



# CATÓLICA

## ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

---

PORTO

### AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DO MOVIMENTO HUMANO

Estágio Curricular realizado no Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto

por

Inês da Costa Martins de Sousa

Maio de 2020



# CATÓLICA

## ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

PORTO

### AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DO MOVIMENTO HUMANO

Estágio Curricular realizado no Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto

Relatório de Estágio apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade  
Católica Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em

Engenharia Biomédica

por

Inês da Costa Martins de Sousa

Local: Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto

Orientação: Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas

Co-orientação: Engenheiro Pedro Filipe Fonseca

“Dear God,  
I already have everything I could possible wish for.  
Please, take care of those who need you.  
Thank you, with all my heart.”

## Informações Gerais

### Identificação do Estagiário

Nome: Inês da Costa Martins de Sousa

Número Mecanográfico: 395017007

Curso: Mestrado em Engenharia Biomédica

E-mail: [inesmartinsdesousaa@gmail.com](mailto:inesmartinsdesousaa@gmail.com)

### Identificação da Entidade de Acolhimento

Nome da entidade: LABIOMEPE – Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto

Morada: Rua Doutor Plácido Costa nº91, 4200-450 Porto

Contacto Telefónico: 220 425 237

E-mail: [info@labiomepe.up.pt](mailto:info@labiomepe.up.pt)

### Período de Realização

Relatório referente ao período de 14 de Fevereiro de 2019 a 3 de Junho de 2019

### Orientação e supervisão

Professor Orientador da Universidade Católica Portuguesa: Professor Doutor João Paulo Vilas-Boas

Tutor Técnico do Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto: Engenheiro Pedro Filipe Pereira da Fonseca

## Dedicatória

A elaboração deste relatório de estágio só foi possível graças ao apoio e motivação continua de algumas pessoas que me acompanharam ao longo destes dois anos, às quais agradeço do fundo do coração.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, por nunca me ter faltado nada, por todos os valores que me passaram. Agradeço-vos com todo o amor e gratidão que existe no mundo.

Aos meus sobrinhos – António e Manuel – por serem estas bolinhas pequeninas de energia e felicidade permanente. Sinto-me a pessoa mais sortuda do mundo por ser vossa tia.

Aos meus irmãos – João, Paula e Luísa - que são e serão sempre a melhor coisa que tenho na vida. Obrigada por tornarem os meus dias tão coloridos.

À Paula M., que faz sempre o que é necessário para nos ver bem e aproveito esta oportunidade para agradecer tudo o que fez por mim.

À Salete, por todas as energias positivas que me trouxe, por todas as disciplinas para as quais me ajudou a estudar, por ser tão minha amiga.

À minha família de Viseu, em especial à minha avó, por todas as velinhas que pôs.

À Juli, à Maria e à Flávia, por tornarem as coisas mais simples. Por me motivarem e ajudarem sempre a ser melhor.

Ao Danilinho, por tornar a vida no melhor que ela pode ser. Por ser o meu motivador diário, o meu melhor amigo, o meu compincha e o que permanentemente lida com o meu excesso de energia. A vida é mesmo boa e fácil quando se tem um coração como o teu ao meu lado.

## Resumo

Este documento tem como objetivo apresentar o relatório concernente ao estágio curricular do 2º semestre do 2º ano em Engenharia Biomédica, realizado no Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto - LABIOMEPE, localizado na Faculdade de Desporto da Universidade do Porto – FADEUP.

Ao longo deste relatório serão descritos os trabalhos executados no âmbito do estágio, assim como o seu enquadramento, objetivos e respetiva explicação.

O desejo de estagiar no laboratório surgiu no decorrer do meu percurso académico, na disciplina de biomecânica. Durante a lecionação da disciplina são dados diversos exemplos de projetos que são desenvolvidos no laboratório, o que me suscitou curiosidade e vontade de aprender sobre uma temática que possui uma potencialidade imensa.

Como tal, o meu objetivo de estagiar no LABIOMEPE não era apenas de aprender a trabalhar com os equipamentos de forma isolada, mas sim intervir e auxiliar no máximo de projetos em curso, de modo a rentabilizar a aquisição de novos conhecimentos.

Efetivamente, este estágio permitiu-me obter uma elevada autonomia na maioria dos equipamentos, softwares de recolha e tratamento de dados biomecânicos.

O estágio assinala uma etapa fulcral no reconhecimento do percurso académico uma vez que, quando aliado com os conhecimentos da área de formação, permite o desenvolvimento de competências que mais tarde serão aplicadas no mercado de trabalho.

**Palavras-chave:** *Biomecânica; Cinemetria; Eletromiografia; Termografia; Morfometria*

## Abstract

This document aims to present the report concerning the curricular internship of the 2<sup>nd</sup> semester of the 2<sup>nd</sup> year in Biomedical Engineering. The internship was held at the Biomechanics Laboratory of the University of Porto – LABIOMEPE, located at the Faculty of Sports of the University of Porto – FADEUP.

This report contains a profound documentation of the various tasks which were completed within the scope of the internship. The documentation describes the multiple objectives of the tasks, as well as its framework.

The desire to do an internship in the LABIOMEPE arose during my academic career. While I was attending the class of “Biomechanics”, several examples of projects which were developed in this laboratory were given. Thanks to this introduction, my curiosity and my willingness to learn more about biomechanics were piqued.

As such, my objective of interning at LABIOMEPE consisted not only in learning how to work with the equipment in isolation, but also how to intervene and assist in the maximum of ongoing projects. Consequently, this gave me the possibility to profit from the acquisition of new knowledge.

In fact, I can conclude that this internship allowed me to obtain a high autonomy in most equipment and software regarding the collection and treatment of biomechanical data.

The internship marks a crucial stage in the recognition of the academic path since, when combined with the knowledge of the training area, it allows the development of skills that will later be applied in the job market.

**Keywords:** Biomechanics; Cinematics; Electromyography; Thermography; Morphometry

## Agradecimentos

Ao professor João Paulo Vilas-Boas por ter tornado possível a realização de um estágio incrivelmente memorável e feliz, por toda a disponibilidade, ajuda e acompanhamento contínuo ao longo deste desafio.

Ao Pedro Fonseca agradeço, perentoriamente, pela paciência. Graças ao Pedro e à dinâmica laboratorial criada por ele, todos os meus dias de passagem pelo laboratório foram dias felizes! Obrigada pela transmissão de conhecimentos ao longo do projeto, pelo apoio e pela contínua motivação para ser melhor. Obrigada por te teres tornado meu amigo.

À Manoela e à Sara, por irem além de toda a relação estabelecida entre colegas de trabalho e se tornarem minhas amigas.

A toda a equipa que privou comigo no LABIOME – Zacca, Klaus, Denise, Márcio, Professora Filipa e Professor Leandro – pela oportunidade de realizar um estágio num espaço onde o ótimo ambiente prevalecia todos os dias.

Ao professor João Paulo Ferreira por desde o dia em que entrei na Católica me ter orientado, ajudado e aconselhado sempre da melhor forma e nunca me ter deixado desmotivar.

Ao Randy, à Joana Sá, ao Pedrocas às meninas – Rita e Beatriz – por estes dois anos incríveis. Obrigada por todos os conselhos, motivações e momentos felizes.

## Índice

<i>Informações Gerais</i> .....	4
<b>Identificação do Estagiário</b> .....	4
<b>Identificação da Entidade de Acolhimento</b> .....	4
<b>Periodo de Realização</b> .....	4
<b>Orientação e supervisão</b> .....	4
<i>Dedicatória</i> .....	5
<i>Resumo</i> .....	6
<i>Agradecimentos</i> .....	8
<i>Lista de Abreviaturas</i> .....	11
<i>Lista de Figuras</i> .....	12
<i>Lista de Tabelas</i> .....	13
<i>Lista de Esquemas</i> .....	14
<b>1. Introdução</b> .....	15
<b>1.1 Enquadramento</b> .....	15
<b>1.2 Calendarização e Planeamento de tarefas</b> .....	16
<b>2. Caracterização do Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto</b> .....	16
<b>2.1 Métodos de medição para análise do movimento</b> .....	19
<b>2.2 Instrumentação para aquisição de dados</b> .....	21
<b>2.3 Sistemas de Aquisição de Dados</b> .....	21
2.3.1. Qualisys .....	21
<b>2.4 Eletromiografia</b> .....	29
<b>2.5 Dinamometria</b> .....	30
<b>3. Sistema de Processamento de dados</b> .....	31
<b>3.1 Visual 3D</b> .....	31
<b>4. Descrição dos trabalhos desenvolvidos</b> .....	31

<b>4.1 PROJETOS.....</b>	<b>31</b>
4.1.1 Footwear, Advanced Materials, Equipment's and Software Technologies: FAMEST .....	31
4.1.2 In search of excellence - A mixed-longitudinal study in young athletes: INEX...	35
4.1.3 Balance Benchmark: BABEN .....	37
<b>4.2 DOUTORAMENTOS .....</b>	<b>38</b>
4.2.1 Avaliação Biomecânica da marcha em indivíduos portadores de Polineuropatia Amiloidótica Familiar (PAF).....	38
4.2.2 Avaliação eletromiográfica e de produção de força da musculatura dos membros inferiores com dor.....	42
<b>4.3 PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS .....</b>	<b>45</b>
4.3.1 Avaliação e Controlo de Treino da Federação Portuguesa de Natação: realização de um conjunto de testes e avaliações de natureza fisiológica, dinamométrica e de performance física a nadadores da FPN. ....	45
4.3.2 Avaliação Clínica da Marcha para o Hospital Santo António do Porto: realização de estudos de marcha de cariz clínico a pacientes que estejam a ser acompanhados no serviço de ortopedia decorrente de Síndrome Patelofemoral.....	48
<b>3. Conclusão.....</b>	<b>51</b>
<b>5. Bibliografia.....</b>	<b>52</b>

## **Lista de Abreviaturas**

FADEUP – Faculdade de Desporto da Universidade do Porto

FAMEST - Footwear, Advanced Materials, Equipament's and Software Technologies

LABIOMEPE – Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto

QREN - Quadro de Referência Estratégico Nacional

SNES – Sindicato Nacional do Ensino Superior

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Imagem representativa do LABIOMEPEP .....	16
Figura 2.2 – Faculdades que contribuíram para a criação do LABIOMEPEP .....	17
Figura 2.3 – Plataforma de força e respectivas componentes .....	20
Figura 2.4 – Câmara Oqus e Oqus Video .....	23
Figura 2.5 – Representação Visual do LABIOMEPEP .....	23
Figura 2.6 – Representação das plataformas de marcha do LABIOMEPEP .....	24
Figura 2.7 – Kit de Calibração Qualysis .....	25
Figura 2.8 – Marcador Refletor e Cluster Refletor .....	26
Figura 2.9 – Distribuição dos marcadores no corpo .....	27
Figura 2.10 – Clusters no corpo .....	27
Figura 2.11 – Posição anatômica de referência .....	28
Figura 2.12 – Representação do ensaio estático .....	29
Figura 2.13 – Sistema de eletromiografia sem fios .....	30
Figura 4.1 – Logotipo representativo do projeto .....	32
Figura 4.2 – Sabrina .....	35
Figura 4.3 – Bota do Militar.....	35
Figura 4.4 – Bota Magnum com sola Michelin .....	35
Figura 4.5 – Colocação dos marcadores e respetiva denominação .....	41
Figura 4.6 – Projeto em que participei como cobaia .....	44
Figura 4.7 – Medidas de avaliação antropométrica .....	46

