

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

***Design* de um Dispositivo Portátil de Avaliação da
Locomoção Humana**

Realizado por:
Ruben Gabriel Gomes Freire

Orientador:
Miguel Fernando Paiva Velhote Correia

Co-orientador:
João Manuel Ribeiro da Silva Tavares

Tese apresentada com vista à obtenção do grau de Mestre em *Design* Industrial.

Março de 2008

Agradecimentos

A concretização do presente trabalho foi possível graças à disponibilidade e apoio prestados pelo meu orientador Prof. Miguel Velhote Correia.

Agradeço igualmente ao co-orientador Prof. João Tavares.

À Dr.^a. Emília Mendes do Centro de Reabilitação Profissional de Gaia, pelo contributo fundamental na obtenção de informação técnica relativa à marcha humana e aos métodos de análise.

Ao Dr. José Neves, ao Dr. João Moutinho e aos médicos do departamento de ortopedia do Centro Hospitalar de Vila Nova de Gaia/Espinho – EPE, pela prestável participação nos inquéritos de avaliação de especificações.

À Dr.^a. Sueli Pinelo pela colaboração dispensada.

Ao Eng. Rui Neto da Unidade de Fundação e Novas Tecnologias do INEGI, pela colaboração na execução do protótipo final.

Ao Eng. André Catarino do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho pelos esclarecimentos relativos à tecnologia adoptada para um dos conceitos preliminares.

Ao Eng. Américo Costa do CENFIN – Núcleo de Ermesinde, pela formação concedida para a utilização do *software Autodesk Inventor*.

À gerência da empresa Janeves – Mobiliário Metálico Lda. pelo tempo cedido para a elaboração deste trabalho.

A todas as pessoas que de forma prestável e voluntária responderam aos inquéritos de avaliação de especificações e participaram na experimentação dos protótipos.

Este trabalho é dedicado a todos os profissionais de *Design* Industrial, envolvidos no esforço de integrar e lutar pelo reconhecimento da disciplina no contexto industrial nacional.

Ao Criador de toda a Criatividade, à Sónia – a outra parte de mim, pelo apoio imutável, à família próxima e acrescentada, aos amigos e aos companheiros de trabalho.

"First things first".

"Enquanto levanto um pé para dar uma passada, o outro pé segura-se ao chão. Se o mundo parasse no instante em que tenho um pé levantado, a avançar, e outro pé assente no chão, poderiam crescer raízes a partir desse pé firme que me segura. Essas raízes poderiam entranhar-se pelos intervalos de terra das pedras da rua. Mas eu não deixo que o mundo pare. Depois de uma passada, outra, outra."

José Luís Peixoto em *O Cemitério de pianos*, p. 151.

Resumo

O desenvolvimento de um produto implica o envolvimento de três áreas essenciais: o *Marketing*, o *Design* e a Produção. A área designada como *Design* abrange, neste contexto, duas disciplinas distintas, a Engenharia e o *Design* Industrial. Esta função conjunta é responsável pela definição dos mecanismos funcionais, forma final do produto, interfaces e aspectos ligados à estética.

A presente Dissertação descreve o envolvimento da disciplina *Design* Industrial no contexto de desenvolvimento de um produto específico – um dispositivo portátil para análise da marcha humana.

A componente funcional deste produto baseou-se num sistema protótipo desenvolvido anteriormente na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O protótipo referido apresentava um nível de desenvolvimento relativamente avançado na componente funcional e representava uma proposta interessante a desenvolver num trabalho desta natureza. O sistema em causa tinha sido desenvolvido na óptica da portabilidade e podia armazenar dados relativos a sete dias de análise. O produto em desenvolvimento na presente Dissertação enquadra-se no universo das ajudas técnicas à reabilitação e diagnóstico de problemas da marcha e funciona em grande proximidade com o corpo. Estes aspectos levantam problemáticas de projecto importantes no campo da acessibilidade, ergonomia e usabilidade, áreas associadas à competência da disciplina *Design* Industrial. No decorrer do trabalho, cujo processo se baseou nas fases específicas da função *Design* Industrial no âmbito do desenvolvimento de produto, o protótipo inicial foi dotado de um suporte físico apropriado, de interfaces adequadas – desenvolvidas na perspectiva da acessibilidade e do *Design* inclusivo e de uma imagem de marca, transformando-se num protótipo de produto industrial devidamente sustentado para uma possível coordenação posterior com a produção industrial e introdução no mercado.

Abstract

The development of a product implies the involvement of three essential areas: Marketing, Design and Production. The area referred to as Design includes, in this context, two different disciplines, Engineering and Industrial Design. This joint function is responsible for the definition of the functional mechanisms, definitive form, interfaces and aspects related to the aesthetics of the product.

This Thesis describes the involvement of Industrial Design in the context of the development of a specific product - a portable device for the analysis of human gait.

The functional component of this product was based on a prototype system previously developed in the Faculty of Engineering of the University of Oporto. The mentioned prototype presented a relatively advanced level of development in the functional aspects and represented an interesting proposal to develop in a work of this nature. The referred system was developed in the optics of portability and was able to store data corresponding to seven days of analysis. The product in development in the present Thesis fits in the universe of technical aids for rehabilitation and diagnosis of gait pathologies and works in great proximity with the human body. These aspects raise important project issues in the fields of accessibility, ergonomics and usability, areas associated with the competence of Industrial Design.

In the course of this work, which process is based on the specific phases of Industrial Design in the context of product development, the initial prototype was endowed with an appropriate physical support, adequate interfaces (developed in the perspectives of accessibility and Inclusive Design) and product identity, being transformed into a prototype of an industrial product, properly supported for a possible subsequent coordination with industrial production and market introduction.

Índice

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Introdução à Dissertação | 1 |
| 1.1. | Introdução..... | 1 |
| 1.2. | Organização da Dissertação..... | 1 |
| 1.3. | Principais Contribuições do Trabalho Desenvolvido | 2 |
| 2. | Design Industrial, Desenvolvimento de Produto e Conceitos Associados..... | 5 |
| 2.1. | Introdução..... | 5 |
| 2.2. | Design Industrial | 6 |
| 2.3. | Desenvolvimento de Produto | 11 |
| 2.3.1. | Equipa de Desenvolvimento de Produto | 13 |
| 2.3.2. | Fases do Desenvolvimento de Produto..... | 14 |
| 2.3.3. | Método Estruturado de Desenvolvimento de Produto..... | 19 |
| 2.4. | Acessibilidade..... | 20 |
| 2.4.1. | Desenvolvimento de Produtos com Alta Usabilidade | 21 |
| 2.4.2. | Design Inclusivo | 22 |
| 2.5. | Desenvolvimento de Produtos Electrónicos Portáteis | 23 |
| 2.6. | Conclusão | 30 |
| 3. | O Mecanismo e a Análise da Marcha Humana | 33 |
| 3.1. | Introdução..... | 33 |
| 3.2. | O mecanismo da Marcha Humana..... | 33 |
| 3.2.1. | Fase de Apoio e Fase de Oscilação | 34 |
| 3.2.2. | Actividade Muscular..... | 36 |
| 3.2.3. | Determinantes da Marcha..... | 39 |
| 3.3. | Análise da Marcha Humana | 41 |
| 3.3.1. | Análise Visual Instrumentada..... | 42 |
| 3.3.2. | Determinação dos Parâmetros Gerais da Marcha..... | 43 |
| 3.3.3. | Técnicas Antropométricas | 44 |
| 3.3.4. | Análise Cinemática..... | 45 |
| 3.3.5. | Análise Cinética..... | 47 |
| 3.3.6. | Análise Fisiológica | 48 |
| 3.4. | Conclusão | 50 |
| 4. | Equipamentos | 53 |
| 4.1. | Introdução..... | 53 |
| 4.2. | Patentes..... | 53 |
| 4.2.1. | Descrição das Patentes Pesquisadas | 54 |
| 4.3. | Produtos Comerciais e Protótipos | 63 |
| 4.3.1. | Descrição dos Produtos Comerciais e Protótipos Analisados | 64 |
| 4.4. | Componente Tecnológica..... | 76 |
| 4.5. | Conclusão | 78 |
| 5. | Protótipo | 81 |
| 5.1. | Introdução..... | 81 |

| | | |
|------|--|-----|
| 5.2. | Declaração de Princípios de Projecto | 81 |
| 5.3. | Investigação das Necessidades dos Clientes (Avaliação de Especificações) . | 82 |
| 5.4. | Desenvolvimento de Conceitos | 87 |
| 5.5. | Refinamento Preliminar..... | 90 |
| 5.6. | Refinamento Posterior | 94 |
| 5.7. | Desenhos de Controlo..... | 109 |
| 5.8. | Conclusão | 115 |
| 6. | Conclusões Finais e Desenvolvimentos Futuros | 119 |
| 6.1. | Conclusões Finais | 119 |
| 6.2. | Desenvolvimentos Futuros | 122 |
| | Bibliografia..... | 125 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Afia lápis <i>Streamlined</i> de <i>Raymond Loewy</i> , 1933 (imagem de [www.i-eclectica.org]). | 7 |
| Figura 2.2 <i>Raymond Loewy</i> com a Locomotiva a vapor S1 que estilizou para a <i>Pennsylvania Railroad</i> , 1939 (imagem de [www.answers.com]). | 7 |
| Figura 2.3 Conjunto de cadeira e otomano <i>Barcelona</i> , criado por <i>Ludwig Mies Van der Rohe</i> para o pavilhão da <i>Deutsche Werkbund</i> na feira internacional de 1929 (imagem de [www.bonbon.co.uk]). | 8 |
| Figura 2.4 Máquina fotográfica <i>Polaroid Instant Camera SX70</i> de <i>Henry Dreyfuss</i> , 1972 (imagem adaptada de [www.sx70.dk]). | 9 |
| Figura 2.5 Esquema de organização de equipas de Desenvolvimento de Produto (imagem de [Calabrese, 1999]). | 14 |
| Figura 2.6 Representação esquemática do processo genérico de desenvolvimento de produto (imagem de [Ulrich, 2003]). | 14 |
| Figura 2.7 Exemplo de apresentação de um conceito, com esboços, <i>renderings</i> e anotações da autoria do <i>Designer</i> industrial <i>Brook Banham</i> (imagem de [www.brookbanham.com]). | 16 |
| Figura 2.8 Esquema representativo dos três tipos de arquitectura modular descritos por <i>Ulrich</i> (imagem adaptada de [Ulrich, 2003]). | 16 |
| Figura 2.9 Protótipo físico de um automóvel eléctrico <i>Tesla</i> , focado na análise específica da forma e da aerodinâmica. O modelo é construído numa pasta moldável à base de argila (imagem de [www.teslamotors.com]). | 19 |
| Figura 2.10 Abre-latas <i>Tupperware</i> . A tipologia deste produto permite que possa ser utilizado por destros e esquerdinos, os elementos de manipulação são sobredimensionados de forma a permitir que possam ser utilizados por pessoas com limitações de mobilidade manual (imagem de [www.tupperware.com]). | 23 |
| Figura 2.11 Diagrama do modelo de <i>Von Neumann</i> de um sistema electrónico (computador), descrevendo os três componentes principais e elementos de memória internos e externos (imagem de [Christensen, 1998]). | 24 |
| Figura 2.12 Ligação <i>MagSafe</i> do computador portátil <i>MacBook</i> da <i>Apple</i> (imagem adaptada de [www.apple.com]). | 26 |
| Figura 2.13 Portas para conexões externas do computador portátil <i>MacBook</i> da <i>Apple</i> (imagem adaptada de [www.apple.com]). | 27 |
| Figura 2.14 Computador portátil <i>Panasonic Toughbook CF-29</i> (imagem de [www.physorg.com]). | 30 |
| Figura 3.1 Diagrama descritivo das fases da marcha humana. | 34 |
| Figura 3.2 Músculos superficiais laterais e anteriores da coxa (imagem adaptada de [Netter, 2000]). | 37 |
| Figura 3.3 Músculos intermédios e profundos anteriores da coxa (imagem adaptada de [Netter, 2000]). | 37 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.4 Músculos superficiais e profundos posteriores da coxa (imagem adaptada de [Netter, 2000]). | 37 |
| Figura 3.5 Músculos superficiais laterais e posteriores da perna (imagem adaptada de [Netter, 2000]). | 38 |
| Figura 3.6 Músculos intermédios e profundos posteriores da perna (imagem adaptada de [Netter, 2000]). | 38 |
| Figura 3.7 Músculos superficiais e profundos anteriores da perna (imagem adaptada de [Netter, 2000]). | 38 |
| Figura 3.8 Rotação pélvica no plano horizontal (o modelo caminha no sentido do afastamento) (imagem de [Saunders, 1953]). | 40 |
| Figura 3.9 Inclinação pélvica no plano frontal e flexão do joelho na fase de apoio intermédio (imagem de [Saunders, 1953]). | 40 |
| Figura 3.10 Alinhamento fisiológico do joelho (imagem de [Saunders, 1953]). | 41 |
| Figura 3.11 Fotogrametria da marcha com recurso a marcadores fluorescentes. São utilizadas duas câmaras, a imagem de fundo é utilizada para determinar a posição relativa de cada marcador (imagem adaptada de [www.strideevolutions.ca]). | 42 |
| Figura 3.12 Conjunto de interruptores plantares do sistema portátil <i>Stride Analyzer</i> produzido pela <i>B & L Engineering</i> (imagem adaptada de [www.bleng.com]). | 44 |
| Figura 3.13 Utilização de um medidor de segmentos <i>Segmometer 4</i> da <i>Rosscraft Instruments</i> (imagem adaptada de [www.rosscraft.ca]). | 45 |
| Figura 3.14 Sistema de electrogoniómetros produzido pela <i>MIE-Medical Research Ltd</i> (imagem adaptada de [www.mie-uk.com]). | 46 |
| Figura 3.15 Podoscópio <i>Podo'line</i> da <i>Ella</i> . Construído em acrílico e dotado de uma base reflectora iluminada (imagem de [www.distrimed.com]). | 48 |
| Figura 3.16 Utilização do sistema EMG sem fios <i>Myomonitor</i> da <i>Delsys</i> (imagem de [www.delsys.com]). | 49 |
| Figura 4.1 Aparelho para análise das forças que actuam sobre o pé humano (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]). | 54 |
| Figura 4.2 Sistema vídeo para análise da marcha e do movimento (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]). | 55 |
| Figura 4.3 Palmilha sensível à pressão para electro-goniómetro (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]). | 56 |
| Figura 4.4 Monitor de actividade da passada (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]). | 56 |
| Figura 4.5 Monitor de actividade (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]). | 57 |
| Figura 4.6 Sistema portátil para análise da passada (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]). | 58 |
| Figura 4.7 Método e aparelho para determinação do balanço do corpo, baseado na posição angular e velocidade, para diagnóstico e reabilitação de anomalias do balanço e da marcha (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]). | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.8 Método para medir o tempo de contacto e de elevação do pé para um indivíduo em locomoção (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com])... | 60 |
| Figura 4.9 Sistema de análise do movimento (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com])..... | 60 |
| Figura 4.10 Sistema de palmilha para análise remota da passada (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com])..... | 61 |
| Figura 4.11 Dispositivo de navegação para pessoas que se desloquem a pé (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com])..... | 62 |
| Figura 4.12 Sistema portátil para análise da marcha humana (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com])..... | 63 |
| Figura 4.13 Método para analisar irregularidades na locomoção humana (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com])..... | 63 |
| Figura 4.14 Sistema <i>MatScan</i> produzido pela <i>TekScan</i> (imagem adaptada de [www.tekscan.com])..... | 64 |
| Figura 4.15 Sistema <i>F-Scan</i> produzido pela <i>TekScan</i> (imagem adaptada de [www.tekscan.com])..... | 65 |
| Figura 4.16 Sistema PAM (<i>Patient Activity Monitor</i>) produzido pela <i>Ossur</i> (imagem adaptada de [www.ossur.com])..... | 66 |
| Figura 4.17 Quadro representando as actividades registadas pelo sistema IDEEA <i>Minisun</i> (imagem adaptada de [www.minisun.com])..... | 67 |
| Figura 4.18 Sistema IDEEA <i>Minisun</i> (imagem adaptada de [www.minisun.com])..... | 68 |
| Figura 4.19 Componentes do sistema <i>Philips MP3 Player PSA 260 RUN</i> (imagem de [www.media-player.ch])..... | 69 |
| Figura 4.20 Componentes do sistema protótipo SIGSS (imagem adaptada de [www.media.mit.edu])..... | 70 |
| Figura 4.21 Componentes do sistema FS-1 da <i>FitSense</i> (imagem adaptada de [www.masterblog.front.lv])..... | 72 |
| Figura 4.22 Sistema portátil <i>Stride Analyzer</i> produzido pela B & L Engineering (imagem adaptada de [www. www.bleng.com])..... | 73 |
| Figura 4.23 Componentes do sistema <i>Pedar-X</i> produzido pela <i>Novel</i> (imagem adaptada de [www.novel.de])..... | 75 |
| Figura 5.1 Matriz apresentando o resultado dos inquéritos para definição das especificações..... | 84 |
| Figura 5.2 Gráfico apresentando os resultados relativos às categorias dos itens..... | 86 |
| Figura 5.3 Diagrama dos três conceitos preliminares iniciais para o módulo tecnológico: conceito 'Sapato', conceito 'Atacadores' e conceito 'Tornozelo'..... | 88 |
| Figura 5.4 Vista explodida, cortes, perspectiva e especificações do conceito preliminar posterior designado conceito 'Flexível'..... | 90 |
| Figura 5.5 Vista explodida, cortes, perspectiva e especificações do conceito preliminar posterior designado conceito 'Rígido'..... | 91 |
| Figura 5.6 Diagrama dos dois conceitos preliminares posteriores para o módulo sensitivo: conceito 'Múltiplo', e conceito 'Elástico'..... | 93 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.7 Diagrama representando os conceitos preliminares e as fases do processo de refinamento preliminar. | 95 |
| Figura 5.8 Placa de circuito do módulo tecnológico (no processo de levantamento de dimensões)..... | 95 |
| Figura 5.9 Projecto da caixa do módulo tecnológico no ambiente da aplicação <i>AutoDesk Inventor</i> | 96 |
| Figura 5.10 Protótipo artesanal focado executado em cartão e plástico..... | 96 |
| Figura 5.11 Módulo tecnológico executado por Prototipagem Rápida SLR..... | 97 |
| Figura 5.12 Teste da fixação do módulo tecnológico pela utilização de uma cinta elástica experimental. | 98 |
| Figura 5.13 <i>Rendering</i> do aspecto final do módulo tecnológico incluindo a cinta de fixação. | 99 |
| Figura 5.14 Desenho da cinta de fixação..... | 100 |
| Figura 5.15 Modelo paramétrico de uma palmilha..... | 101 |
| Figura 5.16 Protótipos artesanais para a palmilha executados inicialmente em papel e posteriormente em lâminas de polipropileno de 0,5mm de espessura. | 102 |
| Figura 5.17 Desenho do contorno definitivo da palmilha, executado como modelo paramétrico. | 103 |
| Figura 5.18. Execução do modelo geométrico inicial sobre uma imagem radiográfica. | 104 |
| Figura 5.19 Verificação do modelo geométrico sobre as diferentes imagens radiográficas. | 105 |
| Figura 5.20 Desenho da posição definitiva dos sensores sobre a palmilha executado como modelo paramétrico. | 106 |
| Figura 5.21 <i>Rendering</i> explodido do módulo sensitivo, demonstrando a colocação dos elementos condutores dos sensores e as camadas de revestimento exteriores. | 107 |
| Figura 5.22 Logótipo para a marca 'Aquilles'..... | 108 |
| Figura 5.23 Ícones informativos..... | 108 |
| Figura 5.24 <i>Rendering</i> do produto final, apresentando todos os seus componentes e os elementos gráficos. | 109 |
| Figura 5.25 Desenho de controlo da peça de fixação da cinta. | 111 |
| Figura 5.26 Desenho de controlo da metade posterior da caixa para o módulo tecnológico. | 112 |
| Figura 5.27 Desenho de controlo da metade anterior da caixa para o módulo tecnológico. | 113 |
| Figura 5.28 Desenho explodido descrevendo a montagem da caixa para o módulo tecnológico. | 114 |
| Figura 6.1. Esquema de um gerador inercial genérico (imagem de [Mitcheson, 2002]). | 123 |
| Figura 6.2 Esquema de um gerador termoeléctrico integrado num filme de pequena espessura (imagem de [Saés, 2005]). | 124 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 Principais músculos ou grupos de músculos envolvidos no exercício da marcha | 36 |
| Tabela 5.1 Declaração de Princípios de Projecto. | 81 |
| Tabela 5.2 Vantagens e desvantagens dos conceitos preliminares..... | 89 |
| Tabela 5.3 Vantagens e desvantagens dos conceitos descritos para o módulo tecnológico. | 92 |
| Tabela 5.4 Vantagens e desvantagens dos conceitos descritos para o módulo sensitivo. | 94 |

1. Introdução à Dissertação

1.1. Introdução

No início da presente Dissertação procurava-se que esta relatasse a integração do *Design* Industrial no processo de desenvolvimento de um produto específico, cujo resultado constituísse o registo das competências e a aferição óbvia da importância da disciplina. Para esse efeito, seria preferencial que o dispositivo em causa tivesse uma relação próxima com o corpo humano, de forma a evidenciar problemáticas de acessibilidade, ergonomia e usabilidade. Por outro lado, deveria constituir um projecto com o potencial de gerar um produto para possível produção industrial e introdução no mercado, uma vez que esse é o contexto da actividade do *Design* Industrial. Mais importante que isso é o facto de o próprio conceito de *Design* estar associado à criação de valor e entende-se como valor máximo a promoção da qualidade de vida do ser humano.

Sendo assim, num encontro preliminar com o orientador deste trabalho, foram considerados vários projectos já parcialmente desenvolvidos ao nível funcional. O projecto seleccionado integra-se no universo dos dispositivos para reabilitação e diagnóstico de patologias da marcha, um contexto exemplar no que respeita à preocupação com a melhoria da qualidade de vida. O mesmo projecto apresenta-se como uma alternativa tecnológica inovadora com a capacidade de substituir produtos dispendiosos disponíveis no mercado para os quais existe um grande universo de potenciais compradores, o que determina a sua vendabilidade e justifica o seu desenvolvimento como produto industrial.

1.2. Organização da Dissertação

No início do presente trabalho seleccionaram-se os conceitos teóricos cuja abordagem se julgou essencial para o desenvolvimento do projecto a que nos propusemos. Para uma melhor organização do documento, entendeu-se que os conceitos teóricos seleccionados se deveriam dividir em dois grupos. Em primeiro lugar, os conceitos associados à execução física do produto e posteriormente os conceitos associados à área de intervenção do mesmo.

No primeiro grupo aborda-se o *Design* Industrial como conceito óbvio a analisar, uma vez que se trata da área fundamental do Mestrado em causa. Neste mesmo grupo, aborda-se a teoria do Desenvolvimento de Produto. Uma vez que o processo de desenvolvimento de produto se centra na satisfação das necessidades e nas expectativas dos potenciais clientes, achou-se conveniente considerar conceitos teóricos associados como a Acessibilidade, a Usabilidade e o *Design* Inclusivo. Tendo em conta a tipologia do produto a desenvolver, julgou-se igualmente importante descrever neste grupo as directivas específicas para o desenvolvimento de produtos electrónicos portáteis.

No segundo grupo abordam-se os conceitos associados à área de intervenção do produto em desenvolvimento na presente Dissertação. Sendo assim, a fim de compreendermos o processo em análise descreve-se o mecanismo da marcha humana. O produto em desenvolvimento irá abranger várias metodologias de análise, pelo que se descrevem, neste segundo grupo de conceitos teóricos, os métodos e as tecnologias mais comuns utilizadas para a análise da marcha em contexto de laboratório.

Numa fase que antecedeu as acções relativas ao projecto do produto propriamente dito, foi efectuada uma pesquisa de equipamentos. O capítulo relativo a esta fase divide-se em três partes. Em primeiro lugar, descreve-se um conjunto de patentes pesquisadas, referentes a métodos ou a sistemas ligados à análise da marcha humana. De seguida, descreve-se um grupo de produtos existentes no mercado que apresentam alguma afinidade com o produto em desenvolvimento na presente Dissertação. Na terceira parte deste capítulo apresenta-se a componente tecnológica que constitui a base funcional deste produto.

O capítulo designado “Protótipo” refere-se à descrição da execução de todas as fases adoptadas para o desenvolvimento do produto em causa. Este capítulo divide-se em seis subcapítulos que se referem às fases específicas do *Design Industrial* integrado num projecto de desenvolvimento de produto. Em primeiro lugar, apresenta-se uma Declaração de Princípios de Projecto. Posteriormente, a fase de Investigação das Necessidades dos Clientes (Avaliação de Especificações) foi ajustada ao projecto em causa e justificadamente convertida numa acção de avaliação de especificações de produto. A Declaração de Princípios de Projecto e os resultados obtidos na avaliação das especificações condicionaram as decisões envolvidas nas fases seguintes.

Na fase de Desenvolvimento de Conceitos, são apresentados e avaliados três conceitos preliminares iniciais. Na fase de Refinamento Preliminar, o conceito seleccionado anteriormente é separado nas suas duas componentes de arquitectura e para cada um dos módulos são apresentados e avaliados dois conceitos preliminares posteriores. Na fase de Refinamento Posterior prevalecem dois conceitos vencedores, relativos aos dois módulos que constituem o produto. Para esta fase, descreve-se o aperfeiçoamento ao nível das competências do *Design Industrial*. No subcapítulo referente aos Desenhos de Controlo apresentam-se desenhos técnicos simplificados destinados ao controlo das dimensões essenciais das peças no contexto da sua produção.

1.3. Principais Contribuições do Trabalho Desenvolvido

No decorrer da presente Dissertação levaram-se a efeito as acções específicas da disciplina *Design Industrial* quando integrada num projecto de desenvolvimento de produto. Na teoria do Desenvolvimento de Produto a área designada como *Design* é descrita como sendo uma função conjunta, que abrange duas disciplinas distintas, a Engenharia e o *Design Industrial*. Cada uma destas disciplinas é responsável por desenvolvimen-

tos específicos no âmbito global do projecto. O presente trabalho representa a sua integração no desenvolvimento de um produto real. O ponto de partida deste projecto foi um protótipo desenvolvido ao nível tecnológico por uma equipa de engenheiros da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O sistema citado representava apenas a componente funcional de um possível produto.

No decorrer da presente Dissertação, após terem sido analisados os conceitos essenciais, efectuaram-se os desenvolvimentos respeitantes à competência da disciplina *Design Industrial*, com vista à obtenção de um produto efectivamente desenvolvido e preparado para uma possível produção industrial.

O desenvolvimento das interfaces entre o produto e o utilizador são uma componente significativa da competência do *Design Industrial*. O contacto com o utilizador pressupõe a consideração de aspectos ligados à ergonomia e à usabilidade. Para o presente produto procurou-se o desenvolvimento de interfaces de qualidade nesses termos. Foram criadas formas e seleccionados materiais que implementam o conforto e a utilização intuitiva das interfaces. Estes desenvolvimentos foram efectuados numa visão inclusiva, considerando como condicionantes essenciais as limitações de utilizadores com necessidades especiais.

Foi criado um suporte físico para a componente tecnológica, tendo em consideração a possibilidade de desmontagem fácil e intuitiva para manutenção da mesma. Foram igualmente considerados aspectos ligados às tecnologias de produção dos vários componentes do produto. Procurou-se obter um produto de produção acessível, o compartimento para a componente tecnológica é integralmente produzido pela tecnologia de injeção de polímeros termoplásticos, os restantes elementos são fabricados a partir de pré-formas standard (chapas de polipropileno) seccionadas por cunhos cortantes e colados entre si. A forma definitiva dos elementos do produto final foi devidamente experimentada pela utilização de protótipos físicos focados. O protótipo do produto final apresenta uma identidade formal, reforçada pela inclusão de uma marca virtual. Toda a documentação necessária à construção dos componentes do produto, desenvolvidos nos termos da presente Dissertação, é disponibilizada como desenhos de controlo e ficheiros electrónicos anexos. Com base nestes dados é possível iniciar um processo de pré produção do produto desenvolvido.

2. Design Industrial, Desenvolvimento de Produto e Conceitos Associados

2.1. Introdução

Neste capítulo, serão abordados os conceitos teóricos associados à execução física do projecto em causa.

Em primeiro lugar, uma vez que o documento descreve o envolvimento da disciplina *Design Industrial* no contexto do desenvolvimento de um produto, interessa esclarecer de forma abreviada a génese histórica, os principais movimentos que levaram à instituição da disciplina, a definição e as competências dessa disciplina.

De seguida, apresenta-se a teoria do desenvolvimento de produto conforme é actualmente implementada no contexto industrial. Um aspecto essencial do desenvolvimento de produto é o facto de constituir um trabalho de equipa. Nesse sentido é importante descrever-se como se constitui uma equipa para este efeito, quais as disciplinas intervenientes, como se deve gerir a liderança de um projecto e as interacções entre as diversas áreas funcionais.

A descrição de cada uma das fases do processo de desenvolvimento de produto é complementada, sempre que necessário, com referências a teorias associadas como o *Design for X* e o *Robust Design*. Uma teoria essencial a referir neste contexto é o método estruturado de desenvolvimento de produto descrito por *Ulrich e Eppinger* (2003).

Tendo em conta o universo específico de utilizadores a que se destina o produto em causa, é relevante abordar a questão da acessibilidade. Entre os pacientes que recorrem à análise da marcha incluir-se-ão obviamente pessoas com deficiências físicas notáveis que exigem adaptações exclusivas. O método de desenvolvimento de produtos com alta usabilidade, descrito neste capítulo, constitui a adaptação de várias fases do método genérico de desenvolvimento de produto de forma a implementar a acessibilidade do produto a utilizadores com necessidades especiais.

No seguimento desta lógica, descreve-se o princípio do *Design* inclusivo, uma filosofia relevante para o desenvolvimento do produto em causa, uma vez que segundo este princípio, as preocupações de acessibilidade anteriormente citadas devem, numa situação ideal, assistir a todos os projectos de desenvolvimento de produto, numa perspectiva de integração das minorias com limitações.

O desenvolvimento de produtos electrónicos portáteis representa uma área específica de desenvolvimento de produto, marcada por condicionantes específicas relativas à tipologia destes dispositivos e à implementação da portabilidade. Neste capítulo descre-

vemos e analisamos as directivas propostas por *Haskell* (2004) para o desenvolvimento de aspectos cruciais dos produtos electrónicos portáteis.

2.2. Design Industrial

Define-se normalmente como *Design Industrial*, a actividade de conceber produtos para serem fabricados em grandes séries e em contexto industrial. Tomás *Maldonado* (1991) refere que esta definição não é totalmente satisfatória, uma vez que não distingue o *Design Industrial* da actividade tradicionalmente atribuída à Engenharia. De facto, ambas as disciplinas se preocupam com a busca de soluções para problemas que lhes são muitas vezes comuns. A Engenharia é uma abordagem científica, a aplicação de princípios científicos à construção de estruturas, à obtenção de formas e ao desenvolvimento de máquinas e processos de produção. O *Design Industrial* é um processo criativo e inventivo que absorve outras preocupações. *Munari* (1981) refere-se à preocupação estética como o principal factor de diferenciação. O facto é que em *Design Industrial*, a questão estética não constitui a preocupação primordial, os factores instrumentais ligados à Engenharia, a tecnologia, os materiais, os processos produtivos, os factores ambientais, os factores sociais e os factores humanos são geralmente prioritários. Na teoria do desenvolvimento de produto as competências da Engenharia e do *Design Industrial* são claramente definidas e englobadas num conjunto de actividades descritas genericamente como *Design* no seu significado mais amplo.

Em termos históricos, embora a produção industrial mecanizada tenha mais de 200 anos, a categoria de *designer* industrial surgiu apenas no final do séc. XIX e implementou-se durante o séc. XX, quando as empresas sentiram a necessidade de diferenciar os seus produtos perante os mercados competitivos.

Segundo *Lorenz* (1986), o nascimento da disciplina assumiu contornos diferentes no continente americano e na Europa, marcados essencialmente pelos diferentes contextos sociais e económicos.

Nos EUA, o *crash* da bolsa de Nova Iorque em 29 de Outubro de 1929 desencadeou a maior crise económica do século, conhecida como a Grande Depressão. Em 1933 o presidente *Roosevelt* implementou um conjunto de planos de recuperação económica conhecidos como *New Deal*. Um destes planos era o *National Industrial Recovery Act* (NIRA) e uma das iniciativas da administração do NIRA foi a implementação do preço fixo. Perante esta situação de elevada competitividade, os fabricantes abandonaram temporariamente os desenvolvimentos dispendiosos e investiram em criar produtos apelativos para o consumidor. As empresas contrataram cenaristas e ilustradores e integraram-nos no departamento de vendas.

Nesta concepção de *Design*, o interior do produto e todos os componentes tecnológicos permaneciam inalterados e apenas o aspecto exterior era trabalhado. Nomes

como *Walter Dorwin Teague*, *Norman Bel Geddes* ou *Raymond Loewy* ficaram associados na década de 1930 a esta filosofia de *Design* e ao estilo *Streamlining*. O *Streamlining* era a aplicação de formas aerodinâmicas, herdadas dos aviões e dos comboios dos anos 20, em objectos nos quais a forma aerodinâmica era pouco útil mas muito apelativa.



Figura 2.1 Afia lápis *Streamlined* de Raymond Loewy, 1933 (imagem de [www.i-electica.org]).

Um exemplo da aplicação desta filosofia foi os automóveis de aspecto futurista e com acessórios estéticos exagerados produzidos pela indústria automóvel americana, construídos com bases mecânicas comuns e muitas variações estéticas. O seu efeito foi no entanto positivo para a economia e desencadeou o renascimento da força produtiva americana, a *General Motors* transformou-se na maior corporação industrial da sua época, ultrapassando o gigante conservador *Ford*.



Figura 2.2 Raymond Loewy com a Locomotiva a vapor S1 que estilizou para a *Pennsylvania Railroad*, 1939 (imagem de [www.answers.com]).

Na Europa, as teorias do *Design* Industrial começaram a ser esboçadas na Alemanha pelos movimentos *Deutscher Werkbund* (1907) e *Bauhaus* (1919). Fundada em 1907, a *Deutscher Werkbund* era um movimento de *designers* e fabricantes associados

que pretendiam conciliar a criação artística e a produção industrial. Os produtos desenvolvidos por este grupo eram essencialmente utilitários e de formas simplificadas em oposição à estética *Art Nouveau* que dominava os produtos artesanais da época. O objectivo era possibilitar a produção massiva e o baixo custo dos produtos de consumo. A *Deutscher Werkbund* está na génese da filosofia do Funcionalismo que defendia as virtudes dos objectos essencialmente funcionais, com superfícies planas e sem ornamentos.

A *Bauhaus* foi fundada em 1919 com o objectivo de constituir uma instituição educacional que providenciasse serviços de consultoria à indústria, comércio e ofícios. Sendo um dos movimentos mais importantes na história do *Design Industrial*, a *Bauhaus* centrou inicialmente o seu esforço na formação de artesãos. Um dos principais mentores da escola, *Johannes Itten*, dedicava-se ao estudo das teorias da cor, da forma e dos contrastes e acreditava que a forma deveria ser orientada por leis naturais. Os objectos da *Bauhaus* eram, por essa razão, baseados em geometrias simples e funcionais. Mais tarde, pelas mãos de *Josef Albers* e *László Moholy-Nagy*, a escola prosseguiu numa abordagem mais direccionada para a indústria.

Em oposição ao ideal americano da época, na Europa enfatizava-se a importância da geometria, da precisão, da simplicidade e da economia. O objectivo não era a pura diferenciação do produto e o apelo ao consumidor, o *Design Industrial* europeu instituiu-se como uma disciplina abrangente cuja intervenção premiava a produção e a funcionalidade. O arquitecto alemão *Peter Behrens* é referido por vários autores como sendo um dos primeiros *designers* industriais da era moderna. *Behrens*, um dos fundadores dos movimentos *Deutscher Werkbund* e *Bauhaus*, trabalhou como *freelancer* para a AEG (*Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft*) em 1907. O seu trabalho começou pelo redesenho de produtos existentes. *Behrens* criou o primeiro projecto de identidade corporativa integrada para a empresa que incluía o logótipo, a publicidade e a estratégia de exposição, posteriormente trabalhou no desenvolvimento de novos produtos e projectou novas instalações para a fábrica.



Figura 2.3 Conjunto de cadeira e otomano *Barcelona*, criado por *Ludwig Mies Van der Rohe* para o pavilhão da *Deutsche Werkbund* na feira internacional de 1929 (imagem de [www.bonbon.co.uk]).

Nas décadas de 1960 e 1970 os conceitos europeu e americano aproximaram-se e as correntes puramente estilísticas desenquadraram-se da definição *Design Industrial*. O *designer* americano *Henry Dreyfuss* estabeleceu em 1967 cinco objectivos importantes que um *designer*, ou uma equipa de *designers*, devem alcançar no processo de desenvolvimento de um produto. Os objectivos descritos por *Dreyfuss* definem o *Design Industrial* como o conhecemos hoje:

- Utilidade: as interfaces do produto com o ser humano devem ser seguras, fáceis de usar e intuitivas. Cada elemento deve ter uma forma que comunique ao utilizador a sua função.
- Aparência: forma, linha, proporção e cor são usadas para integrarem o produto de forma harmoniosa no seu todo.
- Facilidade de manutenção: os produtos devem ser concebidos para comunicarem a forma de manutenção e reparação.
- Baixo custo: a forma e a função têm um grande impacto nas ferramentas de fabrico e nos custos de produção, estes factores devem ser tidos em conta pela equipa de desenvolvimento de produto.
- Comunicação: o *Design* do produto deve comunicar a filosofia corporativa e missão da marca, através das qualidades visuais do produto.

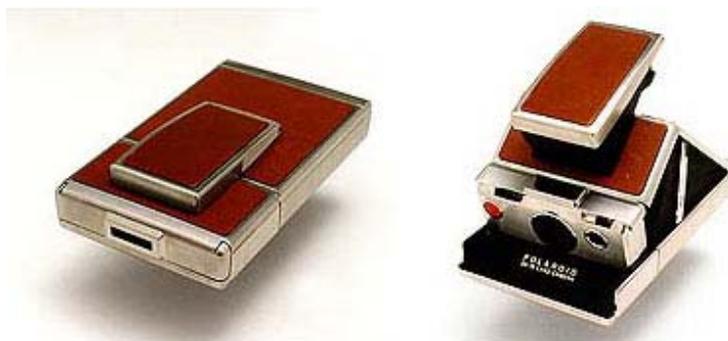


Figura 2.4 Máquina fotográfica *Polaroid Instant Camera SX70* de *Henry Dreyfuss*, 1972 (imagem adaptada de [www.sx70.dk]).

Entidades como o *Design Council* de Inglaterra, a Sociedade Americana de *Designers Industriais* (IDSA) e o Conselho Internacional das Sociedades de *Design Industrial* (ICSID) foram fundamentais para a definição da integridade da disciplina e para a sua promoção junto das empresas e das escolas. A definição de *Design Industrial* proposta pela IDSA é a seguinte:

“O *Design Industrial* é o serviço profissional de criar e desenvolver conceitos e especificações que optimizam a função, o valor e a aparência de produtos e de sistemas para o benefício mútuo do utilizador e do fabricante.”

Os *designers* industriais são normalmente formados em cursos superiores de base humanística, cujo programa inclui o estudo da percepção, o desenvolvimento do esboço, da geometria e do desenho técnico, a execução de modelos (protótipos), o trabalho com

tecnologias CAD e de representação virtual 3D e o conhecimento básico dos materiais e das técnicas de produção. É na prática industrial e na formação pós-universitária que recebem conhecimentos adicionais de Engenharia elementar, técnicas avançadas de fabrico e práticas de mercado. *Ulrich e Eppinger (2003)* salientam nos *designers* industriais, integrados numa equipa de desenvolvimento de produto, a capacidade de expressão visual das ideias e dos conceitos através de esboços, modelos e imagens virtuais. Os mesmos autores avaliam a importância da disciplina em duas dimensões – a ergonomia e a estética, e descrevem o processo típico do *Design Industrial* como tendo as seguintes fases:

- Investigação das necessidades dos clientes;
- Conceptualização;
- Refinamento preliminar;
- Refinamento posterior e selecção final do conceito;
- Desenhos de controlo;
- Coordenação com a Engenharia, a produção e as vendas.

Neste processo podemos identificar algum paralelismo com o processo genérico de desenvolvimento de produto que será descrito no capítulo seguinte.

Muitas empresas de grandes dimensões têm departamentos próprios de *Design Industrial*. As empresas mais pequenas preferem normalmente subcontratar empresas de consultoria em *Design Industrial*. Em ambos os casos, os *designers* deverão estar integrados em equipas multidisciplinares de desenvolvimento de produto. Para apreçar a importância e a qualidade da intervenção do *Design Industrial* no desenvolvimento de um produto, *Ulrich e Eppinger (2003)* propõem a avaliação de cinco aspectos cruciais, claramente baseados no princípio dos cinco objectivos de *Dreyfuss*, descritos anteriormente:

1. Qualidade das interfaces com o utilizador:
 - Os elementos que o utilizador deverá accionar comunicam a sua forma de utilização?
 - A utilização do produto é intuitiva?
 - Todas as interfaces são seguras?
 - Todos os utilizadores e todas as utilizações possíveis para o produto foram contemplados?
2. Apelo emocional:
 - O produto é atractivo? É excitante?
 - O produto expressa qualidade?

