperado.

Apesar de não haver elevado acordo absoluto entre valores, estes apresentam consistência, de forma linear entre si. Isto é, os valores medidos pelos diferentes equipamentos são relacionáveis, considerando que, apesar destes não serem idênticos, a sua diferença será constante.

6.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, há várias vertentes que podem ser aprimoradas e aprofundadas face ao presente estudo.

Relativamente à amostra, poderá ser interessante incluir mais pessoas, possibilitando um estudo de fiabilidade mais fundamentado. Além disto, aumentar ligeiramente o número de ensaios em cada equipamento também poderá ser uma mais-valia.

Ao nível do sistema mecânico, poderá ser desenvolvido um sistema com base no apresentado no presente estudo. Porém, a área de contacto deverá ser consideravelmente reduzida, aproximando-a da realidade humana, e aumentando a força exercida por unidade de área. Deste modo, a pressão exercida poderá ser mais facilmente registada pelos dispositivos de medição.

Por fim, num estudo mais complexo, poderá ser analisada a pressão plantar em marcha, ao invés da posição de repouso. Sistemas como as palmilhas Pedar® e a plataforma Emed® estão mais preparadas para o registo de pressão durante a marcha, pelo que poderá facilitar a uniformidade de resultados. Numa perspetiva de sistema com repetibilidade, poderá ser relevante desenvolver um sistema mecânico que assegure um movimento de marcha repetível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Urry, Plantar pressure-measurement sensors, *Meas. Sci. Technol.* 10 (1999) 2021. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/10/1/017>.
- [2] A.K. Buldt, J.J. Allan, K.B. Landorf, H.B. Menz, The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: A systematic review, *Gait Posture.* 62 (2018) 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.026>.
- [3] A.H. Abdul Razak, A. Zayegh, R.K. Begg, Y. Wahab, Foot plantar pressure measurement system: A review, *Sensors (Switzerland).* 12 (2012) 9884–9912. <https://doi.org/10.3390/s120709884>.
- [4] H.B. Menz, S.E. Munteanu, G. V. Zammit, K.B. Landorf, Foot structure and function in older people with radiographic osteoarthritis of the medial midfoot, *Osteoarthr. Cartil.* 18 (2010) 317–322. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2009.11.010>.
- [5] C.W. Imhauser, S. Siegler, N.A. Abidi, D.Z. Frankel, The effect of posterior tibialis tendon dysfunction on the plantar pressure characteristics and the kinematics of the arch and the hindfoot, *Clin. Biomech.* 19 (2004) 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2003.10.007>.
- [6] S. Stewart, M. Carroll, A. Brenton-Rule, M. Keys, L. Bell, N. Dalbeth, K. Rome, Region-specific foot pain and plantar pressure in people with rheumatoid arthritis: A cross-sectional study, *Clin. Biomech.* 55 (2018) 14–17. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.04.002>.
- [7] S. Stewart, N. Dalbeth, S. Otter, P. Gow, K. Rome, Plantar pressure patterns in people with diabetes, gout and both diabetes and gout, *Foot Ankle Surg.* 22 (2016) 79. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2016.05.197>.
- [8] X. Chen, L. Chen, J. Li, D. Huang, 2.360 Study of Plantar Pressure in Parkinson Sisease Patients, *Parkinsonism Relat. Disord.* 18 (2012) S156. [https://doi.org/10.1016/s1353-8020\(11\)70682-4](https://doi.org/10.1016/s1353-8020(11)70682-4).
- [9] W. L, Z. A, W. J, A. SM, B. R, Identification of Foot Pathologies Based on Plantar Pressure Asymmetry, *Sensors (Basel).* 15 (2015) 20392–20408. <https://doi.org/10.3390/S150820392>.

- [10] L.A. Lavery, S.A. Vela, J.G. Fleischli, D.G. Armstrong, D.C. Lavery, Reducing plantar pressure in the neuropathic foot: A comparison of footwear, *Diabetes Care*. 20 (1997) 1706–1710. <https://doi.org/10.2337/diacare.20.11.1706>.
- [11] M. Mueller, *Application of Plantar Pressure Assessment in Footwear and Insert Design*, 1999.
- [12] R.J. Abboud, D.I. Rowley, R.W. Newton, Lower limb muscle dysfunction may contribute to foot ulceration in diabetic patients, *Clin. Biomech.* 15 (2000) 37–45. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(99)00038-8).
- [13] B.A. MacWilliams, P.F. Armstrong, Clinical applications of plantar pressure measurement in pediatric orthopedics, in: *Pediatr. Gait A New Millenn. Clin. Care Motion Anal. Technol.*, 2000: pp. 143–150. <https://doi.org/10.1109/PG.2000.858886>.
- [14] Novel.de, Emed Platform, (2015). <https://www.novel.de/products/emed/> (accessed August 16, 2021).
- [15] Novel.de, Pedar Insoles, (2011). <https://www.novel.de/products/pedar/> (accessed August 16, 2021).
- [16] H.L.P. Hurkmans, J.B.J. Bussmann, E. Benda, J.A.N. Verhaar, H.J. Stam, Accuracy and repeatability of the Pedar Mobile system in long-term vertical force measurements, *Gait Posture*. 23 (2006) 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.05.008>.
- [17] A.B. Putti, G.P. Arnold, L. Cochrane, R.J. Abboud, The Pedar® in-shoe system: Repeatability and normal pressure values, *Gait Posture*. 25 (2007) 401–405. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.05.010>.
- [18] P.M. Quesada, G.S. Rash, N. Jarboe, Assessment of pedar and F-scan revisited, *Clin. Biomech.* 12 (1997) S15.
- [19] J. Hughes, L. Pratt, K. Linge, P. Clark, L. Klenerman, Reliability of pressure measurements: the EM ED F system, *Clin. Biomech.* 6 (1991) 14–18. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(91\)90036-P](https://doi.org/10.1016/0268-0033(91)90036-P).
- [20] J.F. Hafer, M.W. Lenhoff, J. Song, J.M. Jordan, M.T. Hannan, H.J. Hillstrom, Reliability of plantar pressure platforms, *Gait Posture*. 38 (2013) 544–548. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.01.028>.
- [21] T.L. Chevalier, H. Hodgins, N. Chockalingam, Plantar pressure measurements using an in-shoe system and a pressure platform: A comparison, *Gait Posture*. 31 (2010)