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Equipamentos do LABIOMEPE e suas finalidades .....	19
Tabela 2.2 – Caracterização das plataformas de marcha .....	24
Tabela 2.3 – Passos necessários para a correta aquisição de dados .....	31
Tabela 2.4 – Lista de copromotores FAMEST .....	33
Tabela 4.1 – Equipamento utilizado no FAMEST .....	37
Tabela 4.2 – Critérios de seleção para o projeto .....	40
Tabela 4.3 – Tarefa realizada no projeto .....	40
Tabela 4.4 – Critérios de seleção para o projeto .....	43
Tabela 4.5 – Protocolo realizado no projeto .....	50

## **Lista de Esquemas**

Esquema 2.1 – Esquema de aquisição de Dados .....	21
---	----

# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento

O documento apresentado é referente ao estágio que se enquadra na unidade curricular de Tese que se encontra presente no plano de estudos do Mestrado em Engenharia Biomédica da Universidade Católica Portuguesa (2º semestre do 2º ano).

Está previsto no decreto-lei nº216/92 que o grau de mestre só pode ser concedido se:

- a. Existir frequência e aprovação nas unidades curriculares que integram os cursos de especialização.
- b. Houver elaboração de uma dissertação, relatório de estágio ou projeto especialmente escrita para o feito, assim como a sua discussão e aprovação (SNESup, 1992).

O presente relatório é referente ao estágio curricular efetuado no 4º semestre do Mestrado e tem, portanto, como objetivo, a conclusão do Mestrado em Engenharia Biomédica.

O estágio foi realizado no Laboratório de Biomecânica do Porto e decorreu entre os dias 18 de Fevereiro de 2019 e 3 de Junho de 2019.

A biomecânica resulta da correlação de diversas áreas e dedica-se a medir, modelar e explicar os padrões dos movimentos dos seres vivos (Adrian & Cooper, 1994). É, portanto, uma ciência multidisciplinar, dado que requer a interação de diversos campos de conhecimento tais como, por exemplo, a física e anatomia, e a sua respetiva aplicação no estudo do movimento (Amadio, *et al.*, 1999).

No seguimento deste pensamento, selecionei o Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto – LABIOMEPE - para realizar o meu estágio. O facto da biomecânica, na minha perspetiva, ser uma das disciplinas mais complexas e cativantes do mestrado em Engenharia Biomédica, foi um estímulo para que todo o trabalho fosse realizado com muita dedicação.

O estágio no LABIOMEPE proporcionou a aquisição de conhecimentos relativos aos diversos projetos que estão a ser desenvolvidos.

Foi-me confiada a oportunidade de trabalhar de forma completamente independente, mas inserida numa equipa multidisciplinar e dinâmica, o que me permitiu desenvolver algumas ferramentas interpessoais.

## 1.2 Calendarização e Planeamento de tarefas

Ao longo do período de estágio, de 14 de Fevereiro de 2019 a 3 de Junho de 2019, foram estabelecidos objetivos de forma a obter a maior rentabilidade e produtividade possível dentro das horas de trabalho estipuladas entre a entidade de acolhimento e a universidade.

De forma a possibilitar uma aprendizagem ampla e produtiva, foi definido um horário de trabalho que abrangia o horário de funcionamento do laboratório, perfazendo 8 horas diárias.

Assim, foi feito uma planificação que fosse compatível com as tarefas a realizar no LABIOMEPE, com um seguimento evolutivo de forma a proporcionar uma aprendizagem mais autónoma e eficaz.

## 2. Caracterização do Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto



*Figura 2.1 - Imagem representativa do LABIOMEPE*

O Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto está localizado na Faculdade de Desporto da Universidade do Porto – FADEUP – e possui uma ampla quantidade de equipamentos especializados para diferentes fins, que se encontram disponíveis para a prestação de serviços e investigação.

O LABIOMEPE resultou da aliança entre várias Faculdades da Universidade do Porto que, face à inexistência de um espaço comum em que fosse possível o lançamento de infraestruturas científicas e de desenvolvimento tecnológico, viram a oportunidade para a criação de uma entidade que respondesse a essa necessidade.

A criação foi exequível devido ao Quadro de Referência Estratégico Nacional – QREN – e o Novo Norte – Programa Operacional Regional do Norte.

O Laboratório tem, portanto, como objetivo fomentar e investigação, formação académica e o desenvolvimento e inovação nos domínios da biomecânica, através de uma abordagem multidisciplinar e cooperação com a Universidade do Porto, prestadores de serviços de saúde e indústria.

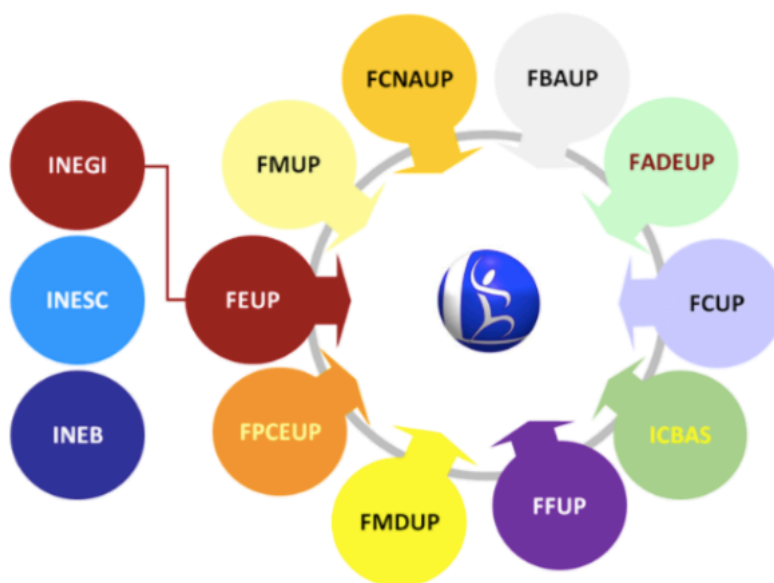
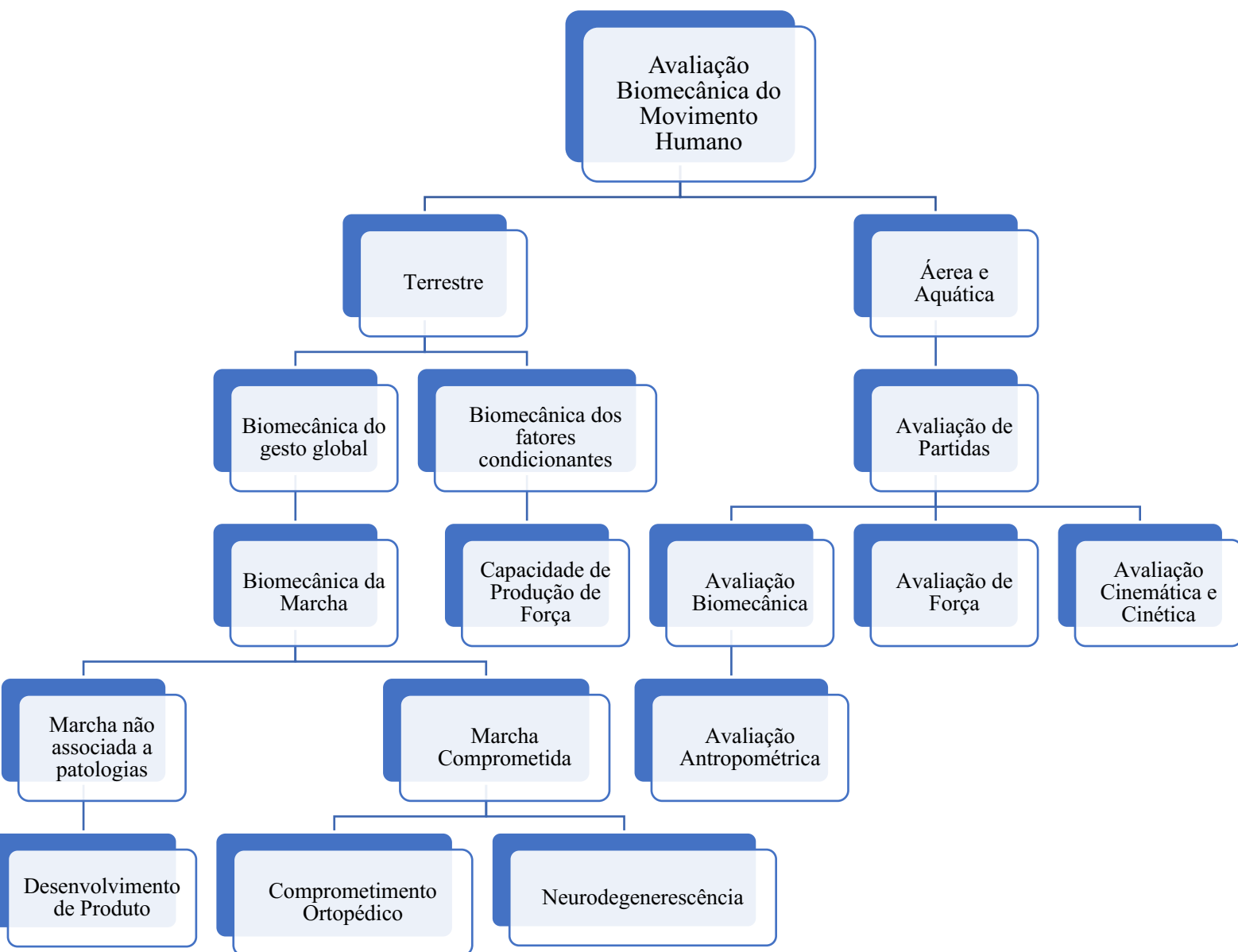


Figura 1.2 – Faculdades que contribuíram para a criação do LABIOMEPE

O Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto é um laboratório equipado com recursos tecnológicos que tem como missão o desenvolvimento de projetos nos domínios da biomecânica e áreas afins.



A biomecânica é a área da biofísica que utiliza as leis e os métodos da mecânica para estudar os seres vivos ou sistemas biológicos (Vilas-Boas, 2016).