- Qual é a imagem que nos vem à mente quando o observamos?
 - O produto gera orgulho ao seu proprietário?
 - O produto desperta orgulho por parte das equipas de desenvolvimento e de vendas?
3. Possibilidades de manutenção e reparação do produto:
- A manutenção do produto é óbvia e fácil?
 - A constituição do produto comunica facilmente a forma de desmontagem e montagem?
4. Uso apropriado dos recursos:
- Os recursos foram devidamente utilizados de forma a satisfazer os requisitos do utilizador?
 - A selecção de materiais foi apropriada (em termos de custo e qualidade)?
 - O produto é “sobre-” ou “sub-projectado” (apresenta aspectos desnecessários ou negligenciados)?
 - Foram considerados aspectos ecológicos?
5. Diferenciação do produto:
- O produto será facilmente identificado, pela sua aparência, nas prateleiras de uma loja?
 - O produto ficará na memória de um consumidor que veja a sua publicidade?
 - O produto será identificado na rua?
 - O produto encaixa-se ou engrandece a identidade corporativa da marca?

Os *designers* industriais envolvidos na equipa de desenvolvimento de produto devem servir-se deste conjunto de princípios como directivas de trabalho. Numa fase posterior, poderão avaliar o resultado da sua intervenção no projecto confrontando os resultados obtidos junto do mercado com as questões propostas pelos autores citados. Os resultados deverão ser discutidos pela equipa e o seu registo será de carácter formativo para projectos futuros.

2.3. Desenvolvimento de Produto

As abordagens à temática do desenvolvimento de produto são normalmente elaboradas na perspectiva do negócio mais do que na perspectiva da Engenharia ou do *Design* Industrial. Atendendo ao significado do termo “desenvolver”, quando mencionamos “desenvolvimento de produto” podemos nos referir a duas realidades: a criação de um produto radicalmente novo ou a adopção de um produto já existente (*Marxt*, 2004). Para

ambos os casos, vários autores são unânimes em afirmar que o sucesso de um produto depende, em grande medida, da satisfação das necessidades e das expectativas dos potenciais clientes. A empresa *Philips*, por exemplo, define a “experiência ideal de produto” como “a arte de fazer produtos para pessoas” (*Philips Corporate Design*, 1995, capa). Do ponto de vista da criação de valor (e esse é o fundamento do *Design Industrial*), o verdadeiro sucesso é atingir esse objectivo de forma rápida e pelo menor custo possível.

Poucos produtos poderão ser desenvolvidos apenas por um indivíduo. *Vajna e Burchardt* (2004) descrevem um conceito de desenvolvimento integrado de produto (IPD), segundo o qual, a integração e a correcta relação entre as várias disciplinas responsáveis por aspectos particulares do produto são uma chave para o desenvolvimento de produtos de grande qualidade, a preços e em prazos razoáveis. *Ulrich e Eppinger* (2003) partilham desta opinião e determinam que “três funções são quase sempre centrais num projecto de desenvolvimento de produto” (*Ulrich e Eppinger*, 2003, p. 3), o *Marketing*, o *Design* e a *Produção*:

Marketing

O *Marketing* é a função mediadora entre a empresa e os clientes. A proximidade deste departamento com o público, no contexto de um projecto de desenvolvimento de produto, possibilita a comunicação directa com os clientes com vista à obtenção de informações essenciais como as necessidades específicas dos mesmos e novas oportunidades de produto. Outras responsabilidades tradicionalmente atribuídas à função *Marketing* são: a definição de segmentos de mercado, o lançamento do produto, a promoção do mesmo e todas as estimativas de custos associadas ao projecto.

Design

O autor *Christian Marxt* (2004) esclarece a ambiguidade do termo *Design* no contexto do desenvolvimento de produto como sendo uma função integral que envolve todas as actividades necessárias à criação de um produto e que ultrapassam a concepção e projecto. Na visão dos autores *Ulrich e Eppinger* (2003), o *Design* engloba a Engenharia e o *Design Industrial*. Em conjunto, estas duas disciplinas têm o protagonismo de definir a forma física do produto de modo a melhor satisfazer as necessidades do cliente. A componente *Design Industrial* é entendida como responsável pelos desenvolvimentos no campo das interfaces, da acessibilidade e dos aspectos ligados à estética e imagem do produto. O desenvolvimento de sistemas mecânicos, eléctricos e electrónicos e de aplicações informáticas é tarefa da Engenharia.

Produção

A Produção tem a responsabilidade de organizar e conceber um sistema de produção que torne o produto numa realidade. Numa definição mais alargada, inclui a cadeia de fornecimento (a compra de matérias primas ou de equipamentos de produção), a distribuição e a instalação do produto.

2.3.1. Equipa de Desenvolvimento de Produto

O desenvolvimento de produto é um trabalho de equipa. O número de indivíduos que constitui uma equipa para este fim é muito variável, dependendo da dimensão da empresa e do tipo de produto em causa. Uma solução para se calcular uma aproximação ao tamanho mínimo de uma equipa, consiste em dividir a soma do tempo de todas as tarefas, pelo tempo que se pretende que o projecto tenha de duração máxima. Por exemplo: todas as tarefas envolvidas no desenvolvimento de um determinado produto preenchem 48 meses de trabalho por pessoa. Pretende-se que o projecto seja finalizado em 6 meses. Logo, a equipa será constituída por um mínimo de 8 pessoas.

A liderança e a interacção entre os seus elementos são determinantes na rapidez e no desempenho de uma equipa. *Ulrich e Eppinger (2003)* idealizam uma equipa de projecto de dois níveis; a equipa nuclear e a equipa alargada, ambas organizadas em torno de um líder. A equipa nuclear, constituída pelo próprio líder e pelos representantes das áreas centrais do projecto (*Marketing, Design e Produção*) deverá ser um pequeno grupo que se possa juntar regularmente numa sala de conferências. A equipa alargada é constituída pelos profissionais das funções restantes e pelos fornecedores. Num projecto de grande envergadura, o número de pessoas na equipa alargada pode ascender a vários milhares.

Hayes (1988) propõe que uma equipa de projecto seja agrupada por funções, cada uma das quais liderada por gestores funcionais, e coordenadas no seu todo por um gestor geral de produto. Esta forma de organização tem muitas variantes, consoante se pretenda dar prioridade à especialização funcional ou à rapidez de coordenação da equipa.

Calabrese (1999) considera que a constituição de equipas multifuncionais e a criação de matrizes organizacionais para essas equipas são a base do processo de desenvolvimento. Segundo o autor, a comunicação e a cooperação entre funções são o factor chave para transferir as expectativas dos clientes para o produto. A análise de *Calabrese* foca-se na indústria automóvel. O autor define matrizes organizacionais adaptadas às potencialidades da equipa em questão, e adaptadas às fases específicas do processo de Desenvolvimento de Produto em causa (Figura 2.5).

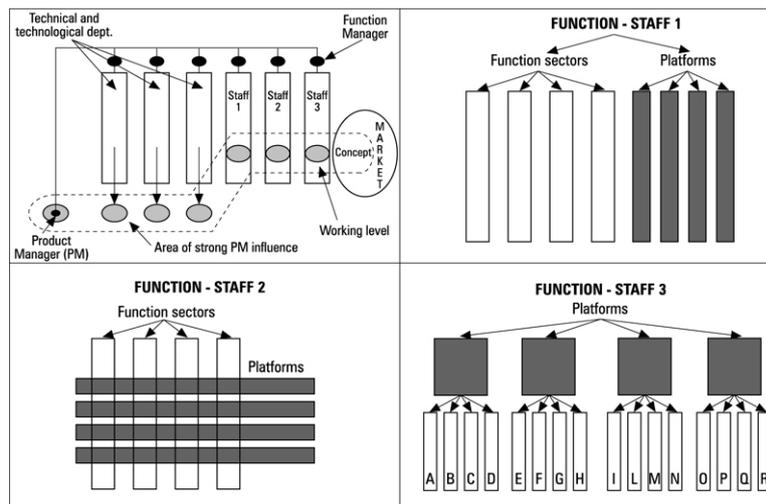


Figura 2.5 Esquema de organização de equipas de Desenvolvimento de Produto (imagem de [Calabrese, 1999]).

2.3.2. Fases do Desenvolvimento de Produto

O modelo genérico do processo de desenvolvimento de produto divide-se em 6 fases: planeamento, desenvolvimento de conceitos, projecto de sistema, projecto de detalhes, teste e refinamento e arranque da produção:

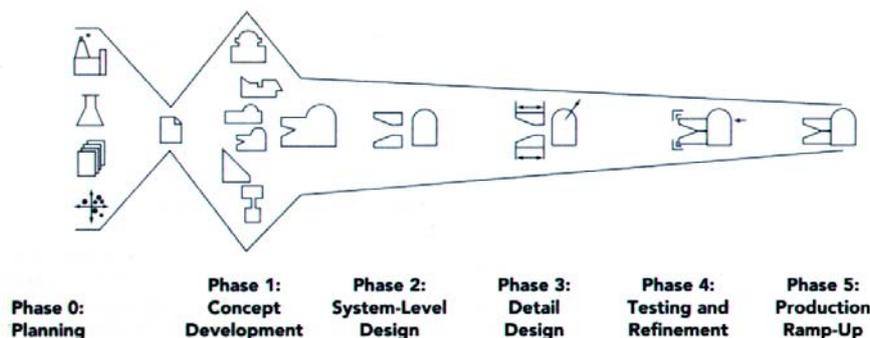


Figura 2.6 Representação esquemática do processo genérico de desenvolvimento de produto (imagem de [Ulrich, 2003]).

Planeamento

O planeamento é a fase que antecede a aprovação do projecto, por esse motivo, dificilmente podemos considerá-la parte integrante do desenvolvimento de produto, alguns autores designam-na “fase zero”. O planeamento acontece antes de a equipa de projecto ser completamente formada e antes de qualquer investimento substancial. Nesta fase identificam-se quais os possíveis projectos a desenvolver, que tipo de produto será, qual o prazo a atribuir a cada projecto (o processo global de desenvolvimento de produto pode ser dividido em vários projectos), qual a sequência dos projectos, quais os segmentos de mercado a considerar, quais as tecnologias a incorporar nos produtos, quais os objectivos e as limitações a nível de fabrico, quais os alvos financeiros, e qual o investimento necessário.

Uma marca importante do planeamento é a criação de uma “*mission statement*” (declaração de princípios do projecto). Este documento deverá incluir:

- Descrição do produto breve e sem deixar implícito nenhum conceito específico de produto; esta descrição pode incluir a referência a um benefício chave do produto;
- Objectivos chave do negócio, normalmente em termos de tempo, custo e qualidade;
- Mercado-alvo do produto, ou os mercados que se achem importantes a considerar no desenvolvimento do projecto;
- Pressupostos e restrições que condicionarão o esforço de desenvolvimento; nesta fase, quaisquer pressupostos deverão ser adoptados de forma cautelosa para não limitar o desenvolvimento de conceitos; as restrições podem ser associadas às capacidades de fabrico ou à estrutura de serviços da empresa e a condicionamentos ambientais ou legais;
- Lista das pessoas ou das organizações que poderão ser afectadas pelo sucesso ou insucesso do produto (*stakeholders*).

Desenvolvimento de conceitos

Na fase de desenvolvimento de conceitos, geram-se concepções alternativas de produto com base em especificações recolhidas junto do mercado alvo. A geração de conceitos é normalmente um processo rápido e acessível no contexto dos custos globais do projecto. Um conceito consiste na descrição da forma, da tecnologia e dos princípios de funcionamento do produto. É apresentado como um esboço gráfico ou um modelo tridimensional simplificado, normalmente acompanhado de uma descrição textual, uma lista de especificações e outras justificações, por exemplo, de ordem económica. A pesquisa de patentes e de produtos comerciais similares é importante nesta fase. Uma patente também constitui um tipo de conceito, contém esquemas representativos e um texto descritivo. Cada um dos conceitos deve incluir referências a patentes que sejam usadas e uma análise comparativa com produtos similares (*benchmarking*), se existirem. De entre estes conceitos, a equipa de desenvolvimento selecciona uma ou mais propostas a desenvolver e testar posteriormente.



Figura 2.7 Exemplo de apresentação de um conceito, com esboços, *renderings* e anotações da autoria do Designer industrial *Brook Banham* (imagem de [www.brookbanham.com]).

Projecto de sistema

A fase de projecto de sistema é marcada pela definição da arquitectura do produto. A arquitectura de um produto é o esquema segundo o qual se organizam os componentes funcionais, formando blocos físicos que se ligam entre si na construção do produto final. A arquitectura do produto define-o como sendo integral ou de construção modular.

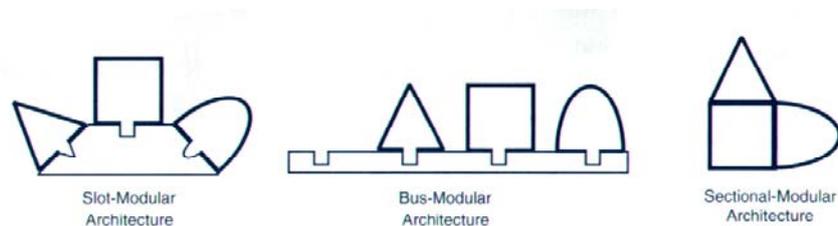


Figura 2.8 Esquema representativo dos três tipos de arquitectura modular descritos por *Ulrich* (imagem adaptada de [Ulrich, 2003]).

Numa arquitectura do tipo modular, cada bloco é um elemento funcional, estes blocos são ligados entre si e funcionam conjuntamente como produto final. *Ulrich* (1995) define três tipos de modularidade diferenciados pelas interfaces de ligação dos blocos. As diferentes interfaces permitem que se liguem a uma plataforma comum através de interfaces específicas a cada bloco (*Slot-Modular Architecture*), que se liguem a uma plataforma comum através de interfaces do mesmo tipo (*Bus-Modular Architecture*), ou que se liguem entre si sem nenhuma plataforma comum (*Sectional-Modular Architecture*). A principal vantagem deste tipo de arquitectura de produto é a manutenção de baixos custos de produção, há também a possibilidade de se poder criar uma gama de produtos com potencialidades diferentes, para responder a necessidades de consumidores diferentes, através da gestão de blo-

cos funcionais sobre plataformas comuns. A standardização de componentes também é uma variante de modularidade. Um componente standardizado pode ser produzido em massa e integrado em muitos produtos de diferentes fabricantes.

Na indústria automóvel, o recurso à arquitectura modular de produto é particularmente notório. No caso da *Volkswagen*, a mesma plataforma está na base de cinco modelos de automóvel diferentes: o *Audi TT*, o *Audi A3*, o *VW Jetta*, o *VW Beetle* e o *VW Golf* – estes modelos partilham 65% de partes comuns (Egan, 2004).

Na fase de projecto de sistemas elabora-se um esquema geométrico do produto, representando a disposição dos seus componentes funcionais e, tratando-se de arquitectura modular, a forma de montagem dos blocos que o constituem.

Projecto de detalhes

Na fase de projecto de detalhes, completa-se a definição da geometria final do produto, seleccionam-se os materiais, desenvolvem-se as ferramentas necessárias à produção das peças, identificam-se as peças a adquirir a fornecedores exteriores, criam-se os desenhos técnicos e as especificações de controlo.

Nesta altura pode fazer-se uma estimativa dos custos de produção. Essa estimativa é a soma dos custos associados à aquisição de matérias-primas, equipamentos de produção, mão-de-obra e custos energéticos. Os custos associados ao tratamento dos resíduos também deverão ser considerados. O custo efectivo da produção é determinante no sucesso de um produto, já que determina a margem de lucro obtida na venda de cada unidade. Interessa por isso assegurar elevados níveis de qualidade de produto e controlar os custos de produção.

A filosofia *Design for X* (DFX), conforme descrita por Huang (1996) enumera um conjunto de abordagens possíveis, focadas em aspectos específicos que se pretendem implementar no produto ou no próprio processo de desenvolvimento. Essas abordagens são referidas como acrónimos, seguem-se alguns exemplos:

- DFA – *Design for Assembly* (projectar para montagem)
- DFD – *Design for Disassembly* (projectar para desmontagem)
- DFT – *Design for Test* (projectar para teste)
- DFS – *Design for Speed* ou *Design for Simplicity* ou *Design for Safety* (projectar para rapidez ou simplicidade ou segurança)
- DFR – *Design for Re-use* ou *Design for Reliability* ou *Design for Re-Design* (projectar para reutilização ou fiabilidade ou re-Design)
- DFQ – *Design for Quality* (projectar para qualidade)
- DFP – *Design for Portability* (projectar para portabilidade)

DFML – *Design for Material Logistics* (projectar para logística dos materiais)

DFM – *Design for Manufacturing* (projectar para produção)

Nesta fase do projecto pode optar-se por uma destas abordagens. Para cada uma delas existe um conjunto de acções específicas que se traduzem em tomadas de decisão orientadas, que simplificam e tornam mais rápido o processo de desenvolvimento de produto. Por exemplo, segundo *Bralla* (1999), na prática da metodologia DFM - *Design for Manufacturing* (projectar para produção) – uma das metodologias DFX mais utilizadas, o custo e o tempo de produção são os critérios fundamentais de decisão, desde a fase de geração de conceitos e durante todo o processo de desenvolvimento de produto.

Na fase de projecto de detalhes também se podem implementar os princípios do *Robust Design* (Projecto robusto). Segundo *Phadke* (1989), este princípio determina que o “projecto robusto” será o que tem um desempenho aceitável mesmo sob condições não ideais de trabalho ou de produção. A obtenção de um *design* robusto baseia-se na análise e na experimentação de determinados aspectos do produto com vista à aferição de padrões de robustez. Esses aspectos podem ser factores de controlo (aspectos do produto que interferem com a robustez do mesmo e que podem ser controlados), factores de ruído (aspectos inerentes ao produto, ou ao funcionamento do mesmo, que interferem com a robustez mas não podem ser controlados) ou medidas de desempenho (especificações de desempenho do produto cuja variação interfere com a robustez do mesmo). Uma vez identificados, os padrões de robustez ideais são implementados no projecto para garantir o desempenho do produto em condições exigentes de trabalho.

Teste e refinamento

Na fase de teste e refinamento fabricam-se várias versões pré-produção ou protótipos. Os protótipos podem classificar-se em duas dimensões principais; físico e analítico ou abrangente e focado:

- O protótipo físico constitui uma aproximação visual ao produto, é um objecto que poderá ter a escala, o acabamento, e por vezes o peso do produto final. Regra geral, o protótipo puramente físico não reúne todas as funcionalidades do produto final, podendo mesmo servir exclusivamente para uma análise da geometria final.
- O protótipo analítico, não constitui tipicamente um objecto tangível, por vezes é apenas uma representação matemática ou um modelo computadorizado tridimensional. Serve para a análise de aspectos funcionais do produto que não a construção física dos mesmos.

- O protótipo abrangente reúne todos, ou quase todos os atributos do produto final. É criado na parte terminal da fase de teste e refinamento e constitui a aproximação máxima ao produto final. É o típico produto "pré-produção" que é cedido a clientes para identificação de quaisquer falhas antes de se iniciar a produção.
- O protótipo focado implementa apenas um, ou um grupo limitado de atributos do produto final. Constitui uma alternativa económica ao protótipo abrangente e serve para a análise de aspectos específicos do produto. Pode ser uma representação exclusiva da geometria do produto, ou do desempenho do total ou de uma parte do mesmo.



Figura 2.9 Protótipo físico de um automóvel eléctrico *Tesla*, focado na análise específica da forma e da aerodinâmica. O modelo é construído numa pasta moldável à base de argila (imagem de [www.teslamotors.com]).

Arranque da produção

Na fase de arranque da produção implementa-se o sistema de produção pré-definido. O objectivo é detectar e eliminar possíveis falhas no sistema e preparar os profissionais envolvidos na fabricação. A transição desta fase para o ritmo de produção final é feita gradualmente. Normalmente é nesta transição que são fabricados os produtos de lançamento (ou os protótipos abrangentes) cedidos a distribuidores seleccionados.

2.3.3. Método Estruturado de Desenvolvimento de Produto

Ulrich e Eppinger (2003) propõem que cada uma das fases do desenvolvimento de produto seja ultrapassada pela utilização de um método estruturado que consiste na aproximação gradual a uma solução tendo em conta variáveis chave. Este processo é fortemente marcado pela elaboração de inquéritos e de tabelas analíticas (matrizes) que ajudam a determinar de forma lógica as decisões envolvidas no projecto. A elaboração destas matrizes passa muitas vezes pela quantificação de conceitos abstractos como o grau de satisfação do cliente.

O recurso a um método estruturado é proveitoso em vários sentidos. O avanço de um projecto ao longo das sucessivas fases assenta em grande medida no processo de tomada de decisões. O método torna explícito esse processo, toda a equipa compreende as decisões tomadas como sendo racionais, evita-se a discrepância de ideias e subsequentes discussões ou regressões no processo e o projecto prossegue bem fundamentado.

Outro valor reside no facto de à partida se listarem todos os passos necessários para ultrapassar cada uma das fases do projecto. Essa lista representa a própria estrutura do método, a sua verificação assegura que nenhum passo é negligenciado.

Por último, há a vantagem de o método ser altamente documentado. A equipa cria registos de todos os processos de tomada de decisões, estes documentos são os fundamentos do projecto, podem ser consultados durante todo o processo de desenvolvimento e servirão futuramente como documentos formativos.

2.4. Acessibilidade

De acordo com *Lidwell et al.* (2003) a acessibilidade é um dos princípios universais do *Design*. Os autores consideram que “os objectos e os ambientes devem ser concebidos para serem utilizáveis, sem modificações, pelo maior número de pessoas possível” (*Lidwell et al.*, 2003). A experiência em desenvolvimento de produto tornou claro que as adaptações criadas para facilitar a utilização de certos produtos por grupos específicos com limitações físicas, poderiam beneficiar a generalidade dos utilizadores.

O desenvolvimento de produtos acessíveis, nos termos referidos, é compensatório para a empresa. Os custos de produção são reduzidos, uma vez que o produto não precisa de ser redesenhado, os produtos são fáceis de usar e necessitam de menos treino, menos formação e suporte para o utilizador e menos manutenção. As vantagens do ponto de vista do utilizador são óbvias, pois certos produtos são postos de parte pelo simples facto de serem difíceis de usar, independentemente da sua funcionalidade. A acessibilidade é descrita pelos autores referidos como tendo quatro características fundamentais: perceptibilidade, operabilidade, simplicidade e tolerância (*forgiveness*):

- A perceptibilidade é conseguida quando todos os utilizadores se apercebem de um determinado conceito, independentemente das suas capacidades sensoriais. As guias para a perceptibilidade incluem informações redundantes, por exemplo: ícones, texto e informação táctil em simultâneo;
- A operabilidade consegue-se ao permitir que uma determinada concepção seja utilizada por todas as pessoas. Para obter este efeito, um elemento de comando pode ser concebido de forma a ignorar solicitações repetidas, exigir um esforço físico mínimo e poder ser operado por utilizadores sentados ou de pé. Uma forma comum de obtenção de operabilidade é a criação de rampas de acesso para

cadeiras de rodas. Outra forma é a implementação de *affordances*, uma propriedade em que as características formais do objecto evidenciam claramente a sua função;

- A simplicidade determina que um determinado conceito seja facilmente compreendido e utilizado por pessoas com qualquer nível de literacia, experiência ou concentração. A simplicidade passa obviamente pela eliminação de quaisquer complexidades desnecessárias, recurso a códigos de informação consistentes em todos os níveis de utilização, apresentação da informação e comandos exclusivamente necessários a cada nível de utilização, avisos e efeitos claros relativos a qualquer acção;
- A tolerância acontece quando uma concepção tolera solicitações que poderiam ocasionar erros, ou é desenvolvida para que estes nem sequer possam acontecer de todo. Certos comandos podem ser reversíveis, limitados a serem operados apenas no sentido correcto ou seguidos de uma mensagem de confirmação antes de fazerem efeito.

2.4.1. Desenvolvimento de Produtos com Alta Usabilidade

A usabilidade é definida como a eficiência com que um utilizador consegue executar certas tarefas num determinado produto. Pode ser medida objectivamente pelo esforço necessário, pelo número de erros de desempenho cometidos, ou pelo nível de produtividade na utilização de um produto.

Os princípios de desenvolvimento de produtos com alta usabilidade descritos por *Vicente et al.* (2003), direccionados especificamente para projecto de ajudas técnicas e produtos do universo da reabilitação, são a implementação a um nível mais elevado do princípio da acessibilidade, estes princípios constituem regras que poderão beneficiar o utilizador genérico.

De acordo com a norma UNE-EN ISO 9999-1999, “uma ajuda técnica é qualquer produto, instrumento, equipamento ou sistema técnico usado por uma pessoa com incapacidade, fabricado ou disponível no mercado, para prevenir, compensar, minimizar ou neutralizar a deficiência” (Norma UNE-EN ISO 9999-1999). Entre as classes referenciadas pela norma técnica referida encontram-se os equipamentos para prevenção e diagnóstico, a classe a que pertence o produto em desenvolvimento na presente Dissertação.

O autor referido concentra os esforços de identificação de necessidades no universo das pessoas com limitações físicas e intelectuais que, numa visão mais alargada, inclui os idosos, as minorias étnicas, sociais e demográficas. Este mesmo universo de utilizadores é chamado a participar, sempre que possível, no desenvolvimento do produto.

Todas as fases específicas do processo genérico de desenvolvimento de produto que requerem a participação dos potenciais utilizadores podem ser reformuladas de forma a satisfazer o método de desenvolvimento de produtos com alta usabilidade. Desto modo salientam-se as seguintes três fases: o planeamento, a fase de teste e refinamento e o arranque da produção:

- Na fase do planeamento, os processos de recolha de necessidades são devidamente adaptados aos inquiridos com necessidades específicas ao nível sensorial e da comunicação. Esta alteração é particularmente evidente na implementação de métodos alternativos de inquérito. A declaração de princípios de projecto (*Mission Statement*) inclui novos pressupostos e restrições específicas associadas ao público-alvo em questão;
- Na fase de teste e refinamento, o teste dos protótipos é efectuado tendo em conta necessidades acrescidas baseadas, por exemplo, em valores antropométricos fora dos percentis dos indivíduos saudáveis;
- Na fase de arranque da produção, o produto poderá ser distribuído primariamente junto destes mesmos utilizadores para os ajustes finais.

2.4.2. Design Inclusivo

A norma britânica BS 7000-6 de 2005 designada “Guia para a gestão do *Design* inclusivo” apresenta a seguinte definição para *Design* inclusivo: “projecto de produtos e/ou serviços para o grande mercado que são acessíveis e usáveis para o maior número razoável de pessoas possível numa base global, numa grande variedade de situações e na maior extensão possível sem a necessidade de adaptações ou projecto especializado” (BS 7000, parte 6, 2005).

O *Design* inclusivo não é uma nova disciplina nem um novo tipo de *Design*, não significa simplesmente “um produto para servir a todos”, nem pretende substituir a necessidade de produtos e serviços especializados. O *Design Council* do Reino Unido aceita a designação *Design* inclusivo como sinónimo de *Design* universal e relaciona-a com: projecto centrado no utilizador, projecto centrado no ser humano, estudos de usabilidade, projecto para a deficiência, projecto de reabilitação, tecnologia gerontológica e projecto trans-geracional.

Duas tendências principais levaram à necessidade de implementação do *Design* inclusivo: o envelhecimento da população e o movimento crescente de integração dos deficientes na sociedade. Calcula-se que em 2020, cerca de metade da população adulta do Reino Unido terá uma idade superior a 50 anos, enquanto 20% dos americanos e 25% dos japoneses terão mais de 65 anos. No Reino Unido, o único grupo etário que aumentou nos últimos 100 anos foi a faixa superior aos 50. As mudanças a nível físico, mental e psicológico que surgem com a idade alteram as capacidades e geram desavenças desnecessárias com o universo dos produtos, uma das consequências mais graves é a

dependência. Actualmente, cerca de mil milhões de pessoas em todo o mundo possuem um grau notável de deficiência física. No Reino Unido, 7.2 milhões de trabalhadores assistem pessoas com necessidades especiais, estes profissionais estão conscientes das questões ligadas à usabilidade e do seu impacto junto da população com quem trabalham.



Figura 2.10 Abre-latas *Tupperware*. A tipologia deste produto permite que possa ser utilizado por destros e esquerdistas, os elementos de manipulação são sobredimensionados de forma a permitir que possam ser utilizados por pessoas com limitações de mobilidade manual (imagem de [www.tupperware.com]).

O termo “inclusivo” traduz a ideia de que certos grupos de pessoas deixarão de constituir casos especiais e serão integrados no grande mercado (*mainstream*). Os primeiros passos foram dados na construção de edifícios e espaços públicos, enquanto a preocupação relativa a produtos e serviços é mais recente. A importância deste princípio não contempla apenas a igualdade social, constitui uma oportunidade significativa de negócio e de crescimento pelo desenvolvimento de novos produtos e serviços.

2.5. Desenvolvimento de Produtos Electrónicos Portáteis

O estudo da portabilidade é geralmente efectuado no universo dos objectos não tangíveis, como os programas de computador e as linguagens dos mesmos (códigos-fonte). De facto, existe uma definição concreta para a portabilidade neste contexto, o mesmo não acontece para os produtos físicos de consumo, a obtenção da portabilidade no projecto e desenvolvimento de um produto industrial é normalmente um exercício intuitivo. Uma forma possível de nos apercebermos das características que um objecto tangível deverá reunir para cumprir os requisitos ideais de portabilidade, é estabelecendo um paralelismo com a definição da portabilidade para os programas de computador.

English (2000) define a portabilidade de um programa de computador como sendo “a propriedade que permite que o mesmo se possa mover entre sistemas informáticos (aplicações ou sistemas operativos) sem que isso implique alterações específicas”.

A portabilidade de um objecto tangível será, neste caso, a propriedade que permite que o mesmo se possa mover (ser transportado) entre ambientes e funcione integralmente em qualquer um deles sem que isso implique quaisquer alterações específicas (no próprio produto ou nos ambientes). Um produto genérico que apresente esta propriedade terá necessariamente que reunir características óbvias ao nível das dimensões físicas, interfaces com o corpo do utilizador, interfaces com o ambiente, segurança, resistência e autonomia.

O desenvolvimento de produtos electrónicos portáteis é um fenómeno recente que se iniciou com a invenção do transistor por *Bardeen* e *Brattain* no início dos anos 50 e cujas tecnologias associadas têm vindo a evoluir de forma notável nas últimas décadas. O processamento de sinais eléctricos é o meio fundamental pelo qual este tipo de produto cumpre a sua funcionalidade. Um sistema electrónico típico divide-se em três partes: dispositivos de *Input*, processadores e dispositivos de *Output*.

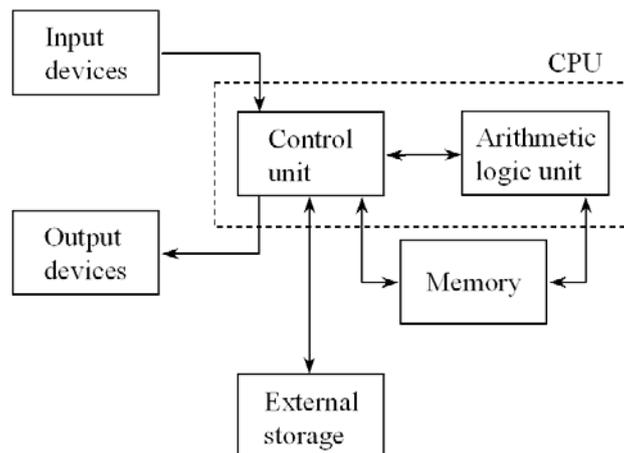


Figura 2.11 Diagrama do modelo de *Von Neumann* de um sistema electrónico (computador), descrevendo os três componentes principais e elementos de memória internos e externos (imagem de [Christensen, 1998]).

Dispositivos de *Input*

Os dispositivos de *Input* são responsáveis pela recolha de sinais do exterior, incluem os sensores e os mecanismos que transformam a informação dos sensores em informação eléctrica de forma que possa ser processada pela parte seguinte. Os sensores do sistema também podem ser designados como transdutores e podem ser de muitos tipos, dependendo da natureza dos sinais que se pretende recolher do exterior: forças, ondas sonoras, ondas electromagnéticas (luz, ondas de rádio, etc.), temperatura, etc.

Processadores

Os processadores são circuitos electrónicos que manipulam, interpretam e transformam os sinais recolhidos pela parte anterior. Estes circuitos podem ser de três tipos: analógicos, digitais ou de sinal misto (*mixed-signal circuits*). Os circuitos analógicos apresentam algumas desvantagens relativamente aos circuitos digitais e por esse motivo são menos utilizados para processamento. Este tipo de circuitos são susceptíveis à interferência de ruídos inerentes ao próprio sistema, são menos precisos, mais complicados e mais dispendiosos de construir. Os circuitos digitais são construídos a partir de componentes estandardizados de dimensões muito mais reduzidas, os seus componentes mais importantes são os circuitos integrados. Um circuito integrado (*microchip*) é um circuito electrónico miniaturizado, construído por elementos semicondutores aplicados na superfície de uma pequena placa. O circuito integrado mais importante nestes sistemas é o microprocessador. O microprocessador é o circuito integrado responsável pelas funções centrais de processamento de um produto electrónico, é um componente digital programável. O programa (*software* do sistema) responsável pelas instruções de processamento está alojado num componente de memória e é executado pelo microprocessador.

Dispositivos de *Output*

Os dispositivos de *output* são um segundo conjunto de transdutores e mecanismos de transformação que convertem a informação processada, em dados que de alguma forma produzem um efeito físico. Esse efeito pode constituir, por exemplo, informação sonora apresentada por um altifalante ou informação visual apresentada ao utilizador através de um ecrã.

Uma equipa de desenvolvimento deste tipo de produtos integra necessariamente especialistas em arquitectura de sistemas, capazes de seleccionar os componentes correctos a integrar no sistema para a implementação das funcionalidades do produto, ou ainda, capazes de criar componentes específicos para funcionalidades especializadas.

Segundo *Haskell* (2004), o desenvolvimento deste tipo de produtos obedece a um conjunto de princípios específicos integrados no processo genérico de desenvolvimento de produto anteriormente descrito. O mesmo autor enumera um conjunto de aspectos que, nos produtos electrónicos portáteis, apresentam características particulares. De entre esses aspectos, os que se descrevem a seguir são particularmente importantes para o produto em desenvolvimento na presente Dissertação.

Interfaces

Uma interface entende-se como sendo um qualquer meio através do qual uma pessoa tem acesso a partes físicas ou virtuais de um sistema e através dos quais pode-

rá exercer algum efeito (ou controlo) sobre esse sistema. Os *inputs* e *outputs* do sistema podem constituir interfaces entre a pessoa e a máquina (HMI – *human-machine interface*). Todas as interfaces relativas ao utilizador exigem preocupações de usabilidade e de ergonomia. A usabilidade é, nestes casos, a medida que avalia o nível de esforço necessário para que o utilizador consiga introduzir e interpretar informação do sistema.

Os pontos físicos de contacto do objecto com o corpo também constituem um tipo de interfaces. Uma pega, por exemplo, constitui um ponto de contacto típico para a mão do utilizador, que pressupõe a portabilidade do objecto e exige preocupações em termos de dimensões e de materiais que permitam a correcta aderência e perspiração, o mesmo se aplica a quaisquer superfícies que se destinem ao contacto directo com o corpo. Sempre que a portabilidade do produto implique uma multiplicidade de utilizadores, as interfaces deste tipo deverão ser laváveis. Outra solução é a aplicação de interfaces pessoais que poderão ser descartáveis.

Sensores

O ideal seria não existirem quaisquer cabos de ligação entre os sensores e o dispositivo principal, a existência dos mesmos afecta a portabilidade do produto e cria pontos frágeis, sujeitos a rupturas. Sempre que os sensores não possam ser embutidos no objecto, ou providos de comunicação sem fios, os cabos devem ser substituíveis, ou possuir um mecanismo que lhes permita desligarem-se do objecto sem ruptura. O computador portátil *MacBook* da *Apple*, por exemplo, apresenta um cabo de alimentação que se mantém fixo por magnetismo e é facilmente retirado sem ocasionar desgaste ou ruptura.



Figura 2.12 Ligação *MagSafe* do computador portátil *MacBook* da *Apple* (imagem adaptada de [www.apple.com]).

Conexões externas

A conectividade é a propriedade de um dispositivo portátil que permite que o mesmo possa ser ligado a uma plataforma fixa, que normalmente será um PC ou um PDA.

A conexão actualmente mais utilizada para ligação de dispositivos a um PC é a porta USB (*Universal Serial Bus*). A porta USB foi desenvolvida em 1996 com o objectivo de constituir uma forma de conexão estandardizada, permitir a ligação *plug-and-play* e permitir que um dispositivo fosse ligado e desligado sem necessidade de se reiniciar o sistema. A porta USB também pode fornecer energia para dispositivos que funcionem a baixa tensão (5 volts a 500mA), ou para recarregar baterias.

A porta *FireWire* (*iLink* para a *Sony*), desenvolvida pela *Apple* é particularmente apropriada à transmissão de informação digital áudio e vídeo, esta porta também é disponibilizada numa versão para ligação por fibra óptica, cabo coaxial para dispositivos áudio e ainda numa versão sem fios.

A porta *Wi-Fi* (*AirPort* para a *Apple*) é uma forma de comunicação sem fios utilizada sobretudo para ligação à *Internet* através de um ponto de acesso, mas que também pode servir para ligações locais entre dispositivos (*client to client*). O sistema *Wi-Fi* funciona por ondas de rádio e é análogo à porta de rede *Ethernet*, na versão sem fios.

A porta *Bluetooth* é uma forma de comunicação sem fios que funciona nas mesmas frequências rádio que a porta *Wi-Fi*, e que se destina essencialmente a conectar dispositivos colocados a pequenas distâncias, sem requisitos particulares de segurança. Os componentes do sistema *Bluetooth* são de baixo custo e os dispositivos não necessitam de quaisquer configurações.

As portas para conexões externas devem ser facilmente identificadas, quer pela utilização de ícones estandardizados, quer pela diferenciação da forma física dos elementos de conexão. Devem igualmente ser colocadas em locais acessíveis no corpo do dispositivo.

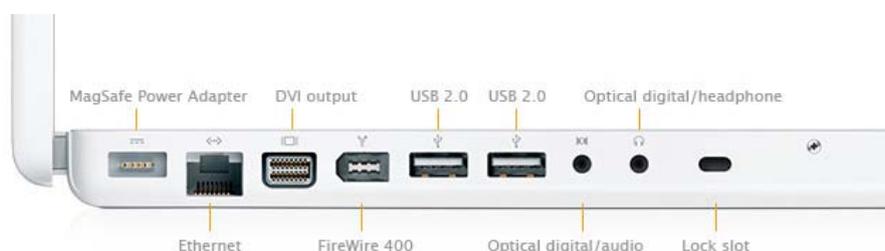


Figura 2.13 Portas para conexões externas do computador portátil *MacBook* da *Apple* (imagem adaptada de [www.apple.com]).

Comunicação sem fios

Sempre que um produto possua mais do que um módulo funcional, a comunicação sem fios apresenta vantagens em termos de portabilidade. A ausência de cabos de ligação, tal como foi descrita anteriormente, elimina problemas de usabilidade e

de fragilidade, no entanto, esta forma de conexão implica a integração de fontes de energia independentes, uma vez que todos os módulos funcionais do sistema têm que ser autónomos.

Armazenamento de dados

Os mecanismos de armazenamento de dados devem ser capazes de comportar a quantidade de informação directamente proporcional ao espaço de tempo em que se pretende que o produto seja autónomo. Uma alternativa ao armazenamento local da informação é a transmissão instantânea (*on-line*) para uma base fixa.

Software

Sempre que possível, deve existir a possibilidade de actualizar o programa informático responsável pelo funcionamento do dispositivo, ou a possibilidade da sua reinstalação em caso de deterioração do mesmo.

Fontes de alimentação

A autonomia é uma das propriedades mais importantes para a implementação da portabilidade num produto. A energia eléctrica que suporta a autonomia destes dispositivos é normalmente disponibilizada por geradores electroquímicos (baterias) que podem ser de três tipos: comuns, alcalinas ou recarregáveis. As baterias recarregáveis são as mais caras mas constituem a solução mais ecológica, uma vez que a sua transformação em resíduo só acontece após 500 ou 1000 ciclos de carga. Existem três tipos principais de baterias recarregáveis que podem ser utilizadas neste tipo de dispositivos:

- Baterias de Hidreto Metálico de Níquel (NiMH)
- Baterias de Níquel Cádmio (NiCd)
- Baterias de Iões de Lítio (Li-ion)

As baterias recarregáveis mais eficientes, utilizadas actualmente em telemóveis, computadores portáteis e PDA's são do tipo Li-ion.

