

**M**

**U. PORTO**

# **Desenvolvimento de uma sola desportiva casual com sistema de amortecimento**

**Hugo Cardoso**

Dissertação de mestrado apresentada  
à Faculdade de Belas Artes e à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
para obtenção de grau de Mestre em Design Industrial e de Produto.

**Orientação de**

Prof. Doutor Fernando Jorge Lino Alves

Prof.<sup>a</sup> Doutora Ligia Lopes



## **O JÚRI**

### **PRESIDENTE**

Doutor Rui Mendonça,

PROFESSOR AUXILIAR DA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

### **ORIENTADOR**

Doutor Fernando Jorge Lino Alves

PROFESSOR ASSOCIADO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

### **ARGUENTE**

Doutor Luis Miguel Gomes da Costa Ferraz Mota

PROFESSOR ADJUNTO DA ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO  
INSTITUTO POLITÉCNICO DE VIANA DO CASTELO

# 19

20.10.2017

**MESTRE Hugo Cardoso**  
MDIP/**34**

## Agradecimento

Project NORTE-01-0145-FEDER-000022 - SciTech - Science and Technology for Competitive and Sustainable Industries, cofinanced by Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), through Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)



# Agradecimentos

Agradeço primeiro à família, pela paciência e apoio ao longo de todo o meu percurso académico, e a todos os meus amigos sem exceção, cujo apoio e carinho não consigo colocar em meras palavras.

Aos meus colegas de curso, pelo companheirismo em todos os momentos que partilhamos ao longo dos últimos anos.

Agradeço ao Miguel, pela motivação constante, pelo ombro amigo nos momentos mais difíceis e por todo o tempo que me dedicou.

Ao Marco, pela sua dedicação imensurável ao trabalho que desenvolvemos, pela experiência e partilha de conhecimento, pela confiança que depositou em mim e acima de tudo pela sua amizade.

Aos meus orientadores, Fernando Jorge Lino Alves e Lígia Lopes, pelo incessante apoio e disponibilidade a toda e qualquer altura, e por todo o conhecimento que me inculcaram, e à equipa do Gabinete de Desenvolvimento de Produto pelo apoio na produção dos protótipos.

À equipa da Procalçado, S.A., pelo convite e oportunidade de colaboração, pela paciência e pelos conhecimentos transmitidos. De todos eles, agradeço especialmente ao Pedro Ramos, Comercial, por me receber e acreditar no meu trabalho, e aos Designers, João Ferraz e Carina Gaio, pela disponibilidade e auxílio, e pela transmissão de conhecimentos na área do calçado.



A todos os que me acompanharam neste percurso.  
Por acreditarem em mim.

**O meu sincero obrigado.**





## Resumo

A indústria do calçado tem vindo cada vez mais a demonstrar-se uma indústria em evolução e crescimento acelerados. Aliando-se à constante procura de novos e confortáveis modelos de calçado por parte dos seus consumidores, torna-se inevitável o investimento por parte das empresas na garantia de uma ampla oferta de produtos.

Como resposta a esse desafio, colocado pela empresa PROCALÇADO, S.A., foi projetada uma sola com sistema de amortecimento inovador, dedicado a um segmento casual de calçado desportivo e direccionado ao público feminino.

O estudo inicial da anatomia e antropometria do pé, assim como o seu papel na biomecânica da marcha, permitiu identificar as regiões que sofrem maior pressão e que mais necessitam de amortecimento. Ao mesmo tempo, o estudo realizado ao sector do calçado desportivo casual permitiu a compreensão dos componentes deste tipo de calçado e dos sistemas e tecnologias das principais marcas internacionais, e materiais e processos mais recorrentes.

Nesse sentido, o conceito selecionado baseia-se num sistema cujo amortecimento seria provocado pela compressão da estrutura da sola.

O trabalho desenvolvido focou-se no desenho bi- e tridimensional da sola e do sistema de amortecimento, recorrendo a tecnologias de digitalização tridimensional, e softwares de modelação tridimensional e renderização.

Todo o trabalho foi revisto, ajustado e testado, de forma a corresponder o melhor possível às necessidades da empresa e o objetivos determinados pela proposta de design.

O trabalho desenvolvido contou com o apoio de Marco Guimarães, à data estudante do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da FEUP, responsável pelas simulações realizadas ao sistema e testes efectuados às amostras, também no âmbito da sua dissertação de mestrado em colaboração com a mesma empresa.

Mediante os resultados obtidos, identificaram-se sugestões de alteração ao desenho do sistema. Dos materiais propostos a teste, foi identificado um polímero à base de borracha natural como o material mais adequado e considerada a possibilidade de produção utilizando o EVA comprimido como material alternativo.

Foram ainda realizadas várias tentativas de produção de protótipos com recurso a tecnologias distintas de fabrico aditivo, tais como Fused Depositing Modeling (FDM) e Binder Jetting.

Apesar das alterações constantes mediadas pela empresa, estas revelaram-se uma mais-valia no que toca ao aprimoramento e validação do projecto e, juntamente com a colaboração do estudante Marco Guimarães, levaram a que o resultado final correspondesse às expectativas previamente estabelecidas pela empresa, nomeadamente a introdução do produto no mercado.

*Palavras-chave: design, sola, sapato desportivo, conforto, sistema de amortecimento*

# Abstract

The footwear industry has increasingly been proving to be an industry in rapid growth. Combined with the constant demand of new and comfortable models of footwear by its consumers, it becomes inevitable the investment by the companies in the guarantee of a wide offer of products.

In response to this challenge, put in place by the company PROCALÇADO, S.A., a sole with innovative cushioning system, dedicated to a casual segment of sports shoes and aimed at the female audience, was designed.

The initial study of the anatomy and anthropometry of the foot as well as its role in the biomechanics of gait allowed us to identify the regions that suffer the most pressure and which most need cushioning. At the same time, the study carried out on the casual sports footwear sector allowed the understanding of the components of this type of footwear and the systems and technologies of the main international brands, and more recurrent materials and processes.

In this sense, the concept selected is based on a system whose cushioning would be caused by the compression of the sole structure.

The work focused on the bi- and three-dimensional design of the sole and cushioning system, using three-dimensional scanning technologies, and three-dimensional modeling and rendering software.

All the work has been reviewed, adjusted and tested, so that it corresponds the best possible to the needs of the company.

The work developed was supported by Marco Guimarães, at the time student of the Integrated Master in Mechanical Engineering, responsible for the simulations carried out to the system and tests carried out on the samples, within the scope of his master's dissertation.

Through the results obtained, suggestions for alterations to the system design were identified. Of the materials proposed for testing, a natural rubber based polymer was identified as the most suitable material and considered the possibility of production using compressed EVA as an alternative material.