Esse estudo pode ser feito de forma terrestre ou aérea/aquática. Na terrestre, quando há fatores condicionantes é analisada a capacidade de produção de força, já em relação à biomecânica do gesto global é avaliada a marcha.

Quando a marcha não tem nenhum tipo de patologia associada (é considerada normal) é utilizada no desenvolvimento de produto: fileira de calçado. Quando o sujeito apresenta marcha comprometida é associado a comprometimento ortopédico ou neurodegenerescência.

A avaliação Aérea e Aquática é feita de forma igual. A avaliação é feita nas partidas, onde se procede à avaliação biomecânica, de força, cinemática e cinética. Parâmetros que se encontram explicados na tabela 1.

*Tabela 2.1 - Equipamentos do LABIOMEP e suas finalidades*

<b>Equipamentos</b>	<b>Finalidade</b>
<b>Cinematria</b>	Determinação de posição, orientação, velocidade e aceleração.
<b>Dinamometria</b>	Avaliação de forças e momentos de força.
<b>Eletromiografia</b>	Registo da atividade elétrica muscular.
<b>Termografia</b>	Registo da temperatura superficial de corpos.
<b>Antropometria</b>	Avaliação da dimensão segmentária e características inerciais de todo o corpo.

No ponto 2.1 são apresentados os métodos de medição assim como o equipamento necessário para a análise do movimento.

## 2.1 Métodos de medição para análise do movimento

Sendo a biomecânica experimental uma disciplina que possui dependência de resultados experimentais, é necessário que os métodos de medição sejam precisos.

Os sistemas utilizados no laboratório de forma a abordar de forma precisa a modelagem do movimento humano são a cinematria, dinamometria, antropometria e eletromiografia.

A cinematria permite a aquisição dos parâmetros cinéticos do movimento – posição, orientação, velocidade e aceleração – com recurso a câmaras de vídeo que registam a imagem do movimento e utilizam um software que calcula as cinemáticas de interesse (Vilas-Boas, 2016).

Já a dinamometria consiste na avaliação de forças e momentos de força. O instrumento básico deste equipamento são as plataformas de força. É então medida a força de reação do solo e o ponto de aplicação inerente durante as atividades (Vilas-Boas, 2016).

O equipamento é constituído por duas placas rígidas, uma paralela à outra, ligadas por sensores de força – extensiométricas – constituídas por quatro células de carga, o que permite adquirir as três componentes da força  $F_x$ ,  $F_y$  e  $F_z$ , e os respetivos momentos  $M_x$ ,  $M_y$  e  $M_z$  sendo x a direção ântero-posterior, y a médio-lateral e z a vertical como podemos observar na figura 3.

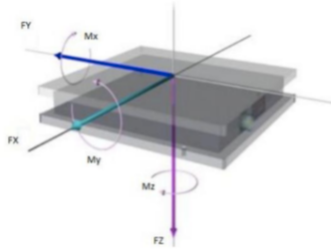


Figura 2.2 - Plataforma de força e respetivas componentes (LaBiMPH, 2009).

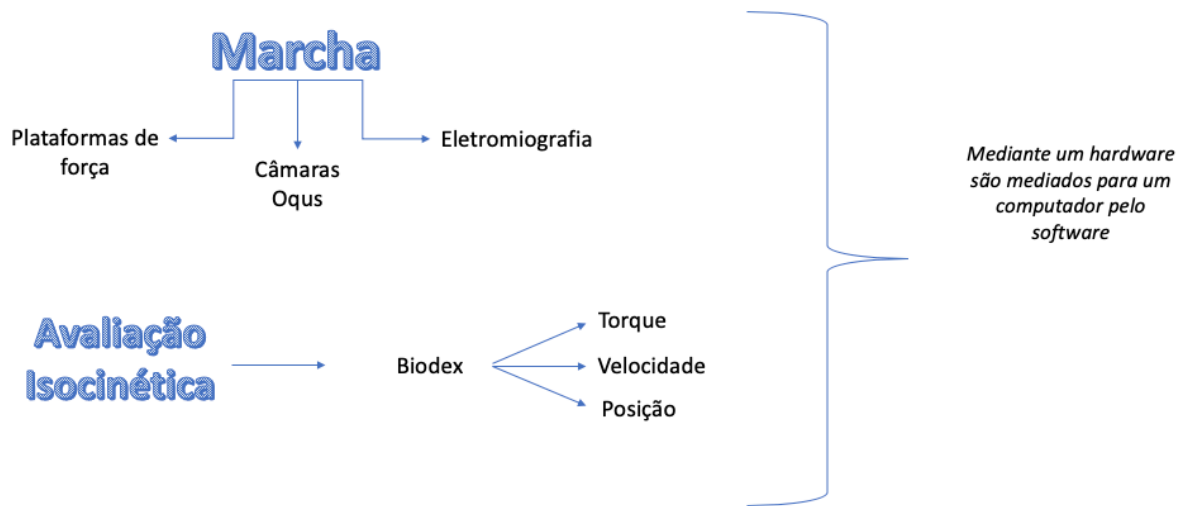
A antropometria contém os parâmetros necessários para a construção de um modelo biomecânico através da descoberta de características e propriedades do aparelho locomotor como, por exemplo, a divisão da massa do corpo humano e respetivas partes (Amadio *et al.*, 1999).

Por último, a eletromiografia é um método de diagnóstico que utiliza elétrodos de superfície para avaliar a atividade elétrica associada às contrações musculares (CUF, 2012)

A eletromiografia é diferente dos outros métodos descritos em cima, uma vez que se caracteriza por indicar o estímulo neural para o sistema muscular. São colocados elétrodos na superfície da pele que medem a diferença de potencial entre dois pontos do músculo. A aquisição de dados pode ser afetada por uma variedade de fatores, entre eles a fadiga e alongamento muscular, por exemplo (Malta *et al.*, 2006). Os valores adquiridos têm de ser amplificados uma vez que possuem uma amplitude muito baixa, de forma a permitir a correlação com outros sinais eletrofisiológicos (Amadio *et al.*, 1999).

## 2.2 Instrumentação para aquisição de dados

O sistema de aquisição do esquema 2.1 é o definido para recolhas feitas em *land*, no laboratório. Estão englobados todos os componentes de *hardware e software* que permitem a captação simultânea com o *Qualisys*.



Esquema 2.1 - Esquema do Sistema de Aquisição de Dados

Os funcionamentos destes equipamentos serão explicados no seguimento deste relatório.

## 2.3 Sistemas de Aquisição de Dados

### 2.3.1. Qualisys

O *Qualisys Track Manager (QTM)* é um software captura de movimento em tempo-real.

Utiliza tecnologia de rastreamento ótico que permite medir a posição dos objetos em movimento com uma precisão elevada, em 2D ou 3D. Esta tecnologia pode ser utilizada *indoor*, *outdoor* e subaquaticamente.

A metodologia utilizada pela *Qualisys* consiste na utilização simultânea de câmaras de captura de movimento, um software e um hardware, todos criados e produzidos pela empresa.

O *Qualisys Track Manager* vem responder à necessidade de concentrar todos os meios de captura de imagem num único software.

A coligação entre a *hardware* de medição ótica da *Qualisys* e o *Qualisys Track Manager* permitiu a criação de um sistema que possui todos os recursos necessários para a obtenção de uma excelente captura de movimento em tempo real.

Durante esta captura são exibidas as informações em 2D, 3D e 6D (possibilidade de usar QTM para criar corpos rígidos com 6° de liberdade, com possibilidade de efetuar 3 traslações e 3 rotações em x, y, z), em tempo real, permitindo a confirmação imediata da qualidade dos dados. Os dados das câmaras 2D são processados e convertidos por algoritmos avançados em 3D ou 6D. Posteriormente são exportados para o software de análise.

Esta ferramenta pode ser utilizada para encontrar e prevenir lesões, assim como melhorar o desempenho da própria biomecânica, de forma a servir de auxílio para a criação e desenvolvimento de novos produtos na área (Qualisys, s.d.).

### *I. Hardware*

O Laboratório está equipado com 12 câmaras Oqus (figura 2.4) que se encontram distribuídas pelo laboratório, em que três dessas têm função de captura de vídeo a cores a alta velocidade. As câmaras encontram-se distribuídas segundo o esquema demonstrado na figura 2.5.



*Figura 2.3 - Câmara Oqus e Oqus Vídeo*

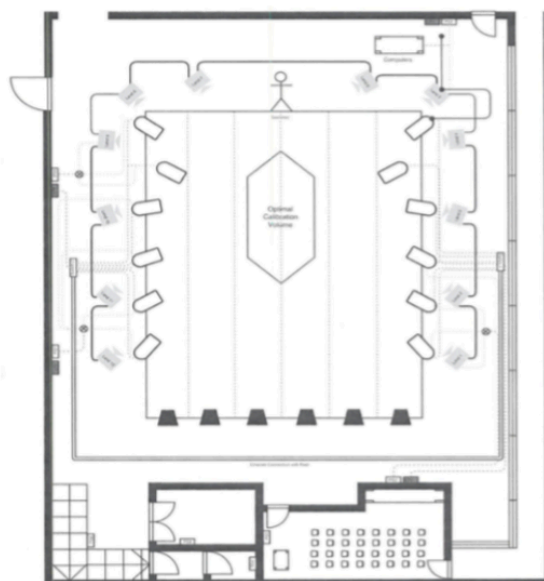


Figura 2.4 - Representação visual do LABIOMEPE

O LABIOMEPE possui também 6 plataformas de força (uma *Kistler* e cinco *BERTEC*), que formam um corredor de marcha.

As plataformas de força são constituídas por duas superfícies rígidas, uma superior e outra inferior, que se encontram interligadas por sensores de força. Através das componentes obtidas pelos momentos de força é possível obter o centro de pressão. O centro de pressão é o ponto de aplicação resultante das forças verticais sobre a superfície da plataforma

As plataformas de força *Kistler 9281E* são placas de alumínio que possuem quatro sensores de força piezoelétricos capazes de medir 3 eixos de força – x, y, z - sendo, então, extremamente rígidas o que permite efetuar medições numa frequência ampla. Já as plataformas *BERTEC* são extensiométricas, o que lhes confere capacidade de medir tensões e deformações quando é aplicada carga sendo, posteriormente convertidos em tensão mecânica.

As plataformas de força foram projetadas para servir de ferramenta para alguns estudos científicos. A sua alta rigidez e robustez faz com que sejam selecionadas para diversas tarefas de medição e setores de aplicação. Têm excelente precisão e linearidade (Kistler, s.d.).

Durante a aquisição de dados, é essencial observar se o pé pisa sobre a plataforma como um todo, caso contrário é necessário desconsiderar essa aquisição, pois os dados obtidos estarão alterados (Barela e Duarte, 2011).