Apesar de existirem baterias de Lítio desde 1912, as baterias recarregáveis com base neste metal foram introduzidas pela *Sony* apenas em 1991. Uma bateria de Lítio sobreaquecia e podia explodir quando recarregada, a substituição deste metal por iões solucionou esse problema. As baterias Li-ion armazenam o dobro da energia de uma bateria NiMH e três vezes mais que uma bateria NiCd, além disso não são afectadas pelo efeito de memória.

A construção do produto deve permitir o fácil acesso às baterias para a sua substituição uma vez ultrapassado o seu limite de ciclos de carga. A ligação para carregamento das mesmas deve estar acessível no exterior do dispositivo. Numa situação ideal, o produto poderá recolher energia dos diversos ambientes onde é colocado através de mecanismos de recolha e transformação apropriados, por exemplo, um dispositivo que se destine a funcionar no exterior pode ser equipado com painéis foto-voltaicos que prolongarão a sua autonomia.

Placas de circuito impresso

As placas de circuito impresso podem tornar-se mais pequenas desde que a sua conversão parcial em circuito integrado seja comercialmente viável. Para o caso de um produto articulado, existem placas de circuito impresso flexíveis.

Montagem mecânica

Haskell (2004) refere que um elemento mecânico vulgar neste tipo de produtos são as dobradiças. Os materiais termoplásticos, vulgarmente utilizados para a construção das carcaças dos produtos electrónicos, são passíveis ao desgaste e à deformação. As superfícies em contacto numa dobradiça ou articulação podem ser reforçadas com anilhas metálicas, para melhorar a resistência à abrasão e possuírem um mecanismo de aperto para permitir que se ajustem periodicamente.

Carcaças (*housings*)

A carcaça deste tipo de produtos deve reunir propriedades de leveza e resistência de forma a não comprometer a portabilidade dos mesmos. Os polímeros termoplásticos são os mais utilizados por serem relativamente baratos, fáceis de produzir em massa e por apresentarem grandes possibilidades de criação de formas. A selecção de um polímero adequado ao produto em causa assenta nas suas propriedades de resistência mecânica, resistência térmica, resistência aos raios UV, transparência, estabilidade formal, capacidade de absorção da humidade, etc. Outros materiais leves como os compósitos de carbono, as ligas de alumínio e de titânio, embora mais caros, apresentam propriedades notáveis no que diz respeito à leveza e resistência e ao isolamento electromagnético. A carcaça de um produto electrónico deve ser projectada de forma a permitir acesso para manutenção dos componentes.

Gestão térmica

O funcionamento dos componentes electrónicos deste tipo de produtos pode gerar (particularmente no caso dos processadores) quantidades notáveis de calor. Os sistemas de refrigeração são um problema de projecto, pois devem evitar-se aberturas na carcaça do objecto que permitam a entrada de poeiras e humidade, são preferíveis

mecanismos de dissipação internos e, a existirem aberturas, estas deverão estar equipadas com redes de filtragem. A correcta gestão térmica do dispositivo pode eliminar a necessidade de aplicação de mecanismos activos de refrigeração (ventoinhas), que representam um consumo acrescido de energia.

Protecção

A portabilidade implica mobilidade, a qual representa riscos para a integridade do produto. Alguns produtos electrónicos portáteis, destinados a trabalhar em condições mais duras, ou dirigidos a utilizadores mais activos apresentam carcaças reforçadas com protecções em borracha (ou polímeros com elevada plasticidade) para absorção de choques nas zonas mais expostas como os cantos ou as arestas. Um exemplo deste tipo de solução é a série de computadores portáteis *Toughbook* da *Panasonic*, adequados a ambientes de trabalho duros ou a utilização militar.



Figura 2.14 Computador portátil *Panasonic Toughbook CF-29* (imagem de [www.physorg.com]).

Dimensões

Uma forma de diminuir as dimensões de um objecto portátil é criar mecanismos de articulação. Para melhorar a sua portabilidade, um objecto pode ser articulado, extensível, dobrável ou mesmo insuflável. Estas soluções acarretam quase sempre problemas de integridade física do produto e devem ser bem geridas.

2.6. Conclusão

O *Design* como disciplina genérica, associada à estética e ao produto artesanal, evoluiu no sentido de se transformar numa disciplina integrada na indústria, aplicada ao processo multidisciplinar de desenvolvimento de produto. A competência do *Design Industrial* representa a criação de valor a todos os níveis da experiência de um produto, desde o processo produtivo à satisfação do utilizador final. Os objectivos a alcançar pela

intervenção desta disciplina devem observar-se ao nível da utilidade, aparência, facilidade de manutenção e comunicação (identidade) do produto. O processo típico do *Design Industrial* divide-se em seis fases:

- Investigação das necessidades dos clientes;
- Conceptualização;
- Refinamento preliminar;
- Refinamento posterior e selecção final do conceito;
- Desenhos de controlo;
- Coordenação com a engenharia, produção e vendas.

Estas fases serão adoptadas na abordagem ao projecto a desenvolver na presente Dissertação.

A teoria do desenvolvimento de produto baseia-se actualmente no princípio fundamental de que o sucesso do mesmo depende, em grande medida, da satisfação das necessidades e das expectativas dos potenciais clientes. Num contexto industrial, o desenvolvimento de produto deverá envolver três funções essenciais: o *Marketing*, o *Design* e a Produção. O termo *Design*, neste contexto, aplica-se à função responsável pela definição da forma física do produto. Esta função integra duas disciplinas distintas: a Engenharia e o *Design Industrial*. A Engenharia é responsável pelo desenvolvimento de todos os sistemas mecânicos, eléctricos, electrónicos e aplicações informáticas. A competência do *Design Industrial*, conforme referido anteriormente, traduz-se ao nível da estética, da ergonomia e das interfaces do produto. O desenvolvimento de um produto é portanto uma actividade multidisciplinar, exercida por uma equipa devidamente organizada e gerida.

O processo genérico de desenvolvimento de produto divide-se em seis fases, cada uma delas marcada por acções específicas:

- Planeamento;
- Desenvolvimento de conceitos;
- Projecto de sistema;
- Projecto de detalhes;
- Teste e refinamento;
- Arranque da produção.

No processo referido pode adoptar-se um método estruturado. Este método baseia-se na listagem de todas as actividades relacionadas com cada uma das fases, na aproximação gradual a soluções específicas para cada uma das actividades, tendo em conta variáveis chave e no registo de todas as decisões tomadas. Este é um método altamente documentado e de valor formativo.

A acessibilidade é um dos princípios universais do *Design*. Este princípio determina que todas as adaptações criadas para facilitar a utilização de certos produtos por grupos específicos com limitações físicas, poderão beneficiar o utilizador genérico. A acessibilidade apresenta quatro características fundamentais: perceptibilidade, operabilidade, simplicidade e tolerância.

A usabilidade é definida como a eficiência com que um utilizador consegue executar certas tarefas num determinado produto. Este factor pode ser medido objectivamente pelo esforço necessário, pelo número de erros cometidos ou pelo nível de produtividade conseguidos na utilização de um determinado produto. O desenvolvimento de produtos com alta usabilidade é um processo adaptado de desenvolvimento de produto, no qual intervêm indivíduos com necessidades especiais em todas as fases em que é solicitada a intervenção de possíveis utilizadores.

O *Design* inclusivo abrange a filosofia da acessibilidade num princípio segundo o qual os produtos deverão ter um papel integrador das minorias com limitações físicas e intelectuais.

Os produtos electrónicos portáteis representam uma área de desenvolvimento de produto baseada em tecnologias específicas. Estes produtos apresentam propriedades particulares associadas à implementação da portabilidade e o seu desenvolvimento deve obedecer a um conjunto de princípios específicos integrados no processo genérico de desenvolvimento de produto. Alguns aspectos são particularmente importantes para o produto em desenvolvimento na presente Dissertação: interfaces, sensores, conexões externas, comunicação sem fios, armazenamento de dados, fontes de alimentação, *software*, placas de circuito impresso, montagem mecânica, carcaças (*housings*), gestão térmica, protecção e dimensões.

3. O Mecanismo e a Análise da Marcha Humana

3.1. Introdução

Neste capítulo, serão abordados os conceitos teóricos associados à área de intervenção do produto em desenvolvimento na presente Dissertação. Será descrito o mecanismo da marcha humana não patológica, distinguindo-se o passo, a passada e referindo-se as suas fases principais e a subdivisão das mesmas.

Uma vez que alguns dos métodos de análise (análise fisiológica) se baseiam na recolha de dados relativos à actividade muscular envolvida na marcha, esta é abordada de forma resumida, descrevendo-se as seis funções musculares específicas.

O exercício da marcha não patológica é marcado pela inclusão de mecanismos que minimizam a oscilação do centro de massa do corpo humano. As determinantes da marcha, como são designados esses mecanismos, são descritas referindo-se as estruturas envolvidas e a sua acção específica sobre o controlo da oscilação do centro de massa e a optimização do rendimento energético.

De seguida, enumeram-se os métodos mais utilizados actualmente em laboratórios de análise da marcha. Os métodos descritos são agrupados consoante a tipologia dos dados em que se baseia a sua análise, desde a pura observação visual à recolha objectiva de dados relativos à antropometria, cinemática, cinética e fisiologia. Para cada um dos métodos descritos, apresentam-se os sistemas tecnológicos envolvidos e o tipo de parâmetros que podem ser recolhidos.

3.2. O mecanismo da Marcha Humana

A marcha humana é um processo notável de locomoção de características específicas, no qual o corpo se move para a frente em posição erguida, sendo o seu peso suportado alternadamente por cada um dos membros inferiores. Caminhar é a forma mais conveniente de percorrer curtas distâncias.

Durante a infância, o ser humano aprende a caminhar de forma natural, experimentando individualmente a melhor forma de se deslocar até alcançar o padrão típico da marcha humana saudável. A existência de patologias ou a influência de factores exteriores podem levar ao desenvolvimento de padrões anormais de marcha. *De Lisa* (1998) divide os padrões de marcha anormais em dois grupos: a marcha antálgica e a marcha instável. A marcha antálgica ocorre quando o paciente altera o seu padrão de marcha em reacção à dor, a marcha instável ou irregular cobre todos os outros tipos de alterações ao padrão normal.

Tipicamente, num ser humano saudável, enquanto um membro suporta o peso do corpo, o outro avança em preparação para o mesmo papel, sendo a marcha composta por fases sucessivas de apoio e de oscilação. Integrados na fase de apoio existem breves períodos de duplo apoio (em que ambos os pés estão em contacto com o solo), cuja duração é sucessivamente reduzida com o aumento da velocidade, sendo inexistentes na corrida.

Uma passada é o equivalente a um ciclo completo de marcha, uma fase de apoio e uma fase de oscilação por parte de um mesmo membro. A duração de uma passada é o intervalo entre dois contactos sequenciais com o chão por parte de um membro tomado como referência. Normalmente identifica-se como a distância entre o ponto em que um calcanhar toca no chão e o ponto em que esse mesmo calcanhar volta a tocar no chão.

Um passo é reconhecido como o intervalo entre dois contactos sequenciais por parte dos membros contra-laterais. A distância entre o ponto em que um calcanhar toca no chão e o ponto em que o outro calcanhar toca no chão. Tipicamente, ambos os membros inferiores efectuem ciclos semelhantes separados por um passo, ou seja, meio ciclo.

Define-se como cadência, o número de passos executados num determinado intervalo de tempo, a unidade normalmente utilizada para a expressar é passos por minuto (passos/min). A velocidade da marcha é a distância percorrida pelo corpo por unidade de tempo numa determinada direcção, é normalmente expressa em metros por segundo (m/s).

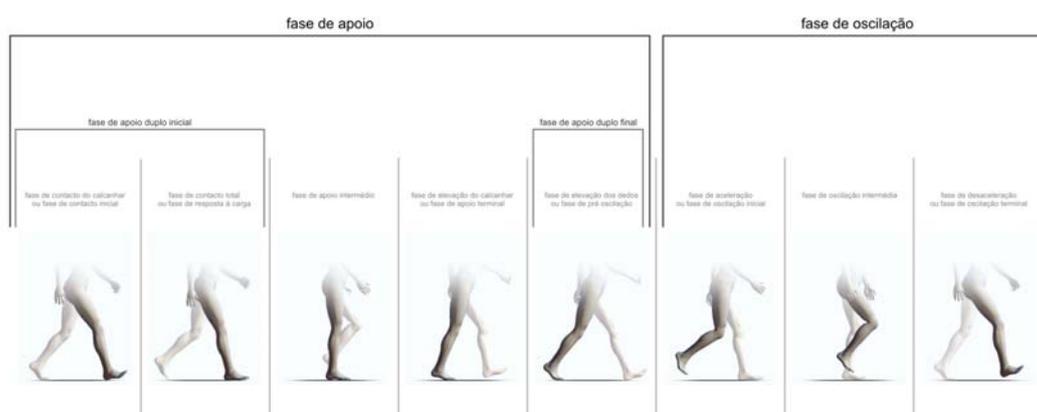


Figura 3.1 Diagrama descritivo das fases da marcha humana.

3.2.1. Fase de Apoio e Fase de Oscilação

Em condições de normalidade, à velocidade espontânea (a velocidade que cada indivíduo adopta naturalmente como a que representa o melhor desempenho energético), a fase de apoio corresponde a 60% do ciclo total da marcha e a fase de oscilação aos restantes 40%.

A fase de apoio é dividida em três segmentos: fase inicial de duplo apoio, fase intermédia de apoio simples e fase final de duplo apoio. Cada um dos segmentos de duplo apoio preenche 10% da fase de apoio da marcha. Durante os segmentos de duplo apoio, os dois membros não partilham tipicamente uma carga igual. A fase de oscilação de um membro corresponde à fase de apoio simples do outro membro.

Alterações na velocidade da marcha correspondem a pequenas alterações nas percentagens de apoio e de oscilação. A transição da marcha para a corrida é marcada pela eliminação dos segmentos de duplo apoio. Pelo contrário, a marcha patológica é quase sempre caracterizada por um incremento da fase de apoio.

Cada passada é subdividida em oito fases relevantes: O apoio é composto por cinco fases, as restantes três acontecem durante a oscilação.

Subdivisão da fase de apoio:

1. Fase de contacto inicial (ocorre tipicamente no intervalo 0-2% do ciclo total da marcha);
2. Fase inicial de apoio ou de resposta à carga (0-10%);
3. Fase de apoio intermédio (10-30%);
4. Fase de apoio final (30-50%);
5. Fase de pré oscilação (50-60%).

Na fase de apoio, em condições de normalidade, o contacto com o solo é iniciado através do calcanhar e finalizado através do hálux (o dedo grande do pé). Uma das marcas mais importantes da fase de apoio é a progressão do centro de pressão plantar ao longo da planta do pé, entre os dois pontos referidos. Tipicamente, em marcha espontânea, as fases 1 e 2 de um membro correspondem sensivelmente às fases 4 e 5 do membro contra-lateral, representando os períodos de duplo apoio.

Subdivisão da fase de oscilação:

6. Fase de oscilação inicial (60-73%);
7. Fase de oscilação intermédia (a fase em que os pés se encontram lado a lado, o pé contra-lateral está na fase de apoio intermédio, ocorre tipicamente no intervalo 73-87%);
8. Fase de oscilação final (87-100%).

Na fase de oscilação, um membro eleva-se do solo, e avança para a frente, em preparação para a fase de apoio. A fase de oscilação corresponde sensivelmente à fase de apoio intermédio do membro contra-lateral e representa o período de apoio simples.

3.2.2. Actividade Muscular

O exercício da marcha envolve actividade muscular complexa. A principal actividade regista-se naturalmente ao nível dos membros inferiores, contudo existem solicitações noutros grupos musculares distantes. Numa abordagem simplificada, vamos considerar apenas a actividade muscular mais significativa para o exercício da marcha normal ao nível da anca, joelho, perna e pé. Como veremos adiante, num contexto de análise da marcha, a actividade muscular pode ser avaliada através da utilização de um equipamento de electromiografia dinâmica, uma forma de análise fisiológica.

Segundo *De Lisa* (1998) A actividade muscular durante a marcha é associada a seis funções diferentes, exercidas por músculos diferentes, em períodos específicos do ciclo da marcha:

- Absorção de choques;
- Estabilização;
- Levantamento do pé;
- Aceleração;
- Controlo do pé;
- Desaceleração.

A seguinte tabela apresenta os principais músculos ou grupos de músculos envolvidos no exercício da marcha, a função associada e as fases do ciclo da marcha em que são solicitados. As imagens seguintes ilustram todos os músculos e grupos musculares da coxa e da perna.

Tabela 3.1 Principais músculos ou grupos de músculos envolvidos no exercício da marcha

| Músculo | Função | Fases do ciclo da marcha |
|---|---------------------|--|
| Gastrocnémio e Sóleo | Levantamento do pé | Do apoio intermédio ao contacto inicial |
| Glúteo Máximo | Estabilizador | Do contacto inicial ao apoio intermédio |
| Glúteo Médio e Glúteo Mínimo | Estabilizadores | Do contacto inicial à pré-oscilação |
| Grupo Flexor (Bíceps femoral, Semi-tendinoso e Semi-membranoso) | Desaceleradores | Da oscilação intermédia ao contacto inicial |
| Ílioas e Abdutores (Abdutor Magno, Longo e Curto) | Aceleradores | Da pré-oscilação à oscilação intermédia |
| Músculos Quadriceps (Vasto Lateral, Vasto Intermédio, Vasto Medial e Vasto Femoral) | Absorção de choques | Do contacto inicial ao apoio intermédio; Da pré-oscilação à oscilação intermédia |
| Tíbio Anterior e Músculos Peroniais | Controlo do pé | Do contacto inicial ao apoio intermédio; Da pré-oscilação ao apoio inicial |

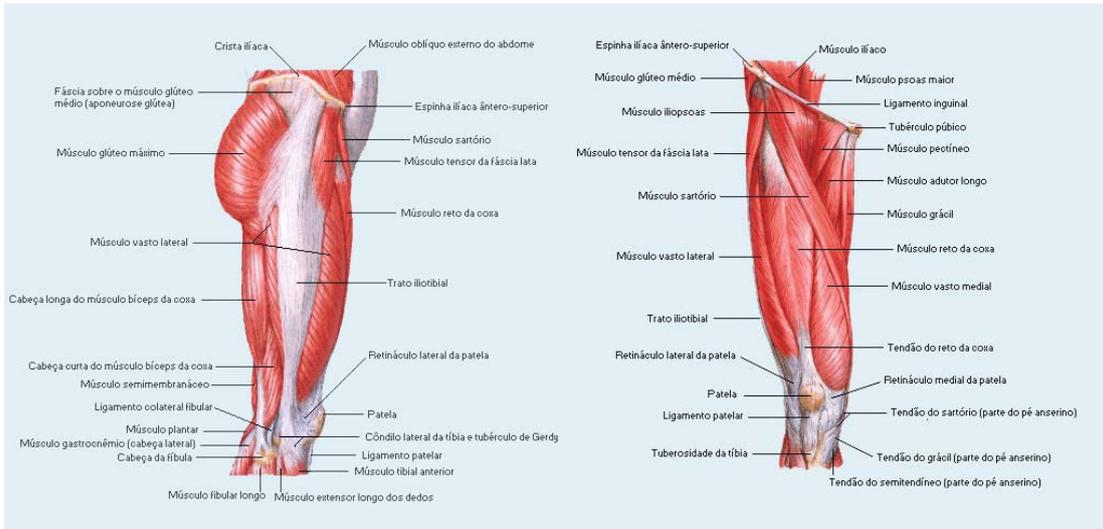


Figura 3.2 Músculos superficiais laterais e anteriores da coxa (imagem adaptada de [Netter, 2000]).

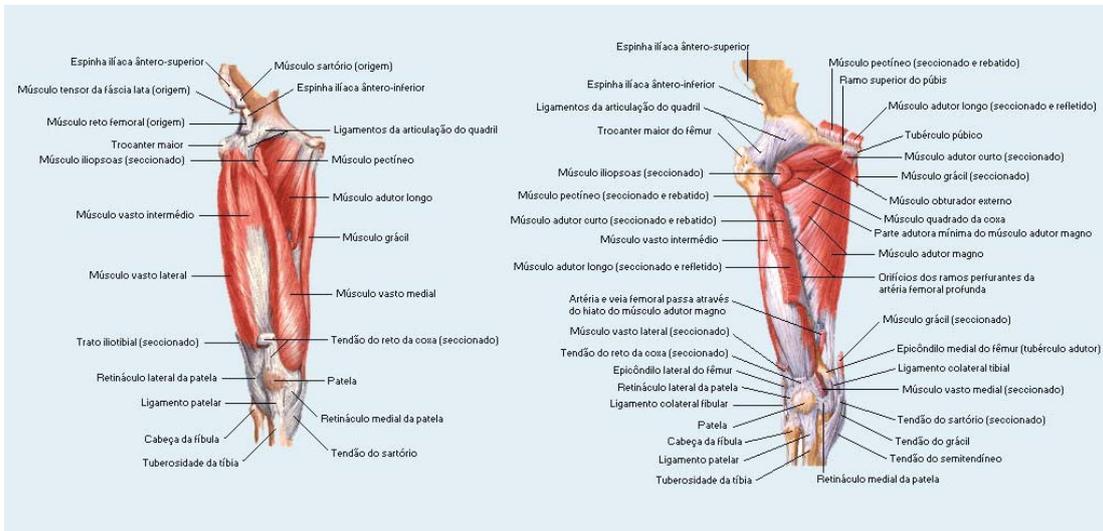


Figura 3.3 Músculos intermédios e profundos anteriores da coxa (imagem adaptada de [Netter, 2000]).

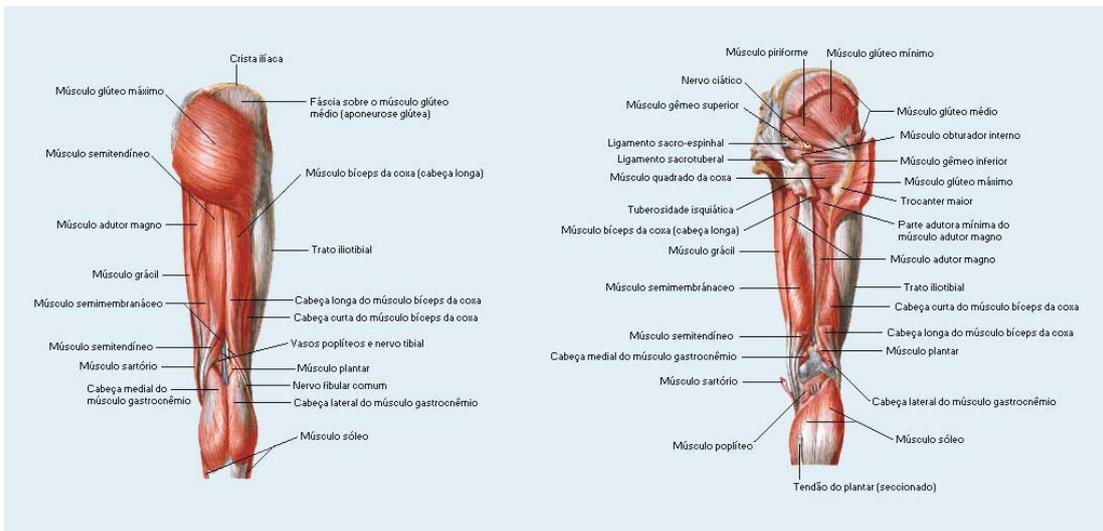


Figura 3.4 Músculos superficiais e profundos posteriores da coxa (imagem adaptada de [Netter, 2000]).

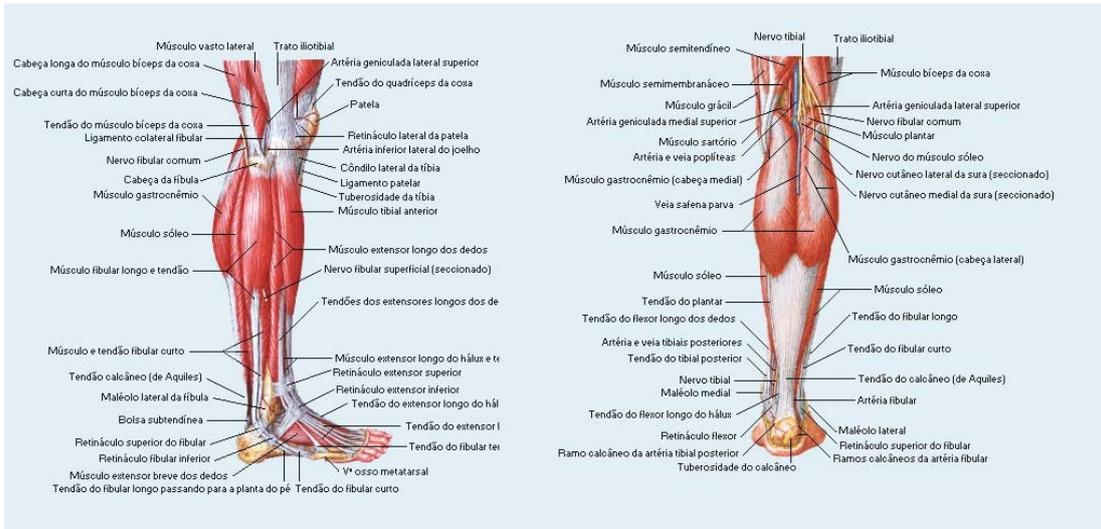


Figura 3.5 Músculos superficiais laterais e posteriores da perna (imagem adaptada de [Netter, 2000]).

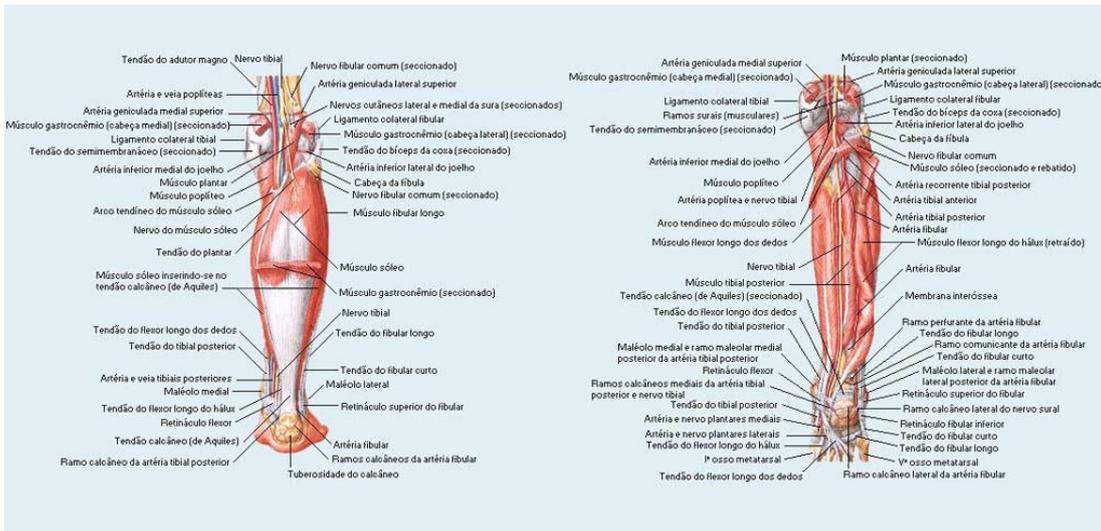


Figura 3.6 Músculos intermédios e profundos posteriores da perna (imagem adaptada de [Netter, 2000]).

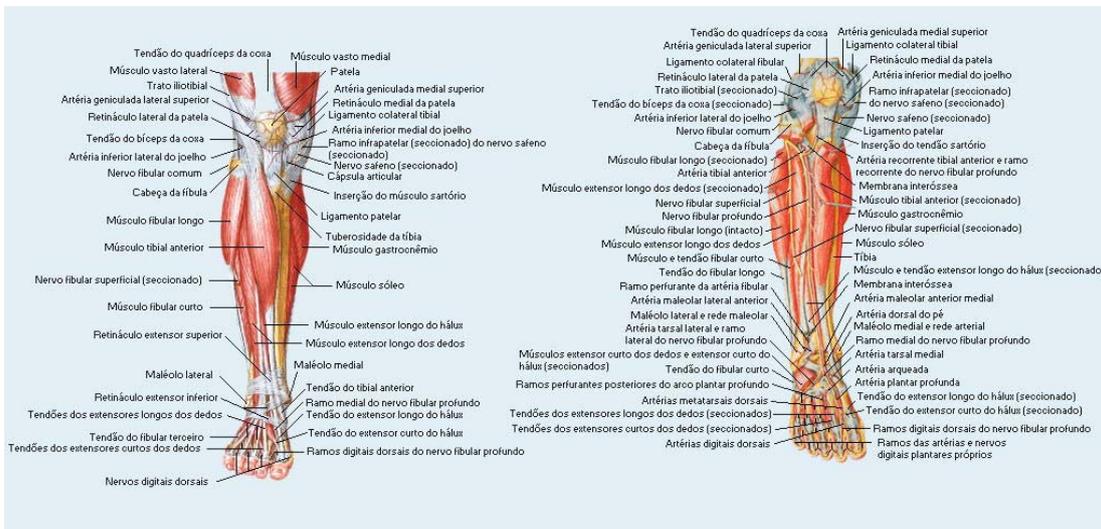


Figura 3.7 Músculos superficiais e profundos anteriores da perna (imagem adaptada de [Netter, 2000]).

3.2.3. Determinantes da Marcha

O Centro de massa (CDM) de um corpo humano em repouso localiza-se normalmente num ponto abaixo da segunda vértebra sacral, entre as articulações superiores das tíbias. Em termos de rendimento energético, o ideal seria que, durante a marcha, a deslocação do CDM descrevesse uma linha perfeitamente recta, mas essa situação só é possível em corpos que deslizem sobre rodas. Num indivíduo normal, em termos de deslocação vertical, o CDM descreve um movimento rítmico ascendente e descendente, atingindo o seu ponto mais alto na fase de apoio intermédio e o ponto mais baixo na fase de duplo apoio. Em termos de deslocação horizontal, à medida que o peso do corpo é transferido de uma perna para outra, o CDM oscila aproximadamente 5 cm para cada lado, atingindo os seus limites durante a fase de apoio intermédio.

Se limitássemos o exercício da marcha à acção puramente motora dos membros inferiores, as oscilações referidas seriam de grande amplitude o que representaria desperdícios energéticos elevados. *Saunders e Inman* (1953) identificam seis mecanismos diferentes que integram o exercício da marcha com a finalidade de minimizar essas oscilações, esses mecanismos designam-se “determinantes da marcha”:

- Rotação pélvica;
- Inclinação (ou queda) pélvica;
- Flexão do joelho no apoio médio;
- Contacto mediante o calcanhar;
- Levantamento mediante o ante-pé;
- Alinhamento fisiológico do joelho.

As determinantes da marcha, conforme descritas pelos autores referidos, são factores mecânicos que convertem as oscilações do CDM numa linha suave, marcada por transacções sinusoidais de baixa amplitude que optimizam o custo energético da marcha.

As descrições que se seguem utilizam as designações convencionadas pela Sociedade Internacional de Biomecânica (ISB) para os eixos de coordenadas e planos a utilizar na análise da marcha:

$$X = \text{para a frente; } Y = \text{para cima; } Z = \text{para a direita.} \quad (1)$$

$$XY = \text{plano sagital; } YZ = \text{plano frontal (ou coronal); } XZ = \text{plano horizontal.} \quad (2)$$

A rotação pélvica no plano horizontal descreve um ângulo aproximado de 4°. Consiste na rotação da anca, estando o tronco erguido e o joelho completamente distendido. O mecanismo da rotação pélvica incrementa o avanço do corpo, alonga o passo, diminui a oscilação do centro de gravidade e reduz o impacto com o solo.

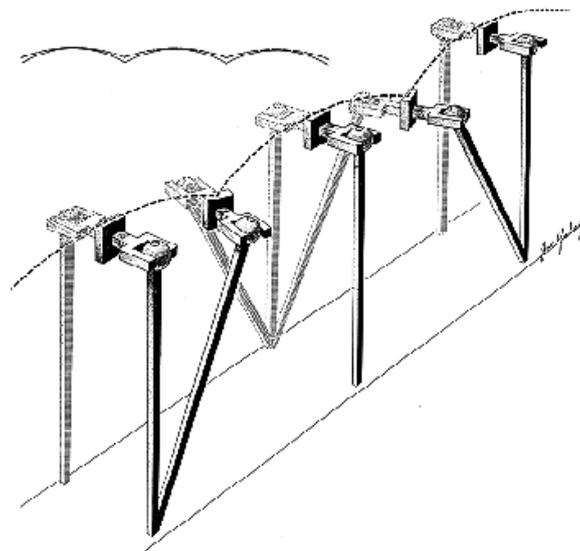


Figura 3.8 Rotação pélvica no plano horizontal (o modelo caminha no sentido do afastamento) (imagem de [Saunders, 1953]).

A inclinação pélvica é efectuada no plano frontal num ângulo aproximado de 5° . Acontece na direcção do membro oscilante e é acompanhada pela flexão do joelho e pela flexão dorsal do tornozelo. O efeito mais evidente é a suavização da trajectória vertical do tronco.

A flexão do joelho acontece aproximadamente a meio da fase de apoio intermédio e tem uma amplitude aproximada de 15° em velocidade espontânea. Reduz a oscilação vertical da anca (e do CDM) pela diminuição do comprimento da perna.

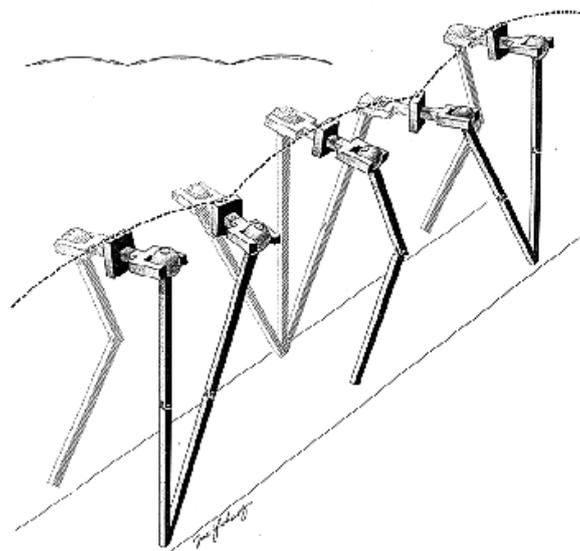


Figura 3.9 Inclinação pélvica no plano frontal e flexão do joelho na fase de apoio intermédio (imagem de [Saunders, 1953]).

O contacto mediante o calcanhar e o levantamento mediante o ante-pé representam sequências de actuações musculares ao nível do pé que contribuem para suavizar a

trajectória do centro de massa do corpo. Ambos incrementam o comprimento da perna nos momentos em que a altura da anca é inferior.

Os três últimos mecanismos citados são por vezes considerados conjuntamente como “coordenação dos mecanismos do joelho, calcanhar e pé”.

O alinhamento fisiológico do joelho é uma característica anatómica que permite a diminuição da oscilação lateral do centro de massa do corpo. Num ser humano normal, a articulação do joelho está naturalmente deslocada para o centro do corpo no plano frontal, deste modo a tíbia mantém-se na vertical durante a marcha. O deslocamento lateral do centro de massa do corpo é reduzido para 2 a 2,5cm para cada lado.

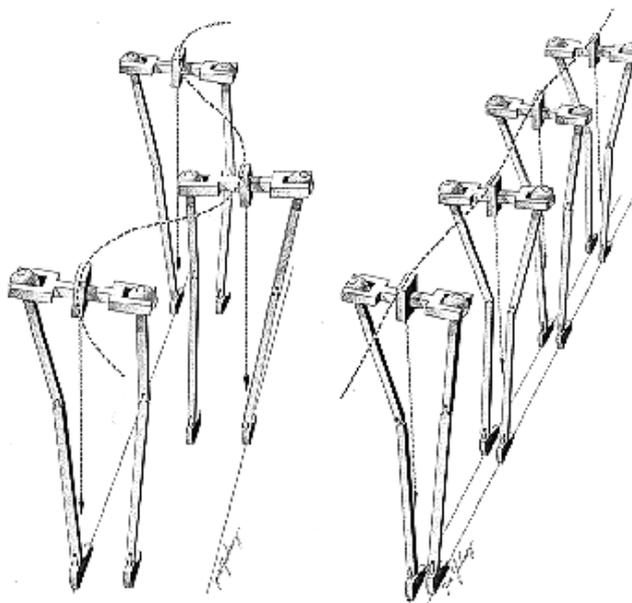


Figura 3.10 Alinhamento fisiológico do joelho (imagem de [Saunders, 1953]).

3.3. Análise da Marcha Humana

A análise da marcha consiste basicamente na obtenção das características específicas da marcha de um indivíduo e na análise comparativa com as características consideradas normais.

Normalmente, a pura observação por parte de um especialista experiente é suficiente para a identificação das patologias mais vulgares. Este método, sem quaisquer ajudas instrumentais, só é suficiente nos casos em que as patologias provoquem anormalidades notáveis na marcha. Uma vez que um ciclo completo de marcha dura apenas pouco mais que um segundo, uma análise visual efectiva tem que ser necessariamente uma aproximação clínica sistemática e disciplinada. A marcha é um mecanismo complexo e a sua complexidade aumenta no caso de existirem patologias.

O recurso a um método particular de análise visual instrumentada é condicionado pelo tipo de patologia que se pretende avaliar e pelos recursos disponíveis. Para uma análise integral da marcha de um paciente, no contexto de um laboratório de análise da marcha, utilizam-se normalmente, em simultâneo, mais do que apenas um dos métodos abaixo descritos.

3.3.1. Análise Visual Instrumentada

A análise visual pode ser auxiliada pela utilização de uma passadeira de espelhos ou de um equipamento de registo de imagem (fotogrametria).

Uma passadeira de espelhos é um equipamento de concepção simples, constituído por espelhos posicionados em ângulos específicos relativamente a uma passadeira. Permite a visualização da marcha de um indivíduo sob diferentes pontos de vista em simultâneo.

A utilização de equipamentos de registo de imagem (fotografia sequencial ou vídeo) permite que a marcha de teste de um indivíduo possa ser executada apenas uma vez (evitando o cansaço de um paciente), registada permanentemente e observada inúmeras vezes. A informação visual relativa ao exercício da marcha pode ser melhorada pela aplicação de marcadores fluorescentes (marcadores passivos) ou de emissores de luz (marcadores activos), aplicados em pontos-chave do corpo do indivíduo a ser analisado. São necessários pelo menos três marcadores por segmento de um membro, que deverão ser registados por mais do que uma câmara, uma vez que os movimentos envolvidos na marcha não se limitam a um plano, envolvem deslocações e rotações nos três eixos.

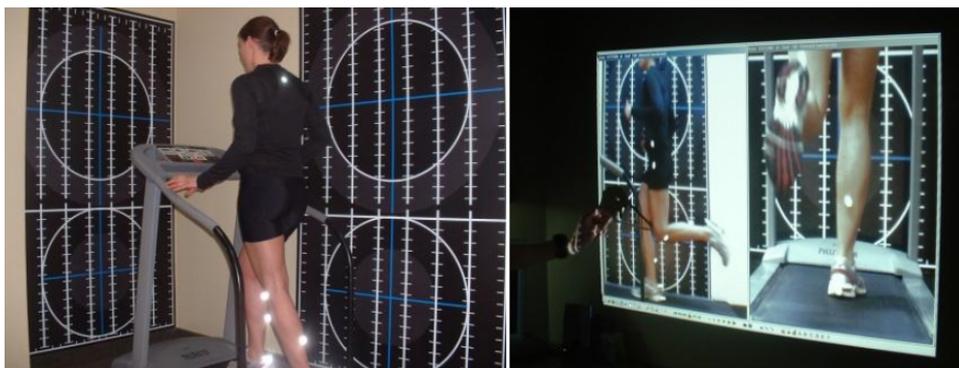


Figura 3.11 Fotogrametria da marcha com recurso a marcadores fluorescentes. São utilizadas duas câmaras, a imagem de fundo é utilizada para determinar a posição relativa de cada marcador (imagem adaptada de [www.strideevolutions.ca]).

Um conjunto de espelhos pode ser utilizado num contexto de registo de imagem para simplificar o sistema e permitir a recolha de informação tridimensional utilizando apenas uma câmara. Nos sistemas mais aperfeiçoados, um programa informático processa e interpreta a informação relativa às coordenadas de cada marcador, esta forma de

determinação dos parâmetros da marcha ultrapassa a mera análise visual e designa-se fotogrametria.