- 397–399. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.11.016>.
- [22] C. M. A. Correia (2018), "Análise e comparação das receções, em exercícios na Ginástica Acrobática com alteração da zona de contacto". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.
- [23] M.N. Orlin, T.G. McPoil, Plantar Pressure Assessment, *Phys. Ther.* 80 (2000) 399–409.
- [24] C. Giacomozzi, F. Martelli, Peak pressure curve: An effective parameter for early detection of foot functional impairments in diabetic patients, *Gait Posture.* 23 (2006) 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.06.006>.
- [25] L. Shu, T. Hua, Y. Wang, Q. Li, D.D. Feng, X. Tao, In-shoe plantar pressure measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array, *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 14 (2010) 767–775. <https://doi.org/10.1109/TITB.2009.2038904>.
- [26] D. Rosenbaum, H.P. Becker, Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications, *Foot Ankle Surg.* 3 (1997) 1–14. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9584.1997.00043.x>.
- [27] S. Sauseng, T. Kästenbauer, G. Sokol, K. Irsigler, Estimation of risk for plantar foot ulceration in diabetic patients with neuropathy, *Diabetes, Nutr. Metab. - Clin. Exp.* 12 (1999) 189–193. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10554901/> (accessed April 27, 2021).
- [28] T. Melai, T.H. IJzerman, N.C. Schaper, T.L.H. de Lange, P.J.B. Willems, K. Meijer, A.G. Lieveise, H.H.C.M. Savelberg, Calculation of plantar pressure time integral, an alternative approach, *Gait Posture.* 34 (2011) 379–383. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.06.005>.
- [29] D.A. Winter, Human balance and posture control during standing and walking, *Gait Posture.* 3 (1995) 193–214.
- [30] K.J. Chesnin, L. Selby-Silverstein, M.P. Besser, Comparison of an in-shoe pressure measurement device to a force plate: Concurrent validity of center of pressure measurements, *Gait Posture.* 12 (2000) 128–133. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(00\)00071-0](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00071-0).
- [31] N.T. Filippin, V.L.P. Barbosa, I.C.N. Sacco, P.H. Lobo da Costa, Efeitos da obesidade na distribuição de pressão plantar em crianças, *Rev. Bras. Fisioter.* 11 (2007) 495–

501. <https://doi.org/10.1590/s1413-35552007000600012>.
- [32] B.Y.S. Tsung, M. Zhang, A.F.T. Mak, M.W.N. Wong, Effectiveness of insoles on plantar pressure redistribution, *J. Rehabil. Res. Dev.* 41 (2004) 767–774. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2003.09.0139>.
- [33] J. Paton, E. Stenhouse, R. Jones, G. Bruce, Custom-made total contact insoles and prefabricated functional diabetic insoles : A case report, *Diabet. Foot J.* 10 (2007) 138–143.
- [34] B.C. Chang, J.Y. Wang, B.S. Huang, H.Y. Lin, W.C.C. Lee, Dynamic impression insole in rheumatoid foot with metatarsal pain, *Clin. Biomech.* 27 (2012) 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.08.005>.
- [35] J.J. Bartko, The Intraclass Correlation Coefficient as a Measure of Reliability:, *Psychological Reports.* 19 (1966) 3–11. <https://doi.org/10.2466/PR0.1966.19.1.3>.
- [36] K.A. Adamson, S. Prion, Reliability: Measuring Internal Consistency Using Cronbach's α , *Clin. Simul. Nurs.* 9 (2013) e179–e180. <https://doi.org/10.1016/J.ECNS.2012.12.001>.
- [37] A.C.M.M. Amaro (2019), "Avaliação Biomecânica na Prática do Basquetebol". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.
- [38] S.F. Technologies, Physiosensing Platform, (2015). <https://www.physiosensing.net/podiatry-foot-pressure-map> (accessed August 16, 2021).
- [39] L.O.S.P.P. de Jesus (2016), "Análise e Quantificação de Imagens Pedobarográficas em Patologias do Hallux Valgus", Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra.

APÊNDICE A

Tabela A.1. Valores médios do pico de pressão e da área de contacto dos cinco ensaios de cada paciente, em cada um dos três dispositivos: Pedar®, Emed® e Physiosensing®.

ID	MPP [kPa]			Área de Contacto [cm ²]		
	Pedar®	Emed®	Physiosensing®	Pedar®	Emed®	Physiosensing®
01	106	233	67	108,2	327,9	260,2
02	91	143	49	155,7	402,6	379,2
03	49	134	35	243,4	336,4	361,4
04	147	190	48	263,4	319,0	401,6
05	61	119	44	80,9	309,3	268,0
06	53	135	43	117,9	280,0	261,4
07	117	213	58	73,1	303,0	259,4
08	41	144	37	73,4	354,9	362,2
09	85	139	41	146,9	377,0	368,6
10	80	188	48	132,9	296,3	315,2
11	85	112	43	214,9	344,4	348,4
12	118	237	68	226,0	274,7	322,2
13	72		41	102,3		225,8
14	80	164	50	66,1	266,5	283,0
15	126	195	52	122,0	246,4	263,0