Several attempts were made to produce prototypes using rapid prototyping technologies, such as FDM and Binder Jetting.

Despite constant changes mediated by the company, these proved to be an added value in terms of project improvement and validation and, together with the collaboration of the student Marco Guimarães, led to the final result meeting the expectations previously established by the company, namely the introduction of the product on the market.

**Keywords:** *design, shoe sole, sport shoe, comfort, cushioning system*

# Conteúdos

<b>01</b>	<b>Introdução</b>	<b>01</b>
1.1.	Objectivos	04
1.2.	Estrutura da tese	05
1.3.	A empresa parceira	06
1.3.1.	Contexto de colaboração	07
1.3.2.	Fases de desenvolvimento da sola	07
1.3.3.	Tecnologias e materiais disponíveis	08
1.4.	O público-alvo	11
1.5.	A pertinência do projeto	12
1.6.	Requisitos iniciais	12
<b>02</b>	<b>Estado da arte</b>	<b>15</b>
2.1.	Anatomia do pé	15
2.1.1.	O sistema esquelético	17
2.1.2.	Articulações e movimentos	18
2.1.3.	Os ligamentos e tendões do pé	20
2.1.4.	Os músculos do pé	21
2.1.5.	Os arcos do pé	21
2.1.6.	Variações anatómicas dos arcos do pé	24
2.1.7.	Diferenças antropométricas entre géneros	26
2.1.8.	Tipos de passada	28
2.2.	Biomecânica da marcha e da corrida	31
2.3.	Pé <i>versus</i> forma	35
2.4.	O calçado desportivo	39
2.4.1.	Anatomia do calçado desportivo	40
2.4.2.	Requisitos do calçado desportivo	43
2.4.3.	O amortecimento	45
2.4.4.	Níveis de amortecimento	49
2.5.	Tipos de sola	52
2.6.	Propriedades dos materiais	59
2.7.	Fabrico aditivo/ Impressão 3D	62

<b>03</b>	<b>Fase experimental</b>	<b>65</b>
3.1.	Identificação da dureza das solas em borracha	66
3.2.	Sistemas e tecnologias	69
<b>04</b>	<b>Desenvolvimento do projeto</b>	<b>75</b>
4.1.	Definição do problema	75
4.2.	Soluções técnicas	76
4.3.	Exploração de conceitos	79
3.3.1.	Apreciação do conceito selecionado	80
4.4.	Dimensionamento do desenho	81
4.5.	Digitalização 3D da forma	83
4.6.	Revisão e alterações ao desenho CAD	86
4.7.	Modelação 3D	88
4.7.1.	Apreciação do modelo 3D	88
4.7.2.	Estratégia aplicada à redução de peso	90
4.7.3.	Estratégia aplicada para aumento da flexibilidade	90
4.8.	Simulação do sistema	92
4.9.	Produção e ensaios das amostras	96
4.10.	Conceito final	100
4.11.	Prototipagem da sola	104
<b>05</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>105</b>
5.1.	Limitações	107
5.2.	Trabalho futuro	107
	<b>Referências</b>	<b>113</b>
	<b>Apêndice</b>	<b>121</b>
A.	Sistemas e tecnologias de solas de calçado desportivo	123
B.	Entrevista realizada ao Designer Ricardo Pina	131
C.	Desenho técnico da sola	139
	<b>Anexos</b>	<b>143</b>
A.	Lista de materiais (ForEver 2017)	145

## Lista de figuras, gráficos, diagramas e tabelas

### Figuras

Figura 1	As marcas associadas à PROCALÇADO, S.A.	06
Figura 2	Compilação de imagens - Tecnologias de produção disponíveis	09
Figura 3	Compilação de imagens - Calçado desportivo feminino	10
Figura 4	Compilação de imagens - Solas de senhora dos segmentos Desporto e Casual/Conforto	13
Figura 5	Compilação de imagens - O pé humano	16
Figura 6	O sistema esquelético do pé	17
Figura 7	As articulações do pé e do tornozelo	19
Figura 8	Os movimentos do pé	20
Figura 9	Os arcos do pé	22
Figura 10	Variações anatómicas do pé	25
Figura 11	Exemplos de pé masculino e feminino	26
Figura 12	Diferenciação antropométrica entre géneros	27
Figura 13	Tipos de passada	28
Figura 14	Fases do ciclo de marcha e distribuição da pressão plantar	32
Figura 15	Pressão plantar e progressão do peso corporal no ciclo de marcha	33
Figura 16	Exemplo de uma forma de calçado de senhora	36
Figura 17	Relação dimensional entre o pé a forma	37
Figura 18	Calçado desportivo e respectivos componentes	38
Figura 19	Anatomia do calçado desportivo	41
Figura 20	Diferentes exemplos de grelhas no interior das solas	42
Figura 21	Níveis de amortecimento	49
Figura 22	Calçado minimalista	50
Figura 23	Calçado maximalista	51
Figura 24	Sola com câmara de ar	53
Figura 25	Sola em CMEVA	53
Figura 26	Sola em IMEVA	54
Figura 27	Sola com cunha em EVA	54
Figura 28	Sola em PU	55
Figura 29	Sola em PU com câmara de ar	55

Figura 30	Entressola injectada	56
Figura 31	Sola exterior injectada	56
Figura 32	Sola clássica vulcanizada	57
Figura 33	Sola de caixa	57
Figura 34	Sola de caixa com cunha em EVA	58
Figura 35	Compilação de imagens - Entressola em EVA e sola em borracha vulcanizada	61
Figura 36	Compilação de imagens - tecnologia de impressão 3D "FutureCraft 4D"	62
Figura 37	Compilação de imagens - protótipos produzidos através de fabrico aditivo FDM	63
Figura 38	Amostras utilizados para realização dos ensaios de dureza	67
Figura 39	Compilação de imagens - Sistemas e tecnologias de calçado desportivo	68
Figura 40	Sistema de calçados desportivo - tecnologia Adidas BOOST™	71
Figura 41	Sistema de calçados desportivo - tecnologia Nike Air	72
Figura 42	Sistema de calçados desportivo - tecnologia Reebok Zig Tech	73
Figura 43	Exploração de conceitos	78
Figura 44	Conceptualização do comportamento do sistema	80
Figura 45	Levantamento do desenho da planta com recurso a película	81
Figura 46	Conversão dos desenhos para formato CAD com recurso ao software Rhinoceros	82
Figura 47	Scanners Artec 3D	83
Figura 48	Compilação de imagens - scan 3D da forma	84
Figura 49	União da nuvem de pontos gerados pelo scanner 3D	85
Figura 50	Primeiras revisões ao desenho CAD	86
Figura 51	Primeira versão do desenho CAD realizado em Rhinoceros	87
Figura 52	Versão revista e adaptada à forma e à margem de colagem da sola	87
Figura 53	Modelação tridimensional das superfícies interna e externa da sola	89
Figura 54	Primeira versão do modelo 3D da sola	89
Figura 55	Primeira tentativa de redução do peso da sola	91
Figura 56	Ajustes ao padrão do rasto e estratégica a aplicar para aumento da flexibilidade	91
Figura 57	Exemplo de amostra em análise por elementos finitos	93
Figura 58	Exemplos de simulações realizadas à região da pata	93