3.3.2. Determinação dos Parâmetros Gerais da Marcha

Utilização de cronómetro e fita métrica

Uma das formas mais simples de se obter os parâmetros gerais da marcha de um indivíduo é pela utilização de um cronómetro e de uma fita métrica. Para este processo, o corredor destinado à marcha de teste deverá ter cerca de 10 metros de comprimento. Para determinar a cadência, contam-se o número de passos para ambas as pernas, realizados num determinado intervalo de tempo. A cadência é calculada pela equação:

$$\text{cadência (passos/min)} = \text{número de passos} \times 60 / \text{tempo (s)}. \quad (3)$$

A velocidade determina-se medindo o tempo que o indivíduo demora a percorrer uma distância pré-definida sendo calculada pela equação:

$$\text{velocidade (m/s)} = \text{distância (m)} / \text{tempo (s)}. \quad (4)$$

É possível determinar indirectamente o comprimento da passada, conhecendo-se a cadência e a velocidade, pela fórmula:

$$\text{comprimento da passada (m)} = \text{velocidade (m/s)} \times 120 / \text{cadência (passos/min)}. \quad (5)$$

Um método muito utilizado consiste em aplicar pó de talco na planta dos pés de forma que os passos fiquem marcados no solo. Desta forma é fácil determinar o comprimento da passada, o comprimento dos passos para cada perna, o ângulo e a largura do passo. O mesmo método permite observar a impressão plantar e identificar anomalias no apoio do pé.

Interruptores plantares

Os interruptores plantares são dispositivos baseados em contactos eléctricos que, quando aplicados na planta do pé ou sob o calçado, permitem detectar os momentos de impacto do pé com o solo. Aplicando um destes dispositivos no calcanhar (A) e outro no ante-pé (B), é possível identificar o momento de contacto do calcanhar (A=1, B=0), o apoio completo (A=1, B=1), o levantamento do calcanhar (A=0, B=1) e o levantamento dos dedos (A=0, B=0). Aplicando estes elementos em ambos os pés, identificam-se os períodos de apoio simples e duplo. Associando estes dados à função tempo, obtêm-se valores para a cadência da marcha, duração de cada fase do apoio e duração da oscilação.



Figura 3.12 Conjunto de interruptores plantares do sistema portátil *Stride Analyzer* produzido pela *B & L Engineering* (imagem adaptada de [www.bleng.com]).

Passadeira instrumentada

A utilização de uma passadeira instrumentada permite a obtenção dos mesmos dados que os interruptores plantares bem como a posição dos pés. A passadeira instrumentada é constituída por um determinado número de contactos eléctricos que são accionados pelos passos do indivíduo em marcha. A resolução do dispositivo depende do número de elementos com que é instrumentado.

Um dos inconvenientes técnicos destes dois sistemas é a dificuldade de conservação dos contactos eléctricos, tendo em conta as forças que lhes são aplicadas.

3.3.3. Técnicas Antropométricas

A antropometria é o ramo da antropologia que estuda as medidas do corpo humano. No passado, a antropometria centrava-se essencialmente nos aspectos evolutivos, hoje em dia tornou-se uma ferramenta indispensável no desenvolvimento de produtos que interajam com o corpo humano. A antropometria pode dividir-se na antropometria estática e na antropometria funcional ou dinâmica. A antropometria estática mede as dimensões dos membros quando o corpo adopta uma postura imóvel e normalizada. A antropometria funcional ou dinâmica descreve as trajectórias, a amplitude de movimentos e as características dinâmicas do corpo em movimento. A medição antropométrica pode ser efectuada por técnicas directas ou indirectas.

A medição indirecta baseia-se na utilização de tabelas antropométricas, sendo conhecidos certos dados que caracterizem suficientemente o indivíduo. Alguns dos parâmetros calculados por antropometria indirecta são: o comprimento, a densidade, a massa, o centro de massa, o momento de inércia dos segmentos do corpo humano, a força e a variação do comprimento dos músculos.

A medição directa é o levantamento objectivo de dimensões e massas, utilizando instrumentos específicos.



Figura 3.13 Utilização de um medidor de segmentos *Segmometer 4* da *Rosscraft Instruments* (imagem adaptada de [www.rosscraft.ca])

3.3.4. Análise Cinemática

Goniómetros

Um goniómetro (ou angulómetro) é, genericamente, um instrumento que efectua a medição de ângulos. Um electrogoniómetro converte a rotação de uma articulação na rotação de um potenciómetro, a variação do sinal eléctrico corresponde à variação angular dos segmentos da articulação. Estes dispositivos têm algumas limitações, mas as vantagens deste método incluem a facilidade de utilização, disponibilidade imediata dos dados e o baixo custo comparativamente, por exemplo, às técnicas de recolha de vídeo anteriormente descritas.

Um electrogoniómetro triaxial possui uma estrutura de potenciómetros mais complexa que permite a recolha de dados tridimensionais do movimento de uma articulação. Para uma análise completa da variação angular dos membros inferiores é necessária a utilização de pelo menos três electrogoniómetros em cada membro; na articulação da anca, na articulação do joelho e na articulação do tornozelo.

Existe um outro tipo de goniómetros baseados em fitas extensométricas, que sendo mais simples e menos volumosas podem efectuar as mesmas medições. Este tipo de sensores são biaxiais podendo medir simultaneamente, por exemplo, a flexão-extensão e a abdução-adição de uma mesma articulação.



Figura 3.14 Sistema de electrogoniómetros produzido pela *MIE-Medical Research Ltd* (imagem adaptada de [www.mie-uk.com]).

Equipamentos de ultra sons

Estes equipamentos funcionam através da emissão e captação de sons de alta-frequência. Um equipamento de ultra sons para análise da marcha é um digitalizador tridimensional com quatro microfones instalados em pontos fixos da sala e uma série de pequenos emissores colocados em pontos-chave do corpo do indivíduo. Estes emissores são activados sequencialmente e o tempo que o som demora a atingir cada um dos microfones é utilizado para medir a sua posição relativa. A principal vantagem destes equipamentos é a sua elevada resolução espacial.

Acelerómetros

Um acelerómetro é um dispositivo utilizado frequentemente em Engenharia mecânica que converte a aceleração num sinal eléctrico. De uma forma geral, o seu funcionamento baseia-se na inércia de uma massa disposta num captador de forças e na segunda lei de Newton: $F = m \times a$. Existem acelerómetros capazes de medir acelerações em todas as direcções. No contexto de análise da marcha, um acelerómetro permite estudar as vibrações produzidas pelo impacto do pé no solo, ao longo de todo o corpo até ao crânio. A captação do impacto permite que também funcionem como interruptores plantares, sendo mais resistentes que estes. Uma vez que detectam a componente gravidade também podem ser utilizados como inclinómetros para detectar variações angulares. Estes dispositivos são imprescindíveis para a medição do efeito amortecedor do calçado ou de uma prótese. As principais vantagens dos acelerómetros são o seu custo reduzido, bem como a possibilidade de facultarem dados em tempo real.

3.3.5. Análise Cinética

Plataformas dinamométricas

Uma plataforma dinamométrica é um instrumento electrónico que permite medir e analisar a força de reacção do solo em resultado da acção de um indivíduo sobre este, no exercício da marcha. Este dispositivo é colocado ao nível do solo, normalmente embutido no pavimento com uma cimentação adequada, para que não exista nenhum desnível. Consiste numa plataforma rígida, geralmente rectangular, sob a qual existem sensores de força extensométricos e piezoeléctricos, normalmente dispostos nos quatro cantos da plataforma. Quando um indivíduo caminha sobre a plataforma, a força exercida pelo pé reparte-se entre os quatro sensores que geram os sinais eléctricos correspondentes. Para a análise das forças de reacção na fase de duplo apoio, podem utilizar-se duas plataformas em simultâneo. A informação adquirida pelos sensores é processada por um computador e apresentada em gráficos. Alguns dos parâmetros obtidos por uma plataforma dinamométrica dupla são: forças máximas e mínimas em todos os sentidos, instantes em que se verificam esses valores, tempo de apoio, tempo de oscilação e tempo de duplo apoio. Os vectores de força medidos podem ser considerados independentemente (por exemplo: força vertical e forças de deslizamento) ou em conjunto, como vectores resultantes de força de reacção do solo.

Técnicas de medição da pressão plantar

Durante o exercício da marcha, o pé adapta-se constantemente para melhorar a interface do corpo com o solo, contribuindo para uma locomoção efectiva. Os pontos básicos de carga na planta do pé são o calcanhar, as cabeças dos cinco metatarsos e o hálux. Tipicamente, na marcha normal, o centro de pressão plantar localiza-se inicialmente no calcanhar na fase de contacto inicial, avança pela parte lateral exterior da planta do pé até à zona das cabeças dos metatarsos e termina no hálux, na fase de pré oscilação. A distribuição da pressão plantar pode ser observada pela utilização de um podoscópio, ou medida por pedobarógrafos, podómetros e palmilhas instrumentadas.

Um podoscópio é um dispositivo simples que constitui o estereótipo das técnicas qualitativas de análise da pressão plantar. Consiste numa superfície transparente sobre a qual o indivíduo apoia o pé. A imagem da planta do pé pode ser observada na outra face dessa superfície. Normalmente existe um sistema de espelhos ou de iluminação que tornam a observação mais efectiva.



Figura 3.15 Podoscópio *Podo'line* da *Ella*. Construído em acrílico e dotado de uma base reflectora iluminada (imagem de [www.distrimed.com]).

A utilização do pedobarógrafo é considerada uma técnica semi-quantitativa. Um pedobarógrafo é uma extensão do podoscópio, no qual uma esteira de material elástico é colocada entre o pé e a superfície transparente. Essa esteira possui diversas semi-esferas elásticas na parte inferior que se deformam sob o efeito da pressão plantar. A imagem resultante na face inferior da superfície transparente é um mapa de círculos em que os círculos maiores representam as áreas de maior pressão.

Os podómetros e as palmilhas instrumentadas constituem as técnicas quantitativas mais importantes para a medição da pressão plantar e para a análise da marcha em geral. São constituídos por um conjunto de sensores que convertem a pressão num sinal eléctrico (piezoeléctricos) que no caso do podómetro são dispostos numa plataforma fixa (tapete), sobre a qual o indivíduo a ser analisado efectua alguns passos e no caso das palmilhas, aplicados directamente sob a planta do pé. Os podómetros são normalmente instrumentados com uma matriz de sensores cujo número determina a precisão do dispositivo. As palmilhas podem ser instrumentadas com uma matriz semelhante, ou possuir um número de sensores limitado às zonas principais de distribuição da pressão plantar; o calcanhar, a cabeça dos cinco metatarsos e o hálux. Para ambos os casos a informação adquirida é processada por um computador, os sistemas de palmilha instrumentada mais avançados são integralmente portáteis.

3.3.6. Análise Fisiológica

Electromiografia dinâmica

A acção de um músculo não pode ser medida directamente. Um electromiograma (EMG) consiste na medição indirecta da actividade muscular através da detecção dos sinais eléctricos gerados pelas células musculares em contracção. Essa detecção é feita pela aplicação de eléctrodos (agulhas) inseridos no tecido muscular ou pela aplicação de eléctrodos superficiais, sendo este último processo menos rigo-

roso mas de utilização mais simples e sobretudo confortável para o paciente. A amplitude do sinal eléctrico observada é proporcional à força exercida pelo músculo.



Figura 3.16 Utilização do sistema EMG sem fios *Myomonitor* da *Delsys* (imagem de [www.delsys.com]).

Numa electromiografia dinâmica (em que existe movimento das articulações), num contexto de análise da marcha, obtêm-se dados relativos à actividade muscular dos vários músculos envolvidos no exercício da marcha.

Medição do consumo energético

O movimento dos membros depende da acção muscular, a contracção dos músculos implica utilização de energia. O metabolismo é o processo de transformação de substâncias químicas em energia pelas células do corpo. A análise da energia dispendida no exercício da marcha é uma forma de quantificar a efectividade da marcha, um consumo desproporcional de energia indicia a existência de disfunções, por exemplo ao nível das condicionantes da marcha. Essa análise pode ser feita por dois processos, a calorimetria directa ou, uma vez que as reacções metabólicas consomem oxigénio, pela medição do volume de oxigénio consumido (calorimetria indirecta).

A calorimetria directa é um método pouco fiável, no qual se determina a produção de calor corporal e trabalho.

A calorimetria indirecta é a medição do volume de oxigénio consumido por peso do corpo, este processo permite a comparação entre indivíduos e proporciona informação sobre o desempenho global da marcha. A medição do oxigénio consumi-

do é efectuada sob condições constantes de temperatura e pressão, e na ausência de vapor de água. Esta medição permite obter os seguintes dados:

- Consumo ou taxa de oxigénio – representa a quantidade de oxigénio consumido por minuto e por quilograma de peso;
- Custo do oxigénio – descreve a quantidade de energia necessária por quilograma para percorrer um metro;
- Eficiência da marcha normalizada (%) – relaciona o custo energético de um paciente com o custo médio de indivíduos saudáveis, calcula-se através da fórmula: $\text{eficiência} = (100 \times \text{custo energético normal}) / (\text{custo energético do paciente})$.

3.4. Conclusão

A marcha humana é um mecanismo complexo de características singulares no reino animal. A marcha de cada pessoa é marcada por factores anatómicos individuais. No entanto, salvaguardando as devidas tolerâncias, podemos nos referir a um padrão de marcha normal, a partir do qual se pode caracterizar a marcha de todos os seres humanos. A descrição do mecanismo da marcha humana centra-se no intervalo entre dois contactos sequenciais por parte de um mesmo pé com o solo, este intervalo é designado como um passo. Sendo assim, o processo da marcha humana é marcado por duas fases principais: a fase de apoio e a fase de oscilação. Cada uma destas fases pode ser subdividida num total de oito sub fases que correspondem a momentos específicos do passo:

Subdivisão da fase de apoio:

1. Fase de contacto inicial;
2. Fase inicial de apoio ou de resposta à carga;
3. Fase de apoio intermédio;
4. Fase de apoio final;
5. Fase de pré oscilação.

Subdivisão da fase de oscilação

6. Fase de oscilação inicial;
7. Fase de oscilação intermédia;
8. Fase de oscilação final.

Numa abordagem simplificada, a actividade muscular durante o exercício da marcha resume-se a seis funções específicas: absorção de choques, estabilização, levantamento do pé, aceleração, controlo do pé e desaceleração. Em cada uma destas acções intervêm músculos, ou grupos de músculos específicos. Cada uma dessas acções acontece num determinado momento associado às oito sub fases acima descritas.

O exercício da marcha não patológica é caracterizado pela inclusão das determinantes da marcha. Estas determinantes são seis mecanismos que minimizam a oscilação do centro de massa do corpo e otimizam o rendimento energético da marcha:

- Rotação pélvica;
- Inclinação (ou queda) pélvica;
- Flexão do joelho no apoio médio;
- Contacto mediante o calcanhar;
- Levantamento mediante o ante-pé;
- Alinhamento fisiológico do joelho.

A análise da marcha consiste na obtenção das características específicas da marcha de um indivíduo e na análise comparativa com as características consideradas normais nos termos anteriormente descritos.

A forma mais simples de análise consiste na pura observação da marcha de um indivíduo, esta observação pode ser aperfeiçoada pela inclusão de sistemas de espelhos, de marcadores colocados em pontos-chave dos membros ou pela utilização de equipamentos de registo de imagem. A determinação dos parâmetros gerais da marcha é um método de análise igualmente simples, através do qual se obtêm dados elementares como: a cadência, a velocidade, o comprimento da passada e os momentos de contacto e levantamento do pé. As técnicas de análise antropométrica referem-se ao levantamento de dados relativos às dimensões que caracterizam um indivíduo durante a marcha e à comparação com dados considerados normais, constantes em tabelas antropométricas. A análise cinemática refere-se à recolha de dados relativos ao movimento e à posição relativa dos vários segmentos de um membro durante o ciclo da marcha. A análise cinética centra-se na recolha das forças envolvidas no exercício da marcha, inclui a análise das forças exercidas pelo contacto do pé com o solo e a distribuição da pressão plantar. A análise fisiológica consiste na recolha de dados relativos ao desempenho do corpo. Esse desempenho pode ser avaliado através da medição da acção muscular ou do consumo energético verificados durante o exercício da marcha.

4. Equipamentos

4.1. Introdução

Num projecto de desenvolvimento de produto é importante efectuar-se um levantamento dos dispositivos e tecnologias similares que possam eventualmente existir. Para o caso das patentes, é importante recolher as tecnologias registadas, a fim de evitar a utilização abusiva de propriedade intelectual. Esta recolha terá sempre interesse formativo e aplicação na fase de desenvolvimento de conceitos. Relativamente aos produtos comerciais, o levantamento das suas características é fundamental para efeitos de *Benchmarking*. Esta acção consiste na análise comparativa das funcionalidades dos produtos existentes com as do produto em desenvolvimento na presente Dissertação. Uma vez que se pretende que o mesmo seja lançado no mercado, convém saber até que ponto as necessidades dos potenciais utilizadores se encontram supridas pelos produtos existentes e quais os aspectos a explorar neste mercado.

No presente capítulo, além da descrição das patentes e dos produtos comerciais analisados, descreve-se a componente tecnológica a incorporar no produto em desenvolvimento. Esta componente, no contexto da teoria do desenvolvimento de produto, corresponde ao trabalho da Engenharia incluída na função integralmente definida como *Design*.

4.2. Patentes

Uma patente é um conjunto de direitos exclusivos atribuídos por uma entidade governamental a um indivíduo ou a uma organização por um determinado período de tempo. As patentes abaixo descritas foram seleccionadas pela sua afinidade com o projecto em causa. Foram privilegiadas patentes respeitantes a produtos que se assemelhassem ao produto a desenvolver na presente Dissertação, em termos de portabilidade, tipo de dados adquiridos, método de aquisição de dados, forma de processamento de dados e contexto de utilização.

De entre as patentes seleccionadas diferenciam-se dispositivos genéricos para utilização em laboratórios e dispositivos para aplicações portáteis. Foi seleccionado um outro grupo de patentes, as quais apresentam soluções que mesmo fora do contexto de utilização do projecto, se associam ao mesmo em termos de materiais, tecnologias, afinidades ergonómicas e outros aspectos inerentes. As patentes são apresentadas por ordem cronológica para que de alguma forma se possa observar a evolução deste tipo de dispositivos. O processo evolutivo é notório, por exemplo, ao nível da integração de novos materiais e da aplicação de tecnologias de processamento de dados.

4.2.1. Descrição das Patentes Pesquisadas

Patente nº 4,267,728

Data: 19 de Maio de 1981

Inventores: *Michael T. Manley, Edward G. Solomon*

Designação: Aparelho para análise das forças que actuam sobre o pé humano.

Este aparelho utiliza duas câmaras de vídeo para obter imagens da passada e da superfície plantar do sujeito, sendo as segundas obtidas através de uma plataforma transparente. A plataforma é composta por uma série de feixes, sendo cada um capaz de detectar a carga imposta sobre ele. O aparelho apresenta para análise visual e registo, as duas imagens obtidas juntamente com um gráfico de distribuição da pressão plantar.

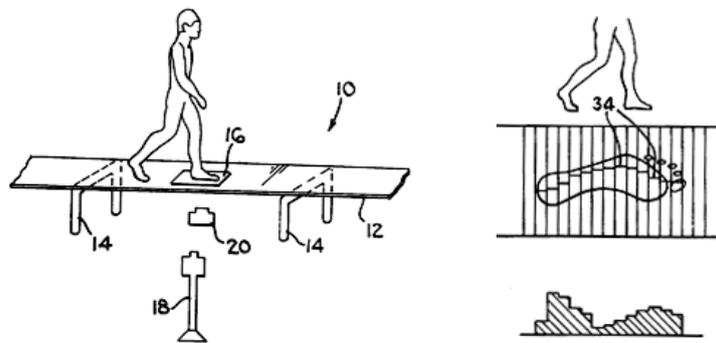


Figura 4.1 Aparelho para análise das forças que actuam sobre o pé humano (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº 4,631,676

Data: 23 de Dezembro de 1986

Inventor: *James W. Pugh*

Designação: Sistema vídeo para análise da marcha e do movimento

Um marcador reflector é colocado na parte frontal de cada articulação da pessoa cujo movimento da passada está a ser analisado. Cada um destes marcadores é constituído por fita reflectora e é relativamente pequeno e sem peso, de forma a não afectar os movimentos da pessoa. Dois analisadores de movimento *Sony*, operando a sessenta imagens por segundo são posicionados respectivamente na frente e num dos lados de um trajecto marcado por uma linha central, ao longo da qual a pessoa a analisar terá que caminhar. Os movimentos são registados em cassetes de vídeo, são utilizados monitores para rever as imagens, esses monitores possuem um disco magnético capaz de registar e ler dez segundos de gravação vídeo. Uma placa de análise de vídeo CAT 100, acoplada a um microcomputador Z 80 64k TE1, digitaliza cada imagem localizando pelas coordenadas x, y e z o centro de cada marcador. Esses dados

são enviados para um computador PDP 11/70 que processa os dados de forma a transmitir, para análise visual, ciclogramas referentes à relação entre a anca e o ângulo tornozelo Joelho para cada ciclo de movimento da pessoa analisada.

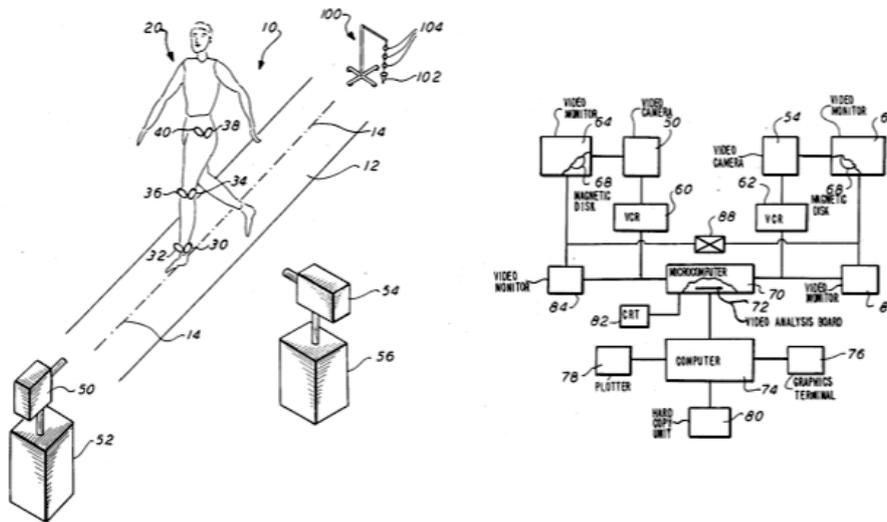


Figura 4.2 Sistema vídeo para análise da marcha e do movimento (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº 4,745,930

Data: 24 de Maio de 1988

Inventor: Richard G. Confer

Designação: Palmilha sensível à pressão para electro-goniómetro

É apresentada uma palmilha adaptada para ser utilizada em associação com um electrogoniómetro destinado a analisar a passada de um paciente. A palmilha inclui um corpo composto por três camadas de material plástico coladas entre si, a camada intermédia possui cortes nas três secções de apoio do pé de modo a formar três câmaras distintas. É colocado um interruptor de contacto em cada uma destas câmaras e cada um destes interruptores possui uma série de “dedos” paralelos em tinta condutora disposta em ambas as faces da câmara. A palmilha possui uma tira do mesmo material com linhas condutoras para ligação a um dispositivo exterior.

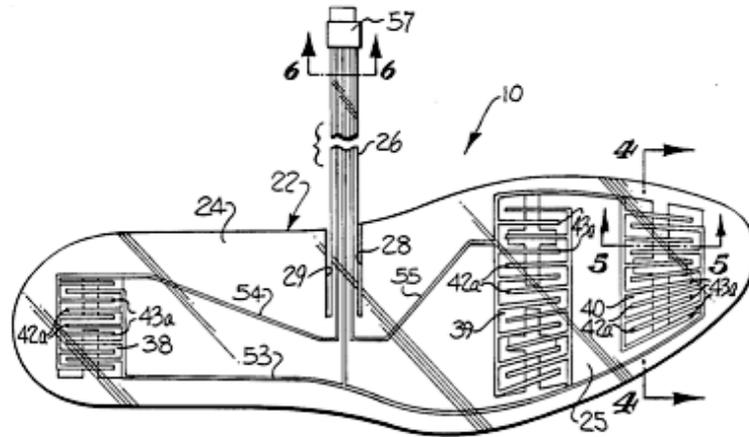


Figura 4.3 Palmilha sensível à pressão para electro-goniómetro (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº 5,485,402

Data: 16 de Janeiro de 1996

Inventores: Douglas G. Smith, Aaron W. Joseph, David A. Boone, Robert E. Borchers, Ernest M. Burgess

Designação: Monitor de actividade da passada

A patente refere-se a um monitor da actividade da passada de um utilizador. O monitor é construído de forma a determinar e registar o número de passos dados pelo utilizador durante intervalos de tempo seleccionados. O sistema inclui um receptor/emissor óptico para permitir que comunique com um computador. O monitor é aplicado no tornozelo do utilizador.

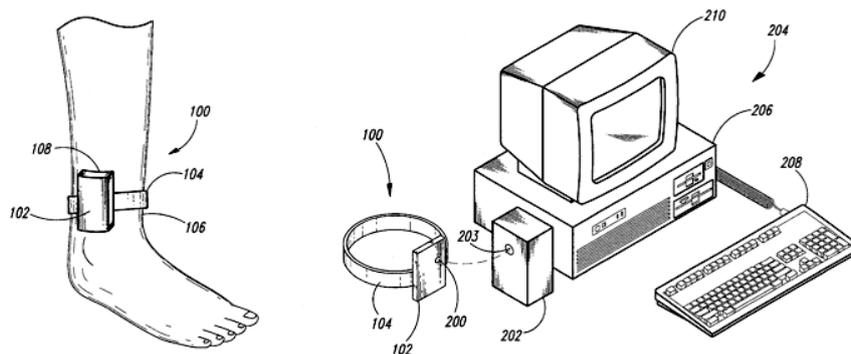


Figura 4.4 Monitor de actividade da passada (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº 5,807,283

Data: 15 de Setembro de 1998

Inventor: *Kim Kwee Ng*

Designação: Monitor de actividade

A patente apresenta um sistema electrónico para monitorizar a actividade de um utilizador, a sua velocidade e a distância percorrida num determinado espaço de tempo. A invenção possui um elemento magnético preso a uma das pernas do utilizador ou integrado num dos sapatos, e um sensor de efeito de Hall associado a um processador electrónico na outra perna ou sapato. Quando, durante a passada, os elementos se aproximam, a diferença de potencial eléctrico produzida pelo efeito de Hall altera-se. A série de tensões eléctricas produzidas durante uma série de passos é convertida em informação digital, um dispositivo programado é utilizado para analisar os dados e convertê-los em informação relativa à distância percorrida e à velocidade relativa entre o elemento magnético e o sensor. A informação é depois enviada por ondas de rádio para um sistema remoto, que permite a monitorização à distância da passada do utilizador. Um circuito electrónico simplificado activa uma pluralidade de elementos de visualização. Aplicando-se uma várias fitas magnéticas ao longo de uma pista de atletismo pode monitorizar-se a passada de um atleta equipado com um sensor magnético.

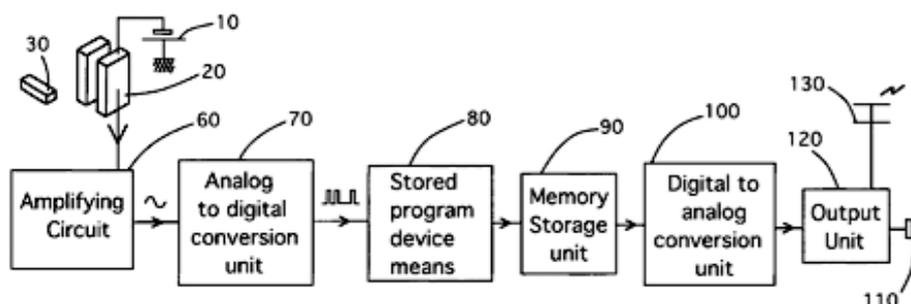


Figura 4.5 Monitor de actividade
(imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº 5,831,937

Data: 3 de Novembro de 1998

Inventores: *Richard F. Weir, Dudley S. Childress, Joseph N. Licameli*

Designação: Sistema portátil para análise da passada.

É proposto um sistema que inclui um conversor portátil com um receptor de infra-vermelhos e um emissor de ultra sons, uma unidade base com um emissor de infra-vermelhos, um receptor de ultra sons e um terminal de computador. Durante o processo de análise da passada, o conversor é utilizado ao nível do centro de massa

corporal pela pessoa submetida ao teste. À medida que o sujeito se afasta da unidade base, esta ordena ao conversor portátil (através de um sinal de infra-vermelhos) que emita a um ritmo constante, impulsos de ultra-sons. Estes impulsos são recebidos pela base e processados pelo computador. Com base no tempo entre ciclos recebidos, o computador calcula e apresenta em tempo real a progressão da pessoa, no final apresenta os dados relativos ao velocigrama ou perfil de velocidade instantânea (GVG). A partir do GVG é possível determinar outros parâmetros da passada, como a velocidade da passada, cadência, tempo de cada passo, distância de cada passo, variações, e tempo ocorrido até estabilização da passada. Com base nestes dados podem identificar-se patologias específicas da marcha.

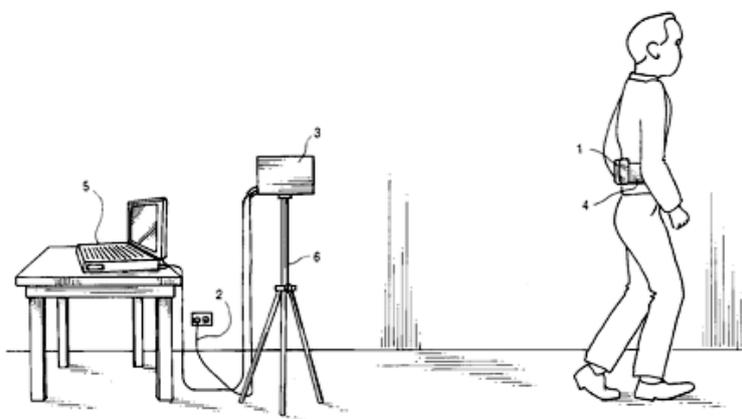


Figura 4.6 Sistema portátil para análise da passada (imagem adaptada de [www.frepatentsonline.com]).

Patente nº 5,919,149

Data: 6 de Julho de 1999

Inventor: *John H. Allum*

Designação: Método e aparelho para determinação do balanço do corpo, baseado na posição angular e velocidade, para diagnóstico e reabilitação de anomalias do equilíbrio e da marcha.

São propostos um método e um aparelho para diagnóstico e reabilitação do balanço anormal, da postura de um indivíduo e da posição de pé e durante a realização de actividades. Sensores de balanço, tais como transdutores da velocidade angular, são dispostos na parte superior do torso do utilizador através de uma cinta. Os sinais obtidos são convertidos por um processador em informação detalhada do deslocamento e da velocidade angular. Essas informações podem ser analisadas por um operador que fará um diagnóstico.

Numa forma mais avançada, esses sinais, depois de processados, podem ser administrados em tempo real ao utilizador para amplificar os sinais que o cérebro interpreta como referências de equilíbrio. Esse *feedback* pode ser sob forma auditiva,

visual, tátil ou ainda como estímulos eléctricos aplicados directamente no nervo vestibular. A patente descreve ainda um sistema de visualização instantânea que consiste numa lente semi-transparente na qual são projectadas imagens de referência. Pretende-se que o aparelho funcione com um mínimo de interferência e sem restringir os movimentos do utilizador.

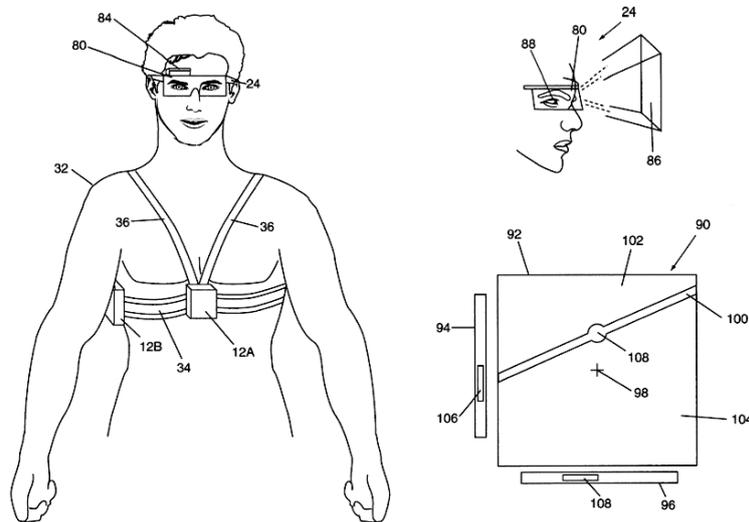


Figura 4.7 Método e aparelho para determinação do balanço do corpo, baseado na posição angular e velocidade, para diagnóstico e reabilitação de anomalias do balanço e da marcha (imagem adaptada de [www.frepatentsonline.com]).

Patente nº 6,018,705

Data: 25 de Junho de 2000

Inventores: *Paul J. Gaudet, Thomas P. Blackadar, Steven R. Oliver.*

Designação: Método para medir o tempo de contacto e de elevação do pé para um indivíduo em locomoção.

As durações do período de tempo em que o pé do utilizador está em contacto com o solo e do período em que está em suspensão, são obtidas analisando e processando a informação recolhida por um acelerómetro. O acelerómetro é aplicado junto do pé do utilizador, de forma que o eixo da aceleração seja substancialmente paralelo à base do pé. A informação obtida pelo acelerómetro é filtrada, amplificada e introduzida num micro controlador que monitoriza o sinal, procurando picos positivos e negativos que indicam respectivamente, o momento em que o pé do utilizador deixa o contacto com o solo, e o momento de impacto do mesmo com o solo. Medindo o intervalo de tempo entre estes picos, podem ser calculados valores médios de contacto e de suspensão do pé relativamente ao solo. A distância percorrida pelo utilizador pode igualmente ser calculada, multiplicando o tempo médio de contacto por valores constantes.

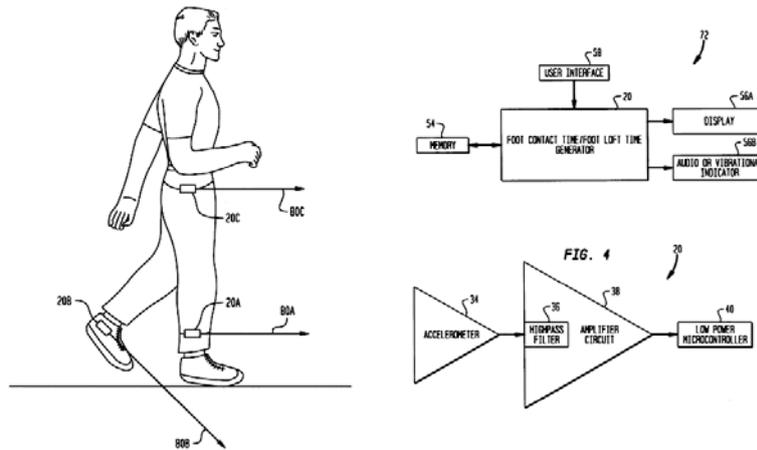


Figura 4.8 Método para medir o tempo de contacto e de elevação do pé para um indivíduo em locomoção (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº 6,301,964 B1

Data: 16 de Outubro de 2001
 Inventores: *Keneth R. Fyfe, James K. Rooney, Kipling W. Fyfe*
 Designação: Sistema de análise do movimento

Este dispositivo é constituído por, pelo menos um par de acelerómetros e um sensor de inclinação, montados numa posição fixa relativamente ao plano da sola de um sapato. Pode ser utilizado para extrair variáveis cinemáticas, incluindo aceleração linear e rotacional, bem como a velocidade e a direcção. O dispositivo prevê a inclusão de um processador e de um transmissor de dados. A finalidade principal do dispositivo é a sua integração num podómetro aperfeiçoado que dê uma indicação exacta das distâncias percorridas, baseando-se nos dados relativos à aceleração, orientação angular do pé e velocidade da passada.

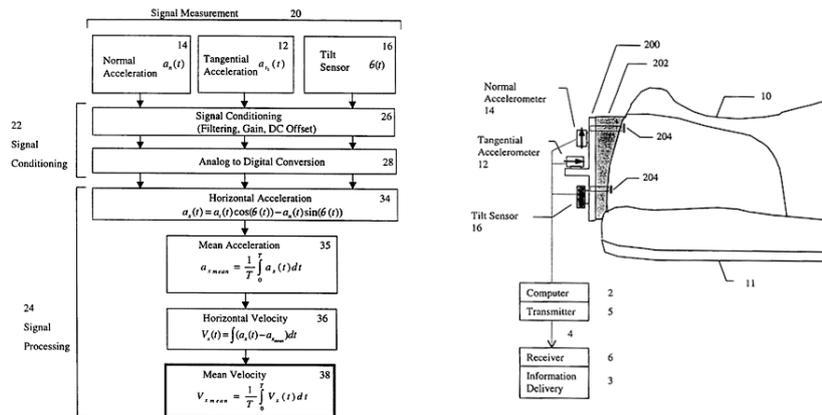


Figura 4.9 Sistema de análise do movimento (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº 6,360,597 B1

Data: 26 de Março de 2002

Inventor: *James E. Hubbard Jr.*

Designação: Sistema de palmilha para análise remota da passada

É apresentado um sistema de análise da passada que inclui um dispositivo para colocar dentro de um sapato a ser utilizado por uma pessoa em marcha, como parte de um processo de recolha de dados da passada. O dispositivo tem sensores de pressão distribuídos de forma a criar uma zona sensível sob o pé, cada sensor fornece um sinal eléctrico. Um aparelho de processamento está em comunicação com os sensores.

O processador calcula uma linha de passada representada por séries de pontos, cada ponto é calculado como uma média do peso espacial das amostras dos sinais de saída dos sensores. O aparelho de processamento inclui um dispositivo de transmissão portátil usado pela pessoa analisada. O transmissor é ligado aos sensores para recolher os sinais de saída destes e enviar um sinal rádio. Um receptor estacionário recebe a informação dos sensores e envia a informação para um computador pessoal.

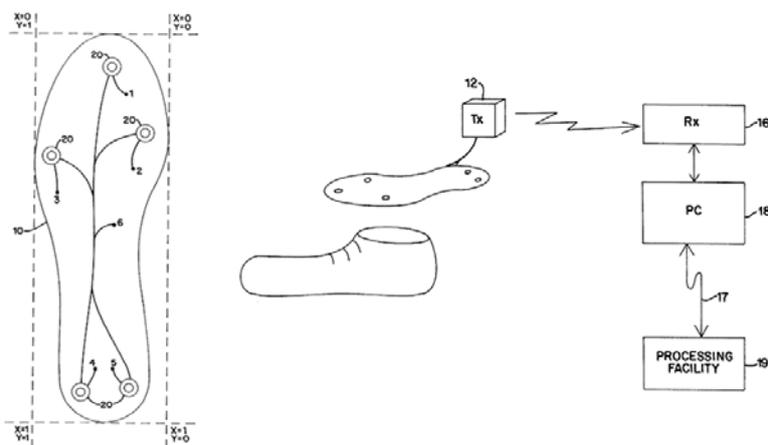


Figura 4.10 Sistema de palmilha para análise remota da passada
(imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº US 6,813,582 B2

Data: 2 de Novembro de 2004

Inventores: *Robert W. Lewi, Robert R. Marshall*

Designação: Dispositivo de navegação para pessoas que se desloquem a pé.

O objectivo deste dispositivo é fazer o reconhecimento remoto, com elevada precisão, da navegação de pessoas que se desloquem a pé. Utiliza acelerómetros nos 3 eixos que detectam se estão a ser dados passos anormais (passos para os lados e para trás, por exemplo) de forma a ajustar os cálculos de navegação. Esta invenção

pode ser incorporada num podómetro, sendo utilizada a correlação de dados para distinguir entre a marcha e a corrida, passos para trás, ou para a frente, passos para os lados, viragens e inclinação do terreno.

Com base na informação adquirida pelos 3 acelerómetros e por um altímetro barométrico, uma unidade de processamento utiliza vários algoritmos para determinar com precisão a distância percorrida.

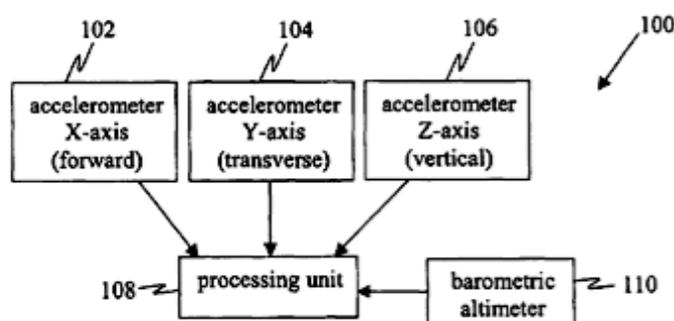


Figura 4.11 Dispositivo de navegação para pessoas que se deslocam a pé (imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº US 6,836,744 B1

Data: 28 de Dezembro de 2004

Inventores: Fareid A. Asphahani, Hwa C. Lee

Designação: Sistema portátil para análise da marcha humana.