Quando o pé pousa integralmente numa plataforma, seja ela qual for, a força resultante idealmente será a mesma. As câmaras ajudam a verificar se o posicionamento dos pés é correto.

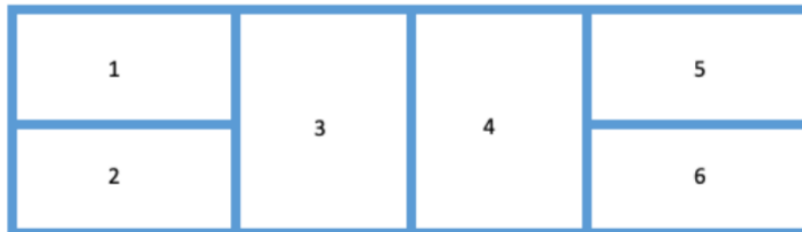


Figura 2.5 - Representação das plataformas de marcha do LABIOMEPE

Tabela 2.1 - Caracterização das plataformas de marcha

Plataforma	Tipo
1	BERTEC
2	BERTEC
3	BERTEC
4	BERTEC
5	KRISTLER
6	BERTEC

## II. *Procedimentos de registo cinemático*

O *Qualisys Track Manager* possibilita a obtenção de resultados provenientes da agregação de todos os equipamentos em cima referidos e simultaneamente dados cinemáticos. Para que isso aconteça é necessário seguir os seguintes passos:

### i. *Calibração do sistema*

O LABIOMEPEM tem definida uma nomenclatura para cada projeto de recolha cinemática, na qual é incluída a data da sua realização e o seu propósito. Em caso de tal recolha ser de um estudante de mestrado ou doutoramento, o nome será precedido da indicação do grau académico em curso. Por exemplo, um estudante de mestrado de seu nome “Ana Silva” terá que criar um projeto denominado 2018-01-01 – MSc Ana Silva.

De seguida é ajustada a exposição e ganho das câmaras, bem como a remoção ou aplicação de máscaras nos elementos retro refletivos indesejados que estejam a ser captados pelas câmaras.

Para se efetuar a calibração é utilizado o kit de calibração constituído pela varinha (instrumento com dimensão fixa e conhecida) e por uma peça em formato de L que serve de referência.



*Figura 2.6 - Kit de calibração Qualisys*

Inicialmente ativam-se as câmaras e eliminam-se as interferências captadas por elas. De seguida coloca-se a peça de referência no chão conforme o sistema de eixos já definido no programa (parte mais curta apontada no sentido do eixo Y e parte mais longa direcionada para o eixo X). Desta forma, é calculado o tempo que necessário para que a calibração seja efetuada

corretamente, com um erro ideal de [0,5;0,7] mm, tendo que ser sempre menor que 1 mm, caso contrário deverá ser feita uma nova calibração.

A área de calibração ótima do laboratório é de aproximadamente 3 m de comprimento x 1,5 m de largura x 2 m de altura.

## ii. Colocação dos marcadores

Esta fase consiste na colocação dos marcadores em pontos de referência anatômicos, adequados ao estudo que se vai realizar. O sujeito que está a ser estudado deverá usar, preferencialmente, calções e camisolas de alças ou um vestuário justo ao corpo, de forma a permitir o correto posicionamento dos marcadores e, conseqüentemente, adquirir os dados de forma adequada, com o mínimo de interrupções causadas pela queda de marcadores ou pela interferência causada pelas oscilações dos marcadores colocados sobre o tecido.

Os marcadores podem ser de dois tipos: individuais – quando utilizados de forma isolada - ou clusters - quando incorporados com outros sensores.



*Figura 2.7 - Marcador refletor e Cluster refletor*

Os marcadores individuais são colocados segundo a referência retratada na imagem 2.8 e os clusters na figura 2.9.

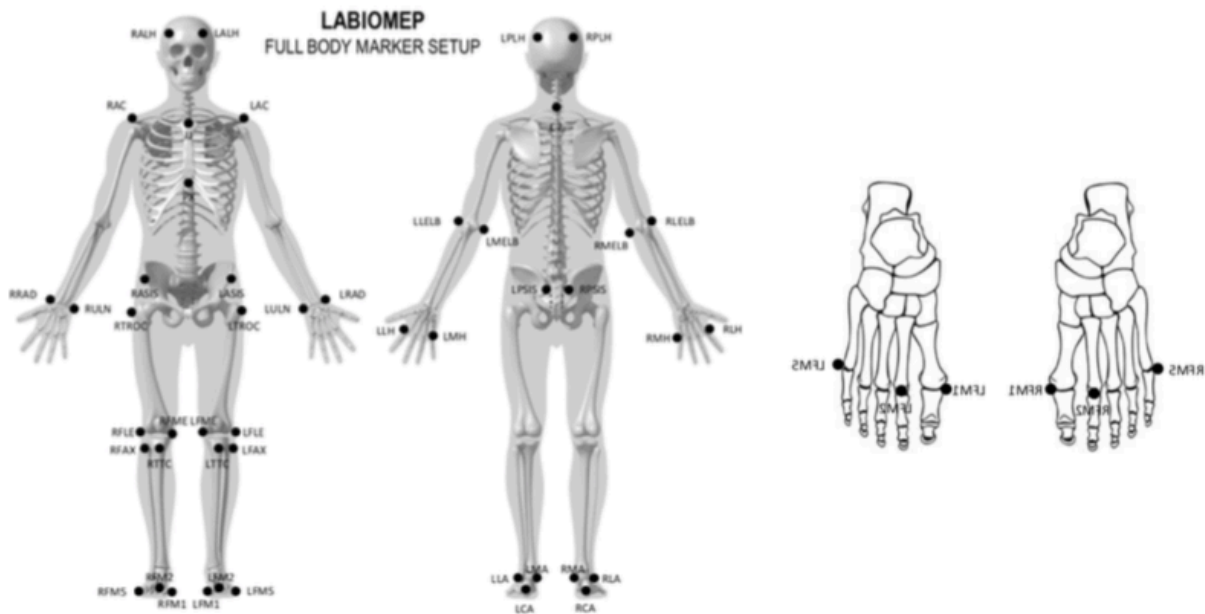


Figura 2.8 - Distribuição dos marcadores no corpo

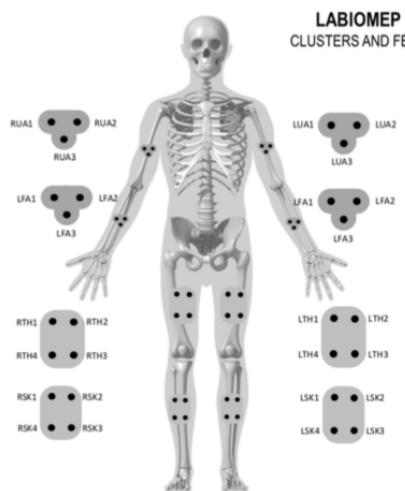
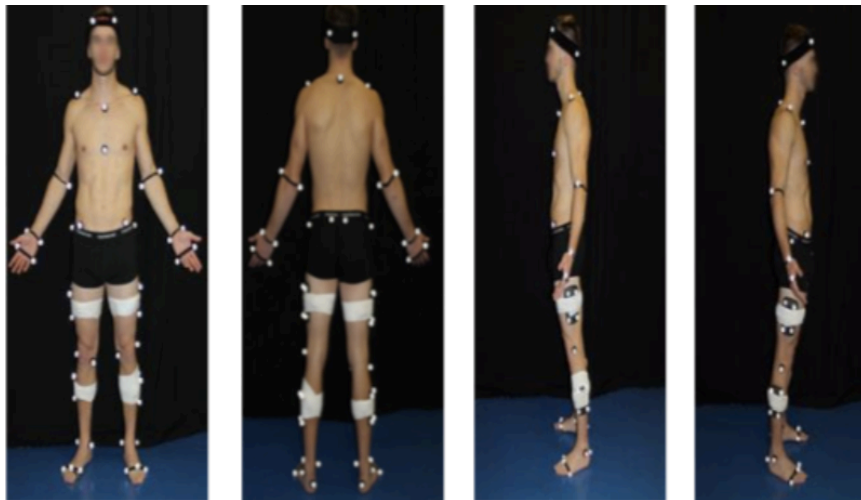


Figura 2.9 - Clusters no corpo

Conforme o que é pretendido, o número de marcadores pode ser alterado, no entanto é essencial que cada fração corporal contenha, no mínimo, 3 marcadores de forma a assegurar a sua posterior modelação em software dedicado (Visual 3D). Contudo, a utilização de um número elevado de marcadores não é proporcional à obtenção de uma recolha com maior qualidade pois, muitas vezes são detetadas sobreposições e deslocamentos dos mesmos o que obriga a uma análise mais minuciosa de todos os marcadores.

### iii. Recolha

Numa primeira fase é efetuado o registo fotográfico do sujeito após a colocação dos marcadores, na posição anatómica de referência e registam-se quatro perspetivas diferentes – anterior, posterior, lateral esquerda e lateral direita. De seguida realiza-se um ensaio estático na plataforma número três em que o sujeito assume a posição anatómica anterior e fica imóvel durante aproximadamente 50 segundos. Logo em seguida são realizados vários ensaios experimentais em que o objetivo é recriar a marcha natural com a colocação de um apoio em cada plataforma de forma a garantir um bom processamento de dados.



*Figura 2.10 - Posição anatómica de referência*

### iv. Tratamento de Dados

A seguir à recolha, processam-se os dados. Inicialmente é importante fazer a validação da amostra, isto é, se o sujeito colocou o pé na sua totalidade em cada plataforma e se as forças resultantes de reação do solo se encontram dentro do padrão exigido, de seguida temos de perceber se os marcadores se encontram na posição acertada e com a designação corretamente

atribuída. Por último, é feita a limitação do ensaio entre o instante antes da colocação do pé na plataforma e o instante após a saída do pé da última plataforma.

Os dados são guardados em formato C3D para serem depois tratados em Visual 3D.

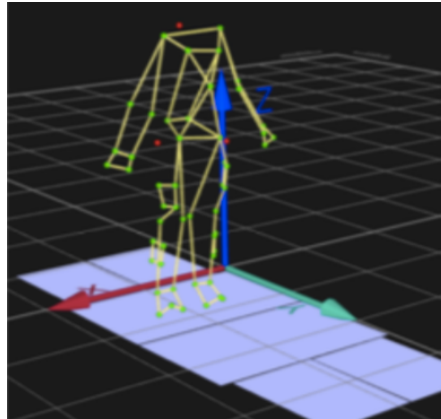


Figura 2.11 - Representação do ensaio estático

## 2.4 Eletromiografia

O sistema Delsys Trigno permite a aquisição de dados eletromiográficos em simultâneo com os dados cinemáticos e dinâmicos obtidos. Proporciona também a sincronização com o Qualisys Track Manager em tempo real, com capacidade de leitura até 16 canais ao mesmo tempo. Cada sensor tem embutido um acelerómetro triaxial que reproduz a aceleração do mesmo (possibilita a leitura de aceleração num determinado segmento muscular).