Figura 59	Exemplo de simulação realizada à região do tacão	94
Figura 60	Sugestões de alteração ao desenho do sistema na região do tacão	95
Figura 61	Amostras produzidas para realização dos ensaios	97
Figura 62	Renders da versão final da sola - vista em perspectiva	100
Figura 63	Renders da versão final da sola - vista de topo, lateral e de baixo	101
Figura 64	Corte e pormenores do sistema de amortecimento	102
Figura 65	Rasto da sola	103
Figura 66	Primeiras tentativas de prototipagem da sola	105
Figura 67	Processo de impressão por FDM da sola à escala 1:2 em material rígido (PLA)	105
Figura 68	Compilação de imagens - Processo de impressão por Binder Jetting e limpeza do material em excesso	106
Figura 69	Modelo final após aplicação do infiltrante	106
<b>Gráficos</b>		
Gráfico 1	Exportações de calçado (2010/2016)	02
Gráfico 2	Exportações e importações de componentes de calçado (2016)	02
Gráfico 3	Crescimento do sector do calçado desportivo	03
Gráfico 4	Análise comparativa da densidade de materiais poliméricos	59
<b>Diagramas</b>		
Diagrama 1	Fases principais do desenvolvimento de uma sola	07
Diagrama 2	Requisitos do calçado desportivo	44
Diagrama 3	Perceção de amortecimento	46
Diagrama 4	Soluções técnicas definidas	76
<b>Tabelas</b>		
Tabela 1	Tipos de sola	53
Tabela 2	Dados relativos às amostras submetidos aos ensaios de dureza	66
Tabela 3	Dados relativos às amostras da pata e do tacão obtidas para cada material	96
Tabela 4	Sistemas e tecnologias de solas de calçado desportivo	125



## Lista de siglas e símbolos

<b>PU</b>	Poliuretano
<b>TPU</b>	Poliuretano termoplástico
<b>PVC</b>	Cloreto de polivinilo
<b>TR</b>	Borracha termoplástica
<b>EVA</b>	Etileno acetato de vinilo
<b>PLA</b>	Poliácido láctico
<b>APICCAPS</b>	Associação Portuguesa Ind. Calçado Componentes Artigos Pele Sucedaneos
<b>SFIA</b>	Sports and Fitness Industry Association
<b>CTCP</b>	Centro Tecnológico do Calçado de Portugal



# 01. Introdução

O calçado português tem vindo, ao longo dos últimos anos, a demonstrar um crescimento contínuo como indústria exportadora. Face aos dados do relatório da APICCAPS (2017) em relação ao ano de 2016, Portugal exportou 81.6 biliões de pares de sapatos, o equivalente a 1.923 milhões de euros. Este feito marcou o ano de 2016 como o sétimo ano consecutivo de crescimento da indústria do calçado no mercado das exportações, com valores na ordem dos 50% (Gráfico 1).

De acordo com Onofre (2017), atual presidente da Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado Componentes Artigos Pele Sucedâneos (APICCAPS), para a World of Footwear, trata-se de uma indústria que, em Portugal, exporta anualmente mais de 95% da sua produção e para a qual está previsto um investimento de 50 milhões de euros dentro dos próximos 4 anos.

É reconhecido, no plano estratégico FOOTure2020 da APICCAPS(2013), uma necessidade em criar produtos com maior valor acrescentado, apostando na criatividade e inovação de produtos altamente competitivos a nível internacional.

É importante esclarecer que as empresas de calçado não são necessariamente produtoras de todos os componentes do sapato, podendo estas apenas desenvolver alguns dos seus componentes, como o corte ou as solas.

Este é o caso da PROCALÇADO S.A., empresa parceira no desenvolvimento deste projeto, que se ocupa com a produção maioritária de solas de sapatos dos mais variados segmentos.

É, todavia, neste sector dos componentes que o calçado português parece estar em falta (Gráfico 2). Ainda que exista um ligeiro aumento das exportações relativamente a componentes de calçado, nos últimos 6 anos as importações superaram largamente as exportações (APICCAPS 2017).

Nesse sentido, o presente projecto pretende oferecer uma alternativa inovadora dentro do universo dos componentes de calçado, em particular as solas que, para além de proporcionar um aumento na oferta, consiga competir a nível internacional. Desta forma, pretende-se não só corresponder ao desafio colocado pela empresa, mas também criar a possibilidade de aumentar a capacidade exportadora de componentes na indústria do calçado nacional.

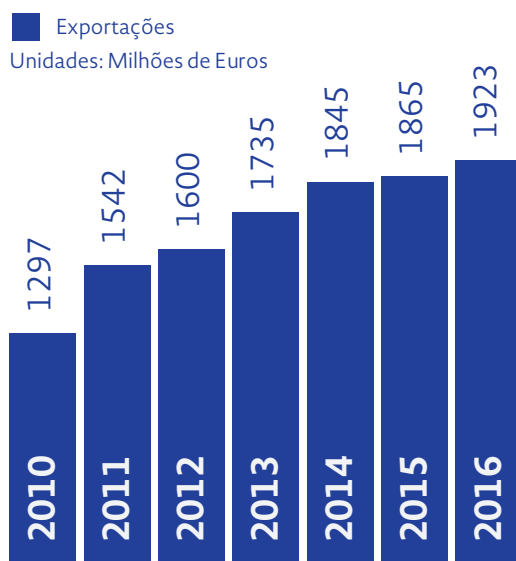


Gráfico 1. Exportações de calçado (2010/2016)  
Adaptado de (APICCAPS 2017)

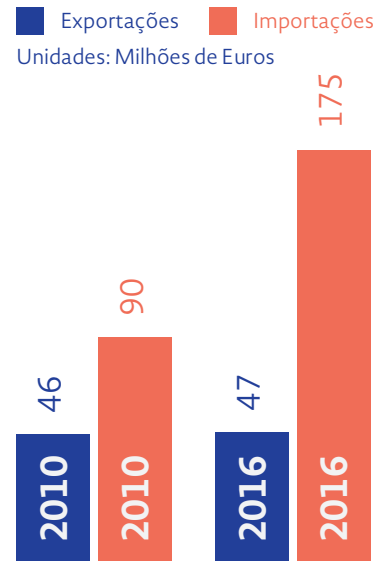


Gráfico 2. Exportações e importações de componentes de calçado (2016)  
Adaptado de (APICCAPS 2017)

O segmento do Desporto/Casual revelou-se de maior interesse no desenvolvimento do presente projeto, com foco no sector feminino, uma que vez que representava para a empresa uma lacuna em termos de amplitude de oferta.