A invenção inclui pelo menos uma unidade colectora de movimento posicionada na parte anterior do pé, uma unidade colectora independente a colocar no tornozelo inferior, uma unidade colectora da pressão plantar, uma unidade de processamento com um dispositivo de visualização e um invólucro flexível. Inclui igualmente uma pluralidade de acelerómetros, sensores de intensidade, sensores de força e de pressão que fornecem dados para aquisição de sinais de aceleração, velocidade angular e forças exercidas pelo pé para serem processados. Inclui ainda uma unidade central de processamento com um conjunto de componentes de memória, componentes de *input* e *output*, componentes de telemetria, componentes de calibração e um mostrador de cristais líquidos para visualização de informação tridimensional sobre a aceleração, velocidade angular, inclinação e posição. A unidade posicionada na parte posterior do pé interage com a unidade de processamento e visualização para calcular dados cinemáticos cruciais para identificação dos movimentos de pronação e supinação. A unidade de pressão plantar interage com a unidade de processamento e visualização para calcular dados cruciais da pressão plantar a fim de identificar o centro da linha de pressão e cargas excessivas anormais na planta do pé. Estes factores permitem a caracterização da passada do utilizador.

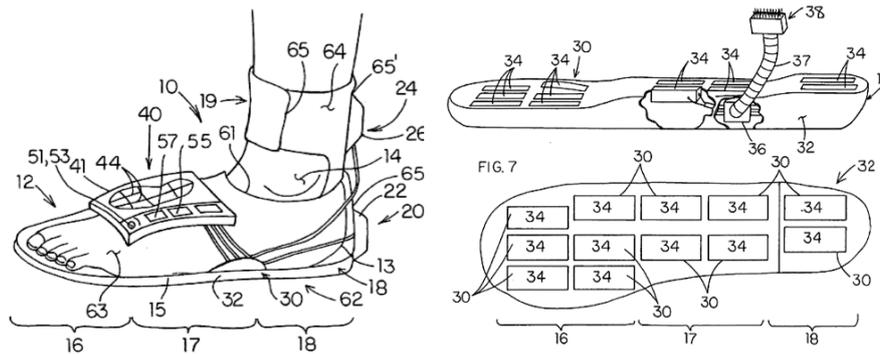


Figura 4.12 Sistema portátil para análise da marcha humana
(imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

Patente nº US 6,895,341 B2

Data: 17 de Maio de 2005

Inventores: *Eric Barrey, Bernard Auvinet*

Designação: Método para analisar irregularidades na locomoção humana

Esta invenção refere-se a um método para análise de irregularidades na locomoção humana a partir de dados recolhidos por acelerómetros. Os componentes do dispositivo estão aplicados num cinto. Este dispositivo permite detectar ciclos de locomoção anormais, que permitirão a médicos e técnicos prever quedas e implementar medidas de prevenção. Refere-se igualmente a um método de análise que dá informação quantitativa complementar sobre a regularidade dinâmica dos ciclos de marcha e de corrida.

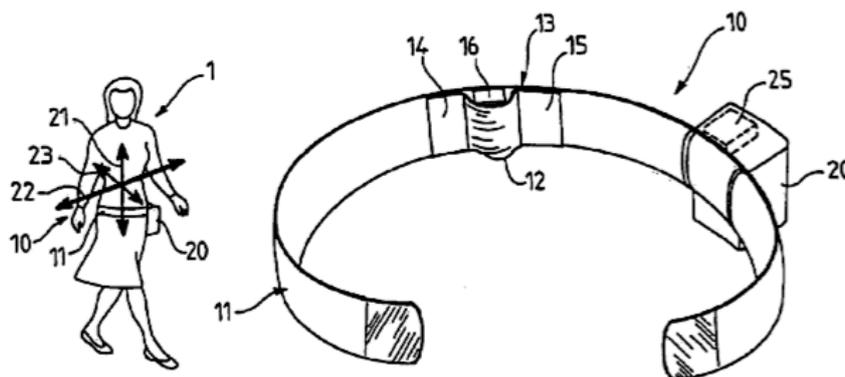


Figura 4.13 Método para analisar irregularidades na locomoção humana
(imagem adaptada de [www.freepatentsonline.com]).

4.3. Produtos Comerciais e Protótipos

No conjunto dos produtos comerciais pesquisados podemos identificar dois grupos distintos: produtos de consumo destinados a um universo mais alargado de utiliza-

dores e produtos específicos para utilização em contexto clínico. O produto em desenvolvimento na presente dissertação enquadra-se sobretudo no segundo grupo. No entanto, como veremos adiante, prevê-se que a sua utilização englobe um mercado secundário de utilizadores que se servirão das capacidades do mesmo para utilização noutros contextos, nomeadamente no campo desportivo.

4.3.1. Descrição dos Produtos Comerciais e Protótipos Analisados

TekScan

A marca *TekScan* é especialista na concepção de soluções OEM de detecção de forças para aplicação em vários dispositivos: equipamento médico, automóveis, equipamentos de diversão (interfaces para jogos), aplicações industriais e outros. A *TekScan* desenvolveu uma série de dispositivos para análise da marcha, baseados no processamento da informação da pressão plantar, essencialmente de dois tipos:

- Sistemas do tipo tapete (Floor Mat Systems): MatScan, HR Mat, Walkway e Presto-Scan;
- Sistemas para colocar no interior do calçado (In-shoe Systems): F-Scan Mobile, F-scan e F-Scan Lite.

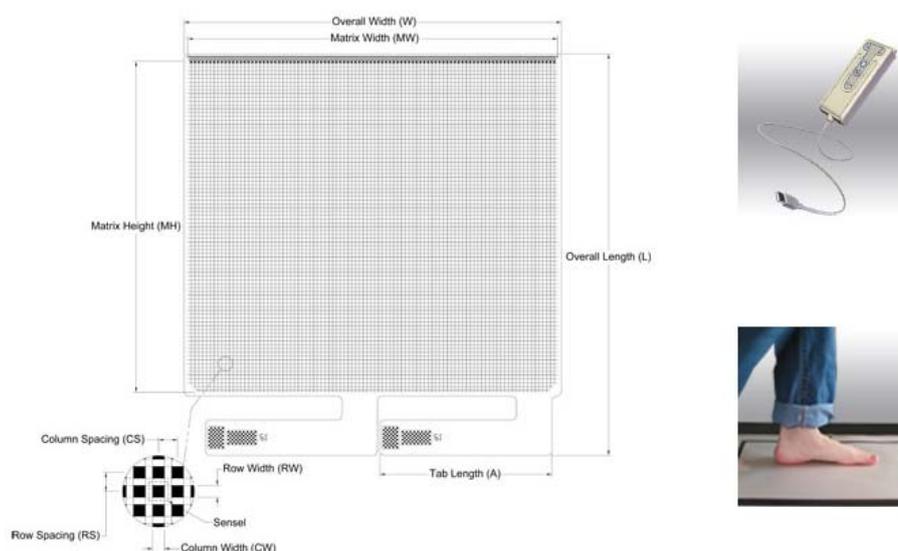


Figura 4.14 Sistema *MatScan* produzido pela *TekScan* (imagem adaptada de [www.tekscan.com]).

O Sistema *F-Scan* proporciona a medição da pressão plantar em ambos os pés, utilizando sensores reutilizáveis (*Sensor Map* #3000/3001) com uma espessura mínima, colocados dentro do calçado do utilizador. O sistema detecta, apresenta e grava instantaneamente as pressões plantares e as forças sem interferir com o padrão normal da marcha de forma a obter valores os mais realistas possível. A informação quantitativa mostrada permite melhorar a capacidade de avaliar e documentar o diagnóstico de patologias da marcha. O sistema *F-Scan* proporciona *software* avançado,

mas de fácil utilização, para apresentação de gráficos informativos que são instantaneamente acessíveis, de fácil leitura e prontos para interpretação. O teste é rápido e fácil de executar, e apresenta a distribuição da pressão plantar e respectivas forças para todas as fases do ciclo da marcha.

Aplicações previstas pelo fabricante:

- Análise de patologias diabéticas e outras de ordem neuropática;
- Observação de anomalias da marcha;
- Regulação do suporte de peso após cirurgia aos membros inferiores.
- Monitorização de anomalias degenerativas do pé;
- Avaliação de pressões elevadas devidas à hiper-mobilidade;
- Determinação imediata da eficiência ortopédica;
- Avaliação pré e pós operatória;
- Identificação de áreas de ulceração potencial;
- Avaliar desvios da trajectória do centro de força na pronação e supinação;
- Antecipar e aliviar pressões em áreas de alto risco;
- Detectar discrepâncias na extensão dos membros inferiores.

Características do sensor (*Sensor Map #3000/3001*):

- Número de elementos sensíveis: 960 por pé;
- Resolução espacial: 4 elementos sensíveis por cm^2 ;
- Tamanho do sensor: Pode ser recortado a partir do tamanho máximo 48/5;
- Tecnologia: resistiva;
- Calibração: pela aplicação de uma força cujo valor seja conhecido e controlado;
- Frequência das amostras: 165Hz;
- Amplitude de pressão: de 1 a 150 PSI (outras pressões disponíveis);
- Espessura do sensor (palmilha): 0,15mm.

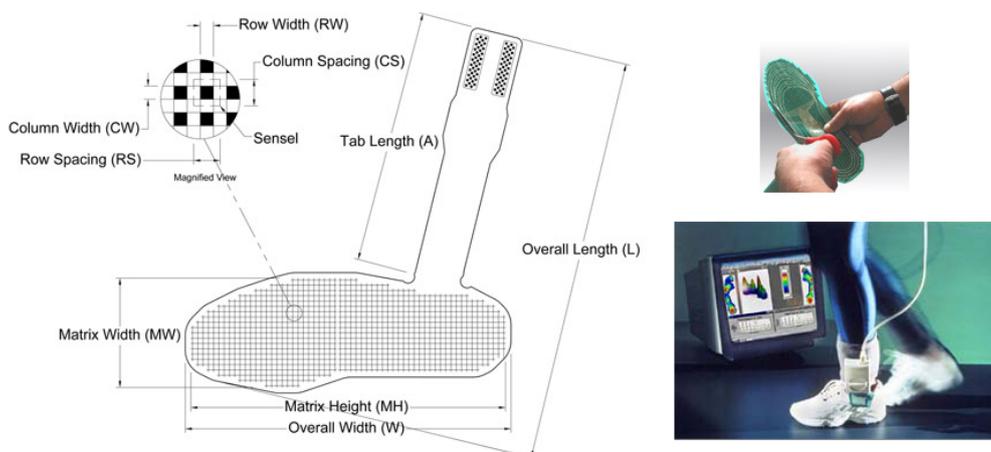


Figura 4.15 Sistema *F-Scan* produzido pela *TekScan* (imagem adaptada de [www.tekscan.com]).

Sistema PAM (*Patient Activity Monitor*) da Ossur

A *Ossur* é um dos fabricantes mais avançados de sistemas protésicos para os membros inferiores. O sistema PAM (*Patient Activity Monitor*) foi desenvolvido pela *Dynastream* para a *Ossur*. É um dispositivo portátil de pequenas dimensões, orientado para utilização em pacientes portadores de próteses dos membros inferiores numa fase de adaptação e optimização. O funcionamento do dispositivo baseia-se em dados recolhidos por um conjunto de sensores inerciais. O produto funciona de forma independente (sem possibilidade de transmissão de dados para um PC), pesa apenas 50 gramas, é à prova de água e destina-se a ser utilizado na parte inferior da perna, fixo por uma cinta em tecido elástico. Os dados recolhidos são observados num pequeno ecrã LCD monocromático.

Dados recolhidos pelo dispositivo:

- Tempo médio diário de repouso;
- Tempo médio diário de actividade que não a locomoção;
- Tempo médio diário em locomoção;
- Distância total percorrida;
- Número total de passos;
- Velocidade média;
- Cadência média em passos por minuto;
- Pico da aceleração axial;
- Comprimento do passo;
- Velocidade máxima de marcha continuada.

Especificações divulgadas pelo fabricante:

- Dimensões: 85 mm × 38 mm × 32 mm;
- Peso: 50 g;
- Temperatura de funcionamento: entre -10°C e 40°C;
- Resistência à água: 1 atm durante 24 horas;



Figura 4.16 Sistema PAM (*Patient Activity Monitor*) produzido pela *Ossur* (imagem adaptada de [www.ossur.com]).

Sistema IDEEA *Minisun*

O sistema IDEEA (*Intelligent Device for Energy Expenditure and Activity Minisun*) é apresentado como um dispositivo portátil de pequenas dimensões que dispõe de cinco sensores de movimento de natureza inercial. Um dos aspectos mais notórios deste sistema é o facto de apresentar sensores exteriores ao sistema (ligados por cabos) que se destinam a ser colocados na planta de ambos os pés, na parte posterior de ambas as coxas e no peito do utilizador. Deste modo o sistema recolhe dados específicos, relativos a cada segmento. O processamento destes dados permite que o dispositivo detecte e registe o movimento dos membros, diferentes posturas, transições e padrões de marcha.

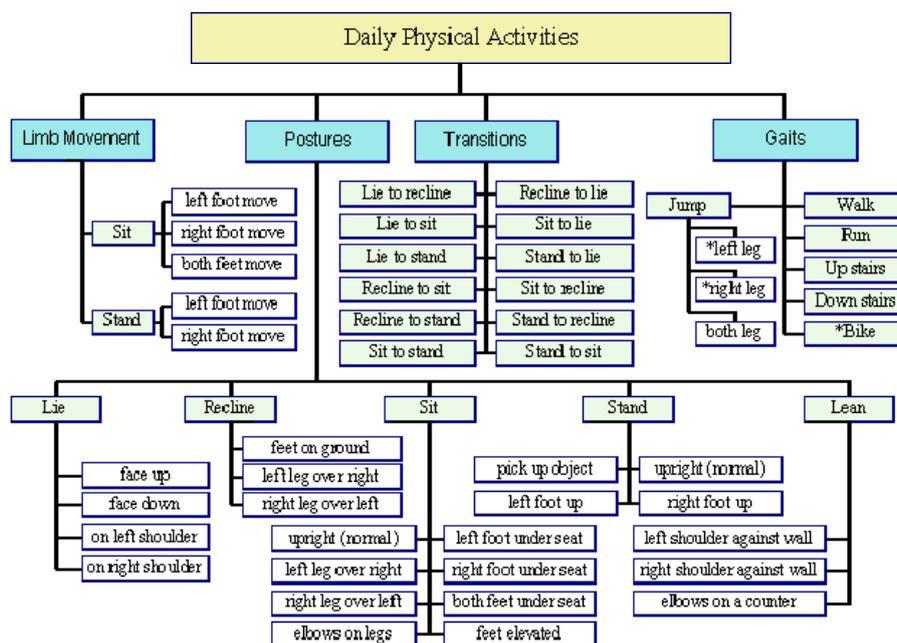


Figura 4.17 Quadro representando as actividades registadas pelo sistema IDEEA *Minisun* (imagem adaptada de [www.minisun.com]).

O dispositivo pode ser ligado a um computador através da porta USB e dispõe de uma aplicação específica (*ActView*) para a visualização dos dados.

A aplicação *ActView* permite efectuar as seguintes acções:

- Reproduzir o total ou parte do registo das actividades diárias de um paciente;
- Seleccionar actividades específicas e analisar a força, a energia dispendida, a velocidade da actividade, o tipo de actividade e outras variáveis;
- Visualizar gráficos detalhados descrevendo a percentagem de tempo correspondente às várias actividades;
- Examinar em detalhe os momentos de início e fim precisos de cada actividade, a velocidade, força, gasto energético e distância;
- Gerar histogramas de gasto energético, força e outras informações;

- Exportar os dados para visualização numa folha de cálculo ou num editor de texto;
- Enviar os dados originais de forma anónima para o site da *Minisun* para efeitos estatísticos.

Especificações do sistema IDEEA *Minisun*:

- Microprocessador: de 32-bit operando a 32 MHz;
- Memória: memória interna RAM e cartão *Compactflash*
- Capacidade de registo: 200 MB de dados equivalentes a 7 dias de registo;
- Comunicação com um PC: através da porta USB;
- Sensores: 5 grupos de sensores de natureza inercial, utilizando 8 canais;
- Controlos: 4 botões de controlo configuráveis por software;
- Bateria: uma pilha standard AAA
- Autonomia: 60 horas
- Consumo: 0.045 Watt;
- Dimensões: 70 mm × 54 mm × 17 mm;
- Peso: 59 g. incluindo a bateria;
- Dimensão dos sensores: 18 mm × 15 mm × 3 mm;
- Peso dos sensores: 2 g.

Campos de aplicação previstos pelo fabricante:

- Perda de peso e tratamento da obesidade;
- Gestão de riscos;
- Averiguação de lesões;
- Osteoporose;
- Esclerose múltipla;
- Avaliação da reabilitação;
- Hiperactividade e défice de atenção;
- Análise da marcha;
- Avaliação da capacidade funcional;
- Avaliação da qualidade do sono;
- Estudo geriátrico e melhoria da qualidade de vida;
- Desporto e treino do desempenho físico.



Figura 4.18 Sistema IDEEA *Minisun* (imagem adaptada de [www.minisun.com]).

Leitor Audio/Podómetro MP3RUN da *Philips*

Este dispositivo conjuga um leitor de ficheiros MP3 e um podómetro simples, é produzido pela *Philips* e comercializado pela marca *Nike*. Possui um detector que se aplica no calçado e que utiliza provavelmente um conjunto de sensores inerciais (a *Philips* não divulga quaisquer informações adicionais sobre o produto) para detectar a frequência do movimento. Essa informação é associada à medição do tempo, gerando dados relativos à velocidade e distância, dispõe igualmente de um cronómetro programável. Estes dados são registados, apresentados graficamente ou transferidos para um computador pessoal para acompanhamento do progresso ao longo do tempo.

Durante a utilização, o dispositivo pode oferecer informações relativas à marcha, audíveis nos auriculares. O ecrã do aparelho possui iluminação por luz estroboscópica que realça a visibilidade em ambientes com pouca luminosidade. A portabilidade do dispositivo é melhorada pela utilização de tecnologia de comunicação sem fios *Bluetooth*, corpo em plástico resistente ao impacto, borracha, e alumínio galvanizado, pela ausência de elementos móveis no sistema de leitura multimédia e pela inclusão de interfaces para fixação do dispositivo ao corpo do utilizador.



Figura 4.19 Componentes do sistema *Philips MP3 Player PSA 260 RUN* (imagem de [www.media-player.ch]).

Características do dispositivo *Philips MP3RUN*:

- Dimensões: 27 mm × 27 mm × 71 mm;
- Tipo de bateria: bateria recarregável de lítio de 600 mAh incorporada no produto;
- Autonomia de Bateria: 12 horas;
- Visor: do tipo LED com retro projecção a branco (para corrida nocturna);
- Leitor de ficheiros Audio: reproduz ficheiros MP3 (8-320 kbps e VBR) e WMA (32-192 kbps);
- Podómetro: provavelmente baseado em dados recolhidos por sensor inercial.

Protótipo SIGSS (*Stacy J. Morris e Joseph A. Paradiso do MIT*)

Este dispositivo consiste num conjunto compacto e portátil (dentro do alcance do emissor de sinal), constituído por uma palmilha provida de sensores de pressão e curvatura e um conjunto de giroscópios montados numa pequena caixa que é aplicada na parte de trás do sapato. O objectivo dos criadores do projecto foi o desenvolvimento de um equipamento acessível que pudesse ser uma alternativa aos dispendiosos laboratórios médicos de análise da marcha. O projecto SIGSS veio no seguimento de um sistema anterior chamado *Expressive Footwear*. O sistema *Expressive Footwear* era um dispositivo que se destinava a ser usado por dançarinos e que consistia numa palmilha de 16 sensores que detectava as pressões em vários pontos do pé, a posição relativa do utilizador, a aceleração, a rotação, a altura e o impacto. Esta informação era transmitida por ondas de rádio para um receptor ligado a um computador. O número de sensores era inferior e o tratamento dos dados não era o apropriado para uma caracterização da marcha para efeitos clínicos.

Neste novo projecto, o conjunto de sensores foi aperfeiçoado e o sistema optimizado com vista à obtenção detalhada de todos os dados úteis à caracterização mais completa possível dos aspectos da marcha.



Figura 4.20 Componentes do sistema protótipo SIGSS (imagem adaptada de [www.media.mit.edu]).

A palmilha sensível do SIGSS destina-se a ser colocada no interior do sapato e consiste em duas folhas de PVC tipo 1 transparente e resistente de 0.02 polegadas (0.508 milímetros) entre as quais se dispõem os seguintes sensores: quatro sensores FSR – sensores resistivos que detectam a pressão contínua, duas tiras de PVDF – um material piezo-eléctrico que detecta a pressão dinâmica e dois pares de sensores resistivos de curvatura.

Os sensores FSR proporcionam uma medição aproximada da distribuição da pressão plantar. Estão dispostos dois sob o calcanhar e dois mais à frente, sob o primeiro e, simultaneamente, o quarto e o quinto metatarsos. As tiras PVDF proporcio-

nam a detecção do impacto do calcanhar com o solo e a detecção do momento em que o hálux deixa o solo, sendo por isso dispostos sob o calcanhar e sob o primeiro dedo. Os sensores de curvatura são colocados aos pares (juntos, reverso com reverso) e detectam a flexão plantar e a flexão dorsal, um par está disposto sob a planta do pé, e outro numa tira atrás do tornozelo.

A pequena caixa que é presa à parte de trás do sapato contém três placas de circuito empilhadas, uma bateria de 9 volts para alimentação e uma antena para transmissão sem fios. O peso total do protótipo é de aproximadamente 200 g.

As placas de circuito são um exemplo interessante de arquitectura modular de produto, são componentes modulares ligados entre si por conectores comuns, o que permite que o sistema seja facilmente configurado para diferentes aplicações. A primeira placa de circuito contém os elementos electrónicos de condicionamento necessários aos sensores. A segunda contém um micro-controlador que recolhe os dados das outras placas e um transmissor sem fios. A terceira é uma unidade compacta de medição inercial e contém um conjunto de três giroscópios e três acelerómetros para medição da velocidade angular e da aceleração linear nos três eixos. A redundância dos dados obtidos por todos os elementos de recolha, permite melhorar a detecção e reduzir os erros. Uma quarta placa de circuito, ainda em desenvolvimento, providenciará informação relativa à distância do pé ao solo, e terá ainda um sonar para detecção da distância entre os pés. Um esquema simples TDMA (*Time Division Multiple Access*) permite que ambos os sapatos partilhem uma única frequência de rádio, os transmissores utilizados são capazes de operar a 115 kb por segundo, permitindo que todos os parâmetros dos 18 sensores sejam renovados a mais de 50 Hz.

Visto que o sistema debita uma corrente de 50 mA, a duração da bateria alcalina de 9 V ultrapassa 12 horas de utilização contínua, providenciando amplos dados para diagnóstico e terapia.

O SIGSS é muito semelhante ao sistema que se pretende desenvolver na presente dissertação, constituindo por isso uma importante referência.

Velocímetro FS-1 da *FitSense*

A *FitSense* apresenta o FS-1 como sendo um medidor rigoroso de ritmo e distância singular com ligação opcional à *Internet*. O FS-1 mede cada passo de corrida e apresenta a velocidade, o ritmo, a distância e as calorias consumidas. O sistema é constituído por um relógio, uma cinta com sensores para o peito, um sensor de movimento para o pé e um dispositivo para ligação à *Internet*. O relógio de pulso tem um desenho ergonómico e apresenta o mostrador numa posição lateral para que possa ser observado sem mover o pulso, mantendo a postura de corrida. Este relógio possui todos os elementos de processamento, um mostrador e os botões de controlo.

Utiliza uma bateria do tipo CR-2032, com uma durabilidade de três meses e pesa 45 g. A cinta para o peito possui dois eléctrodos que deverão estar em contacto directo com a pele de forma a captar os batimentos cardíacos. Utiliza uma bateria do tipo CR-2032, com uma durabilidade de seis meses e pesa 65 g. O pequeno sensor de movimento e odómetro é fixado aos atacadores do sapato por um elástico. Utiliza uma bateria do tipo CR-2032, com uma durabilidade de três meses e pesa 20 g. O peso do conjunto total é de aproximadamente 130 g.



Figura 4.21 Componentes do sistema FS-1 da *FitSense* (imagem adaptada de [www.masterblog.front.lv]).

O sistema apresenta ainda, como componente opcional, um dispositivo de ligação a um computador para utilização de um *software* específico e acesso à *Internet*. Todos os elementos comunicam com o relógio por ligações sem fios. A calibração do sistema é feita de forma personalizada pelo próprio utilizador, efectuando uma corrida numa distância específica (uma pista de atletismo de 400 m), opcionalmente pode fazer a descarga de configurações *standard* a partir da *Internet*.

Analizador de passada (*Stride Analyzer*) da *B & L Engineering*

O *Stride Analyzer* é um sistema PC desenvolvido para gravar os dados de contacto do pé com o solo, obtidos a partir de sensores colocados no interior dos sapatos (*Footswitches*), e que calcula os parâmetros da marcha possíveis de obter a partir destes dados. Os testes podem ser efectuados em qualquer espaço conveniente em que se possam dar alguns passos.

Dados recolhidos pelo *Stride Analyzer*:

- Velocidade;
- Cadência;
- Comprimento da passada;
- Ciclo da marcha;
- Balanço;
- Postura;

- Suporte de um membro;
- Suporte normal de um membro;
- Suporte inicial de ambos os membros;
- Suporte terminal de ambos os membros;
- Suporte total de ambos os membros.

O *Stride Analyzer* é disponibilizado num conjunto portátil que inclui os seguintes elementos:

- Um módulo de gravação;
- Dois cartões de memória *Compactflash*;
- Um leitor de cartões de memória *Compactflash* com ligação USB;
- Um disparador manual (manual trigger) de infravermelhos;
- Dois disparadores *Walkway* de infravermelhos;
- Cinco pares de sensores *Footswitch*;
- Um manual do utilizador;
- Um CD-ROM contendo o *software* de utilização;
- Um cinto para colocação do módulo de gravação;
- Uma fita de velcro para os disparadores *Walkway*;
- Quatro baterias de 9 V;
- Uma mala de transporte.



Figura 4.22 Sistema portátil *Stride Analyzer* produzido pela B & L Engineering (imagem adaptada de [www. www.bleng.com]).

O módulo de gravação é alimentado por uma bateria de 9 V e é utilizado pelo paciente numa faixa colocada à cintura. A informação dos *Footswitches* é analisada a

cada dois milissegundos (500 Hz). O módulo de gravação grava cada alteração nos padrões dos *Footswitches*, bem como o tempo de cada alteração. Sempre que um dos sensores *Footswitch* é activado, o gravador regista quatro *bytes* de informação; um para o padrão do *Footswitch* e três para o tempo. A capacidade de gravação destes dados num cartão de memória *CompactFlash* é de muitas horas de utilização.

Os *Footswitches* são utilizados dentro dos sapatos como palmilhas ou presos com fita adesiva à planta dos pés, no caso em que seja preferível que o paciente efectue o teste descalço. Os *Footswitches* detectam o período de tempo em que os pés suportam ou deixam de suportar peso. O *Footswitch* contém sensores de pressão dispostos em quatro áreas específicas: o calcanhar, o quinto metatarso, o primeiro metatarso e o hálux. O *Footswitch* é uma palmilha em material plástico flexível de pequena espessura, recortada transversalmente de forma a ser adaptável a vários tamanhos de pé. Cada um dos *Footswitches* é ligado ao gravador por um cabo.

Os disparadores *Walkway* são duas caixas contendo uma fonte de luz infravermelha que deverão ser colocadas no início e no fim da pista de ensaios, de tal forma que o paciente ao passar inicie ou pare automaticamente o processo de aquisição de dados. Em alternativa, e nos casos em que as instalações do teste não permitam o uso dos disparadores *Walkway* (escadas, rampas, ao ar livre, etc.) pode utilizar-se o disparador manual.

Sistema *Pedar-x* da *Novel*

O sistema *Pedar-x* da *Novel* é um dispositivo para medição da distribuição da pressão plantar e das cargas locais entre o pé e o sapato. O sistema é constituído por um par de palmilhas sensíveis e um dispositivo de recolha de dados. O dispositivo é completamente portátil e pode comunicar com um computador via *Bluetooth* ou por fibra óptica. Uma das características mais notáveis do sistema é a capacidade de poder efectuar medições de forças e picos de pressão por períodos prolongados, utilizando o *software Pedoport*. O dispositivo de recolha de dados possui uma memória interna *Flash* que lhe permite registar os dados recolhidos pelos sensores em qualquer local e sob quaisquer condições, o que atesta o realismo da análise; em marcha ou corrida, em escadas, em actividades desportivas, na utilização de bicicleta, etc. O dispositivo de recolha é ligado aos sensores por cabos flexíveis.

As palmilhas sensíveis cobrem a superfície total da planta do pé, são construídas em material elástico e cobrem 27 tamanhos de pé (22 a 49). A marca também disponibiliza almofadas sensíveis para colocação no dorso, nas áreas médias e laterais do pé. Estes elementos sensoriais extra podem ser ligados ao mesmo dispositivo em conjunto com as palmilhas. Para poder ser utilizado em sincronização com métodos de electromiografia ou análise do movimento, o sistema pode ser accionado por um controlo remoto.



Figura 4.23 Componentes do sistema *Pedar-X* produzido pela *Novel* (imagem adaptada de [www.novel.de]).

Aplicações:

- Pesquisa e desenvolvimento de calçado;
- Auxílio no desenvolvimento de produtos ortopédicos;
- Controlo da reabilitação;
- Análise cinemática da marcha livre;
- Monitorização das cargas por períodos prolongados;
- Biomecânica do desporto;
- *Biofeedback*.

Dados técnicos do dispositivo *Pedar-x*:

- Dimensões: 150 mm × 100 mm × 40 mm;
- Peso: 360 g;
- Número de sensores: 256/1024;
- Frequência de medição: 20 000 amostras/s;
- Tipo de memória: 32 MB *Flash* interna;
- Tempo de gravação: 25 minutos a 100 Hz;
- Sistema operativo: *Windows XP, Service Pack2*;
- Bateria: do tipo NiMH, recarregável com duração de 4,5 horas;
- Interface: fibra óptica/*Bluetooth*;
- Sincronização: fibra óptica, entrada e saída TTL sem fios;
- Telemetria: via *Bluetooth*;

- Controlo remoto: por frequência rádio FM.

Dados técnicos das palmilhas *Pedar-x*:

- Tamanhos: 22 a 49 (europeu), três larguras;
- Espessura: entre 1 e 1.9 mm;
- Número de sensores: 85 – 99;
- Amplitude de pressões detectáveis: 15-600 ou 30-1200 kPa;
- Histerese: < 7%;
- Resolução: 2,5 ou 5 kPa;
- Desvio de temperatura: < 0,5 kPa;
- Raio mínimo de dobragem: 20 mm.

A marca *Novel* apresenta um software alternativo que reúne todas as funcionalidades anteriores utilizando um PDA (*Pocket PC*), a capacidade de armazenamento de dados e a portabilidade do sistema são melhorados. O PDA pode comunicar com telemóveis, câmaras de vídeo, impressoras, via *Internet* e por rede com outros utilizadores.

4.4. Componente Tecnológica

Num contexto de desenvolvimento de produto, pode afirmar-se que no presente trabalho serão efectuadas as tarefas típicas da função *Design Industrial* ou seja, no campo das interfaces, da acessibilidade, da estética e da imagem do produto, bem como os respectivos suportes a uma possível produção industrial. O sistema abaixo descrito é a componente tecnológica do produto e corresponde ao trabalho associado à Engenharia incluída na função *Design*, conforme é descrita na teoria do desenvolvimento de produto.

A componente tecnológica a incorporar no produto em causa é o resultado de uma série de projectos realizados na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto por alunos do curso de Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores entre os anos de 2004 e 2007.

Numa primeira fase (projecto ANDAR – Cunha *et al.*, 2004), consistia num sistema experimental para aquisição de dados da marcha baseado em sensores inerciais MEMS e sensores de força FSR, com comunicação com um PC via porta de série. O dispositivo podia ser acoplado a uma prótese do membro inferior e destinava-se a avaliar a eficiência desta numa fase de optimização da mesma. Os parâmetros medidos por este sistema eram:

- Número de passos;
- Contactos do pé com o solo durante o ciclo da marcha;
- Acelerações lineares da perna no plano sagital;

- Velocidade angular da perna no plano sagital;
- Distância percorrida.

Numa fase posterior (projecto WALKinG - Couto *et al.*, 2005), o sistema foi aperfeiçoado sobretudo ao nível da portabilidade.

O princípio precursor deste projecto tinha como base o facto de o acompanhamento da evolução de um paciente ser tradicionalmente limitado a uma observação momentânea, realizada periodicamente num centro de reabilitação, não existindo um registo do tempo real de actividade nem dos parâmetros da marcha efectiva no dia-a-dia do paciente. O projecto foi proposto pelo Centro de Reabilitação Profissional de Gaia (CRPG) à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) em conjunto com o Instituto de Engenharia Biomédica (INEB) e terminado em Julho de 2005.

O aperfeiçoamento da portabilidade do dispositivo implicava que este fosse miniaturizado, tivesse autonomia suficiente para cerca de sete dias de utilização, possibilidade de armazenamento da informação relativa a esse intervalo de tempo e comunicação sem fios com um PC. Estas alterações vieram alargar o campo de utilização do sistema. O aperfeiçoamento do sistema de detecção da pressão plantar veio tornar o dispositivo especialmente apropriado para a prevenção de úlceras crónicas, associadas à Diabetes ou à Neuropatia Periférica, no entanto, existe um número elevado de possíveis utilizadores alvo, portadores de outras disfunções e patologias. O dispositivo pode, inclusivamente, ser utilizado para treino de atletas profissionais.

O sistema tinha dois modos de funcionamento, o modo de aquisição de dados e visualização dos mesmos em tempo real, e o modo de aquisição de dados e registo na memória do dispositivo. Os parâmetros que o sistema registava durante pelo menos sete dias eram:

- Distância total (m);
- Tempo total (s);
- Velocidade máxima (m/s);
- Pressão máxima e a indicação do sensor que registou esse valor;
- Passada média (m);
- Nº de segmentos;
- Duração do segmento (s);
- Tempo de início do segmento (s);
- Tempo de fim do segmento (s);
- Tempo parado (s);
- Distância percorrida no segmento (m);
- Velocidade média no segmento (m/s);
- Número de passos do segmento;

- Tempo de oscilação (s);
- Tempo de apoio (s);
- Valores das pressões nos sensores em percentagem;
- Coordenadas do centro de pressão.

Um projecto mais recente (integrado no projecto ACTIDEF – Mendes e Correia, 2007) envolveu a reformulação do sistema anterior, aperfeiçoamento ao nível do conjunto de sensores inerciais (o conjunto foi substituído por um único componente), miniaturização e ensaios de funcionalidade. O sistema efectua a recolha dos mesmos parâmetros acima descritos servindo-se de oito sensores piezoresistivos e de um conjunto de sensores de inércia triaxiais como dispositivos de *input*. O sistema armazena os dados relativos a sete dias de utilização, registando-os num cartão *Compactflash*. Uma ligação USB possibilita a transferência dos dados para um PC e permite o carregamento da bateria.

Este sistema está acondicionado numa placa de circuito com as dimensões 80 mm × 45 mm × 10 mm. Este elemento constitui a componente tecnológica a incluir no produto em desenvolvimento na presente Dissertação.

4.5. Conclusão

As patentes representam um conjunto de direitos exclusivos, atribuídos por uma entidade governamental a um indivíduo ou a uma organização por um determinado período de tempo. A pesquisa das mesmas é de grande carácter formativo para os projectistas, pode criar possibilidades de aquisição de propriedade intelectual e assegura a preservação da mesma.

A análise dos produtos comerciais revelou que o mercado possui algumas propostas ao nível de dispositivos que, embora nem sempre especificamente vocacionados para tal, permitem efectuar a análise da marcha. Estes dispositivos dividem-se entre os que se destinam objectivamente ao mercado clínico e os que se destinam a mercados mais alargados. Numa apreciação global, podemos verificar que estes últimos apresentam desenvolvimentos acrescidos nos aspectos ligados ao sucesso no âmbito competitivo – estética e identidade corporativa (imagem de marca).

Nenhum dos dispositivos descritos efectua em simultâneo a aquisição de dados relativos à cinemática dos segmentos do corpo e à cinética da pressão plantar. No contexto dos produtos analisados, este tipo de parâmetros podem ser medidos apenas pela utilização de mais do que um equipamento. De uma forma geral, o seu funcionamento baseia-se numa única tipologia de dispositivos de *input* – ou utilizam sensores de pressão, ou utilizam sensores inerciais. Este facto demonstra a vendabilidade do produto em

desenvolvimento na presente Dissertação, uma vez que apresenta a conjugação dos dois métodos de análise num sistema compacto e portátil e que se prevê bastante acessível.

5. Protótipo

5.1. Introdução

No processo de desenvolvimento do protótipo, tendo em conta a natureza da presente Dissertação, vão ser adoptadas as fases específicas do processo de *Design Industrial*:

- Investigação das necessidades dos clientes;
- Conceptualização;
- Refinamento preliminar;
- Refinamento posterior e selecção final do conceito;
- Desenhos de controlo;
- Coordenação com a Engenharia, a produção e as vendas.

Todos os desenvolvimentos a efectuar terão como base a inclusão da componente tecnológica anteriormente descrita. Este sistema será o núcleo do dispositivo em torno do qual se vai proceder ao desenvolvimento da forma final, das interfaces, da acessibilidade, da estética e da imagem do produto final.. Tratando-se de um projecto académico, a coordenação com a produção e as vendas não será efectuada, tratar-se-á de uma acção possível a realizar posteriormente, no entanto pretende-se que no final do presente trabalho estejam criados todos os suportes necessários à produção industrial.

Este capítulo inicia-se com a elaboração de uma declaração de princípios de projecto (*Mission Statement*), este procedimento é essencial antes de se avançar no projecto. De seguida descrevem-se detalhadamente todas as acções referentes ao cumprimento de cinco fases acima referidas.

5.2. Declaração de Princípios de Projecto

Tabela 5.1 Declaração de Princípios de Projecto.

| Design de Dispositivo Portátil para Análise da Marcha Humana | |
|---|---|
| Descrição do produto | Um dispositivo electrónico portátil para análise da marcha humana, constituído por dois módulos: um suporte para os elementos tecnológicos funcionais e uma palmilha equipada com sensores, ambos os módulos são ligados por cabos. |
| Objectivos chave do negócio | n/a |
| Mercado primário | Médicos e especialistas envolvidos no diagnóstico e na reabilitação de patologias relacionadas com a marcha humana. |

Design de Dispositivo Portátil para Análise da Marcha Humana

| | |
|----------------------------------|--|
| Mercado secundário | <p>Pacientes que sofrem de patologias que envolvem quaisquer anormalidades relacionadas com o exercício da marcha.</p> <p>Entidades que comercializam dispositivos tecnológicos para o mercado primário.</p> <p>Utilizadores que se sirvam das capacidades do dispositivo para outros campos de aplicação (por exemplo no campo do desporto).</p> |
| Pressupostos e restrições | <p>Todas as condicionantes de portabilidade.</p> <p>Dimensões e tipologia dos componentes funcionais (placa de circuito, bateria e sensores do protótipo WALKinG).</p> <p>Normas técnicas para este tipo de equipamentos.</p> <p>Princípios do <i>Design</i> inclusivo</p> <p>Destaque da componente <i>Design</i> Industrial no contexto do desenvolvimento de produto.</p> |
| Stakeholders | <p>Entidades envolvidas no desenvolvimento da componente tecnológica:</p> <p>Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).</p> <p>Centro de Reabilitação Profissional de Gaia (CRPG).</p> <p>Instituto de Engenharia Biomédica (INEB).</p> |

5.3. Investigação das Necessidades dos Clientes (Avaliação de Especificações)

A investigação das necessidades dos clientes é um processo essencial para determinar o sucesso ou o insucesso do produto, a recolha dessa informação é efectuada na fase de Planeamento, pelo preenchimento de inquéritos ou pelo diálogo directo com os possíveis clientes e é da responsabilidade da função *Marketing*. No presente projecto e na perspectiva do *Design* Industrial, a recolha de informação junto do mercado foi importante ao nível da definição das especificações do produto, uma vez que a fase de Planeamento já estava ultrapassada e o mesmo já se encontrava desenvolvido ao nível da componente tecnológica. Sendo assim, elaborou-se um inquérito constituído por 32 itens, no qual se propunha a avaliação de um conjunto de aspectos a serem convertidos em especificações a implementar no produto final.

O inquérito foi apresentado a um grupo de pessoas enquadradas nos mercados primário e secundário conforme descritos na Declaração de Princípios do Projecto. No grupo dos inquiridos, além de 13 médicos ortopedistas, contam-se um técnico ortoprotésico, dois delegados comerciais de equipamentos electrónicos de reabilitação (OSSUR), um preparador físico de uma equipa de futebol e uma estudante de Engenharia Biomé-

dica, totalizando 18 pessoas. A idade dos inquiridos compreendia-se entre os 23 e os 62 anos, sendo o valor médio de 40,59 anos de idade. O grupo integrava 5 mulheres e 13 homens. No caso dos médicos, as respostas ao inquérito foram obtidas numa reunião conjunta, na qual se fez uma breve apresentação do produto e da Dissertação em desenvolvimento. Nos casos restantes, o inquérito foi preenchido em encontros individuais.