Figura 2.12 - Sistema de eletromiografia sem fios (Delsys Trigno)

## 2.5 Dinamometria

O dinamómetro que o laboratório possui é o BIODEX que é um utilizado para testes isocinéticos da função muscular, isto é, para testar o sistema músculo-esquelético humano. Pode ser utilizado para reabilitação das articulações ou para avaliação. As avaliações são normalmente executadas, a pedido de alguma entidade, desde hospitalar – para avaliações clínicas – a desportiva – que pretendam certificar o estado da lesão dos seus atletas.

É necessário seguir alguns passos de forma a alcançar a correta aquisição destes dados (UNICAMP - FEF):

*Tabela 2.2 - Passos necessários para a correta aquisição de dados*

BIODEX	
1	Inicialmente introduzem-se os dados do paciente – primeiro e último nome – género, membro dominante, membro afetado, peso, altura, idade e nomenclatura do ficheiro.
2	Na escolha do protocolo é selecionada: <ul style="list-style-type: none"><li>• Articulação pretendida</li><li>• Contração: Concêntrica/Excêntrica</li><li>• Velocidade de teste: 60°/s; 180°/s; 300°/s</li><li>• Tipo de movimento: Extensão/Flexão</li><li>• Número de séries e repetições</li></ul>
3	Escolha da amplitude de movimento: <ul style="list-style-type: none"><li>• Lado avaliado</li><li>• Amplitude de movimento</li></ul>
4	Após a confirmação das normas de segurança, é realizado um pequeno aquecimento já contemplado no protocolo seguido de uma fase de descanso e, por último, a realização da avaliação.
5	Efetua-se a avaliação no membro contralateral utilizando as mesmas normas, sendo que no final se elabora um relatório preliminar minucioso em que são comparados os valores obtidos com os valores de referência.

### 3. Sistema de Processamento de dados

#### 3.1 Visual 3D

Criado e desenvolvido pela C-Motion, o Visual 3D é uma software de análise e modelação biomecânica que utiliza o formato de arquivo C3D para dados de entrada, assim como dados de movimento em tempo real transmitidos por vários fabricantes de hardware.

O visual 3D permite a visualização do ciclo da marcha e pontos de aplicação de força, de forma realista, uma vez que apresenta um modelo tridimensional do esqueleto humano ajustado a cada sujeito.

### 4. Descrição dos trabalhos desenvolvidos

Neste capítulo vão ser descritos e caracterizados os projetos que se encontram em desenvolvimento no LABIOMEPE e nos quais participei.

#### 4.1 PROJETOS

##### 4.1.1 Footwear, Advanced Materials, Equipment's and Software Technologies: FAMEST



*Figura 4.1 - Logotipo representativo do projeto*

O projeto FAMEST – Footwear, Advanced Materials, Equipment's and Software Technologies – visa estudar e desenvolver materiais, componentes para calçado e tecnologias avançadas, assim como novos conceitos de calçado de moda, técnico, customizados, personalizado e trabalho, de elevado valor acrescentado, incorporando sinergicamente os

materiais desenvolvidos e produtos comercializados pelas novas tecnologias flexíveis e ágeis e soluções para valorizar os resíduos de produção e pós-consumo.

O projeto iniciou-se a 1 de Maio de 2017 e tem uma data expectável de término a 30 de Abril de 2020. Este projeto é promovido por um consorcio de 23 empresas de toda a cadeia de valor do calçado.

*Tabela 3.1 - Lista de copromotores FAMEST*

<b>Nº</b>	<b>Designação Social da Entidade</b>
1	Fortunato O. Frederico & Ca Lda
2	Asial - Indústria de Calçado, Lda
3	Camilo Martins Ferreira & Filhos, Lda
4	Carité – Calçados, Lda
5	Jefar – Indústria de Calçado, Lda
6	Joia – Calçado S.A.
7	AMF, Lda.
8	Ropar - Fabrico de Calçado Ortopédico, S.A.
9	Curtumes Aveneda, Lda
10	Curtumes Boaventura, Lda
11	Fábrica de Curtumes Rutra, Lda
12	Dias Ruivo – Curtumes e Produtos Industriais, Lda
13	ALOFT, Lda
14	ATLANTA – Componentes para Calçado Lda
15	AGLOMEX – Componentes para calçado, Lda
16	3DC – Intelligent Nature, Lda
17	CEI – Companhia de Equipamentos Industriais, Lda
18	FLOWMAT – Sistemas Industriais, Lda
19	INOCAM – Soluções de Manufatura Assistida, Lda
20	KYAIA Soluções Informáticas, Lda
21	OFICINAWARE – Informática, LDA
22	ZIPOR – Equipamentos e Tecnologia Industrial S.A.

23	Indinor – Industrias Químicas, S.A.
24	CTCP – Centro Tecnológico do Calado de Portugal
25	Centro Tecnológico das Indústrias de Couro
26	CCG – Associação C.C.G/ZGDV – Centro de computação gráfica
27	Universidade do Porto
28	Universidade do Minho
29	ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto
30	INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia I
31	INESC TEC – Instituto de Engenharia de sistemas e computadores, Tecnologia e C
32	Instituto Politécnico de Bragança

#### *I. Pessoas com neuropatias periféricas (PAFS)*

De acordo com o Instituto Nacional de doenças associadas à diabetes, cerca de 60% das pessoas com diabetes possuem algum tipo de neuropatia sendo a neuropatia periférica a forma mais comum de neuropatia diabética, esta é conhecida por afetar as extremidades do corpo. Os sintomas mais habituais são os formigueiros e dormências. Aquando da diabetes, o fluxo sanguíneo é reduzido o que aumenta a possibilidade de úlceras e eventual amputação (Uva *et al*, 2013).

Acontece que, em relação ao calçado adequado ao pé com neuropatias periféricas, não existem disponíveis nenhuma normas nem especificações quantitativas. Apesar de já existirem no mercado sapatos com especificações para alguns sintomas, faltam as evidências científicas que comprovem a sua adequação aos potenciais usuários.

É esta lacuna que o FAMEST quer preencher e, portanto, fazer um estudo e posteriormente desenvolver um calçado reconhecido e certificado que obedeça a um conjunto de normas formais e futuramente consiga minimizar e prevenir o aparecimento de úlceras.

## *II. Militares*

À semelhança do que acontece na neuropatia periférica, não existem normas oficiais para a produção de calçado militar.

Acontece que, aquando a utilização intensiva de calçado técnico é constatado que este não possui características de conforto adequadas – peso, rigidez, temperatura, humidade no interior do calçado, pressão sentida no pé. Tendo em conta que as características do calçado afetam diretamente o desempenho do utilizador, é essencial quantificar este desconforto para desenvolver produtos adequados.

A atividade militar está exposta a um maior risco de lesões no sistema locomotor. Alguns estudos observaram alterações durante a marcha, como um aumento na inclinação frontal com o transporte de cargas nas costas e velocidades mais lentas com passos mais curtos com as cargas mais pesadas. Em relação ao calçado utilizado, os militares obrigatoriamente devem utilizar botas durante as suas atividades diárias. Os estudos revelam que o uso específico deste tipo de calçado pode estar associado a lesões nos membros inferiores, aumento da pressão plantar, fadiga muscular, entre outros distúrbios. Dessa forma, é necessário identificar as alterações na marcha (variações de temperatura, humidade, picos de pressão, análises cinemáticas lineares e angulares) na tentativa de compreender e reduzir as possíveis alterações prejudiciais da marcha.

Neste projeto foram analisados dois modelos de botas militares: bota militar própria do sujeito (BMP) e Magnum com sola Michelin, produzidos pela empresa AMF (AM4), comparando-os com um modelo neutro - sabrina (SAB).

A sabrina é um sapato neutro (praticamente sem sola e palmilha), sem propriedades de acomodação do pé baseado em características anatómicas (conforto), que serviu apenas para fixar no seu interior as palmilhas transdutoras de pressão plantar que foram utilizadas nos ensaios biomecânicos.



Figura 4.2 - Sabrina



Figura 4.3 - Bota do Militar



Figura 4.4 - Bota Magnum com sola Michelin

Neste estudo foram avaliados 14 militares pertencentes ao Estado Maior do Exército de Portugal, que não apresentavam nenhum tipo de comprometimento músculo-esquelético e que estavam familiarizados com o protocolo. Cada militar realizou o protocolo de sabrina, bota militar própria e bota militar teste.

Neste projeto participei de forma ativa durante todo o processo. Desde a receção dos sujeitos, como respetiva preparação dos mesmo e posterior processamento de dados.

#### 4.1.2 In search of excellence - A mixed-longitudinal study in young athletes: [INEX](#)

O projeto INEX, promovido e executado pelo CIFI2D da FADEUP, com o objetivo de colmatar a ausência de estudos no que diz respeito ao percurso de jovens atletas para a excelência desportiva, tem como foco descobrir que fatores caracterizam um jovem atleta de sucesso dentro de cinco modalidades distintas – andebol, basquetebol, futebol, pólo aquático e voleibol.

O estudo possui uma amostra de jovens de 80 clubes diferentes (200 por modalidade), com idades compreendidas entre os 11 e os 14 anos. Os atletas vão acompanhados e avaliados durante três/quatro anos.

As variáveis deste estudo centram-se em quatro domínios:

- Natureza biológica
- Habilidades e aspetos de natureza percetiva
- Domínio psicológico

- Aspectos da natureza contextual

A minha participação no estudo aconteceu em duas das cinco modalidades definidas: futebol e basquetebol.

No período de férias escolares, os atletas em grupos entre 30 a 40 sujeitos, dirigem-se ao LABIOMEPE onde são objetos de uma avaliação que se prolonga ao longo do dia.

Na parte da manhã são identificados em função do clube, escalão etário e modalidade que praticam. Em seguida, passam pela avaliação antropométrica onde é determinado o peso, altura e composição corporal, em paralelo com um questionário psicológico onde são colocadas questões quer sobre a motivação dos jovens para a prática e prestação desportiva, quer como sobre o suporte parental. No final do almoço realizam testes de natureza física: testes de velocidade, resistência e força. Os atletas também são avaliados sobre o nível de conhecimento que cada um tem sobre a sua modalidade desde o conhecimento do jogo, até aspectos de natureza técnica e estratégica. Posteriormente são divididos em grupos mais pequenos onde utilizam tecnologias como o *eye tracker* onde o jovem é colocado em situações específicas para ter uma conceção do que aconteceu à visão para o levar a tomar uma dada opção e como foi processada toda a informação face àquela que recebeu visualmente.