Heitner (2017) revela dados da Sports and Fitness Industry Association (SFIA) à revista Forbes, na qual é apresentado um crescimento de 9,2% no sector de calçado desportivo casual no ano de 2016 (Gráfico 3), superior a todas as outras tipologias de calçado desportivo.

Ao longo dos últimos anos, tendências sociais como o *fitness* têm vindo a ter um papel influenciador muito importante e até fundamental na indústria desportiva. É portanto espectável para o ano de 2017 o crescimento do sector desportivo casual. Contudo, o mercado feminino continua mal provido pelo sector desportivo (Powell 2016) o que o torna merecedor de maior atenção por parte das empresas.

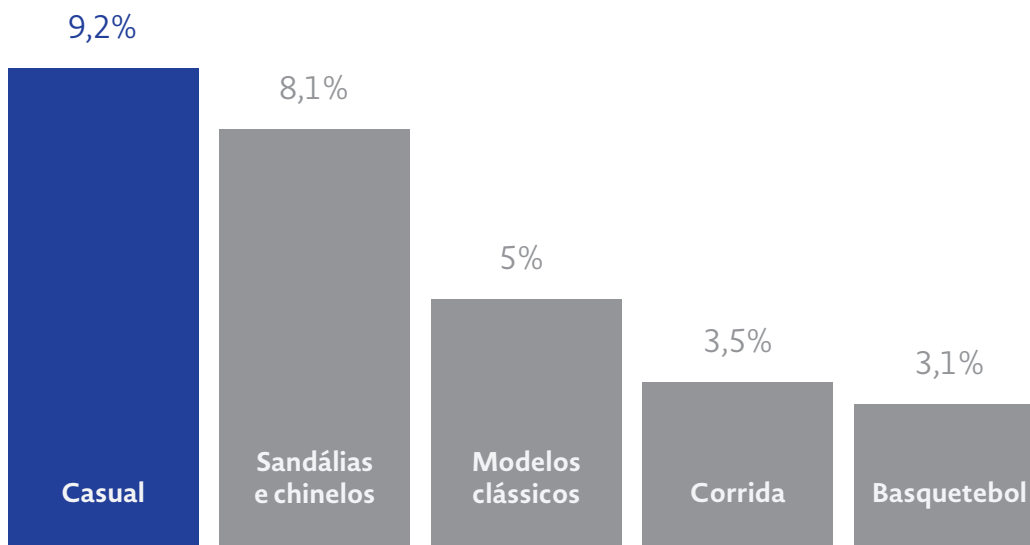


Gráfico 3. Crescimento do sector de calçado desportivo (2016)  
Baseado em (Heitner 2017)

## 1.1. Objectivos

Face ao projecto a desenvolver, foram estabelecidos alguns objectivos para a presente dissertação:

- Identificação da pertinência do projecto e da problemática a resolver dentro das necessidades reveladas pela empresa;
- Compreensão geral do pé e do seu comportamento biomecânico;
- Identificação dos pontos de maior pressão no pé;
- Estudo e análise do sector do calçado desportivo casual, com foco nos elementos constituintes da sola;
- Estudo dos requisitos do calçado desportivo, com foco no amortecimento;
- Análise comparativa de solas e sistemas do calçado desportivo;
- Conceptualização e desenho de uma sola com sistema de amortecimento;
- Digitalização tridimensional de uma forma com recurso a scanners 3D;
- Modelação tridimensional da sola com recurso a softwares de modelação;
- Aplicação de sugestões de alteração ao desenho da sola mediante os resultados de ensaios efectuados;
- Fabrico de protótipos através de processos de fabrico aditivo.



## 1.2. Estrutura da tese

O trabalho aqui apresentado trata-se de um projecto misto, e que aqui surge em duas partes distintas, interdependentes e essenciais para a comunicação e partilha de conhecimento com a empresa envolvida no projeto: na primeira parte são abordadas questões teóricas que implicam o conhecimento do pé do ponto de vista anatómico e biomecânico, assim como o estudo do calçado desportivo casual e os seus requisitos, com foco nos elementos e materiais das solas, e com recurso a casos práticos; numa segunda parte, assume-se uma componente mais prática, suportada pelos conhecimentos técnicos e científicos adquiridos, onde são apresentados a proposta e todo o desenvolvimento projetual.

Iniciada a introdução ao tema e a situação actual do sector do calçado, é apresentada a empresa para a qual o presente projecto de dissertação foi elaborado, identificando-se a problemática a resolver. De um ponto de vista mais abrangente, o levantamento do estado da arte passa por questões primordiais como o pé humano, a forma e o calçado desportivo.

No ponto dedicado ao calçado desportivo, são referidos os principais requisitos, com destaque para o amortecimento, e são distinguidos vários tipos de solas existentes no segmento do desporto. São estudadas algumas propriedades dos materiais, nomeadamente a densidade e a dureza. É ainda realizada uma análise exaustiva a sistemas e tecnologias de algumas marcas relevantes a nível mundial, assim como os avanços na área do fabrico aditivo.

Do ponto de vista projetual, é definido o problema e as respectivas soluções técnicas. São esboçados os primeiros conceitos e, após seleção do conceito final, é feito o dimensionamento do desenho, convertido posteriormente para formato CAD, bi- e tridimensional. Ao longo do processo, todo o trabalho é revisto, ajustado e testado, de forma a este corresponder o melhor possível às necessidades da empresa.

---

**investigação**

---

**projeto**

### 1.3. A empresa parceira

Com mais de 40 anos, a PROCALÇADO S.A. estabelece-se como uma das empresas líderes na indústria do calçado europeu.

Estreou-se com a FOR EVER<sup>®</sup>, produzindo solas para as maiores marcas europeias de calçado, mas conta já com mais duas marcas próprias, dedicadas ao calçado injectado – a LEMON JELLY<sup>®</sup> e a WOCK<sup>®</sup>.

Enquanto a LEMON JELLY<sup>®</sup> se dedica exclusivamente ao sector da Moda e a WOCK<sup>®</sup> se direciona para um sector profissional, com forte poder no mercado hospitalar, é na FOR EVER<sup>®</sup> que se encontra a oferta e mercados mais variados (PROCALÇADO 2016).