Aos inquiridos foi apresentada uma breve descrição do produto que se pretende desenvolver (a descrição constante da Declaração de Princípios de Projecto), foi-lhes pedido que indicassem a faixa etária a que pertenciam, a profissão que exerciam e que descrevessem a sua relação com produtos tecnológicos de algum tipo. Uma vez que se trata de um produto tecnológico, interessava saber se o inquirido em causa tinha contacto e experiência com este tipo de dispositivos de forma a validar a informação recolhida. Cada item do inquérito referia-se a um aspecto virtual do produto ao qual o inquirido atribuía um grau de importância com base na seguinte escala:

1. Aspecto indesejável
2. Aspecto não importante, indiferente
3. Aspecto interessante mas não necessário
4. Aspecto altamente desejável, mas não imprescindível
5. Aspecto crucial

Os aspectos referidos dividiam-se em cinco categorias:

- A. Fiabilidade e Segurança (4 itens)
- B. Conforto (4 itens)
- C. Acessibilidade (6 itens)
- D. Funcionalidade (7 itens)
- E. Forma e Materiais (11 itens)

Os graus de importância atribuídos pelos inquiridos a cada item foram inseridos numa matriz a fim de se obterem valores para reflexão. Os totais foram convertidos em valores percentuais. Segundo os resultados obtidos, a ordem de importância relativa dos aspectos propostos é a seguinte:

Aspectos cruciais:

7. (A) O dispositivo respeita as normas técnicas e de segurança obrigatórias. (98.9%)
8. (A) Os dados recolhidos são rigorosos e fiáveis. (98.9%)
4. (C) O dispositivo tem adaptações específicas para pacientes com necessidades especiais. (97.8%)
3. (C) Os componentes em contacto com o corpo são ajustáveis às características físicas do paciente. (94.4%)

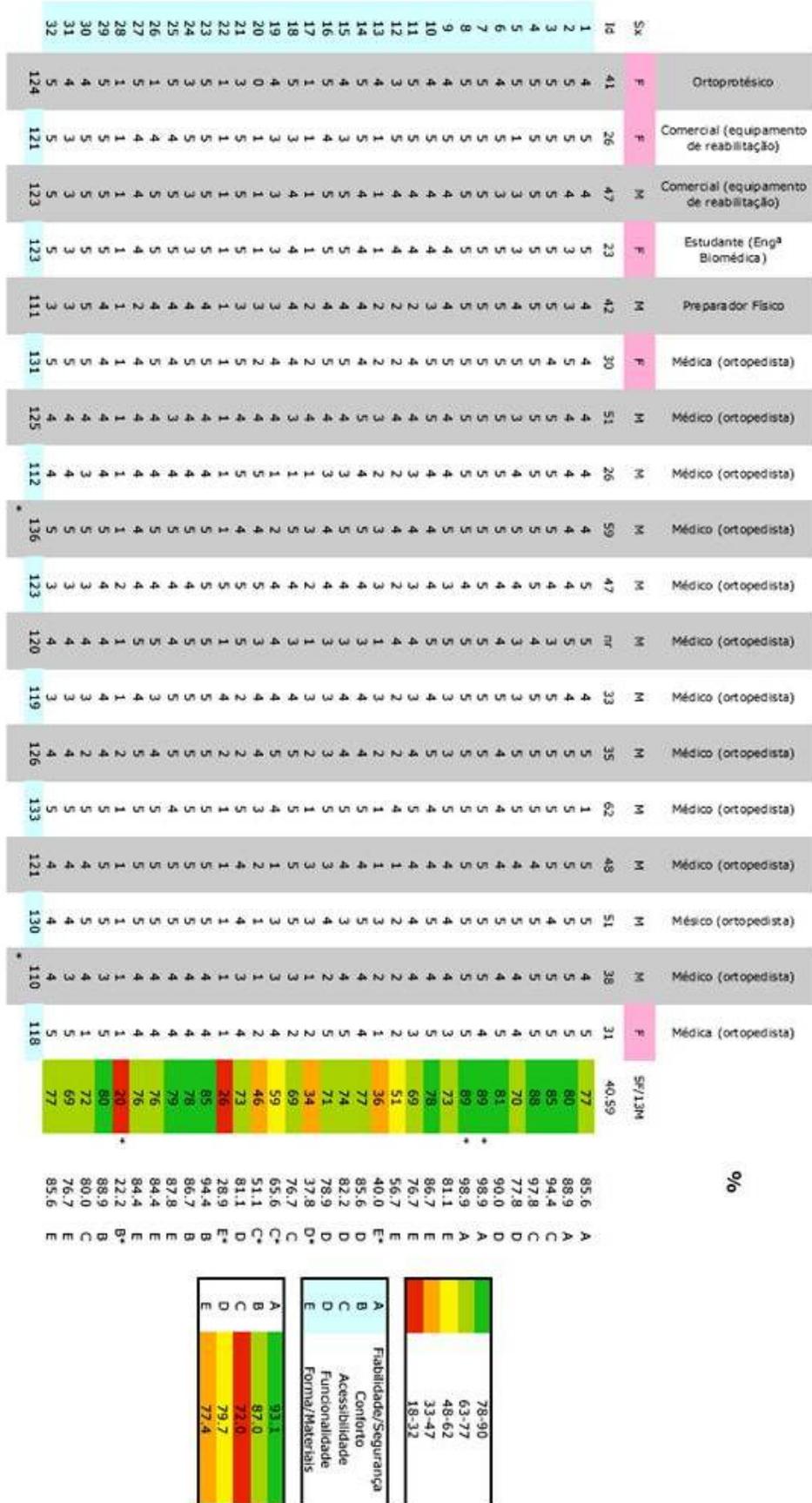


Figura 5.1 Matriz apresentando o resultado dos inquéritos para definição das especificações.

23. (B) A utilização do dispositivo é muito confortável para o paciente. (94.4%)
6. (D) Existe uma palmilha para cada tamanho de pé. (90%)
2. (A) Os componentes em contacto com o corpo são laváveis (pela razão anteriormente citada). (88.9%)
29. (B) O paciente acaba por ignorar o facto de que está a utilizar um dispositivo de análise médica. (88.9%)
25. (E) Uma vez que se trata de um dispositivo portátil, este é construído com materiais muito leves. (87.8%)
10. (E) Os elementos mais sensíveis ao desgaste estão devidamente protegidos. (86.7%)
24. (B) A utilização do dispositivo é muito confortável para o médico ou o técnico que se serve dele. (86.7%)

Aspectos altamente desejáveis, mas não imprescindíveis:

1. (A) Uma vez que o dispositivo é utilizado por várias pessoas existem interfaces pessoais descartáveis. (85.6%)
14. (D) A obtenção dos dados para diagnóstico é feita de forma muito rápida. (85.6%)
32. (E) Os materiais em que o dispositivo é construído são recicláveis. (85.6%)
26. (E) O dispositivo tem um aspecto que não inibe o paciente de assumir que está a fazer um tratamento médico. (84.4%)
27. (E) O dispositivo é discreto quando utilizado pelo paciente no seu dia-a-dia, durante o tempo em que decorre a análise. (84.4%)
15. (D) O dispositivo comunica com um computador, é esta a única forma de se aceder aos dados recolhidos. (82.2%)
21. (D) O dispositivo pode ser facilmente desmontado para manutenção dos componentes. (81.1%)
9. (E) Os materiais que constituem o dispositivo são resistentes e duradouros. (81.1%)
30. (C) Todos os comandos e instruções de funcionamento são em língua portuguesa. (80%.)
16. (D) A bateria do dispositivo é recarregável através da ligação USB a um computador. (78.9%)
5. (D) A palmilha do dispositivo é elástica e adapta-se à maioria dos tamanhos de pé. (77.8%)
11. (E) O dispositivo tem o aspecto de um produto industrial tecnológico e não de um protótipo artesanal. (76.7%)
18. (C) O dispositivo é muito fácil e intuitivo de utilizar, de facto pode ser utilizado por pessoas sem qualquer formação. (76.7%)
31. (E) Os materiais em que o dispositivo é construído são reciclados. (76.7%)

Aspectos interessantes, mas não necessários:

19. (C*) A linguagem e a forma de utilização do dispositivo só são acessíveis a profissionais formados e credenciados. (65.6%)
12. (E) O dispositivo é identificado com uma marca comercial. (56.7%)

Aspectos não importantes, indiferentes:

20. (C*) Os pacientes precisam de alguma formação para utilizarem o dispositivo. (51.1%)
13. (E*) O dispositivo não tem qualquer imagem de marca. (40%)
17. (D*) A bateria do dispositivo não é recarregável, é substituída regularmente. (37.8%)

Aspectos indesejáveis:

22. (E*) Em caso de avaria, não há possibilidade de manutenção e o dispositivo tem que ser substituído. (28.9%)
28. (B*) A utilização do dispositivo por parte do paciente interfere com a sua actividade normal. (22.2%)

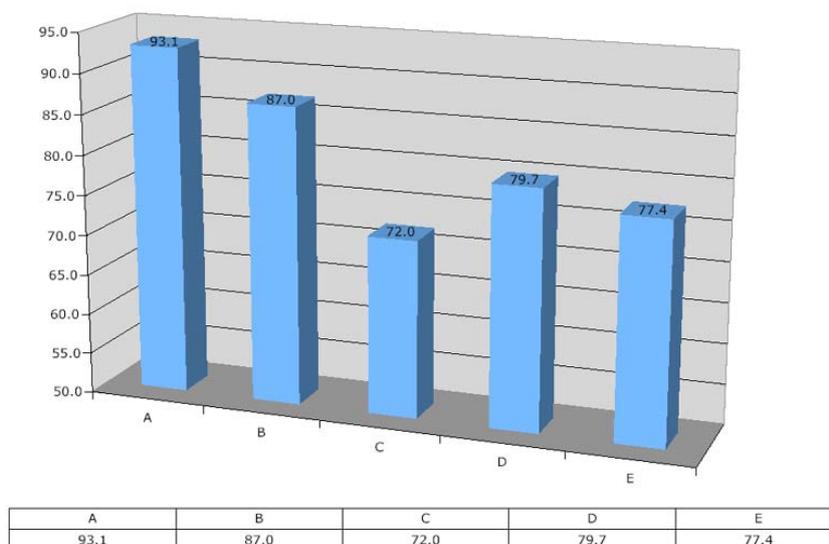


Figura 5.2 Gráfico apresentando os resultados relativos às categorias dos itens.

Os itens foram analisados relativamente à sua categoria. Para cada categoria, somaram-se os valores percentuais e dividiu-se o valor obtido pelo número de itens que representavam essa categoria. Sempre que a avaliação de um item era proposta na forma inversa (categoria do item assinalada com asterisco), a percentagem considerada era o

* avaliação de item proposto na forma inversa

valor inverso. Esta análise permite avaliar o grau de importância atribuído pelos inquiridos a cada categoria:

- A. Fiabilidade e Segurança (93.1%)
- B. Conforto (87%)
- D. Funcionalidade (79.7%)
- E. Forma e Materiais (77.4%)
- C. Acessibilidade (72%)

Desta análise pode concluir-se que a categoria mais importante é a que representa os aspectos ligados à fiabilidade e à segurança do produto. Este resultado é óbvio uma vez que se tratam de aspectos claramente cruciais que comprometem toda a concepção do produto. As questões relativas ao conforto também foram bastante valorizadas. Nesta categoria observa-se que o conforto do paciente é mais valorizado que o conforto do especialista que se serve do dispositivo. Alguns itens do inquérito relativos à funcionalidade apresentavam carácter selectivo em termos de especificações concretas. Nesse sentido, os inquiridos premiaram a especificação que determina que existam várias palmilhas que correspondem a vários números de calçado, em vez de uma palmilha única elástica. Relativamente à selecção dos materiais e da forma do dispositivo, observou-se que a leveza do mesmo foi premiada relativamente à própria resistência e durabilidade, ainda que se entenda como crucial que as partes mais sujeitas ao desgaste estejam devidamente protegidas. Os itens que propunham a descartabilidade de alguns elementos (palmilhas, baterias ou o próprio dispositivo) foram de uma forma geral desvalorizados. A categoria da acessibilidade foi a menos considerada. Este facto poderá indiciar que esta é uma problemática inerente às pessoas envolvidas no desenvolvimento de produtos mas que não goza de uma consciência generalizada por parte dos utilizadores genéricos.

5.4. Desenvolvimento de Conceitos

O produto em questão é claramente constituído por dois módulos. O conjunto formado pelo circuito electrónico e pela bateria será designado adiante como **módulo tecnológico** e o conjunto dos sensores aplicados à palmilha será designado como **módulo sensitivo**. Os conceitos desenvolvidos nesta fase designaram-se conceitos preliminares iniciais e conceitos preliminares posteriores.

Os três conceitos preliminares iniciais envolviam ambos os módulos e foram designados como **conceito ‘Sapato’**, **conceito ‘Atacadores’** e **conceito ‘Tornozelo’**. O processo de selecção e eliminação destes conceitos foi efectuado com base na discussão teórica das vantagens e desvantagens óbvias, a experimentação prática com recurso a protótipos foi efectuada na fase seguinte (refinamento posterior).

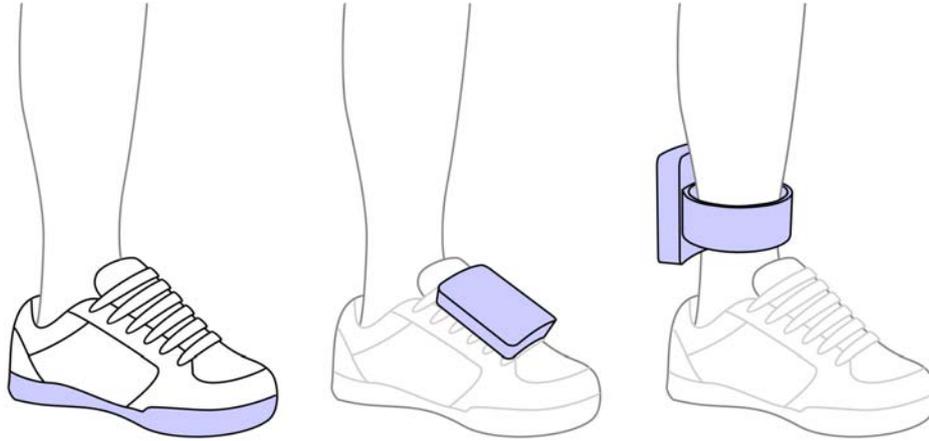


Figura 5.3 Diagrama dos três conceitos preliminares iniciais para o módulo tecnológico: conceito 'Sapato', conceito 'Atacadores' e conceito 'Tornozelo'.

Descrição do conceito 'Sapato':

O conceito 'Sapato' considera a integração dos dois módulos do dispositivo no interior de um sapato. O produto resultante seria um par de sapatos, cada um deles contendo os dois módulos funcionais do dispositivo no seu interior. O **módulo tecnológico** estaria alojado numa cavidade na sola do sapato, acessível pela parte interior para manutenção e substituição da bateria. O **módulo sensitivo** estaria integrado na palmilha do próprio sapato, não existindo quaisquer cabos de ligação visíveis do exterior.

Descrição do conceito 'Atacadores';

O conceito 'Atacadores' prevê que o **módulo tecnológico** e o **módulo sensitivo** sejam independentes. A tipologia de algumas patentes e produtos comerciais observados anteriormente demonstrou que os atacadores de um sapato podiam constituir um suporte apropriado para a colocação do dispositivo. Nesse sentido conceitualizou-se uma caixa que constituiria o **módulo tecnológico** dotada de elementos de fixação apropriados. O módulo sensitivo seria uma palmilha amovível com cabos de ligação.

Descrição do conceito tornozelo;

No conceito 'Tornozelo', o **módulo tecnológico** estaria contido numa pequena caixa que se fixaria à parte inferior da perna do utilizador através de uma cinta flexível. O **módulo sensitivo** seria uma palmilha amovível ligada ao **módulo tecnológico** por cabos de ligação.

Aferição das vantagens e desvantagens dos conceitos preliminares:

Tabela 5.2 Vantagens e desvantagens dos conceitos preliminares.

| Conceito | Vantagens | Desvantagens |
|--|---|--|
| ‘Sapato’ | <ul style="list-style-type: none"> - O conjunto é íntegro, sem quaisquer elementos móveis ou cabos de ligação. | <ul style="list-style-type: none"> - Este conceito pressupõe a criação de uma multiplicidade de sapatos para corresponder aos diferentes números de calçado. - A utilização de um sapato de desenho específico pode ser constrangedora para certos utilizadores. - A partilha de um par de sapatos por uma multiplicidade de utilizadores não é um conceito aceitável do ponto de vista da higiene. |
| ‘Atacadores’ | <ul style="list-style-type: none"> - A fixação do módulo tecnológico não pressupõe o contacto directo com o corpo. | <ul style="list-style-type: none"> - Este conceito pressupõe a existência de cabos de ligação exteriores. - A utilização do dispositivo é limitada pelo facto de serem necessários sapatos com atacadores. - O sistema de fixação não é suficientemente seguro. - O sistema de fixação não permite o funcionamento dos sensores inerciais tal como estão aplicados no circuito. - O dispositivo não é discreto. |
| ‘Tornozelo’ (Conceito seleccionado) | <ul style="list-style-type: none"> - A tipologia deste conceito permite que o mesmo seja discreto, uma vez que pode ser completamente ocultado pelo calçado e pelo vestuário do utilizador. - A utilização do dispositivo não pressupõe a utilização de nenhum tipo de sapato específico. - A fixação do dispositivo é segura. | <ul style="list-style-type: none"> - Este conceito pressupõe a existência de cabos de ligação exteriores. - A fixação do dispositivo à perna do utilizador e o contacto directo com a pele podem gerar desconforto. |

5.5. Refinamento Preliminar

O conceito seleccionado na fase anterior (conceito ‘**Tornozelo**’) foi abordado independentemente como **módulo tecnológico** e **módulo sensitivo**, após a elaboração de alguns esboços e modelos virtuais, foram criados dois conceitos alternativos para o **módulo tecnológico** e dois para o **módulo sensitivo**.

Os conceitos para o **módulo tecnológico** a considerar para refinamento preliminar foram designados **conceito ‘Flexível’** e **conceito ‘Rígido’**:

Descrição do conceito ‘Flexível’ para o módulo tecnológico:

O conceito ‘Flexível’ para o módulo tecnológico previa que os componentes fossem aplicados no interior de um elemento flexível integral que servia em simultâneo como suporte aos componentes e como interface com o corpo do utilizador. O circuito electrónico e a bateria eram aplicados na cavidade de um elemento em espuma de poliuretano de densidade apropriada que servia de suporte aos mesmos. A espuma em questão é do mesmo tipo utilizado na construção de ortóteses (próteses). Este elemento mantinha alguma capacidade de deformação para se adaptar correctamente ao diâmetro inferior da perna do utilizador.

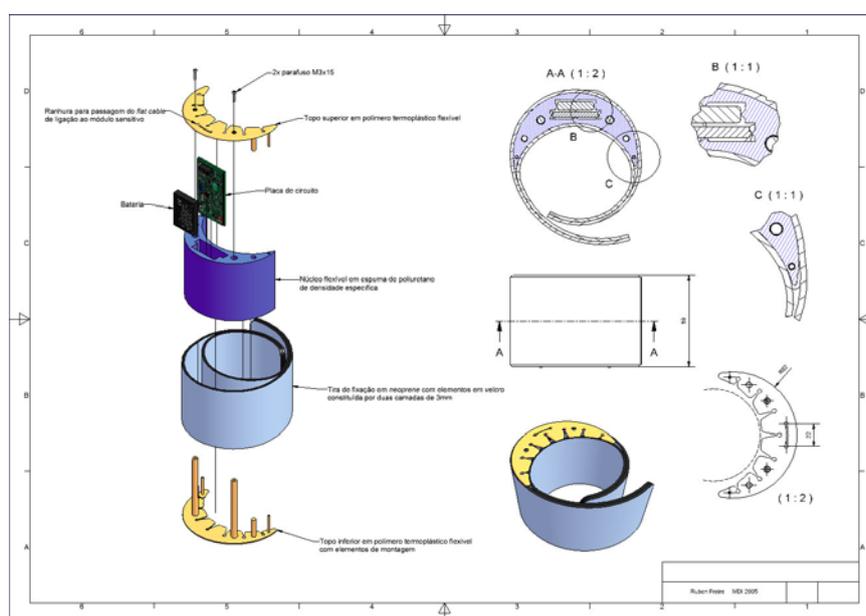


Figura 5.4 Vista explodida, cortes, perspectiva e especificações do conceito preliminar posterior designado conceito ‘Flexível’.

O conjunto interno era protegido por duas placas de polímero termoplástico ligadas entre si por parafusos que podiam ser retirados para manutenção do dispositivo e que possuíam cortes para permitir um determinado grau de flexão. Este conjunto era revestido por duas camadas de *neoprene (Duprene)* de três milímetros, costuradas entre si que se estendiam em duas tiras destinadas a envolver a perna do utilizador, a fixação

era feita por fitas de *velcro*. *Neoprene* é a designação comercial de uma borracha sintética baseada em policloropreno desenvolvida pela marca *DuPont*, normalmente disponibilizada em lâminas de várias espessuras. O *Neoprene* é vulgarmente comercializado como um compósito cujo núcleo central em borracha é revestido por tecido elástico, tem propriedades de isolamento térmico e de absorção da humidade, é lavável e apropriado para utilização em contacto directo com a pele. O dispositivo podia ser facilmente desmontado para que este elemento fosse lavado.

Descrição do conceito ‘Rígido’ para o módulo tecnológico:

O conceito ‘Rígido’ para o módulo tecnológico era composto por uma caixa sólida, construída num polímero termoplástico, na qual estavam alojados o circuito electrónico e a bateria, a fixação era assegurada por uma cinta de tecido flexível com elementos em *velcro*. A caixa era constituída por duas metades unidas por parafusos que permitiam a desmontagem do dispositivo para manutenção. Cada uma das metades apresentava uma curvatura diferente para se adaptar ao diâmetro da perna do utilizador. As curvaturas foram definidas com base nas dimensões limite do diâmetro da parte inferior da perna de utilizadores com necessidades especiais. A curvatura de um dos lados era definida pelo diâmetro da parte inferior da perna de pacientes de paralisia cerebral ou outra patologia em que se verifica a atrofia da musculatura dos membros inferiores, a curvatura do lado oposto correspondia ao diâmetro da parte inferior da perna de utilizadores obesos, diabéticos, ou outros que apresentem tumefacção das extremidades inferiores.

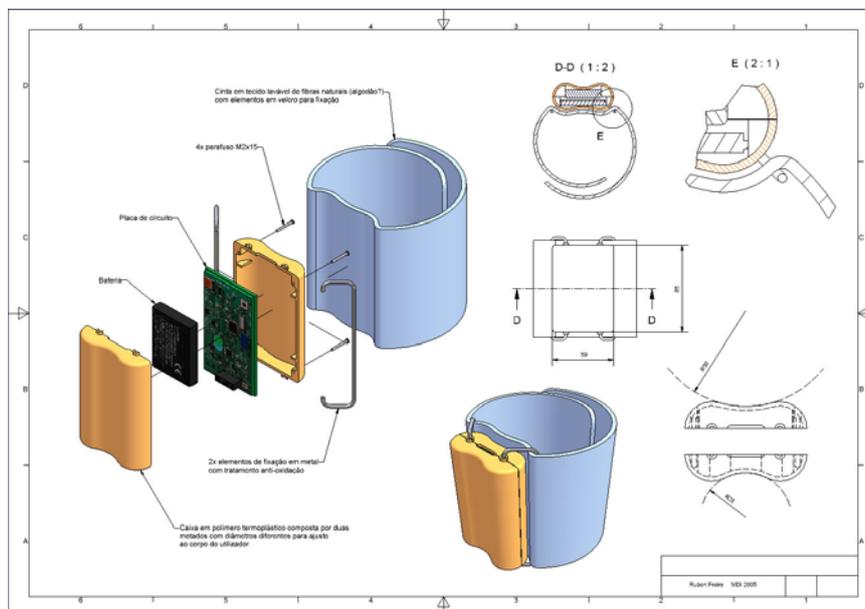


Figura 5.5 Vista explodida, cortes, perspectiva e especificações do conceito preliminar posterior designado conceito ‘Rígido’.

Esta morfologia pretendia ir de encontro ao princípio do *Design* inclusivo, segundo o qual as especificações do produto projectado para os utilizadores especiais benefi-

ciam o utilizador genérico numa perspectiva de integração. A cinta para fixação do dispositivo era construída numa fibra têxtil de origem natural e constituía o único elemento em contacto directo com a pele do utilizador, este elemento era ligado à caixa referida anteriormente por duas peças articuladas, construídas em metal e podia ser facilmente retirado para lavagem ou substituição.

Aferição das vantagens e desvantagens dos conceitos descritos para o módulo tecnológico:

Tabela 5.3 Vantagens e desvantagens dos conceitos descritos para o módulo tecnológico.

| Conceito | Vantagens | Desvantagens |
|---|---|--|
| ‘Flexível’ | <ul style="list-style-type: none"> - A flexibilidade proporciona um bom nível de conforto e de adaptabilidade ao diâmetro da perna do utilizador. - O conjunto é leve. | <ul style="list-style-type: none"> - O elemento em espuma flexível pode deteriorar-se com a fadiga. - O tecido deteriora-se pela fricção com a roupa do utilizador. - Os elementos em polímero termoplástico podem deteriorar-se com a fadiga, uma vez que a sua flexão é muito solicitada. - Os componentes electrónicos não estão suficientemente protegidos, uma vez que o invólucro é flexível e perspirável. - O <i>Neoprene</i> é um isolante térmico e torna-se desconfortável com o calor. - O dispositivo é muito volumoso. - O elemento que contém os componentes electrónicos pode deslocar-se da tira de fixação durante a utilização do dispositivo (particularmente se for utilizado em corrida). |
| ‘Rígido’ (Conceito seleccionado) | <ul style="list-style-type: none"> - A caixa rígida proporciona melhor protecção para os componentes electrónicos em termos de resistência ao choque e estanquicidade. - O conjunto é de montagem mais simples e tem menos componentes. | <ul style="list-style-type: none"> - O dispositivo é mais pesado. - O elemento em tecido deteriora-se pelo contacto com o metal e pela fricção com a roupa do utilizador. - Os elementos em metal podem provocar reacções alérgicas em contacto com a pele do utilizador. |

Descrição dos conceitos para o módulo sensitivo:

Para o módulo **sensitivo** foram desenvolvidos dois conceitos preliminares posteriores. O **conceito ‘Múltiplo’** propunha uma palmilha com sensores aplicados, disponível em pelo menos três tamanhos de forma a cobrir uma gama abrangente de números de calçado. Cada uma das palmilhas tinha um corte transversal para permitir alguma margem de adaptação. Estas palmilhas eram construídas a partir de uma lâmina de um polímero termoplástico rígido para permitir uma recolha rigorosa da pressão plantar e revestidas por uma película estanque, para que os elementos interiores fossem resguardados da humidade e de forma que a superfície exterior pudesse ser limpa pela aplicação superficial de um desinfetante. A construção destas palmilhas prevê-se como um processo simples e acessível, o suporte rígido é cortado de uma lâmina de polímero termoplástico, os sensores e respectivos cabos de ligação são colados neste suporte, posteriormente todo o conjunto é revestido por duas películas em polímero termoplástico apropriado ao contacto directo com a pele, as películas são termicamente seladas em toda a periferia.

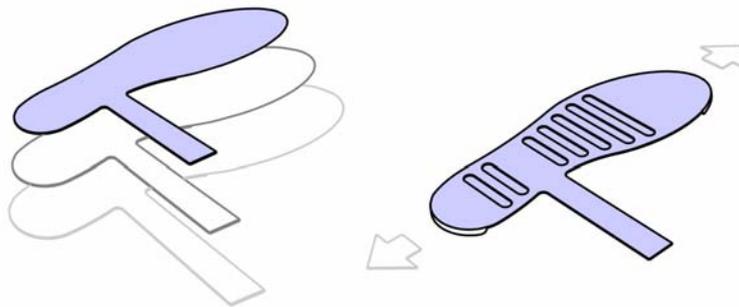


Figura 5.6 Diagrama dos dois conceitos preliminares posteriores para o módulo sensitivo: conceito ‘Múltiplo’, e conceito ‘Elástico’

O segundo conceito, designado **conceito ‘Elástico’** era constituído por uma palmilha com zonas elásticas específicas e zonas rígidas nas quais eram dispostos os sensores. Esta palmilha adaptava-se a uma segunda palmilha rígida que definia o tamanho do calçado. A recolha de dados antropológicos revelou que a variação das medidas do pé entre os números de calçado 35 e 45 se verificava substancialmente na dimensão do comprimento. A variação da largura do pé, entre os números referidos não ultrapassa os 25 mm. Com base nestes dados idealizou-se uma palmilha cuja forma se adaptava aos vários tamanhos de calçado, mantendo-se os sensores devidamente posicionados sob o calcanhar, a cabeça dos metatarsos e o hálux. A palmilha em questão era constituída por um elemento único, em tecido com uma tecnologia específica que permitia a criação de zonas de elasticidade variável. A malha, incluía fios condutores que ligavam os sensores, que por sua vez eram colados e ligados a este suporte. Este elemento era aplicado, através de abas de fixação, numa segunda palmilha rígida que definia o seu tamanho final.

Aferição das vantagens e desvantagens dos conceitos descritos para o módulo sensível:

Tabela 5.4 Vantagens e desvantagens dos conceitos descritos para o módulo sensível.

| Conceito | Vantagens | Desvantagens |
|---|---|--|
| ‘Múltiplo’ (Conceito seleccionado) | <ul style="list-style-type: none"> - O conceito é de construção simples e acessível com base em tecnologias elementares. - Os materiais utilizados na construção da palmilha são baratos. - O conceito garante um posicionamento mais correcto dos sensores sob os pontos específicos da planta do pé. | <ul style="list-style-type: none"> - O conceito pressupõe a existência de pelo menos três pares de palmilhas associadas a um módulo tecnológico. - O dispositivo é mais complexo, uma vez que tem mais componentes. - A palmilha não absorve a humidade e pode tornar-se desconfortável. |
| ‘Elástico’ | <ul style="list-style-type: none"> - O conceito pressupõe a existência de apenas um par de palmilhas associadas a um módulo tecnológico. | <ul style="list-style-type: none"> - A construção da palmilha é um processo complexo. - A integração de fios metálicos condutores numa malha tecida é ainda uma tecnologia experimental. - A palmilha perde elasticidade com o uso intensivo. - Os fios metálicos embebidos no tecido podem deteriorar-se devido ao comportamento elástico do mesmo. - Os sensores não estão devidamente resguardados, as suas ligações e os próprios deterioram-se facilmente com o uso. - O comportamento elástico da palmilha pode não garantir o correcto posicionamento dos sensores sobre os pontos específicos da planta do pé. |

5.6. Refinamento Posterior

Uma vez definidos os conceitos vencedores (conceito **‘Tornozelo’** e conceito **‘Múltiplo’**, respectivamente, para o **módulo tecnológico** e **módulo sensível**), passou-se ao processo de refinamento posterior dos mesmos. Conforme descrito anteriormente, tipicamente é nesta fase que se procede à execução de protótipos.

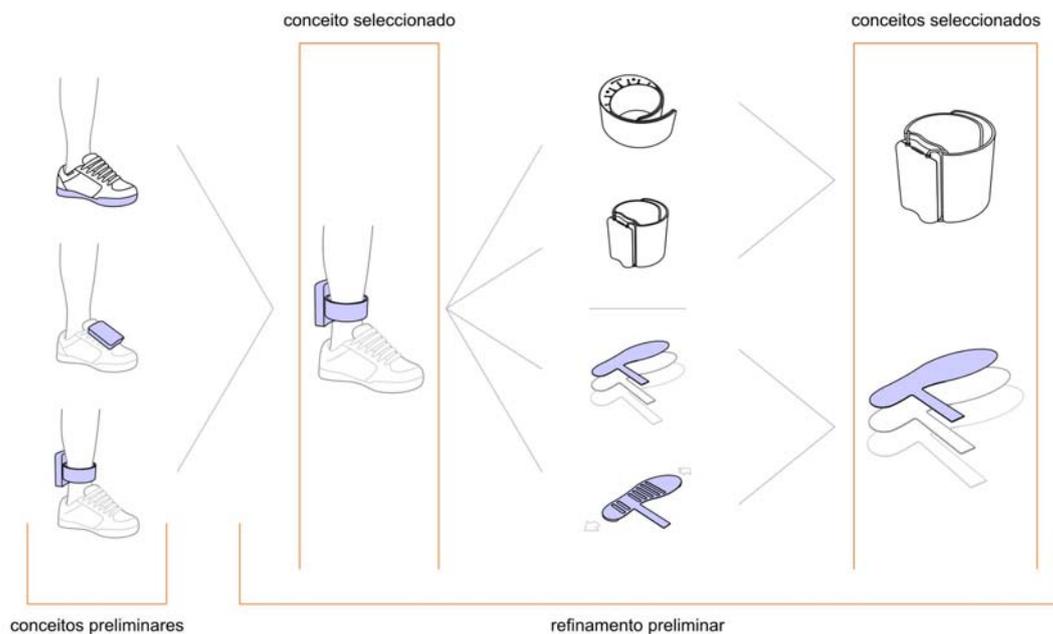


Figura 5.7 Diagrama representando os conceitos preliminares e as fases do processo de refinamento preliminar.

Para o **módulo tecnológico** foi necessário assegurar o correcto dimensionamento da caixa, uma vez que esta se destinava a alojar no seu interior a placa de circuito electrónico e a respectiva bateria. Nas duas metades que constituem a caixa foram criadas estruturas de suporte rigorosamente ajustadas à dimensão da placa de circuito de modo a assegurar uma fixação estável. O mesmo tipo de estruturas foi criado para a fixação da bateria, prevendo-se que o sistema poderá receber baterias cujas dimensões sejam ligeiramente diferentes. Entre os elementos citados previu-se a aplicação de uma espuma flexível para garantir a fixação da bateria. Uma vez que ambas as metades da caixa destinam a ser produzidas por um processo de injeção, a sua concepção teve em conta aspectos específicos desta tecnologia de produção, nomeadamente uma espessura de parede apropriada (2 mm), a criação de um plano de separação funcional, a criação de nervuras de reforço (que constituem simultaneamente os apoios dos elementos interiores) e a criação de ângulos de saída (1°) para garantir a desmoldagem.

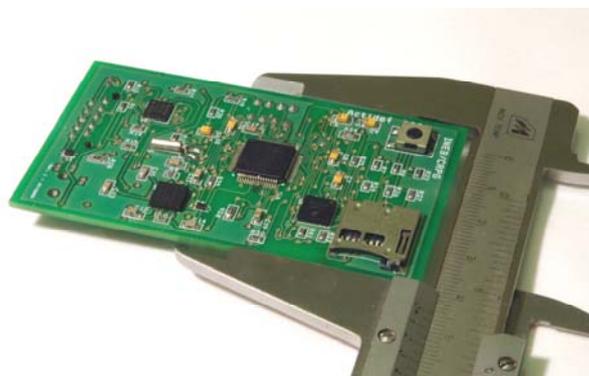


Figura 5.8 Placa de circuito do módulo tecnológico (no processo de levantamento de dimensões).

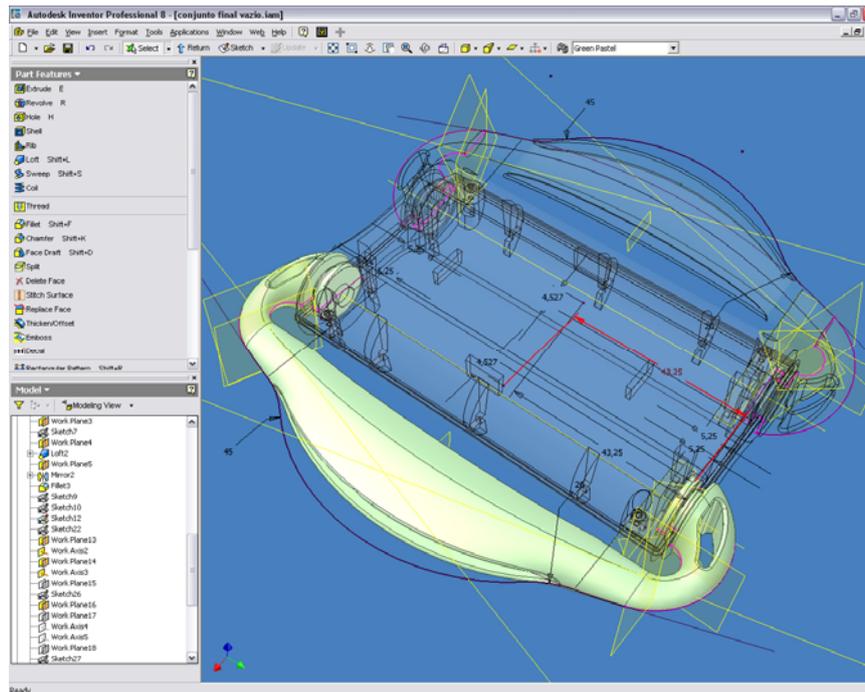


Figura 5.9 Projecto da caixa do módulo tecnológico no ambiente da aplicação *AutoDesk Inventor*.

O projecto de todos os elementos foi efectuado com tecnologia CAD (*Computer Assisted Design*), tendo sido seleccionado para o efeito o pacote de aplicações *AutoDesk Inventor Professional*. A escolha deste programa específico baseou-se nas suas capacidades de desenho paramétrico, na possibilidade de análise de resistência de materiais, de criação directa de desenhos técnicos e de imagens fotorrealistas.

O conceito inicial previa, numa visão inclusiva, que as duas metades apresentassem raios diferentes na interface exterior que se destinava ao contacto directo com a perna do utilizador. Para validar a eficiência desta concepção produziu-se um protótipo exclusivamente focado na forma.

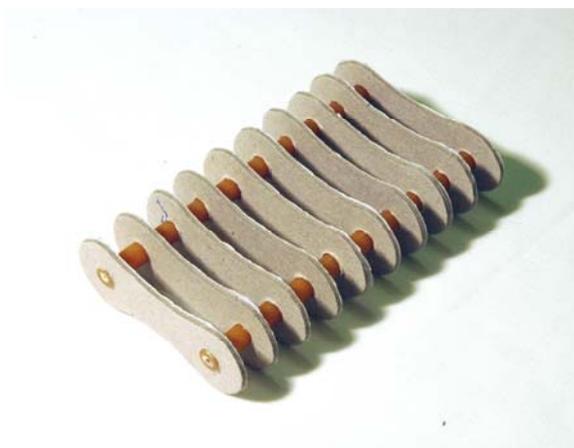


Figura 5.10 Protótipo artesanal focado executado em cartão e plástico.

O protótipo, executado artesanalmente em cartão e plástico foi apresentado a um conjunto de utilizadores para o teste da sua ergonomia. Verificou-se que o diâmetro

exterior de 100 mm satisfazia a maior parte dos inquiridos. Um grupo mais pequeno concordava em utilizar qualquer uma das faces. Apenas as crianças se adaptaram exclusivamente à interface com o diâmetro exterior de 50 mm. Pressupõe-se que a interface com diâmetro inferior também se adaptará à parte inferior da perna de indivíduos que apresentem atrofiamento dos músculos (pacientes de paralisia cerebral ou lesões musculares). A concepção deu-se como validada.

A alteração mais notória relativamente ao conceito inicial foi a eliminação dos elementos metálicos para fixação da cinta. A construção do sistema completo (**módulo sensitivo** incluído) baseia-se na utilização de termoplásticos, se eliminarmos os componentes metálicos, simplificamos o processo de produção e minimizamos a cadeia de fornecedores, uma vez que os referidos elementos podem ter a mesma origem que os elementos restantes, esta acção enquadra-se na lógica da abordagem DFP (*Design for Production*). A injeção de polímeros termoplásticos é uma tecnologia de produção bastante acessível num contexto de produção industrial.

Os novos elementos para fixação da cinta foram redesenhados tendo em conta as propriedades físicas do material em que são agora construídos. Uma vez que a tecnologia de obtenção de formas por injeção permite uma maior liberdade de forma, foram criadas abas que protegem a parte mais exposta da cinta de fixação da fricção com a roupa do utilizador. O protótipo abrangente do conceito definitivo para o **módulo tecnológico**, foi executado nas instalações do INEGI (Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial) pelo método de Prototipagem Rápida com recurso à tecnologia SLS (*Selective Laser Sinterization* - Sinterização Selectiva a Laser). Este protótipo apresentava a forma definitiva do dispositivo e aproximava-se do peso final do mesmo.

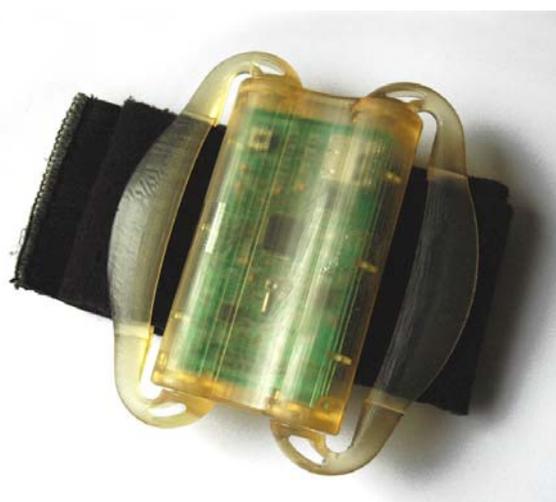


Figura 5.11 Módulo tecnológico executado por Prototipagem Rápida SLR.