Este estudo é pioneiro e são necessários pelo menos dois anos para comprovar a sua fiabilidade, mas o seu propósito tem como objetivo a criação de uma base de dados para dirigentes associativos, diretores técnicos, selecionadores e treinadores dos clubes de forma a permitir um desenvolvimento sustentado de jovens atletas com vistas à excelência desportiva.

Na nossa participação neste projeto foram recolhidos dados de salto vertical em agachamento e com contramovimento.

A minha participação neste projeto passou pelo processamento de dados recolhidos pela Prof. Doutora Filipa Sousa recorrendo às plataformas de força.

Utilizei a rotina MatLab desenvolvida pelo Eng<sup>o</sup> Pedro Fonseca, desenvolvida dedicadamente para este efeito.

#### 4.1.3 Balance Benchmark: BABEN

O BABEN é um projeto pioneiro, desenvolvido em parceria com a empresa espanhola Tecnia, que passa pela validação do sistema Equimetrix para avaliar a estabilidade do equilíbrio e a regulação postural.

O sistema Equimetrix foi desenvolvido com o objetivo de medir a localização 3D do centro de massa, centro de pressões e área de apoio dos pés. Essas medições possibilitam o cálculo de um índice de estabilidade e oferecem funções de avaliação e treino do equilíbrio e controlo postural.

Devido à sua natureza inovadora este sistema requer uma validação completa e detalhada de todas as suas potencialidades. Foram então utilizados os equipamentos apresentados na tabela em baixo para permitir a aprovação do sistema.

*Tabela 4.1 - Equipamento utilizado no BABEN*

<b>Equipamento</b>	<b>Funcionalidade</b>
<b>Qualisys</b>	Determinação do centro de massa 3D por meios óticos
<b>XSens</b>	Determinação do centro de massa 3D por meios inerciais
<b>Tekscan / Pedar</b>	Medição pressão plantar
<b>Bertec</b>	Medição de área

Este sistema possui um potencial científico e económico relevante no combate à fragilidade sénior e na valorização do envelhecimento saudável, bem como na terapia de doenças neuromotoras e na avaliação de potencial individual de excelência desportiva. A validação deste projeto permite que, futuramente, os clínicos e terapeutas avaliem assertivamente os seus pacientes e planeiem os treinos e sessões terapêuticas de acordo com as suas necessidades, recorrendo a um equipamento de baixo custo e fácil utilização.

O estudo encontra-se a ser realizado com base em em 4 grupos de sujeitos: adultos saudáveis, atletas, idosos e pacientes com distúrbios neuromotores. Cada grupo terá uma amostra de pelo menos 10 participantes.

Esta validação foi dividida em quatro objetivos:

1. Definição de protocolos de avaliação e certificação ética

2. Validação da medição da base de apoio, migração do centro de pressão e estabilização
3. Validação da estimativa da posição do centro de massa 3D
4. Validação de funcionalidades de treino fornecidas pelo sistema Equimetrix

Neste projeto, devido à sua recente existência, tive a sorte de participar ativamente ao longo de toda a validação, fazendo também parte da própria validação como voluntária.

O BABEN foi utilizado em paralelo com o FAMEST, no estudo dos militares.

Foi avaliada a estabilidade do equilíbrio e a regulação postural nos militares com carga e sem carga.

Este estudo foi enriquecedor porque, apesar de não existirem resultados publicados, conseguimos observar imediatamente que quando os militares têm carga a sua posição altera drasticamente para conseguirem adaptar o corpo ao peso.

## 4.2 DOUTORAMENTOS

No estágio que tive oportunidade de realizar foi-me proporcionada a possibilidade de participar na recolha e tratamento de dados de projetos de doutoramento em curso no LABIOME. Em continuação passarei a expor o meu envolvimento e os dividendos daí recolhidos.

### 4.2.1 Avaliação Biomecânica da marcha em indivíduos portadores de Polineuropatia Amiloidótica Familiar (PAF)

A polineuropatia amiloidótica familiar, comumente denominada de doença dos pezinhos, foi pela primeira vez identificada na zona da Póvoa de Varzim, Portugal. É uma doença genética, autossómica, dominante e neste momento espalhada por todo o mundo, com uma prevalência de 22,93% adultos em Portugal.

A doença resulta da deposição de amiloide – substância fibrilar altamente insolúvel, resultante da desintegração da proteína Transtirretina (TTR), produzida maioritariamente pelo fígado – nos espaços intercelulares, especialmente do sistema nervoso periférico. Estas fibras são

constituídas por subunidades de TTR, uma proteína do sangue que transporta hormonas da tiroide e vitamina A.

Uma mutação no cromossoma 18 – a substituição da metionina pela valina na posição 30 determina a produção descontrolada e multisistémica de amiloide que, conseqüentemente, se deposita nos tecidos nervosos. A sua deposição leva, normalmente, em primeiro lugar, a uma degeneração progressiva dos nervos periféricos, conduzindo a uma diversidade de sintomas.

Embora a mutação esteja presente desde o nascimento, a doença manifesta-se tardiamente, normalmente pelos 25-35 anos. Os primeiros sintomas são sensitivos, desde a diminuição de sensibilidade à temperatura, como sensações de formigueiro, que avança simetricamente começando na extremidade distal – pés – e subindo progressivamente. Quando atinge a zona da anca, normalmente afeta também as mãos. O transplante hepático tem sido a forma mais eficiente de atenuar a sintomatologia, visto que mais de 90% da TTR Met 30 é produzida no fígado, então é esperado que o transplante retarde a evolução da PAF e a concentração de proteína anómala seja diminuída no plasma sanguíneo.

Em 2012 entrou no mercado um medicamento denominado Tafamidis que é um estabilizador do tetrâmero da TTR, o que permite diminuir a velocidade de progressão da doença.

Em relação à biomecânica, os portadores de PAF têm uma marcha característica uma vez que os doentes, por impossibilidade de colocarem os calcâneos no chão, apoiam-se na extremidade anterior dos pés (Gonçalves, 2009).

Neste projeto conduzido pela Engenheira Maria do Carmo Vilas-Boas, o objetivo foi avaliar a biomecânica dos indivíduos portadores de polineuropatia amiloidótica familiar.

Foram selecionados 10 indivíduos saudáveis - sete homens e três mulheres - cujas características estão representadas na tabela em baixo. O único critério de exclusão para a seleção dos sujeitos foi a existência de qualquer doença ou lesão que afetasse a marcha (não foram impostos limites em relação à idade, altura e peso).

Tabela 4.2 - Critérios de seleção para o projeto

	Média	Mínimo	Máximo
<b>Idade (anos)</b>	31 ± 8	23	52
<b>Altura (m)</b>	1,71 ± 0,11	1,50	1,94
<b>Peso (kg)</b>	67,9 ± 15,3	48,0	105,0
<b>Índice de massa corporal (kg/m<sup>2</sup>)</b>	23,0 ± 3,3	16,7	31,0

A aquisição de dados foi realizada por duas vezes com um ano e meio de intervalos entre visitas ao laboratório, recorrendo à utilização de dois sistemas de captura de movimento diferentes: um câmara RGB-D (Kinect v2) e um sistema de Qualisys padrão, incluindo doze câmaras Oqus e sessenta e um marcadores refletivos.

Foi solicitado aos voluntários que utilizassem calções e camisola justa de forma a facilitar a colocação dos marcadores, estes foram aplicados em diferentes pontos de referência do corpo, conforme se encontra ilustrado na imagem da figura, onde é também apresentada uma imagem indicativa dos pontos identificados pelo sistema de visão computacional (Kinect v2).

O protocolo experimental consistiu na realização de uma tarefa simples – T1 – que se encontra descrita na tabela.

Tabela 4.3 - Tarefa Realizada no projeto

Tarefa	Descrição	Número de Ensaios
<b>T1</b>	Caminhar 7 metros na direção do <i>Kinect</i> , rodar a 1,2 m do sensor e caminhar 7 m na direção oposta do sensor.	10

Os dados fornecidos pelo Kinect incluíam dados de infravermelhos, profundidade e articulações do corpo em 3D, enquanto que os dados do Qualisys concediam a posição 3D dos marcadores, que foi medida com uma precisão de, pelo menos, 0,6 mm.

De forma a reconhecer a atividade, foram selecionados manualmente os intervalos de tempo correspondentes à atividade realizada, utilizando o aplicativo de software KiMA, desenvolvido pelo grupo BRAIN do Centro de Engenharia Biomédica do INESC TEC, que permite a obtenção da posição 3-D dos pontos articulares referidos na figura. Foi feita também a distinção

entre as duas posturas diferentes: voltada para o sensor – frontal – ou de costas para o sensor – traseira.

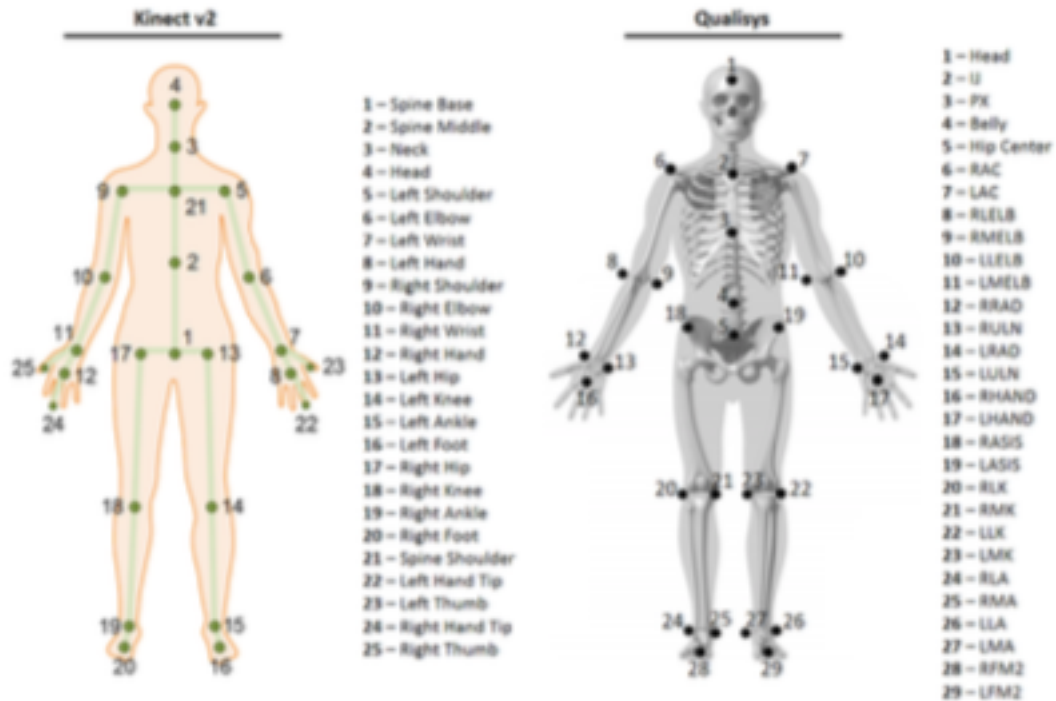


Figura 4.5 - Colocação dos marcadores e respectiva denominação

Às duas atividades foi atribuída uma nomenclatura própria:

- Caminhar na direção do sensor (WF)
- Caminhar na direção oposta do sensor (WB)

Neste projeto fiz a identificação de todos os marcadores no QTM e aperfeiçoei os mesmo, de seguida trabalhei os resultados em Visual 3D a partir do qual foi possível tirar conclusões sobre a biomecânica destes doentes.