A FOR EVER<sup>®</sup>, marca para a qual o presente projeto foi desenvolvido, destaca-se das restantes marcas por se dedicar à conceção e produção exclusiva de solas, tendo como clientes algumas das principais marcas de renome internacionais.

Apesar da sua já vasta coleção de solas, é especialista na concretização de projetos por medida, contando com uma vasta equipa que trabalha em estreita ligação com o cliente (FOR EVER 2017).



Figura 1. As marcas associadas à PROCALÇADO, S.A.  
Adaptado de (PROCALÇADO 2016)

### 1.3.1. Contexto de colaboração

O projeto, a pedido da PROCALÇADO S.A., foi desenvolvido de forma independente, ainda que contando com o apoio e acompanhamento da equipa de design da empresa ao longo das várias fases de desenvolvimento.

Questões associadas com a produção da sola e respetivos testes contaram com a colaboração do estudante Marco Guimarães, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Porto, responsável pela realização das simulações e produção das amostras apresentadas.

### 1.3.2. Fases de desenvolvimento da sola

A concretização do presente projeto dividiu-se em várias fases (Diagrama 1). No que diz respeito ao trabalho desenvolvido, este centrou-se na pesquisa, concetualização e desenho (bi- e tridimensional) da sola e do respectivo sistema de amortecimento.

O desenvolvimento de moldes para produção, ainda que considerado, não foi alvo de estudo.

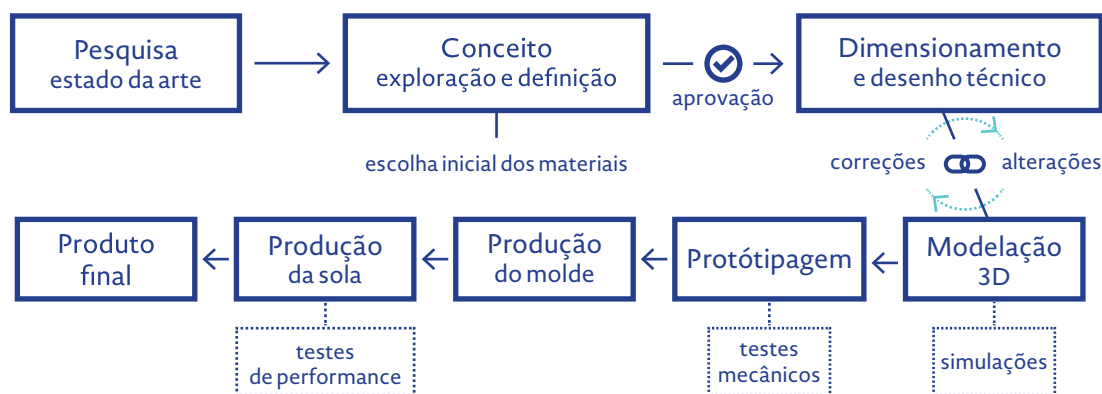


Diagrama 1. Principais fases do desenvolvimento de uma sola

### 1.3.3. Tecnologias e materiais disponíveis

Para a produção dos seus produtos, a PROCALÇADO S.A. possui maquinaria industrial avançada (Figura 2) e técnicos experientes.

Tira partido de processos de moldação por compressão, injeção e vazamento para trabalhar os mais variados materiais. Uma lista que compreende todos os materiais utilizados encontra-se em anexo (Anexo A).

Materiais como as borrachas, produzidos internamente, e os mais polivalentes em termos de processamento, podem ser moldados na empresa quer por injeção quer por compressão. Destacam-se marcas registadas como a Pura Latex®, uma borracha 100% natural da árvore Hevea, e a Ever Grip®, com excelentes capacidades antiderrapantes. Podem ser produzidas outras borrachas, de acordo com a especificidade e necessidades do calçado.

O PU (poliuretano) é considerado um material de excelência no que toca ao conforto e pode ser processado por vazamento. Todavia, este processo encontra-se atualmente subcontratado.

Os termoplásticos, desde o TPU (poliuretano termoplástico) ao PVC (cloreto de polivinilo), passando pelo TR (borracha termoplástica), são materiais processados através de moldação por injeção. Materiais como o TR e o TPU expandidos revelam-se de especial interesse no desenvolvimento deste projeto dadas as suas características polivalentes e de detalhe extremo, respetivamente, associadas à leveza dos materiais.

Por último, o EVA (etileno acetato de vinilo), muito utilizado numa vasta gama de produtos, é um material extremamente leve, processado na empresa exclusivamente através de moldação por injeção.



Figura 2. Compilação de imagens - tecnologias de produção disponíveis  
Adaptado de (FOR EVER 2017)



Figura 3. Compilação de imagens - calçado desportivo feminino  
Adaptado de (iAMUK. 2016. "Adidas Reveal Women's PureBOOST X".  
Acedido a 21 de Janeiro de 2016. <https://goo.gl/bNQC3Z>)

## 1.4. O público-alvo

Como referido anteriormente, a FOR EVER® possui uma abrangente segmentação de mercado.

Produz solas para um público quer feminino quer masculino, adultos ou crianças, com coleções que vão desde o tamanho 4,5 ao 57 (sistema europeu).

A nível de segmentação, apresentam no seu catálogo produtos para sectores como o da Moda, Militar, Saúde, Clássico, Segurança, Profissional, Casual/Conforto, Outdoor e Desporto, podendo todavia existir uma sobreposição destes segmentos de mercado, o que torna alguns destes produtos ambivalentes.

De acordo com fontes internas da empresa existe, todavia, uma oferta muito reduzida de produtos, face à procura, para o público feminino, especialmente nos segmentos de calçado Casual/Conforto e Desportivo. O conforto é um fator transversal e de grande importância para a empresa.

É necessário portanto, um investimento nestes segmentos, com maior atenção ao público feminino, de forma a conseguir ter uma oferta mais ampla e variada de produtos.

## 1.5. A pertinência do projeto

O grande investimento em inovação e desenvolvimento de sistemas de amortecimento por parte dos seus concorrentes leva a que a empresa sinta a necessidade de garantir uma oferta que consiga competir e destacar-se no mercado.

Surge portanto, por parte da empresa, o desafio de criar uma sola com sistema de amortecimento integrado.

De acordo com o catálogo de solas disponível, entre um vasto espólio de solas existentes, apenas um número muito reduzido (7 modelos) se destinam ao público feminino e se inserem simultaneamente nos segmentos de Desporto e Casual/Conforto (Figura 4), sendo que nenhum dos modelos em questão apresenta um sistema de amortecimento.