Figura 5.12 Teste da fixação do módulo tecnológico pela utilização de uma cinta elástica experimental.

Para testar a fixação do dispositivo à perna do utilizador utilizou-se uma cinta elástica com elementos em *Velcro* adaptada de um produto existente no mercado. A cinta experimental, em tecido, ajustava-se correctamente por elasticidade, mas deslocava-se após alguns ciclos de marcha. O facto de possuir uma das faces integralmente revestida a laços de *Velcro*, facilitava a sua colocação.

A cinta definitiva destina-se a permanecer em contacto directo com a pele do utilizador durante longos períodos de tempo (entre 8 a 12 horas diárias durante 7 dias), e não deverá deslocar-se da posição funcional, sendo assim, deverá haver algum cuidado na selecção dos materiais que a constituem. O universo ideal para a adopção de um material desta natureza é o universo ortopédico.

Constata-se que alguns componentes utilizados em ortóteses, destinados à sua fixação e ao contacto prolongado com a pele, são compostos por gel de silicone. Este material, produzido em diferentes densidades, tem sido largamente utilizado na concepção de ligaduras (ligaduras impregnadas para hidratação de feridas), componentes de próteses dos membros (forros e mangas para o contacto directo com a pele), implantes mamários, próteses auditivas, e outras. O silicone é de natureza inerte e não desencadeia alergias (existe uma percentagem mínima de indivíduos alérgicos), é inodoro, insípido, incolor (podem aplicar-se corantes), elástico, pode ser fervido para esterilização e não reage com fluidos desinfetantes.

Pretende-se que a cinta seja elástica, a fim de exercer uma pressão constante sobre a perna do utilizador de forma a fixar-se. O ideal será que não deslize para baixo durante o exercício da marcha ou da corrida, sendo assim a cinta terá que apresentar propriedades de aderência. A cinta deverá ser lavável e esterilizável pela aplicação tópica de um desinfetante. A cinta deverá ser de natureza anti-alérgica. O gel de silicone cumpre estes requisitos.

A cinta será fixa através de componentes em *Velcro* (o sistema mais simples e funcional), a forma mais correcta de projectar essa fixação em termos de acessibilidade será revestir uma das faces integralmente em laços de *Velcro*, deste modo, qualquer ponto da sua superfície servirá para fixação. A cinta deverá possuir na extremidade adequada, um elemento de manipulação dimensionado para ser facilmente utilizado por indivíduos amblíopes e com menos sensibilidade ou mobilidade manual.

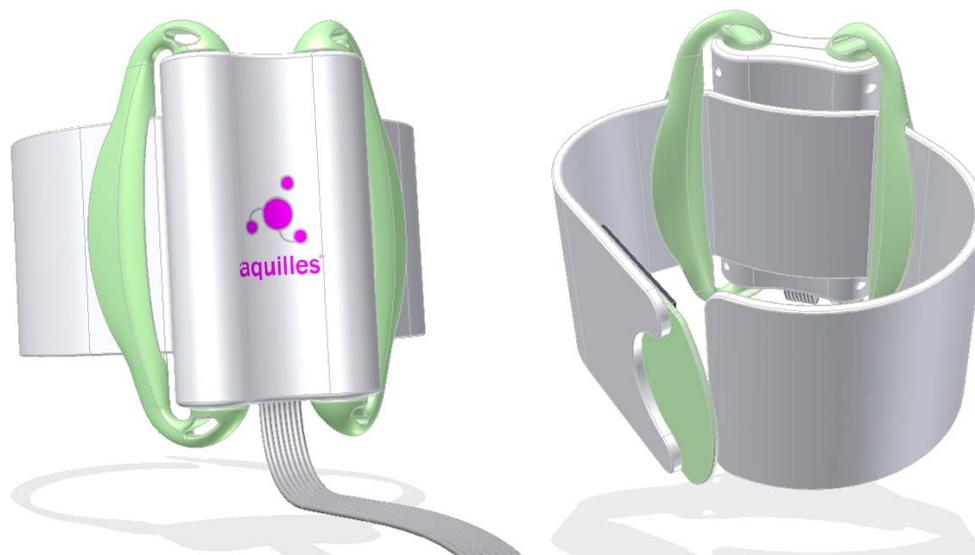


Figura 5.13 *Rendering* do aspecto final do módulo tecnológico incluindo a cinta de fixação.

A cinta definitiva será constituída por um corpo principal em gel de silicone de densidade apropriada, revestido numa das faces por uma película elástica de laços de *Velcro*, numa das extremidades haverá um elemento de manipulação e um elemento em ganchos de *Velcro*. O comprimento total da cinta não deverá ultrapassar os 400 mm, esta dimensão adequa-se a diâmetros da parte inferior da perna até 125 mm (aproveitando-se a elasticidade) e não apresenta um excedente pouco funcional no caso de diâmetros mais reduzidos. A construção deste conjunto é simples: os componentes são seccionados por cunhos cortantes e costurados entre si.

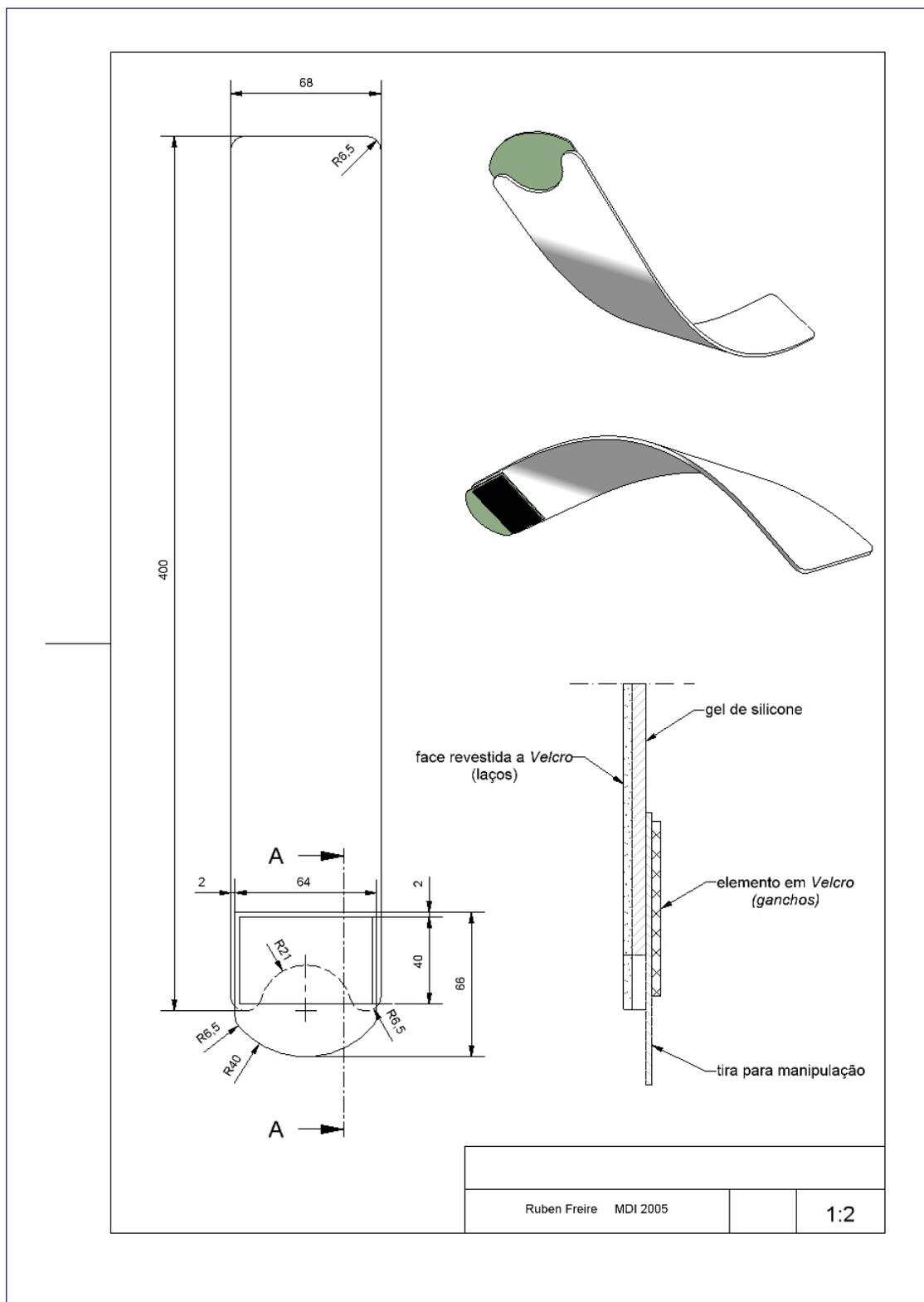


Figura 5.14 Desenho da cinta de fixação.

Para o **módulo sensitivo**, uma vez que se pretendiam obter apenas três palmilhas que servissem a todos os números de calçado, levou-se a efeito um levantamento das dimensões de palmilhas ortopédicas entre os números 35 e 46 (números de calçado para adultos). O objectivo era obter dados rigorosos referentes à proporção entre estas. O

contorno de uma palmilha é obtido a partir de um conjunto de formas geométricas simples: uma elipse, um círculo e quatro arcos tangentes. As dimensões de cada um destes elementos podem ser associadas num modelo paramétrico em que os seus valores são quocientes de um parâmetro base, neste caso o comprimento total da palmilha.

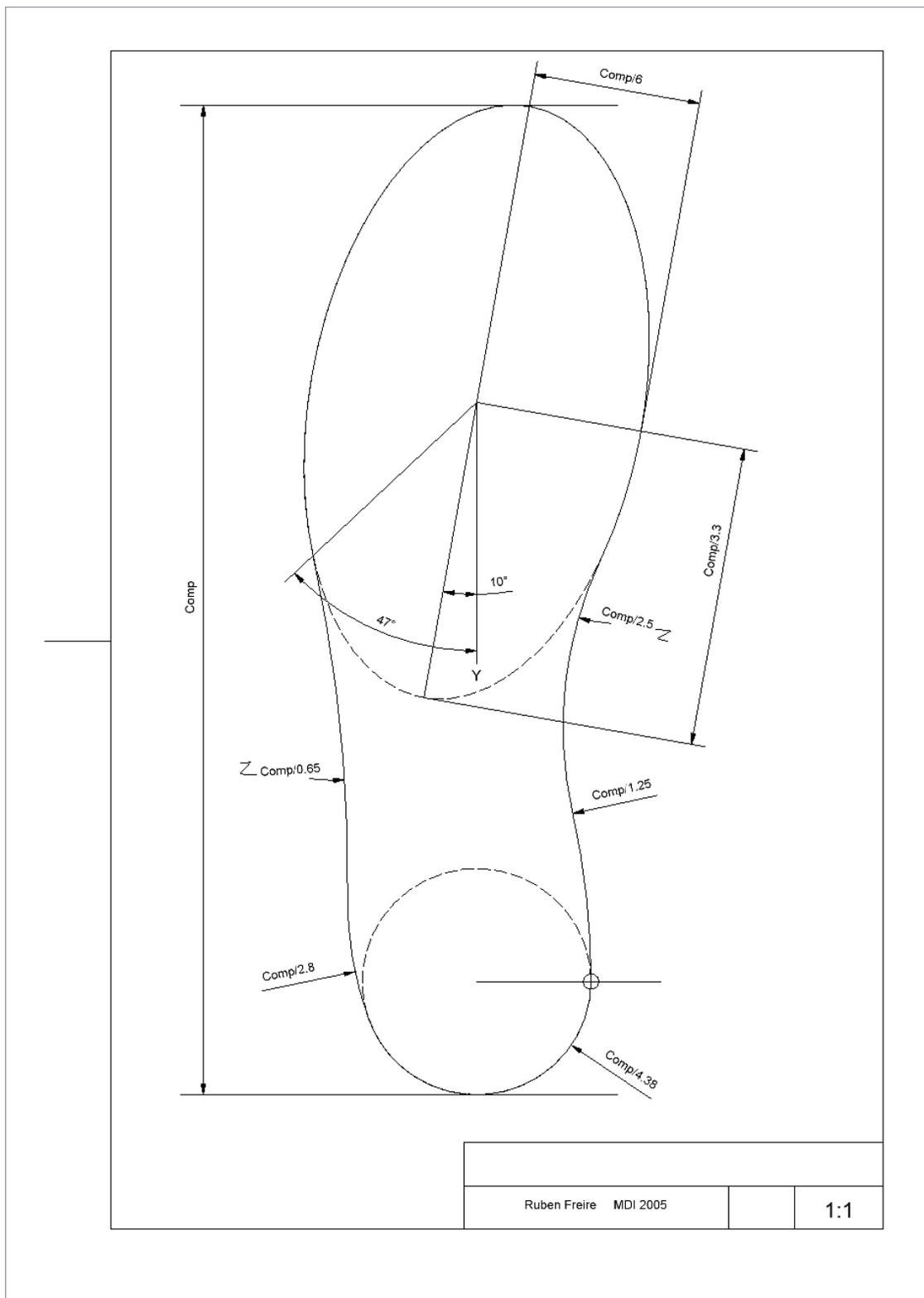


Figura 5.15 Modelo paramétrico de uma palmilha.

Os primeiros protótipos para o **módulo sensitivo** foram recortados em papel e posteriormente obtidos a partir de lâminas de polipropileno de 0,5 mm de espessura. O desenho destas palmilhas foi baseado no modelo paramétrico acima descrito. Os tamanhos de calçado que se pretendiam abranger eram do 35 ao 46, que correspondem aos tamanhos dos utilizadores adultos. Uma vez que se pretendia satisfazer este universo de utilizadores com apenas três tamanhos de palmilha, houve necessidade de criar um mecanismo que permitisse que as mesmas fossem extensíveis. Nesse sentido alterou-se o contorno da palmilha, criando-se um corte transversal com 18 mm de largura. Uma vez que a diferença de tamanho entre dois números é de aproximadamente 6 mm, este corte permite que ambas as partes se adaptem por flexão de forma a cobrir quatro tamanhos de calçado.

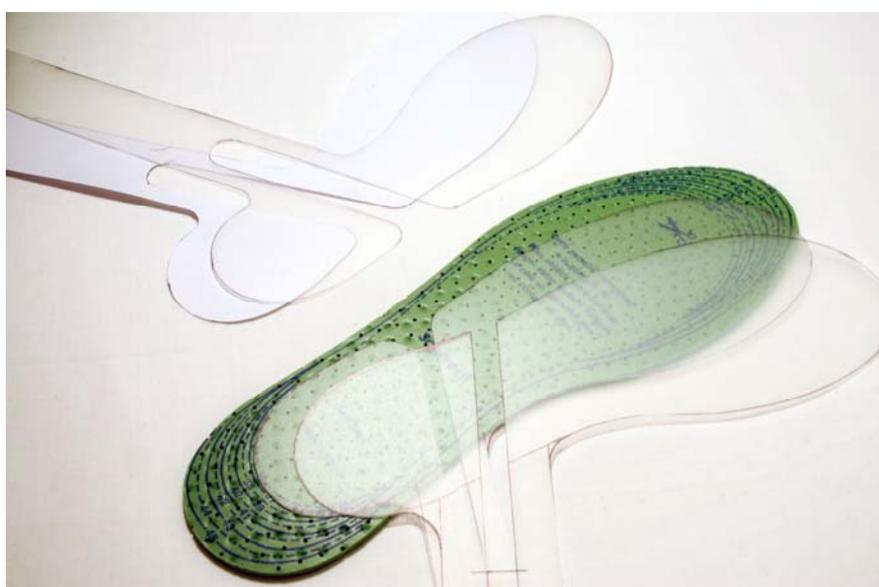


Figura 5.16 Protótipos artesanais para a palmilha executados inicialmente em papel e posteriormente em lâminas de polipropileno de 0,5mm de espessura.

Os protótipos artesanais construídos provaram que a concepção era funcional e a sua experimentação levou a desenvolvimentos subsequentes. Um desses desenvolvimentos foi a alteração do ângulo do corte para 20° relativamente ao eixo transversal. A palmilha possui uma tira que se estende do seu corpo principal num ponto específico, alinhado com a parte aberta do sapato, essa tira destina-se à ligação ao **módulo tecnológico**, o ângulo referido permite que, uma vez a palmilha colocada no sapato, essa tira se prolongue sensivelmente alinhada com a perna do utilizador, sendo esta a configuração mais funcional. Quando a palmilha é colocada, a flexão da tira de ligação ao módulo tecnológico gera tensões no seu corpo que fazem com que as duas partes separadas pelo corte longitudinal se afastem, esta propriedade é inerente ao material e forma utilizados (lâmina de polipropileno de 0,5 mm de espessura) e permite que a palmilha se ajuste activamente ao comprimento total do sapato. O desenho final deste elemento foi efectuado como modelo paramétrico.

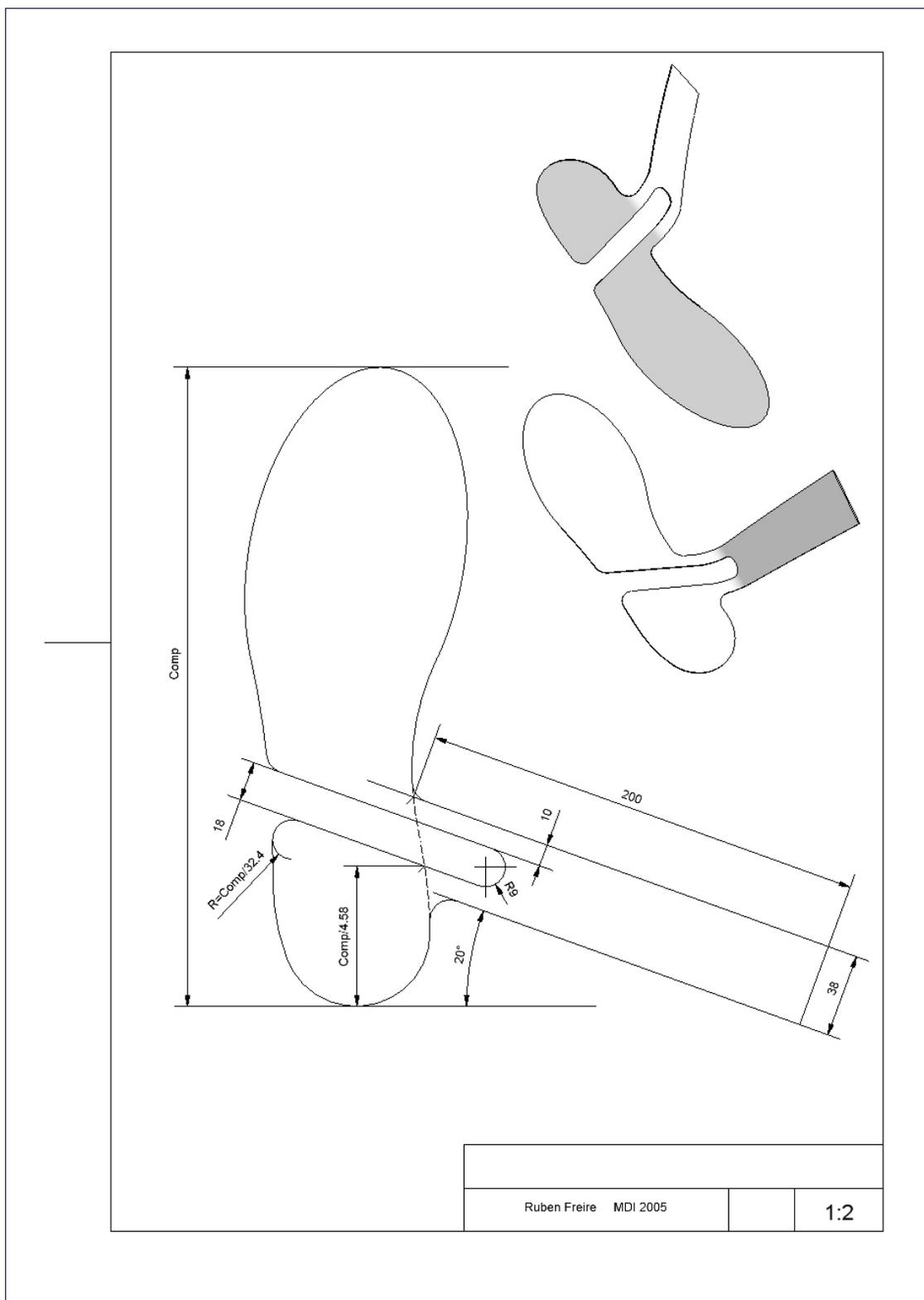


Figura 5.17 Desenho do contorno definitivo da palmilha, executado como modelo paramétrico.

O passo seguinte foi definir os pontos de aplicação dos sensores de pressão na superfície da palmilha. A localização destes pontos passou necessariamente por um levantamento antropométrico. A primeira experiência consistiu em aplicar pequenos círculos de papel revestidos com um aderente reposicionável na planta do pé de voluntá-

rios. O dispositivo prevê a utilização de oito sensores, cujos pontos de aplicação correspondem aos pontos principais de apoio do pé: as cabeças dos metatarsos (5 sensores), o ponto de apoio do hálux (1 sensor) e o calcânhar (2 sensores). O levantamento nos termos referidos foi efectuado em duas pessoas com tamanhos de pé correspondentes ao 36 e ao 42. Uma vez localizados os pontos específicos, o voluntário colocava o pé sobre uma palmilha correspondente ao seu tamanho, transferindo os círculos de papel para a superfície da mesma. Os resultados observados levaram à execução de um modelo provisório. Uma das dificuldades que se verificaram na execução deste levantamento foi a dificuldade em identificar pela palpação a localização rigorosa dos pontos específicos na planta do pé, nomeadamente ao nível das cabeças dos metatarsos. Concluiu-se que o ideal seria observar uma radiografia da planta do pé na qual se pudesse aferir rigorosamente a localização destes pontos. Nessa lógica foram recolhidas imagens radiográficas do pé de indivíduos adultos. Procurou-se reunir radiografias de pés de tamanhos diferentes, de indivíduos de ambos os sexos com antropometria normal, ou que mesmo apresentando patologias, estas não interferissem na posição das articulações (a obtenção de radiografias é geralmente efectuada para casos patológicos).

As radiografias seleccionadas, num total de oito, foram importadas para um programa gráfico vectorial (*Corel Draw*) a partir do qual foi possível marcar a posição dos pontos de apoio e criar um modelo ajustado que servisse a todas as radiografias recolhidas. Os resultados obtidos nesta experiência foram confrontados com os resultados da experiência anterior, verificando-se uma notável conformidade de dados.



Figura 5.18. Execução do modelo geométrico inicial sobre uma imagem radiográfica.

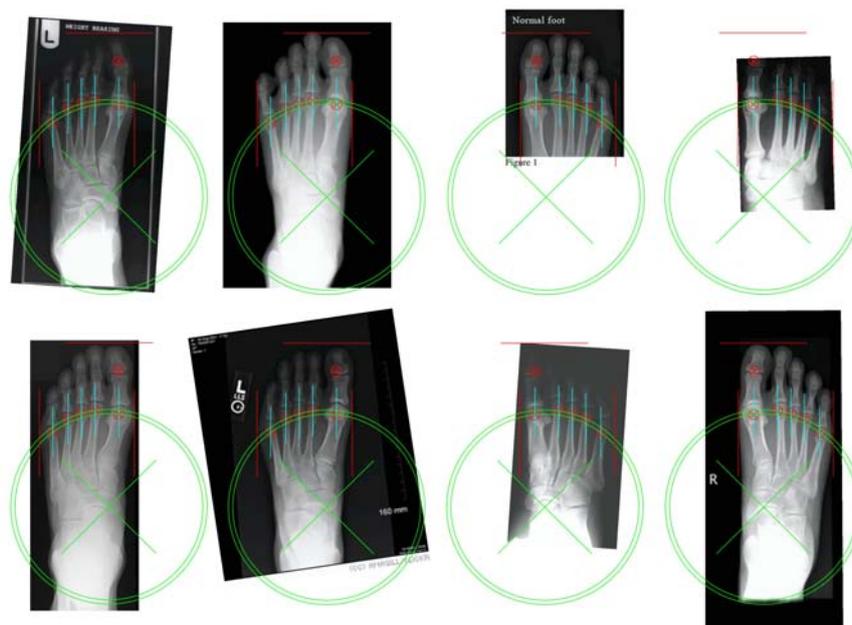


Figura 5.19 Verificação do modelo geométrico sobre as diferentes imagens radiográficas.

Em termos geométricos podemos concluir que as cabeças dos cinco metatarsos se organizam aproximadamente sobre duas circunferências concêntricas cujos centros se localizam sensivelmente deslocados para a parte interna do pé, a aproximadamente dois quintos ($1/2.3$) do comprimento total do mesmo. Este modelo é dimensionado a partir da extremidade posterior do pé e dos limites laterais do mesmo. Posteriormente o modelo foi transferido para a palmilha e foi criado um desenho paramétrico no qual o posicionamento de cada sensor está associado ao comprimento total do pé.

Os sensores utilizados no dispositivo são circulares (10 a 15 mm de diâmetro) e detectam o mesmo valor de pressão em qualquer ponto da sua superfície, esta tipologia pressupõe alguma tolerância no seu posicionamento, sendo assim, podemos prever que o modelo abaixo ilustrado se adaptará a todos os tamanhos de pé e cobrirá ligeiras diferenças antropométricas entre os mesmos.

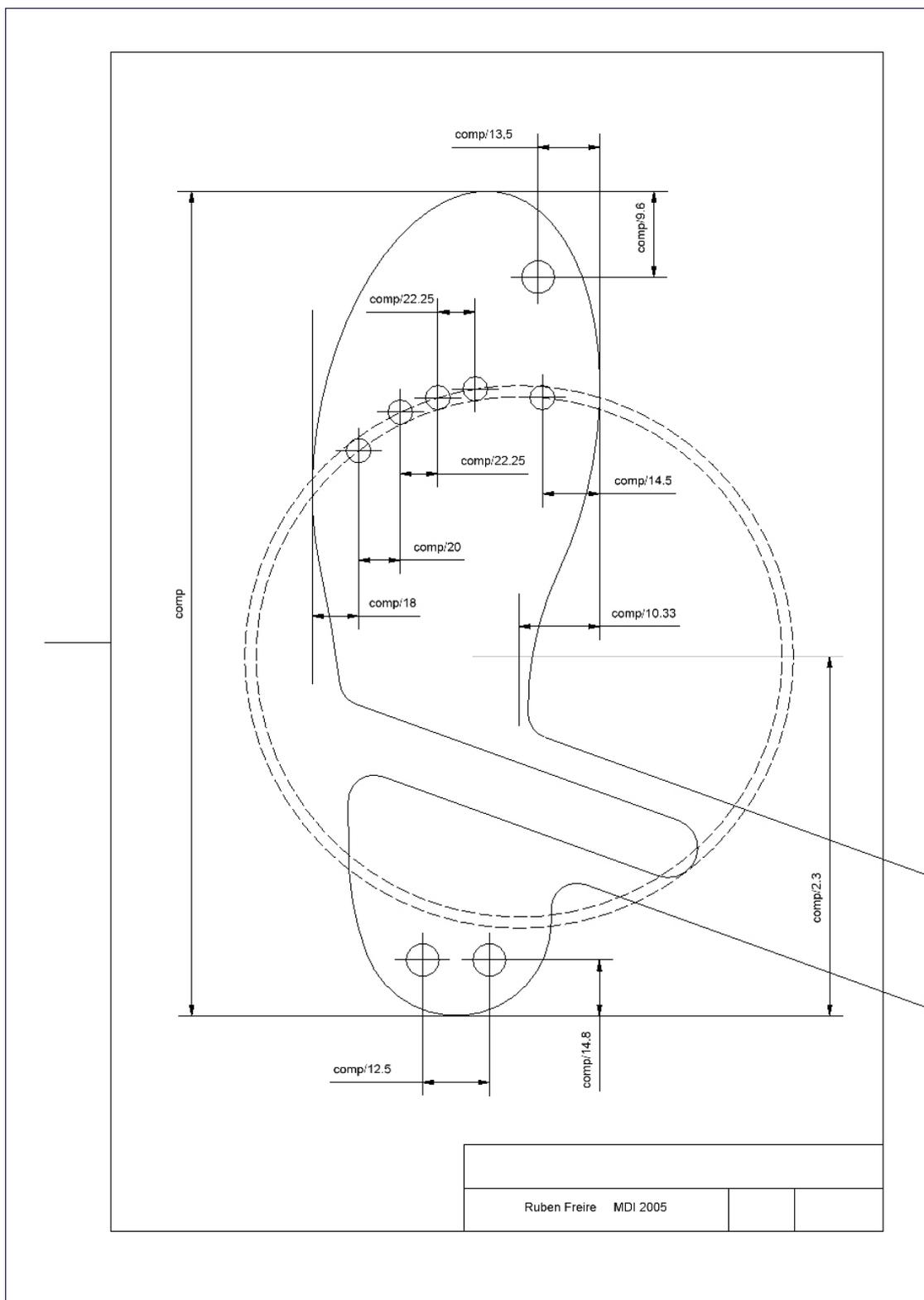


Figura 5.20 Desenho da posição definitiva dos sensores sobre a palmilha executado como modelo paramétrico.

O módulo sensível é constituído por três camadas. A palmilha intermédia é construída a partir de uma chapa de polipropileno de 0,5 mm de espessura, cuja forma final é obtida por cunhos cortantes. A este elemento aplica-se cola por atomização (cola atomizável 3M *Scotch Weld*) em ambas as faces. Os sensores e respectivos cabos de ligação

são posicionados manualmente pela utilização de um escantilhão de referência. A palmilha intermédia é posteriormente revestida em ambas as faces por duas palmilhas em polipropileno de 0,25 mm de espessura (com uma largura excedente de 2 mm). As camadas exteriores são termocoladas na periferia. O conjunto apresenta sensivelmente 1 mm de espessura total, é lavável, pode ser esterilizado pela aplicação tópica de um fluido desinfectante e é resistente à água.

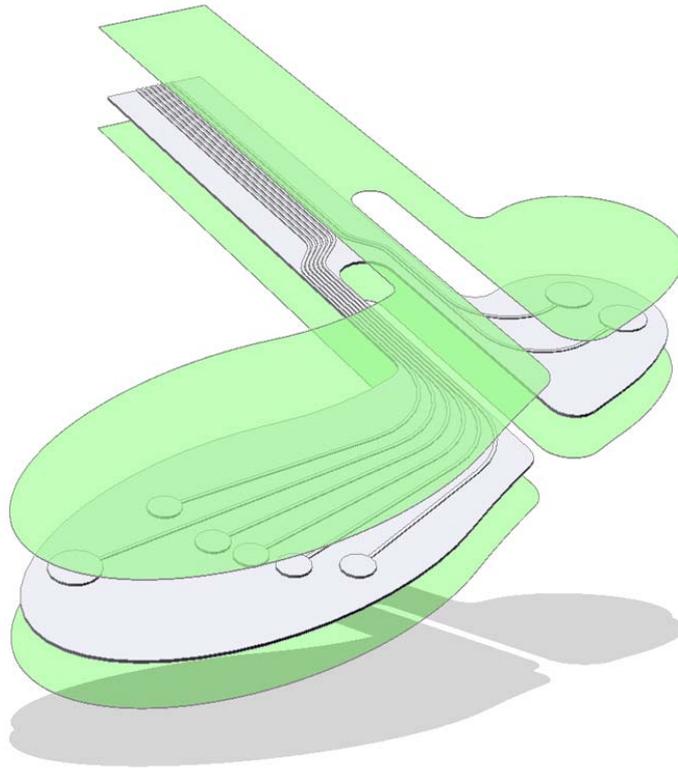


Figura 5.21 *Rendering* explodido do módulo sensível, demonstrando a colocação dos elementos condutores dos sensores e as camadas de revestimento exteriores.

Embora a inclusão de uma marca comercial não tenha sido avaliada como um aspecto crucial pelos possíveis utilizadores inquiridos anteriormente (aspecto interessante mas não necessário), o factor Comunicação é considerado por *Dreyfuss* (1967) como um dos cinco objectivos que um *designer*, ou uma equipa de *designers*, devem alcançar no processo de desenvolvimento de um produto. O autor entende que o *Design* do produto deve comunicar a filosofia corporativa e missão da marca, através das qualidades visuais do produto. *Ulrich e Eppinger* (2003) acrescentam que a diferenciação de um produto (reconhecimento da forma e da marca) é um dos aspectos que comprova a competência da intervenção da disciplina *Design Industrial* e contribui para o seu sucesso no mercado.

Esses princípios contemplam a criação de uma marca comercial e, eventualmente, a inclusão do respectivo logótipo na interface visível do produto.

A designação 'Aquilles' fundamentou-se na procura de uma palavra de forte identidade que de alguma forma estivesse associada ao produto em causa. O termo escolhido é o nome do semi-deus grego que Homero designou como "O Herói de pés ligeiros". Segundo a mitologia grega, Aquiles era um corredor notável, cujo único ponto fraco era o seu calcanhar. A marca escolhida foi associada a um logótipo. O grafismo desse logótipo baseou-se na tipologia do próprio dispositivo (sensores e fios de ligação), no esboço de uma pessoa no exercício da marcha e na representação da letra 'A'. O logótipo foi desenvolvido tendo em conta as condicionantes próprias deste tipo de grafismo (visibilidade, simplicidade geométrica, identidade, etc.).

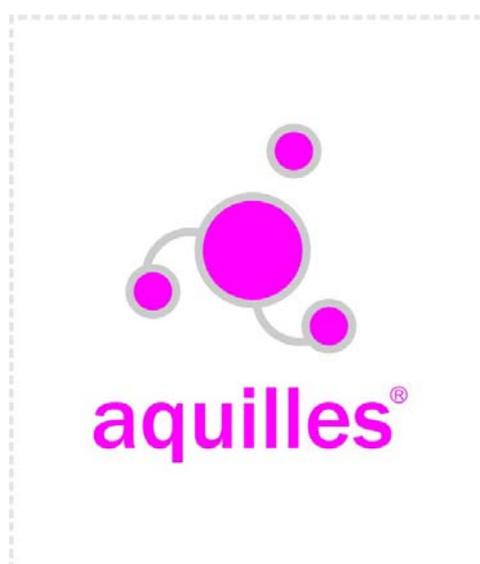


Figura 5.22 Logótipo para a marca 'Aquilles'.

Para implementar a usabilidade do produto, criou-se um conjunto de ícones informativos a imprimir na superfície do módulo sensível. Esses ícones apresentam informação redundante (numa perspectiva de perceptibilidade) relativa a aspectos importantes da interface: o tamanho da palmilha, cuidados de segurança e manutenção deste elemento.



Figura 5.23 Ícones informativos.

Depois de integralmente montados, os dois módulos do produto são ligados entre si por um cabo *flat cable* de elevada flexibilidade. Este elemento está ligado ao módulo sensitivo por um conector e pode facilmente ser desligado sempre que houver necessidade de trocar a palmilha. O dispositivo dispõe apenas de um cabo de ligação que serve simultaneamente (mediante a utilização de um adaptador) para ligação ao módulo sensitivo e ao PC, para passagem dos dados e carregamento da bateria pela porta USB. O facto de existir um cabo único simplifica a tipologia do produto e elimina elementos adicionais. Deste modo a caixa do módulo tecnológico não apresenta aberturas que poderiam afectar a integridade do circuito ou cabos extra que criariam interferência física e pontos de fragilidade.



Figura 5.24 *Rendering* do produto final, apresentando todos os seus componentes e os elementos gráficos.

5.7. *Desenhos de Controlo*

A execução de desenhos de controlo dos elementos desenvolvidos é uma actividade acessória à função *Design Industrial*. Um desenho de controlo constitui um desenho técnico simplificado, no qual são descritas as dimensões mais importantes a conferir no processo de construção das peças. Essas dimensões referem-se essencialmente às partes da peça que se destinam a encaixar em outras, ou que de alguma forma comprometem a forma final do produto e a sua funcionalidade. Em contexto de produção indus-

trial, a execução de desenhos de construção pormenorizados tem interesse para efeitos de registo ou arquivo, ou nos casos em que a construção da peça é efectuada manualmente. A construção das peças em causa, a ser efectuada, será baseada em ficheiros electrónicos anexados ao presente documento, a partir dos quais se fará a construção dos devidos moldes. Em anexo seguem igualmente impressões à escala dos desenhos abaixo representados para efeitos ilustrativos.

A caixa para o módulo tecnológico é constituída por duas metades, ligadas entre si por parafusos ANSI B18.6.4 – 0-48 – 0,375(21) AB. Entre as duas metades serão colocadas as peças de fixação da cinta, o circuito electrónico e a bateria da componente tecnológica do produto. A dimensão das abas de encaixe de ambas as metades, dos elementos rotativos, dos elementos de fixação do circuito electrónico e dos elementos de fixação da bateria, são as dimensões críticas que deverão ser controladas. Além disso, será conveniente verificar a espessura de parede, e a dimensão total das peças, incluindo os raios diferenciados de ambas as metades.

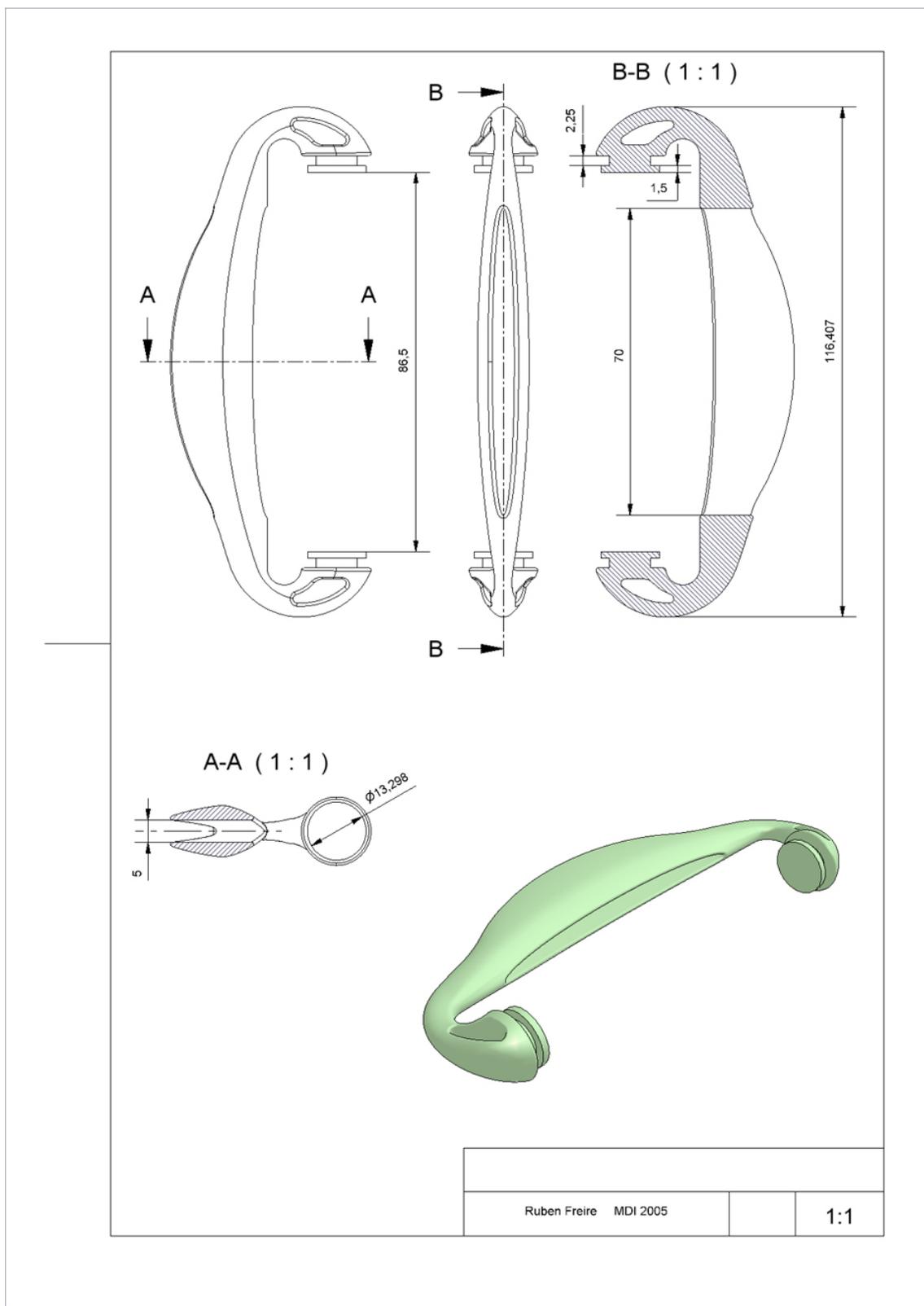


Figura 5.25 Desenho de controlo da peça de fixação da cinta.