#### 4.2.2 Avaliação eletromiográfica e de produção de força da musculatura dos membros inferiores com dor

Este projeto dirigido pela Dra. Manoela Vieira Sousa, doutoranda do Programa Doutoral em Ciências do Desporto, tem como objetivo investigar a influência da dor muscular aguda em mecanismos neurais e neuromusculares envolvidos na produção de força e investigar o efeito da dor muscular aguda na capacidade de produção voluntária e involuntária de força explosiva.

A metodologia foi dividida em três partes distintas.

Nos protocolos de avaliação, os voluntários compareceram ao LABIOMEPE em três sessões diferentes, num intervalo de sete dias entre as visitas. Na primeira foram esclarecidos os riscos e benefícios da participação na pesquisa e assinatura do termo de consentimento livre e informado; na segunda foi induzida dor pela infusão intramuscular de solução salina hipertónica e, na última, foi introduzida uma infusão placebo de solução isotónica. A ordem de atribuição da dor ou do placebo foi determinada de forma aleatória.

Nas duas sessões de recolha de dados, os voluntários foram submetidos à mesma sequência de aquisição – recolha inicial (pré-injeção), injeção (dor/placebo), recolha final (pós-injeção).

Baseado em médias e desvios-padrão de estudos envolvendo dor experimental aguda, determinou-se (por meio do software G\*Power 3.1) que são necessários 16 participantes para se atingir poder estatístico de 0,8 com índice de significância de 0,05. Os voluntários recrutados foram do sexo masculino e feminino, ativos e com idades entre os 18 e os 35 anos.

O recrutamento dos voluntários deu-se por divulgação nas redes sociais. Também participaram como voluntários do estudo professores, pesquisadores, alunos de graduação e pós-graduação do grupo de pesquisa de Biomecânica da Universidade do Porto.

Foram adotados os critérios de seleção referidos na tabela:

Tabela 4.4 - Critérios de seleção para o projeto

Critérios de seleção
Não apresentar qualquer tipo de lesão musculoesquelética
Não ter tido dor nos últimos sete dias anteriores à experiência e não ter dores ininterruptas por mais de 90 dias nos últimos três anos
Não fazer tratamento de reposição hormonal
Suportar o desconforto causado pelos estímulos elétricos durante as avaliações

Como referido em cima, os voluntários compareceram no laboratório de biomecânica em três sessões, com intervalo de sete dias:

- Sessão 1:
  - Esclarecimentos sobre riscos e benefícios de participação na pesquisa e assinatura do termo de consentimento livre e informado
  - Familiarização com os protocolos de avaliação neuromuscular, os quais preveem contração voluntária isométrica máxima (CVIM), contrações explosivas e induzidas por estimulação elétrica neuromuscular.
- Sessão 2:
  - Aplicação do protocolo experimental que envolve avaliações neuromusculares com indução de dor experimental ou placebo.
- Sessão 3:
  - Realização dos mesmos procedimentos adotados na sessão 2, apenas se diferenciando quanto à intervenção (injeção salina hipertónica – dor experimental - ou isotónica - placebo), dependendo do que foi realizado na sessão 2.

O protocolo utilizado vai ser descrito em continuação:

- 1) Aquecimento específico no dinamômetro isocinético (Biodex Multi-Joint System II, Biodex Medical System, Shirley – Nova Iorque, EUA);
- 2) Determinação da intensidade da estimulação elétrica neuromuscular (ver estimulação elétrica neuromuscular);
- 3) Realização de duas CVIMs com 3 s de duração e 120 s de intervalo entre elas;
- 4) Após 1 min de intervalo são realizadas as contrações explosivas, sendo 6 tentativas com duração de ~1 s e 18-22 s de intervalo entre as tentativas;
- 5) Realização das contrações induzidas por estimulação elétrica neuromuscular. O protocolo de estimulação elétrica consiste na aplicação de 3 impulsos simples e 3 octetos, ambos com 8-13 s de intervalo entre cada.

Finalizada esta etapa, os voluntários repousaram por 20 minutos. Após os 20 minutos de intervalo foi realizada infusão de solução salina (hipertônica ou isotônica, a ser determinada por sorteio, para se induzir dor muscular aguda ou dor placebo, respectivamente), na porção média do ventre do músculo vasto lateral (do lado dominante).

Imediatamente após a infusão da solução salina o protocolo experimental descrito acima foi realizado novamente (condição com dor/placebo).

A eletromiografia foi utilizada para monitorização da amplitude do sinal elétrico muscular durante as CVIMs e contrações explosivas.

Neste projeto ajudei eficazmente na preparação dos sujeitos e acompanhamento de todo o protocolo, assim como também servi de voluntária.



*Figura 4.5 - Projeto em que participei como cobaia*

### 4.3 PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

4.3.1 Avaliação e Controlo de Treino da Federação Portuguesa de Natação: realização de um conjunto de testes e avaliações de natureza fisiológica, dinamométrica e de performance física a nadadores da FPN.

A Federação Portuguesa de Natação – FPN- é a entidade que superintende e certifica as atividades ligadas à prática da natação e pretende, com a sua experiência na missão de melhorar as condições de prática das disciplinas competitivas.

Esta avaliação encontra-se enquadrada na avaliação e controlo de treino de nadadores seniores, juniores, promessas olímpicas, natação adaptada e polo aquático e tem como objetivo verificar a eficácia dos planos de treino e sugerir alterações para a melhoria de performance.

Cada nadador possui um plano de treino específico, orientado consoante os aspetos que têm a melhorar. No entanto, a avaliação é igual para todos e é feita fora e dentro de água.

Fora de água é feita a antropometria onde são medidos todos os comprimentos e perímetros do corpo do nadador, conforme o documento que podemos observar na figura 21. É medido também o volume dos segmentos, recorrendo a um scanner 3D.


  
**AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA**

Identificação			
Nome:	Data Nato: ____/____/____	ID:	EPN: _____
Messa (kg):	Altura (cm):	Data Recolha: ____/____/____	
Medidas Básicas			
	Valor		
Envergadura (cm)			
Alcance hidrodinâmico (cm)			
Altura sentado (cm)			
Perímetros			
	Valor	Membro Esquerdo	Membro Direito
ISAK18 # Peito (máx. lateral) (cm)			
ISAK19 # Cintura (cm)			
ISAK20 # Glúteos (máx.) (cm)			
ISAK22 # Coxas (cm)			
ISAK23 # Gêmeos (cm)			
ISAK24 # Tornozelos (cm)			
Diâmetros			
	Valor	Membro Esquerdo	Membro Direito
ISAK26 # Bacia crânica (cm)			
ISAK25 # Peito em posição anat. (transverso) (cm)			
ISAK27 # Peito em posição anat. (sag.) (cm)			
Peito em posição hidr. (transverso) (cm)			
Peito em posição hidr. (antero-posterior) (cm)			
ISAK28 # Bacia crânica (cm)			
ISAK29 # Bacia ilíaca (cm)			
ISAK30 # Bacia ilíaca (cm)			
Largura Mito (cm)			
Largura Pé (cm)			
Composições			
	Membro Esquerdo	Membro Direito	Referência
ISAK25 # Braço (acromioclavicular) (cm)			
ISAK26 # Antebraço (elbow-medial) (cm)			
ISAK27 # Comprimento Mão (ostéio-dedo médio) (cm)			
ISAK30 # Coxas (do glúteo-fibula lateral) (cm)			
ISAK31 # Perna (altura total) (cm)			
ISAK32 # Comprimento Pé (cm)			

LAIRCOMP - Laboratório de Biomecânica do Porto | Rua Dr. Ricardo Costa, 81 - 4200-460 Porto, Portugal  
 Telef: +351 220 425 237 | Website: www.laborcomp.up.pt | Email: info@laborcomp.up.pt

Figura 4.6 - Medidas da avaliação antropométrica

É medida também a composição corporal, uma vez que essa medição nos permite quantificar a percentagem de massa magra e de gordura no corpo.

No que respeita à avaliação da força em dinamómetro isocinético é feito o estudo da extensão flexão e rotação (interna e externa) do ombro - para avaliação da função muscular superior - e um salto vertical – para avaliação da função muscular inferior. É medida também a composição corporal, uma vez que essa medição nos permite quantificar a musculatura e gordura no corpo.

Para as avaliações dentro de água é feito o nado amarrado – o nadador encontra-se amarrado e, com recurso a uma célula de carga, é medida a força da braçada (Amaro *et al.*, 2014).

De seguida é avaliado o perfil de variação da velocidade no tempo através de um velocímetro por cabo, onde o nadador nada em velocidade ao longo de 25 metros (Franken *et al.*, 2011).

Logo após a velocimetria, passamos às “partidas e viradas” onde são medidos os tempos de reação, o tempo que demoram a fazer 15 metros e as forças envolvidas na partida, em bloco instrumentado – startmeter – uma ferramenta biomecânica patenteada (Jesus *et al.*, 2019).

Enquanto executam o estilo de natação que lhes é pedido – croll, bruços, mariposa ou costas – 5 vezes 200 metros, é realizado o protocolo para avaliação do consumo energético (oximetria e lactatemia). Esta avaliação permite-nos saber a quantidade de oxigénio (%) que está a ser consumido durante a respiração e os equivalentes energéticos do ácido láctico acumulado no sangue capilar (Silva *et al.*, 2006).

De forma a avaliar a técnica de nado é feita a filmagem do duplo meio – aéreo e subaquático – com 12 câmaras dentro de água e 12 fora de água, que seguem com rigor milimétrico os movimentos dos atletas durante o salto e progressão na água.

No que diz respeito ao Polo Aquático, a avaliação incide em alguns pontos diferentes, no entanto, à semelhança do que acontece na natação, é feita a antropometria e a composição corporal.

De maneira a proceder à avaliação dos membros superiores os jogadores são submetidos à avaliação da força de prensão manual. Esta avaliação é exigida uma vez que o nível de força gerado pode ser a diferença entre uma vitória e uma derrota. Como tal, a dinamometria manual torna-se um instrumento importante na deteção de um talento desportivo (Fernandes & Marins, 2011). É também realizado o lançamento de uma bola medicinal de 3Kg.