Face às necessidades atuais e aos requisitos referidos, e ainda que não tenha sido estabelecido inicialmente por parte da empresa um segmento de mercado em concreto, parece pertinente que este se destine ao calçado feminino desportivo de uso quotidiano.

## 1.6. Os requisitos iniciais

O desafio colocado pela empresa para desenvolver um sistema de amortecimento tinha por base a capacidade de garantir o conforto e leveza do calçado.

Não houve restrições por parte da empresa em estabelecer um público-alvo ou um segmento de mercado. Essa decisão foi estabelecida e aprovada mediante as necessidades identificadas na fase inicial da investigação.

O desenvolvimento e produção desta sola deveriam ter em conta as capacidades técnicas e fabris da empresa. Numa fase inicial, a empresa optou também por não restringir a escolha de materiais ou processos a utilizar.





**Figura 4. Compilação de imagens - Solas de Senhora dos segmentos Desporto e Casual/Conforto**  
Adaptado de (FOREVER. 2017. "Catálogo de solas".  
Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. <http://forever.pt/catálogo/>.)



## 02. Estado da arte

### 2.1. Anatomia do pé

A estrutura complexa do pé permite ao ser humano uma postura e locomoção bípedes tornando-se assim a única parte do corpo em contato constante com o solo (Standring 2008).

O pé é a plataforma de suporte do corpo e tem um papel importante no que toca à locomoção (Moore, Dalley, e Agur 2009).

Todos os elementos que constituem o pé garantem apoio, equilíbrio e mobilidade ao corpo graças à sua estrutura, capaz de aguentar tensões elevadas e proporcionar flexibilidade e resiliência (Goonetilleke 2012), sendo necessária, para o desenvolvimento de qualquer projeto associado ao pé, a sua compreensão geral.

Termos direcionais podem ser também úteis à compreensão do pé humano. O lado interior do pé (mais próximo do hálux) tem o nome de porção medial, enquanto o lado exterior (mais próximo do quinto dedo) é chamado de porção lateral. O termo distal refere-se à região mais distante do ponto de inserção do membro inferior no tronco e o termo proximal à região mais próxima. Por sua vez, os termos anterior e posterior referem-se à parte da frente e de trás do pé, respectivamente (Goonetilleke 2012).

Relativamente à nomenclatura aplicada às superfícies do pé, o termo plantar refere-se à superfície inferior do pé e o termo dorsal refere-se à superfície superior do pé (Standring 2008).

Para uma melhor compreensão, o pé humano pode também ser dividido em 3 segmentos funcionais, nomeadamente o retropé (tálus e calcâneo), o mediopé (navicular, cubóide e os três ossos cuneiformes) e o antepé (metatarsianos e falanges) (Moore, Dalley, e Agur 2009).

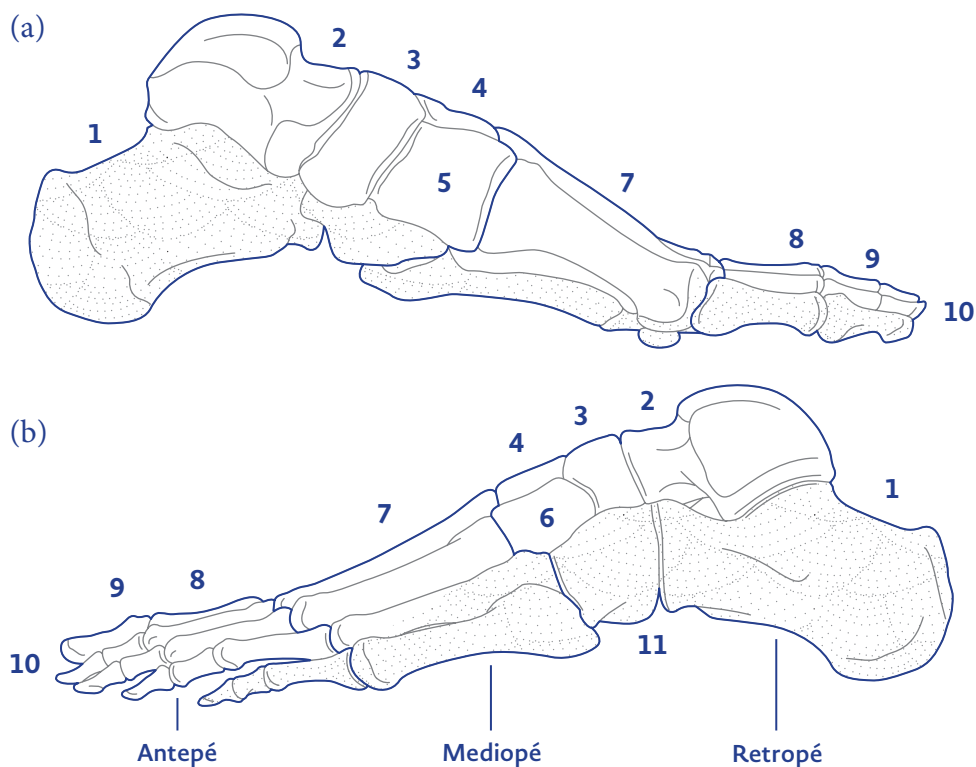


**Legenda** - 1. Superfície plantar; 2. Superfície dorsal; 3. Porção medial; 4. Porção posterior; 5. Porção anterior; 6. Porção lateral.

**Figura 5. Compilação de imagens - O pé humano**  
Adaptado de (Schindler, Lisa. 2017. "Sculpting the human foot".  
Acedido a 3 de Julho de 2017. <https://goo.gl/mBN3zq>.)

## 2.1.1. O sistema esquelético

Com 28 ossos (incluindo os ossos sesamóides da primeira articulação metatarsofalângica) e 31 articulações em cada pé humano, o sistema esquelético do pé corresponde a aproximadamente  $\frac{1}{4}$  dos ossos do corpo humano, e divide-se essencialmente em 3 grupos – o tarso, os metatarsianos e as falanges – de acordo com a sua função e localização (Figura 6) (Standring 2008).



**Legenda** - 1. calcâneo; 2. tálus; 3. navicular; 4. cuneiforme intermédio;  
5. cuneiforme medial; 6. cuneiforme lateral; 7. metatarsianos; 8. falanges proximais;  
9. falanges médias; 10. falanges distais; 11. cubóide

**Figura 6.** O sistema esquelético do pé (a) vista medial; (b) vista lateral  
Adaptado de (Standring 2008)

O tarso, composto por 7 ossos – o calcâneo, o tálus, o navicular, o cubóide e os três ossos cuneiformes – ocupa a metade proximal do pé e tem a importante função de suporte e distribuição do peso do corpo (Standring 2008).