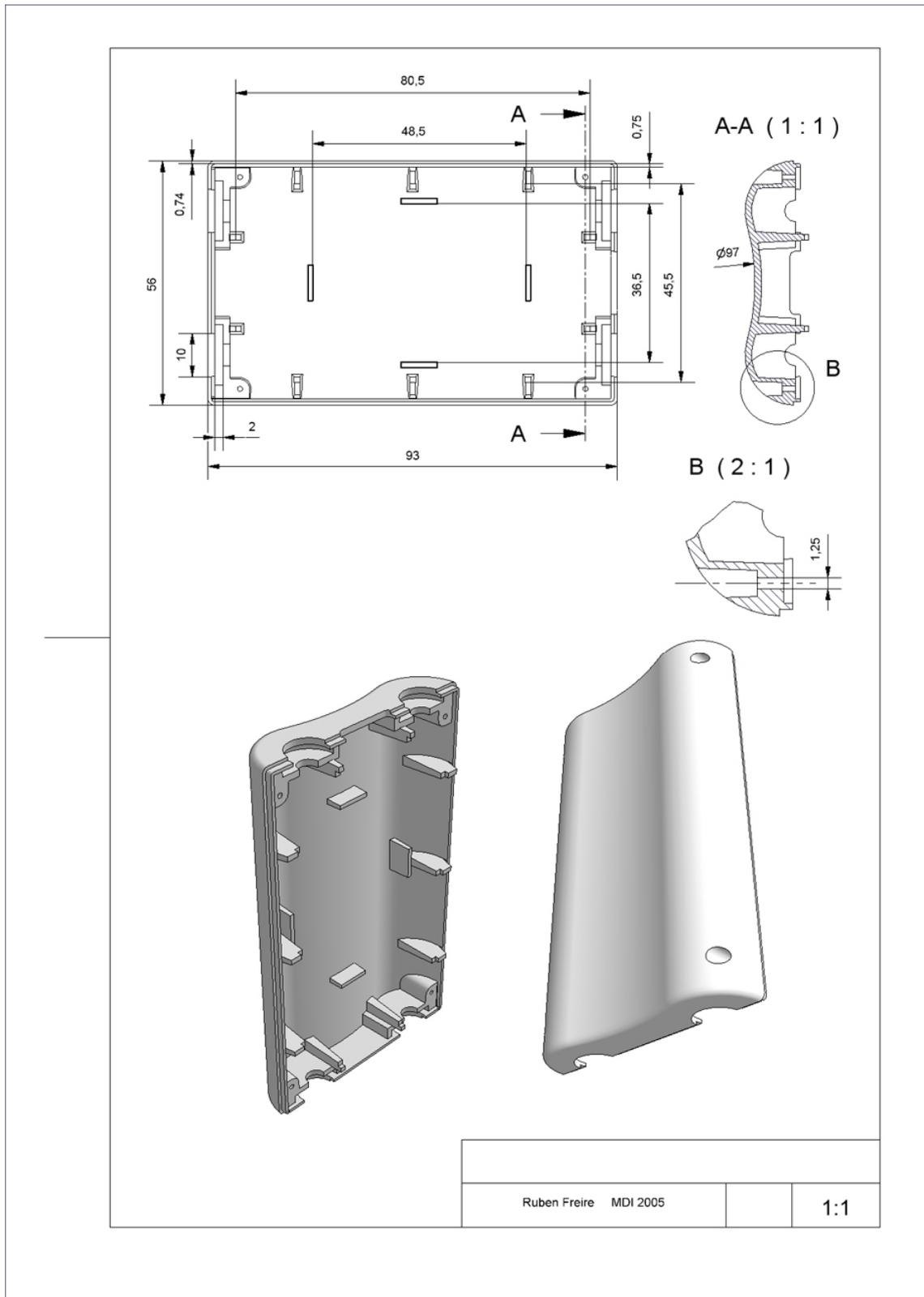


Figura 5.26 Desenho de controlo da metade posterior da caixa para o módulo tecnológico.

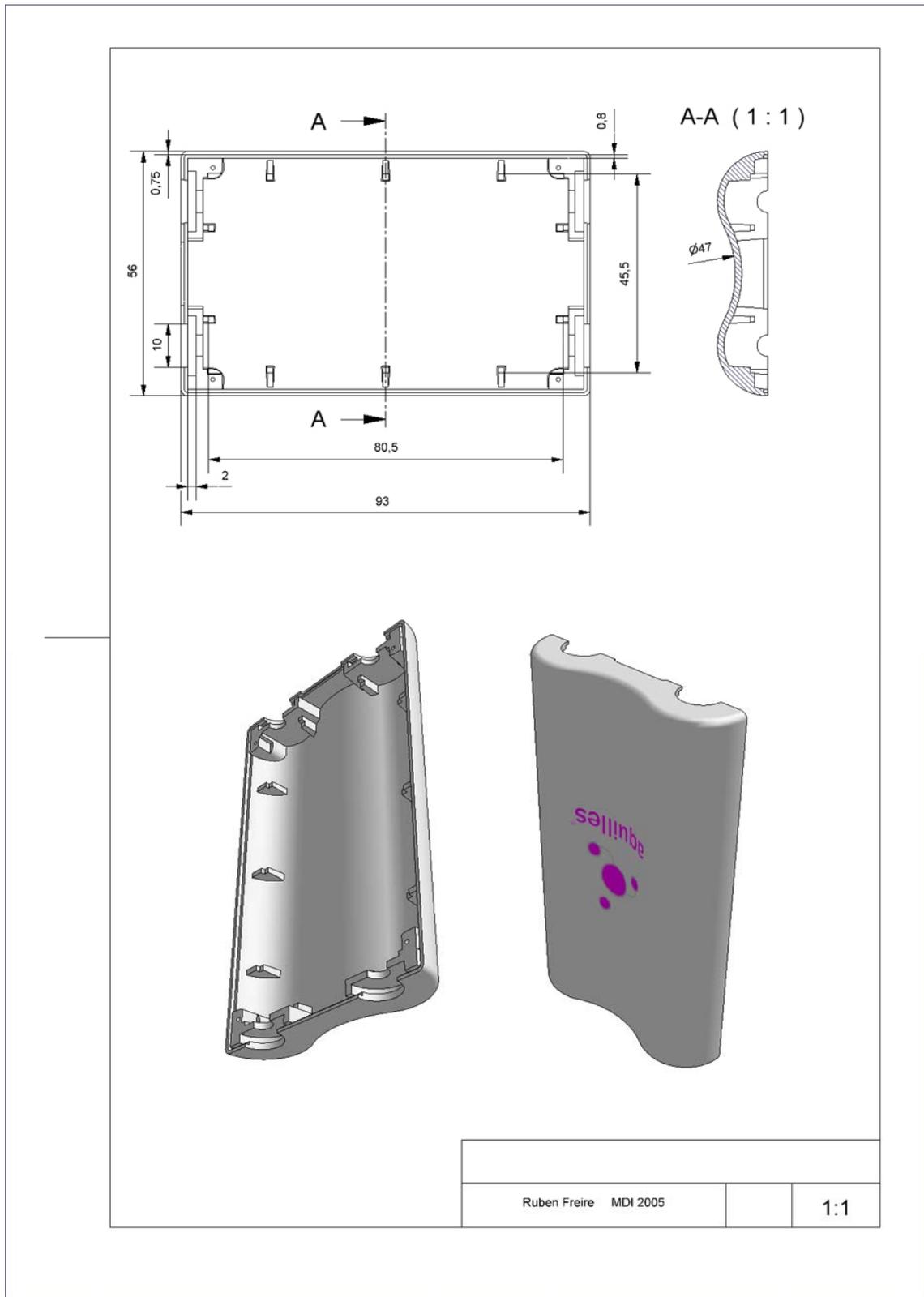


Figura 5.27 Desenho de controlo da metade anterior da caixa para o módulo tecnológico.

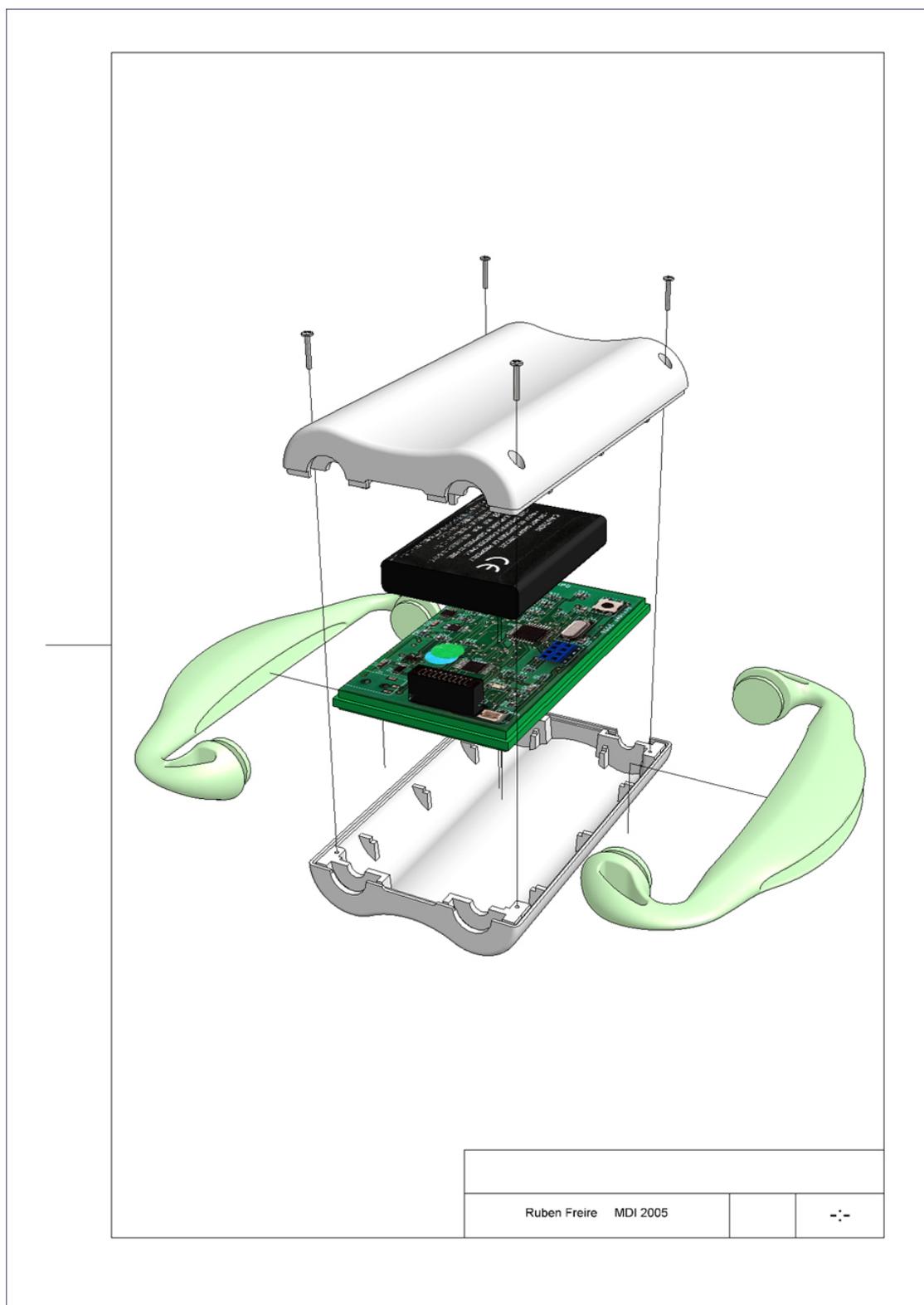


Figura 5.28 Desenho explodido descrevendo a montagem da caixa para o módulo tecnológico.

Os componentes da palmilha poderão ser executados a partir de ficheiros electrónicos anexados ao presente documento. Para estes elementos determinou-se, após análise antropométrica, que os parâmetros do comprimento (que definem todo o desenho das palmilhas) serão os seguintes para os três modelos:

- Tamanho S – 227 mm
- Tamanho M – 252 mm
- Tamanho L – 293 mm

Os desenhos destes elementos foram descritos no capítulo anterior e seguem em anexo impressos à escala.

5.8. Conclusão

O capítulo “Protótipo” descreve todas as acções referentes ao desenvolvimento do produto em causa. Uma vez que no início deste trabalho se determinou que as fases a adoptar para a sua realização seriam as fases específicas do processo do *Design Industrial*, as acções descritas referem-se ao cumprimento dessas fases:

- Investigação das necessidades dos clientes;
- Conceptualização;
- Refinamento preliminar;
- Refinamento posterior e selecção final do conceito;
- Desenhos de controlo;
- Coordenação com a engenharia, produção e vendas.

Segundo a teoria do Desenvolvimento de Produto, independentemente da metodologia adoptada, a elaboração de uma Declaração de Princípios de Projecto é sempre uma acção essencial. No início desta fase do projecto elaborou-se esse documento, no qual se registaram os seguintes dados, como pontos de referência para a orientação do trabalho.

- Descrição breve (essencial) do produto;
- Mercados-alvo para o produto;
- Pressupostos e restrições que condicionarão o esforço de desenvolvimento do produto;
- Lista das pessoas ou organizações que serão afectadas pelo sucesso ou insucesso do produto;

O processo adoptado previa uma fase de investigação das necessidades dos clientes. A investigação das necessidades dos clientes é uma acção a efectuar na fase de Planeamento e representa um exercício crucial no processo genérico de Desenvolvimento de Produto. O levantamento efectivo das necessidades e expectativas dos clientes faria sentido num projecto global, efectuado de raiz, abrangendo o desenvolvimento das componentes funcional e tecnológica do produto. Para o presente caso, considerou-se mais proveitoso efectuar junto dos potenciais utilizadores, uma análise de especificações. Essas especificações referiam-se a aspectos do produto em desenvolvimento no presente trabalho, ligados às competências da disciplina *Design Industrial*.

Elaborou-se um inquérito constituído por 32 itens, onde se propunha a avaliação de determinados aspectos do produto. Cada um desses aspectos traduzia-se numa especificação a implementar no produto final. Os aspectos propostos inseriam-se em cinco categorias:

- Fiabilidade e Segurança.
- Conforto.
- Acessibilidade.
- Funcionalidade.
- Forma e Materiais.

O inquérito foi apresentado a um total de dezoito pessoas, que se dividiam entre os dois mercados-alvo definidos na Declaração de Princípios de Projecto. Os resultados obtidos foram analisados e registados para reflexão e serviram de directrizes para as decisões posteriores.

A Declaração de Princípios de Projecto descrevia o produto como tendo dois módulos, no entanto a tipologia do produto e a integração destes módulos não estava integralmente definida. Sendo assim, na fase de Desenvolvimento de Conceitos, desenvolveram-se três conceitos preliminares iniciais que propunham a integração dos dois módulos referidos em três tipologias de produto diferentes. De forma a identificar de maneira mais prática os conceitos e facilitar a discussão dos mesmos, estes foram identificados com designações específicas. Os três conceitos preliminares iniciais designaram-se: conceito ‘Sapato’, conceito ‘Atacadores’ e conceito ‘Tornozelo’. Estas concepções foram analisadas e discutidas em termos das suas vantagens e desvantagens, o conceito seleccionado nesta fase foi o conceito ‘Tornozelo’.

Na fase de Refinamento Preliminar, uma vez que a tipologia do produto estava definida, separaram-se os dois módulos constituintes do produto, e para cada um criaram-se conceitos preliminares posteriores. Para o módulo tecnológico desenvolveu-se o conceito ‘Flexível’ e o conceito ‘Rígido’. Para o módulo sensitivo desenvolveu-se o conceito ‘Múltiplo’ e o conceito ‘Elástico’. A selecção dos conceitos que deveriam passar para a fase seguinte foi efectuada, tal como anteriormente, pela discussão e análise das vantagens e desvantagens dos conceitos propostos. Os conceitos seleccionados foram o conceito ‘Rígido’ e o conceito ‘Múltiplo’, respectivamente para o módulo tecnológico e para o módulo sensitivo.

Todo o processo descrito representa uma sucessão de desenvolvimentos, selecções e refinamentos devidamente sustentados e registados, este processo baseia-se no método estruturado de Desenvolvimento de Produto citado anteriormente. A fase final deste processo é a fase de Refinamento Posterior. Nesta fase o módulo tecnológico foi aperfeiçoado ao nível da forma. Efectuou-se o desenho rigoroso dos seus componentes, rea-

lizaram-se desenvolvimentos acrescidos condicionados pela adopção de princípios ligados à Acessibilidade ao *Design* Inclusivo, e por questões relativas aos materiais e às tecnologias de produção. A mesma filosofia foi adoptada para o desenvolvimento do módulo sensitivo. Este elemento constituía uma interface mais exigente, cujo projecto implicou levantamentos antropométricos acrescidos e experimentação de protótipos.

Numa parte final do processo de Refinamento Posterior, uma vez que a marca comercial é um aspecto importante de um produto acabado e um elemento essencial à imagem e identidade do mesmo, foram criados uma marca virtual e um logótipo. Foram igualmente criados ícones para efeitos de comunicação de aspectos essenciais do produto e de questões de segurança.

O capítulo referente aos "Desenhos de Controlo" apresenta desenhos técnicos simplificados, destinados ao controlo das dimensões mais importantes das peças em contexto de produção. A sua representação serve igualmente para ilustrar com algum detalhe, o resultado físico do trabalho desenvolvido na presente Dissertação.

6. Conclusões Finais e Desenvolvimentos Futuros

6.1. Conclusões Finais

Uma vez que a presente Dissertação se integrava no Curso de Mestrado em *Design Industrial*, procurou-se que essa fosse a disciplina central na abordagem ao trabalho. O objectivo inicial era elaborar uma Dissertação que, ao invés de tratar de um tema puramente teórico, se baseasse num projecto prático. Na sua essência, seria um projecto de desenvolvimento de produto, centrado na integração da disciplina *Design Industrial*. Na teoria do desenvolvimento de produto, intervêm três áreas essenciais: O *Marketing*, o *Design* e a Produção. A função *Design* é entendida neste contexto como tendo duas componentes; a Engenharia e o *Design Industrial*. A Engenharia é responsável pelo desenvolvimento de sistemas mecânicos, eléctricos, electrónicos e de aplicações informáticas, aspectos ligados à componente funcional e tecnológica do produto. O *Design Industrial* tem como função o desenvolvimento das interfaces, aspectos ligados à acessibilidade, à estética e à imagem do produto. A função *Design Industrial* também é responsável pela criação dos desenhos e documentos de suporte à produção.

O Desenvolvimento de Produto é uma teoria a implementar no contexto industrial. A fim de transportar a sua prática para o contexto académico, procurou-se uma componente tecnológica previamente desenvolvida nesta Universidade, a partir da qual se poderiam efectuar os desenvolvimentos consequentes de forma a criar um produto efectivo. Sendo o *Design Industrial* uma disciplina que representa a criação de valor a todos os níveis da experiência de um produto, procurou-se uma componente tecnológica que seguisse este mesmo princípio. A componente seleccionada enquadra-se no universo dos dispositivos para reabilitação e diagnóstico de patologias da marcha. Este é um contexto exemplar em termos de criação de valor, uma vez que promove a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

A componente tecnológica escolhida apresentava um nível de desenvolvimento considerável. O sistema tinha sido desenvolvido e testado numa perspectiva de portabilidade. Incorporava um conjunto de sensores inerciais *onboard* e um conjunto periférico de sensores de pressão piezoresistivos. O objectivo deste sistema era efectuar a recolha de dados relativos à marcha de um paciente, que correspondessem a uma semana de utilização real, fora do laboratório de análise. O dispositivo alojava os dados recolhidos numa memória *Flash* interna que podia ser descarregada para um computador através da porta USB. Essa mesma ligação permitia recarregar a bateria para nova utilização. Os dados recolhidos eram os seguintes:

- Distância total (m);
- Tempo total (s);
- Velocidade máxima (m/s);

- Pressão máxima e a indicação do sensor que registou esse valor;
- Passada média (m);
- N° de segmentos;
- Duração do segmento (s);
- Tempo de início do segmento (s);
- Tempo de fim do segmento (s);
- Tempo parado (s);
- Distância percorrida no segmento (m);
- Velocidade média no segmento (m/s);
- Número de passos do segmento;
- Tempo de oscilação (s);
- Tempo de apoio (s);
- Valores das pressões nos sensores em percentagem;
- Coordenadas do centro de pressão.

Esta componente tecnológica apresentava-se em dois módulos diferentes que se designaram "módulo tecnológico" e "módulo sensitivo". O primeiro consistia numa placa de circuito electrónico, contendo os elementos de processamento e de memória, uma bateria e um conjunto de *inputs onboard* (sensores inerciais). O segundo módulo era um conjunto periférico de *inputs* (oito sensores de pressão piezoresistivos) conectado ao primeiro por cabos de ligação. Esta tipologia previa a criação de duas interfaces, cuja proximidade com o corpo levantava problemáticas importantes relativamente a aspectos ergonómicos e de acessibilidade.

Os conceitos teóricos cuja abordagem se considerou essencial para o desenvolvimento do produto em causa dividiram-se em dois grupos. Em primeiro lugar os conceitos associados ao projecto físico das interfaces: *Design Industrial*, *Desenvolvimento de Produto e Acessibilidade*. Posteriormente, os conceitos associados à área de intervenção do produto: O mecanismo da marcha humana e os métodos de análise da mesma.

Na fase seguinte foi feito um levantamento de patentes e de produtos comerciais existentes com alguma afinidade ao produto em desenvolvimento na presente Dissertação. Esta análise permitiu concluir que o sistema proposto apresentava características inovadoras e competitivas. De uma forma geral, o funcionamento dos produtos analisados baseava-se numa única tipologia de dispositivos de *input* – ou utilizavam sensores de pressão, ou utilizavam sensores inerciais. A componente tecnológica seleccionada para integrar o produto em desenvolvimento na presente Dissertação, apresentava a conjugação dos dois métodos de análise num dispositivo compacto, portátil e acessível. Este facto demonstrava a vendabilidade do produto, uma vez que o mesmo podia constituir uma alternativa aos equipamentos dispendiosos de um laboratório de análise da marcha. No mínimo, poderia constituir um complemento importante. A sua simplicidade

de e portabilidade também o tornavam adequado à utilização noutras áreas, particularmente no campo da preparação desportiva.

O desenvolvimento das interfaces que iriam integrar esta componente tecnológica num produto efectivo, deveria implementar e aperfeiçoar estas mesmas propriedades.

Para o desenvolvimento deste projecto adoptaram-se as fases específicas do *Design Industrial*, quando integrado no desenvolvimento de produto:

- Investigação das necessidades dos clientes;
- Conceptualização;
- Refinamento preliminar;
- Refinamento posterior e selecção final do conceito;
- Desenhos de controlo;
- Coordenação com a engenharia, produção e vendas.

Numa fase prévia foi elaborada uma Declaração de Princípios de Projecto, definindo-se os seguintes pontos:

- Descrição breve (essencial) do produto;
- Mercados-alvo para o produto;
- Pressupostos e restrições que condicionarão o esforço de desenvolvimento do produto;
- Lista das pessoas ou organizações que serão afectadas pelo sucesso ou insucesso do produto;

No desenvolvimento de um produto, independentemente das fases adoptadas, a consulta junto dos potenciais utilizadores é sempre um factor chave. A investigação das necessidades dos clientes é um processo adequado à fase de Planeamento. No caso concreto, considerou-se que a fase de Planeamento já estava ultrapassada, uma vez que a componente tecnológica já tinha sido integralmente desenvolvida. Sendo assim, o inquérito efectuado visou a recolha e avaliação de especificações para o produto em causa.

Os desenvolvimentos que se seguiram, efectuaram-se ao nível das duas interfaces que o sistema previa. Para ambos os módulos (módulo tecnológico e módulo sensitivo), foram criados conceitos preliminares iniciais, conceitos preliminares posteriores e conceitos definitivos. O processo de refinamento desses conceitos baseou-se na discussão teórica das suas vantagens e desvantagens óbvias e na aferição das especificações recolhidas junto da amostra de potenciais utilizadores. No referido processo, integraram-se desenvolvimentos baseados em preocupações de acessibilidade e de inclusividade (*Design Inclusivo*). Na fase de Refinamento Posterior, procurou-se fundamentar todos os desenvolvimentos efectuados ao nível da forma e da tipologia, quer pela experimen-

tação de protótipos, quer pela recolha de dados antropométricos. Foi efectuada uma selecção de materiais, devidamente sustentada, e descrita a forma de construção dos elementos que constituem o produto. Uma das funções acessórias ao *Design Industrial* é a criação de uma imagem de marca e de elementos de comunicação. Esses elementos foram desenvolvidos para efeitos de usabilidade, a criação de uma marca virtual foi efectuada na perspectiva de dotar o produto de alguma identidade no contexto do mercado.

A execução de desenhos de controlo é uma fase integrada no processo adoptado. Esses desenhos traduzem o objectivo primordial deste trabalho - integrar a componente tecnológica num produto efectivo através da integração da disciplina *Design Industrial*. A documentação final deste trabalho reúne os ficheiros electrónicos e os desenhos de controlo necessários a um eventual processo de produção para o produto em causa.

6.2. Desenvolvimentos Futuros

Tratando-se de um dispositivo electrónico, e conforme exposto por *Haskell* (2004), a possibilidade de miniaturização do sistema é quase sempre uma possibilidade em aberto. A estrutura funcional deste tipo de dispositivos é um circuito electrónico composto por uma placa-mãe sobre a qual são aplicados os elementos electrónicos necessários ao processamento dos dados de *input*, à sua conversão em dados de *output* e ao registo da informação. Normalmente, estes circuitos de cariz dedicado são construídos a partir de componentes electrónicos *standard*. Em teoria, parte deste sistema ou o seu todo podem ser convertidos em circuitos integrados, o que significa uma minimização substancial das dimensões globais do produto final. A produção de um circuito integrado é no entanto um processo dispendioso, e a sua realização apenas se justificará se o volume de vendas do produto legitimar o investimento substancial. Sendo assim, pode afirmar-se que a miniaturização do dispositivo apresentado na presente Dissertação é um desenvolvimento possível a efectuar futuramente, desde que se verifique a condição descrita. No contexto da teoria do desenvolvimento de produto, este tipo de trabalho caberá aos engenheiros integrados na equipa e não será de todo um desenvolvimento marginal à disciplina *Design Industrial*, uma vez que implica a redefinição da forma final do dispositivo e das respectivas interfaces.

Conforme descrito na Declaração de Princípios de Projecto, um dos mercados-alvo (mercado secundário) para o produto são os utilizadores do universo desportivo. Os dados obtidos pela utilização do produto podem ser úteis quando se pretende maximizar o desempenho de um atleta na esfera da alta competição onde os mínimos detalhes deverão ser otimizados. A obtenção de dados relativos à distribuição da pressão plantar por si só, e a sua optimização através de terapias ou da utilização de calçado específico, é um conceito que se pode aplicar a todas as modalidades desportivas que impliquem o uso dos pés. As diferentes modalidades implicam a solicitação específica de determina-

das zonas do pé. A solicitação exigida na corrida de velocidade, por exemplo, é diferente da que é exigida na marcha, na corrida de resistência, nas modalidades de salto, no futebol ou no ciclismo. Nesta visão, um desenvolvimento a efectuar seria a criação de módulos sensitivos específicos (palmilhas) adequadas a cada modalidade. Uma vez que o sistema apenas permite a ligação de um número limitado de sensores, estas palmilhas teriam os sensores aplicados nas zonas críticas, solicitadas pelo exercício da modalidade em questão. Deste modo, criar-se-ia uma gama de produtos diversificada assente numa base tecnológica comum (arquitectura modular de produto). No caso de actividades de aventura ao ar livre como o *trekking* ou as caminhadas, o dispositivo poderia incluir um sistema de localização GPS. No final da actividade, além dos dados normais obtidos pelo dispositivo, o utilizador teria o registo rigoroso do percurso efectuado: pontos de passagem, altimetria, distância percorrida, tempo, velocidade, etc.

Em termos de portabilidade, conforme descrito anteriormente, a autonomia do sistema é um dos conceitos mais importantes (Haskell, 2004). A zona de fixação do dispositivo (parte inferior da perna) corresponde à zona do corpo humano com maior amplitude de movimento. É nestas extremidades que se obtêm os valores mais elevados de potencial cinético. Este facto leva-nos a considerar a possibilidade de aproveitamento desse potencial através de tecnologias adequadas de recolha de energia. Saéz (2005) designa este conceito como 'Colheita de Energia Humana Passiva' (*Energy Harvesting from Passive Human Power*). As tecnologias base de um sistema deste tipo são os geradores inerciais e os geradores piezoeléctricos. O autor refere dois tipos de geradores inerciais; geradores electrostáticos e geradores electromagnéticos.

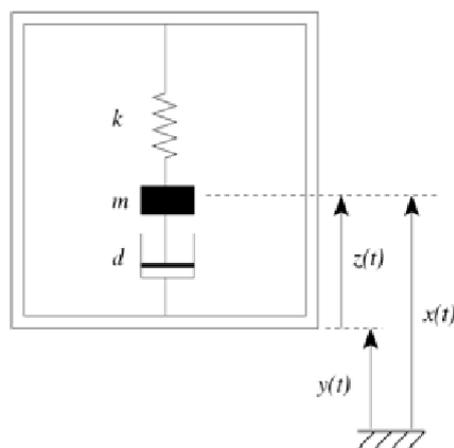


Figura 6.1. Esquema de um gerador inercial genérico (imagem de [Mitcheson, 2002]).

Segundo a pesquisa do autor, os geradores descritos, incluídos num sistema mecânico aplicado na parte inferior do pé, podem gerar uma tensão eléctrica de 2 a 10 V, o que poderá ser suficiente para fornecer energia a um microsistema electrónico. A interferência destes dispositivos com o exercício da marcha é mínima, particularmente no caso dos geradores piezoeléctricos, que se baseiam na solicitação de um filme

compósito. Numa situação ideal, o corpo da palmilha e os sensores incluídos no módulo sensitivo do presente sistema, sendo de natureza piezoelétrica seriam suficientes para suprir a necessidade energética do dispositivo. No entanto, esse desenvolvimento implicaria a miniaturização do dispositivo e a otimização do seu rendimento a uma escala crítica, uma situação que não é possível para o caso das tecnologias envolvidas na componente tecnológica do produto em desenvolvimento na presente Dissertação.

Saés (2005) também propõe a possibilidade de aproveitamento do calor corporal gerado durante o exercício físico.

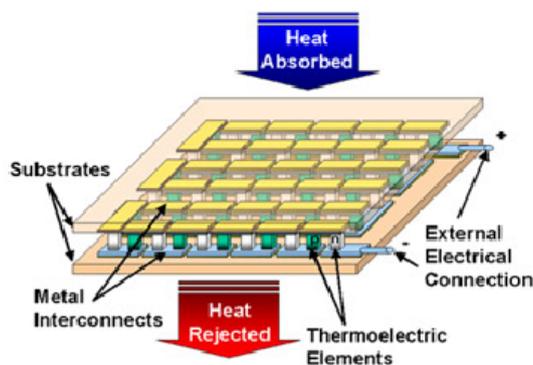


Figura 6.2 Esquema de um gerador termoeletrico integrado num filme de pequena espessura (imagem de [Saés, 2005]).

O aproveitamento do potencial calorífico do corpo humano pode ser efectuado com recurso a geradores termoeletricos. Este tipo de geradores não implica a existência de quaisquer estruturas mecânicas, cujo volume ou massa interfeririam com o exercício da marcha, uma vez que o seu funcionamento é passivo. No caso do produto em causa, a palmilha e a cinta de fixação poderiam conter um revestimento deste tipo.

Se considerarmos a integração de pelo menos dois dos sistemas descritos (gerador piezoelétrico e gerador termoeletrico) como constituintes da própria estrutura do dispositivo (palmilha e sensores) poderemos estar próximos de um desenvolvimento efectivo no campo da autonomia. Seguramente, pode afirmar-se que a duração da bateria do dispositivo poderia ser ampliada de forma notável. Conforme citado anteriormente, todos estes desenvolvimentos implicariam custos acrescidos, cuja implementação apenas se justificaria existindo um volume de vendas proporcional.

Bibliografia

ALVES, F.; BRAGA, F.; SIMÃO, M.; NETO, R.; DUARTE, T.; **Protoclick**. Porto: Protoclick, 2001.

BRALLA, James G.; **Design for Manufacturability Handbook**. New York: Mac Graw Hill, 1999. ISBN 007007139X

CALABRESE, Giuseppe; **Managing Information in Product Development**, Logistics Information Management Journal, Volume 12. Bradford: MCB UP Ltd, 1999. ISBN 0957-6053

CHRISTENSEN, Kenneth; RUNDUS, Dewey, **A First Course in Computing for Engineers**, Tampa: College of Engineering, University of South Florida, 1998. (www.csee.usf.edu/~christen/class7/paper7.html – online em 21-03-2008)

COUTO, Rui ; PINHO, Sérgio; **Wireless Acquisition and Logging of the Kinematics of Human Gait : WALKinG**. Porto : Estágio realizado no CRPG - Centro de Reabilitação Profissional de Gaia. - Relatório de Estágio PRODEP III. - Relatório do Estágio Curricular da LEEC 2004/2005.

CUNHA, Carlos; DINIZ, Paulo; **Sistema de Aquisição para Análise de Dados de Marcha com Próteses dos Membros Inferiores : ANDAR**. Porto : Estágio realizado no CRPG - Centro de Reabilitação Profissional de Gaia. - Relatório de estágio PRODEP III. - Relatório de estágio curricular da LEEC 2003/2004.

DE LISA, Joel; **Gait Analysis In The Science Of Rehabilitation**. Darby: Diane Publishing, 1998. ISBN 0756700213

DREYFUSS, Henry; **Designing for People**. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120

EGAN, Michael; **Implementing a Successful Modular Design – PTC’s Approach**. Goteborg: 7th Workshop on Product Structuring – Product Platform Development, Chalmers University of Technology, 2004.

FIELL, Charlotte; FIELL, Peter; **Design Industrial A-Z**. Colónia: Taschen, 2000. ISBN 3822811769

FIELL, Charlotte; FIELL, Peter; **Design do Século XX**. Colónia: Taschen, 2000. ISBN 3822861391

HASKELL, Bert; **Portable Electronics Product Design and Development**. New York: McGraw Hill, 2004. ISBN 0071416390

HAYES, Robert H.; WHEELWRIGHT, Steven B.; CLARK, Kim B.; **Dynamic Manufacturing: Creating the Learning Organisation**. New York: The Free Press; Collier Macmillan, 1988. ISBN 0029142113

HUANG, George Q.; **Design for X: Concurrent Engineering Imperatives**. New York: Springer, 1996. ISBN 0412787504

JORDAN, W. Patrick; **An introduction to Usability**. London: Taylor & Francis, 2002. ISBN 0748407944

LACUESTA, J.; PASTOR, J.; FUENTES, J.; HERRERO, E.; GRACIA, C.; CLAVIJO, M.; JORGE, R.; FABREGAT, A.; LUNA, P.; **Biomecánica de la Marcha Humana Normal y Patológica**. Valencia: Instituto de Biomecânica de Valencia, 1999. ISBN 8492397462

LIDWELL, William; BUTLER, Jill; HOLDEN, Kritina; **Universal Principles of Design**. Beverly: Rockport Publishers, 2003. ISBN 1592530079

LORENZ, Christopher; **The Design Dimension**. Oxford: Blackwell Publishers, 1987. ISBN 9780631155492

MALDONADO, Tomás; **Design Industrial**. Lisboa: Edições 70, 1999. ISBN 9724410064

MARXT, Christian; **Design, product development, innovation: all the same in the end?: A short discussion on terminology**. Journal of Engineering Design, Vol 16 (Nº 4), pag. 413-421. London: Taylor & Francis, 2005

MENDES, Emília; CORREIA, Miguel V.; **Avaliação Computacional e Tecnológica Integrada do Desempenho e Funcionalidade de Cidadãos com Incapacidades Músculo-Esqueléticas – ACTIDEF**. Conferência Inclusão Digital: apresentação dos resultados dos projectos de I&D (UMIC – Agência para a Sociedade do Conhecimento), Escola Superior de Educação, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, 4 Abril 2007

MITCHESON, P.; GREEN, T.; YEATMAN, E.; HOLMES, A.; **Analysis of Optimized Micro-Generator Architectures for Self-Powered Ubiquitous Computers**. London : Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College of Science Technology and Medicine, 2002.

MUNARI, Bruno; **Das Coisas Nascem Coisas**. Lisboa: Edições 70, 1993. ISBN 972440160X

NETTER, Frank H.; **Atlas de Anatomia Humana**. Porto Alegre: Artmed, 2000. ISBN 8573075333

NORMAN, Donald A.; **Emotional Design**. New York: Basic Books, 2004. ISBN 0465051359

PHILIPS; **Towards the Ideal Product Experience**. Eindhoven: Philips Corporate Design, 1995.

PYE, David; **The Nature and Aesthetics of Design**. Bethel: Cambium Press, 1999. ISBN 0964399911

SÁES, M. Loreto Mateu; **Energy Harvesting from Passive Human Power**. Barcelona: High Performance Integrated Circuits Design Group, Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.

SAUNDERS, John B. De C. M.; INMAN, Verne T.; EBERHART, Howard D.; **The Major Determinants in Normal and Pathological Gait**. Journal of Bone and Joint Surgery, Vol. 35-A. Nº 3, pag.543-558, 1953.

THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING; **Educating Engineers in Design: Lessons Learnt from the Visiting Professors Scheme**. London: The Royal Academy of Engineering, 2005. ISBN 1903496179

ULRICH, Karl T.; EPPINGER Steven D.; **Product Design and Development**. New York: Mc Graw Hill, 2003. ISBN 0071232737

ULRICH, Karl T.; **The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm**. Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management, 1995.
(www.mne.psu.edu/simpson/courses/me579/ulrich.RP95.prod-arch.pdf – online em 21-03-2008)

VAJNA, Sandor; BURCHARDT, Carsten; **Dynamic Development Structures of Integrated Product Development**. Journal of Engineering Design, Vol 9 (Nº 1), pag. 3-15. London: Taylor & Francis, 1998.

VICENTE, M.; MUÑOS, I.; POLLO, P.; PUENTE, R.; GUILLEM, R.; BORDERÍA, J.; LACUESTA, J.; PASTOR, J.; **DATUS (Diseño de Ayudas Técnicas bajo critérios de USabilidad): Como obtener productos con alta usabilidad**. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia, 2003. ISBN 8495448076

Sites na Internet

Answers.com - Online Dictionary, Encyclopedia and much more -
www.answers.com (Online em 21-03-2008)

Apple - www.apple.com (Online em 21-03-2008)

Bonbon trading UK - Bauhaus Furniture Design - www.bonbon.co.uk (Online em 21-03-2008)

Brook Banham - www.brookbanham.com (Online em 21-03-2008)

B&L Engineering - www.bleng.com (Online em 21-03-2008)

Clinical Gait Analisis - guardian.curtin.edu.au:16080/cga/ (Online em 21-03-2008)

Delsys - Surface EMG Systems and Sensors - www.delsys.com (Online em 21-03-2008)

Distrimed - Le Materiel Medical sur le Net - www.distrimed.com (Online em 21-03-2008)

eMedicine - Gait Analysys - www.emedicine.com/pmr/topic225 (Online em 21-03-2008)

FitSense Technology, Inc. - www.fitsense.com (Online em 21-03-2008)

Freepatentsonline - Patent Analytics and Patent Searching - www.freepatentsonline.com (Online em 21-03-2008)

I-electica.org - Reflections, Information, Relationships - www.i-electica.org (Online em 21-03-2008)

Masterblog - masterblog.front.lv (Online em 21-03-2008)

Media-Player und MP3 Player Shop - www.media-player.ch (Online em 21-03-2008)

MIE - Medical Research Ltd. - www.mie-uk.com (Online em 21-03-2008)

Minisun - Physical Activity and Energy Expenditure Monitor - www.minisun.com (Online em 21-03-2008)

MIT Media Lab- www.media.mit.edu (Online em 21-03-2008)

Novel.de - The Leader of Pressure Distribution Measurement - www.novel.de (Online em 21-03-2008)

Ossur - Life Without Limitations - www.ossur.com (Online em 21-03-2008)

Philips - Consumer Products - www.consumer.philips.com (Online em 21-03-2008)

Polaroid SX70 Gallery - Sponsored by westend.dk - www.sx70.dk (online em 21-03-2008)

PhysOrg.com - Latest Science and Technology News - www.physorg.com (Online em 21-03-2008)

ROSSCRAFT Innovations Inc. an Anthropometric Instrument Design, Manufacturing and Marketing Company. - www.rosscraft.ca (Online em 21-03-2008)

S T R I D E - www.strideevolutions.ca (Online em 21-03-2008)

Tekscan - Tactile Pressure Measurement, Pressure Mapping Systems, and Force Sensors and Measurement Systems - www.tekscan.com (Online em 21-03-2008)

Tesla Motors - www.teslamotors.com (Online em 21-03-2008)

Tupperware - The Official World Web Site for Tupperware Products - www.tupperware.com (Online em 21-03-2008)

Anexos