São efetuados saltos verticais e horizontais, como critério de avaliação dos membros inferiores.

Para avaliar a aptidão abdominal, os jogadores têm de fazer o máximo de abdominais que conseguirem num período de tempo de 60 segundos.

De seguida é realizado o *tapping pedal*, um teste de coordenação motora em que os jogadores se encontram sentados e o chão está dividido em duas partes, o objetivo é registar a quantidade de vezes que o participante consegue tocar em ambos os lados, durante 10 segundos, primeiro com o pé dominante e depois com o pé não dominante (Caixeiro, 2016).

Dentro de água é medida a impulsão vertical na água, a velocidade de nado em *croll*, a aptidão aeróbia e a velocidade de remate na presença de guarda redes e do remate de precisão.

A aptidão aeróbia é realizada através de um teste de terreno - *Multistage Shuttle Swim Test 10 m* – onde os sujeitos nadam uma distância de 10 metros a uma velocidade progressivamente crescente até a exaustão (Rechichi & Lawrence, 2000).

Todos estes parâmetros de avaliação são importantes uma vez que permitem, face aos resultados, modificar e adaptar os treinos para cada um dos jogadores/nadadores. É de notar que, desde que começaram a ser realizadas estas avaliações, foram batidos novos recordes na área, sendo os mais recentes o da Diana Durães dado que na final dos 800 metros dos Europeus, retirou mais de dois segundos à anterior melhor marca (de 2018), com um tempo de 8 minutos e 20,97 segundos (Público, 2019) e do Daniel Videira que bateu o recorde do Mundo nos 1500 livres, no Campeonato Regional de Inverno de Natação Adaptada, com um tempo de 22 minutos e 43,43 segundos (FPN, 2019).

4.3.2 Avaliação Clínica da Marcha para o Hospital Santo António do Porto: realização de estudos de marcha de cariz clínico a pacientes que estejam a ser acompanhados no serviço de ortopedia decorrente de Síndrome Patelofemoral.

O síndrome patelo femoral – SPF – que pode ser definido como a dor patelofemoral que resulta de alterações físicas e biomecânicas nesta articulação, é uma das queixas musculoesqueléticas mais comuns da articulação do joelho.

Embora já existam estudos que comprovem que o SPF influencia a marcha, nomeadamente porque existe alteração do padrão dinâmico da distribuição da pressão plantar, essa informação ainda não é muito vasta (Aliberti, 2008).

Por conseguinte o objetivo desta avaliação é preencher uma lacuna existente face às repercussões do SPF na marcha e dessa forma fornecer uma ferramenta de diagnóstico complementar para que o médico possa ter informação que o auxilia na tomada de decisão e, desse modo, providenciar ao médico ortopedista um relatório descritivo que sirva para complementar o diagnóstico, em pré e pós cirurgia.

A avaliação tem incidido sobre a dor no joelho e de que forma esta altera a marcha e, consequentemente, como é que a marcha causa a dor.

Nesta avaliação são realizadas algumas provas:

- Marcha

- Agachamento unilateral
- Biodex – Avaliação isocinética do joelho para verificar se existem alterações na força muscular (por exemplo: má distribuição de apoio)
- Avaliações lombares e distais

Foram colocados marcadores refletivos em pontos anatômicos pertinentes e os movimentos dos segmentos corporais foram registados por um conjunto de 12 câmaras de infravermelhos (Qualisys AB, Suécia) a operarem a uma frequência de aquisição de 200 Hz. A força de reação do solo foi registada com recurso a cinco plataformas de força extensiométricas (Bertec, EUA) e uma plataforma piezoelétrica (Kristler, EUA) a operarem a uma frequência de aquisição de 2000 Hz. A cinemática de ambos os pés foi avaliada com recurso à segmentação de pé de acordo com o Protocolo Oxford.

O paciente foi instruído a caminhar de forma natural, descalça e a uma velocidade confortável ao longo de um corredor de marcha de 10 metros.

Foram realizadas 10 recolhas válidas para posterior processamento em software de análise biomecânica – Visual 3D (C-Motion, EUA). Os dados de referência apresentados como comparativos foram adquiridos através da avaliação de uma população saudável, tanto masculina como feminina, na mesma faixa etária que o paciente e com uma massa corporal idêntica.

Relativamente à análise da função muscular recorreu-se ao Biodex 4 (Biodex Medical Systems Inc., Nova Iorque, EUA) – dinamómetro isocinético – para verificar a função muscular dos membros inferiores do paciente. A calibração do dispositivo foi verificada antes de iniciar qualquer medição.

Após um aquecimento de 5 minutos com o dinamómetro livre, foi implementado um protocolo isocinético bilateral para comprovar a ocorrência de diferença na produção de força entre o membro inferior esquerdo e direito, conforme o descrito na tabela:

Tabela 4.5 - Protocolo realizado no projeto

Ordem de execução	Velocidade	Número de repetições	Periodo de repouso entre velocidades	Tipo de contração Extensão/Flexão
<b>1</b>	60°/s	5	180 s	CON/CON
<b>2</b>	180°/s	5		
<b>3</b>	300°/s	10		

O paciente foi posicionado no dispositivo conforme as recomendações do fabricante, o tronco imobilizado através da utilização das cintas torácicas e o membro inferior em avaliação através da respetiva cinta. O protocolo foi iniciado pelo membro esquerdo e decorreu com forte encorajamento verbal.

### 3. Conclusão

Ao fim de quatro meses de estágio, este documento encerra talvez, a melhor etapa de todo o meu percurso académico e também aquele que me sinaliza a minha entrada no mercado de trabalho.

Toda a aprendizagem alcançada ao longo deste caminho percorrido abriu a minha perspetiva para um novo futuro, uma nova área e um novo sonho.

Este estágio permitiu-me ganhar confiança para enfrentar o mercado de trabalho, uma vez que nunca me foram impostas limitações e fui sempre desafiada a arranjar uma solução face às dificuldades encontradas.

Foi-me dada a oportunidade de trabalhar com um equipamento patenteado (startmeter) e com diversos softwares com os quais nunca tinha tido contacto.

Acabei por representar o laboratório na Mostra da Universidade do Porto, a exposição anual da oferta formativa da UP, onde tive a chance de mostrar alguns equipamentos do Labiomep.

Gostei também do facto de me terem atribuído responsabilidades, porque isso demonstra que foi depositada confiança em mim ao longo do tempo.

No geral o balanço foi incrivelmente positivo porque tive a possibilidade de trabalhar num local em que me senti sempre confortável e parte da equipa. Ganhei muitas competências uma vez que consegui participar ativamente em alguns projetos que se encontravam a decorrer, como voluntária e/ou colaboradora.

## 5. Bibliografia

- Adrian, M. J., & Cooper, J. M. (1994). *Biomechanics of Human Movement*. Brown & Benchmark Pub.
- Aliberti, S. (2008). *Influência da síndrome da dor patelofemural no alinhamento postural dos membros inferiores e na distribuição da pressão plantar durante a marcha e descer escadas*. São Paulo: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
- Amadio, A., Costa, P. L., Sacco, I., Serrão, J., Araujo, R., Mochizuki, L., & Duarte, M. (1999). *Introdução à Biomecânica para Análise do Movimento Humano: Descrição e Aplicação dos Métodos de Medição*. São Paulo: Revista Brasileira de Fisioterapia.
- Amaro, N., Marinho, D., Batalha, N., Marques, M., & Morouço, P. (2014). Reliability of tethered swimming evaluation in age group swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 155-162.
- Caixeiro, C. S. (2016). *Destreza Manual e Destreza Pedal em Crianças com Transtornos do Desenvolvimento*. Leiria.
- CUF. (2012). *EMG - Eletromiografia*. Portugal.
- Fernandes, A. d., & Marins, J. C. (2011). Teste de força de preensão manual: análise metodológica e dados normativos em atletas. *Fisioterapia do Movimento*, 567-578.
- FPN. (8 de Dezembro de 2019). *Daniel Videira bate recorde mundial dos 1500 livres*. Obtido de FPN - Federação Portuguesa de Natação: <https://fpnatacao.pt/noticia.php?codigo=1984>
- Franken, M., Zacca, R., & Castro, F. A. (2011). Velocidade crítica em natação: fundamentos e aplicação. *Revista Motriz*, 209-222.
- Gonçalves, R. F. (2009). Investimento corporal do portador de polineuropatia amiloidótica familiar. *Revista Referência*, 47-60.
- Humana, L. d. (2009). *Plataforma de força*. São Paulo, Brasil.
- Jesus, K. d., Mourão, L., Roesler, H., Viriato, N., Jesus, K. d., Vaz, M., . . . Vilas-Boas, J. P. (2019). 3D Device for Forces in Swimming Starts and Turns. *Applied Sciences*, 1-19.

- Kistler. (s.d.). *Kistler*. Obtido de Measure, Analyze, Innovate: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=100092&model=document>
- Malta, J., Campolongo, G., Barros, T. d., & Oliveira, R. (2006). Electromyography applied to chewing muscles. *Acta Ortop Bras*, 14.
- Público, J. (4 de Dezembro de 2019). *Natação: Diana Durães na final dos 800m dos Europeus com recorde nacional*. Obtido de Jornal Público: <https://www.publico.pt/2019/12/04/desporto/noticia/diana-duraes-final-800m-europeus-recorde-nacional-1896207>
- Qualisys. (s.d.). *Qualisys*. Obtido de <https://www.qualisys.com>
- Rechichi, C. D., & Lawrence, S. (2000). A multistage shuttle swim test to assess aerobic fitness in competitive water polo players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 55-64.
- Silva, A., Reis, V. M., Marinho, D., Carneiro, A. L., Novaes, G., & Aidar, F. J. (2006). Swimming Economy: Determinant factors and assessment issues. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 93-99.
- SNESup. (1992). *Mestrados e Doutoramentos*.
- UNICAMP - FEF. (s.d.). *Faculdade de Educação Física*. Obtido de Biodex System 4-Pr: [https://www.fef.unicamp.br/fef/sites/uploads/labfef/procedimentos\\_biodex.pdf](https://www.fef.unicamp.br/fef/sites/uploads/labfef/procedimentos_biodex.pdf)
- Uva, M. S., Antunes, L., Nunes, B., Rodrigues, A., & Dias, C. M. (2013). Evolução da Taxa de Incidência Anual de Diabetes entre 1992 e 2012 na população sob observação pela Rede "Médicos - Sentinela". *Instituto Nacional de Saúde*, 27-29.
- Vilas-Boas, J. P. (2016). *Biomecânica do Desporto*. Lisboa: Instituto Português do Desporto e Juventude.