O calcâneo, também conhecido como osso do calcanhar, é o maior osso do pé e, juntamente com o tálus, formam a articulação do tornozelo e são os principais responsáveis pela transmissão para o solo das forças de impacto geradas pelo corpo durante a marcha (Goonetilleke 2012).

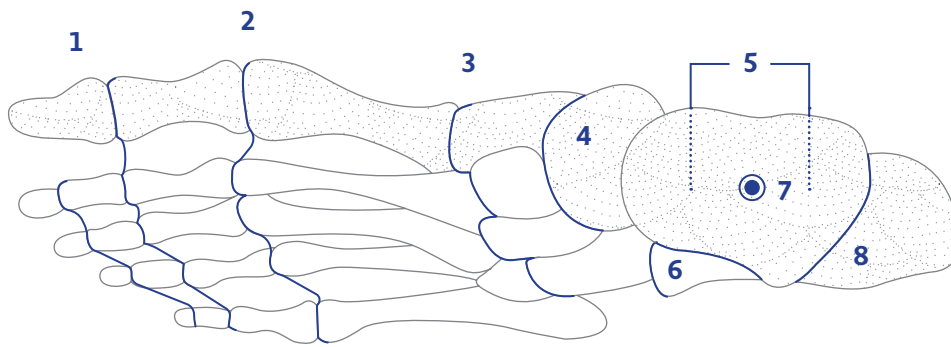
## 2.1.2. Articulações e movimentos

A articulação do tornozelo (Figura 7) funciona de forma uniaxial, como uma espécie de dobradiça, e é constituída pelas porções distais da tíbia e do perônio que formam um encaixe com a superfície troclear (articular) do tálus. A união dos ossos é mantida por uma capsula fibrosa que reveste as superfícies articulares, e por ligamentos mediais (mais fortes) e laterais (Standring 2008).

Dado que possui um eixo de rotação dinâmico, torna-se possível a realização de dorsiflexão (flexão do dorso do pé) e plantarflexão (flexão plantar do pé) (Figura 8) (Standring 2008).

Esta articulação, frequentemente requisitada especialmente na prática desportiva, é das articulações do pé que mais frequentemente sofre lesões (Goonetilleke 2012).

No caso do pé, as suas articulações envolvem o tarso, os metatarsianos e as falanges (Figura 7). As articulações do tarso de maior importância são a articulação subtalar e a articulação transversa do tarso, responsáveis pelos movimentos de inversão, eversão (Moore, Dalley, e Agur 2009), pronação e supinação (Figura 8) (Goonetilleke 2012).



**Legenda** - 1. interfalângicas; 2. metatarsofalângicas; 3. tarsometatarsais; 4. cuneonavicular; 5. taluscalcaneonavicular; 6. calcaneocubóide; 7. tornozelo; 8. subtalar

**Figura 7. As articulações do pé e do tornozelo**

Adaptado de (Goonetilleke 2012)

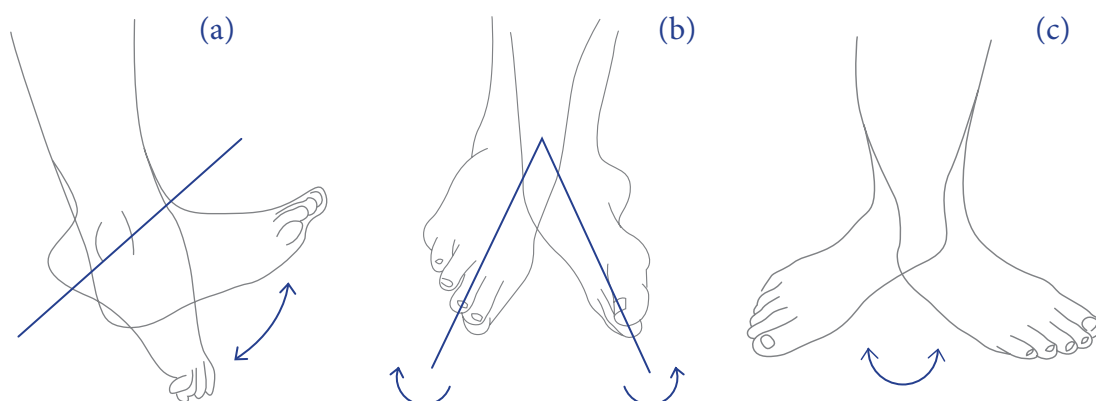
Os movimentos de inversão e eversão são movimentos rotativos do pé em torno de um eixo anterior-posterior (Figura 8) (Nigg e Segesser 1992).

As articulações interfalângicas e metatarsofalângicas são responsáveis pela flexão e extensão na região do antepé (Figura 7) (Moore, Dalley, e Agur 2009).

Estes movimentos não estão, todavia, dissociados uma vez que o movimento de inversão é intensificado pela flexão dos dedos do pé e a eversão pela sua extensão (Moore, Dalley, e Agur 2009).

No desenvolvimento de uma sola, especial atenção deve ser dada à articulação metatarsofalângica (Figura 7), uma vez que esta permite compreender de forma clara em que região deve ou não o calçado fletir (Goonetilleke 2012). A má localização dos pontos de flexão da sola afeta negativamente o normal funcionamento do pé (van der Zwaard et al. 2014)

Outros movimentos, como a abdução e adução, são movimentos rotativos em torno de um eixo inferior-superior (Figura 8) (Nigg e Segesser 1992).



**Figura 8. Os movimentos do pé: (a) dorsi- e plantarflexão; (b) inver- e eversão; (c) abdu- e adução**  
Adaptado de (Goonetilleke 2012)

Os movimentos de pronação e supinação são a combinação dos movimentos anteriormente referidos. A pronação é a combinação dos movimentos de abdução, eversão e dorsiflexão. A supinação engloba os movimentos de adução, inversão e plantarflexão (Nigg e Segesser 1992). Uma vez que estes movimentos se relacionam com o tipo de passada, serão discutidos mais à frente.

Por último, a torção é um movimento rotativo do antepé em relação ao retopé em torno de um eixo anterior-posterior (Nigg e Segesser 1992).

### 2.1.3. Os ligamentos e tendões do pé

Enquanto os ossos constituem o suporte estrutural dos arcos do pé, a sua manutenção e estabilidade depende de estruturas ligamentosas. Destas, as mais importantes são a fáscia plantar, o ligamento calcâneo-navicular plantar e o ligamento plantar longo (Standring 2008).

As inserções tendinosas de alguns músculos do membro inferior são também cruciais à manutenção dos arcos (Standring 2008).



## 2.1.4. Os músculos do pé

Dos 20 músculos do pé, 14 situam-se na região plantar, 2 na região dorsal e 4 de forma intermédia entre ambas as regiões. Do ponto de vista plantar encontram-se divididos em quatro camadas, dentro de quatro compartimentos. Porém, apesar dessa disposição, funcionam em grupo como suporte aos arcos do pé na fase de apoio, resistindo às forças causadas pelo peso, que levam à redução da altura dos arcos. Individualmente, o papel dos músculos do pé é pouco relevante (Moore, Dalley, e Agur 2009).

Do ponto de vista funcional, têm um papel mais activo no que toca à estabilidade do pé, especialmente na fase de propulsão, potenciando também o papel de outros músculos longos do membro inferior através de movimentos de supinação e pronação, que permitem a adaptação do pé a superfícies instáveis (Moore, Dalley, e Agur 2009).

## 2.1.5. Os arcos do pé

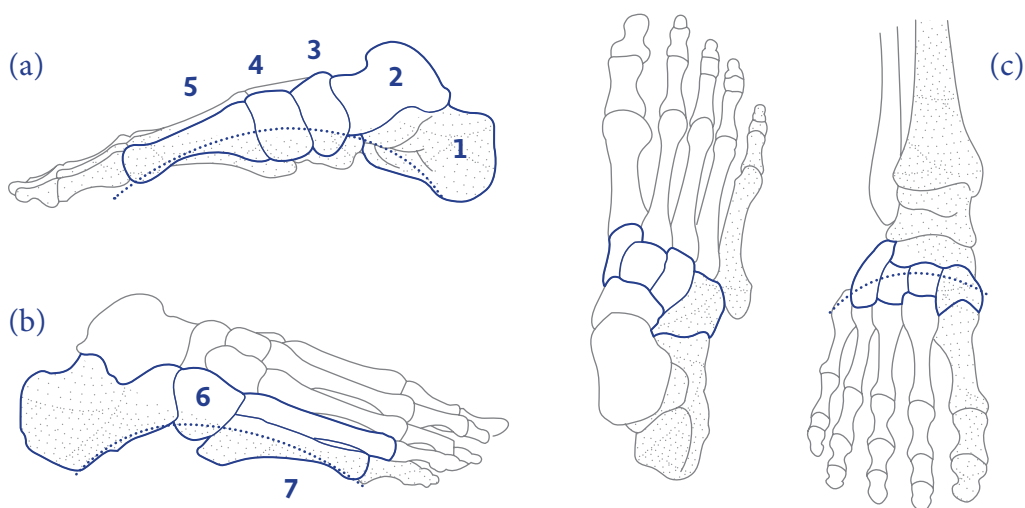
Ainda que a estrutura arqueada do pé se assemelhe à da palma da mão, estas distinguem-se pelo facto dos arcos do pé servirem duas funções de suporte de peso: mobilidade e estabilidade (Levangie e Norkin 2005).

Em termos de mobilidade, o pé humano deve ser capaz de suportar o peso do corpo desde o primeiro momento de apoio, adaptando-se às variações do solo. Para tal, os arcos devem ser flexíveis o suficiente para permitirem o amortecimento das forças aplicadas pelo peso do corpo, amortecerem movimentos rotativos combinados e terem a capacidade de adaptação a eventuais alterações na superfície de apoio (Levangie e Norkin 2005).

Em termos de estabilidade, os arcos do pé devem permitir a correta distribuição do peso do corpo pelo pé, assim como permitir que este último se torne numa espécie de alavanca rígida (Levangie e Norkin 2005).

O pé possui três arcos – dois arcos longitudinais (medial e lateral) e um arco transversal (Figura 9) - dos quais se destaca o arco medial pela sua dimensão superior. Apesar de serem referidos individualmente e de forma segmentada, estes arcos trabalham em conjunto e “estão totalmente integrados entre eles e enaltecem as funções dinâmicas do pé”. Os arcos presentes no pé humano têm um carácter evolutivo, uma vez que não existem desde nascença. Estes desenvolvem-se progressivamente com o peso que o ser humano suporta ao longo do tempo (Levangie e Norkin 2005).

É através da disposição dos ossos do pé em arcos que, com o apoio dos tendões, advém a absorção e transmissão de forças do corpo para o solo, quer parado de pé, quer em marcha (Goonetilleke 2012)



**Legenda** - 1. calcâneo; 2. tálus; 3. navicular; 4. cuneiforme medial;  
5. primeiro metatarsiano; 6. cubóide; 7. quarto e quinto metatarsianos

**Figura 9. Os arcos do pé:** (a) arco medial; (b) arco lateral; (c) arco transversal  
Adaptado de (Goonetilleke 2012)

### 2.1.5.1. Os arcos longitudinais

Como referido anteriormente, existem dois tipos de arcos longitudinais: o medial e o lateral. O arco medial, mais elevado do que o arco lateral, é composto pelo calcâneo, o tálus, o navicular, os cuneiformes e os primeiros três metatarsianos (Goonetilleke 2012).

O tálus é, neste contexto, considerado de grande relevância, uma vez que é através dele que acontece a distribuição do peso do corpo para o calcanhar ou para o antepé (Levangie e Norkin 2005).

Por outro lado, é através das propriedades elásticas dos tecidos moles, que se encontram na parte inferior do arco medial, que lhe é conferido o efeito mola (Goonetilleke 2012). É este arco que se utiliza como referência (Levangie e Norkin 2005) e ao qual comumente se atribui o nome de “arco do pé” (Goonetilleke 2012).

O arco lateral por sua vez é composto pelo calcâneo, o cubóide e os quarto e quinto metatarsianos. Porém, o seu contributo em termos de estabilidade é reduzido, ficando essa tarefa a cargo de estruturas ligamentosas (Standring 2008).

### 2.1.5.2. O arco transversal

O arco transversal, que atravessa o pé do lado medial ao lado lateral (Goonetilleke 2012), é composto pelas bases dos cinco metatarsianos, pelo cubóide e pelos ossos cuneiformes (Standring 2008). O seu formato pode variar consoante a região do pé, sendo que a sua função é, juntamente com os arcos longitudinais, “capacitar o pé da sua tarefa de suporte e locomoção” (Goonetilleke 2012).

## 2.1.6. Variações anatómicas dos arcos do pé

As variações anatómicas associadas ao arco do pé (Figura 10) podem ser distinguidas entre *Pes Planus* ou *Pes Cavus* (Standring 2008), variações estas relacionadas mais concretamente com os arcos longitudinais. Estas variações, também conhecidas por «pé chato ou plano» ou «pé cavo», respectivamente, provocam uma transmissão deficitária das forças aplicadas ao pé e afetam a distribuição da pressão pelo corpo, o que, conseqüentemente, poderá provocar dores não só no pé, mas também noutras partes do corpo (Goonetil- leke 2012).

De acordo com um estudo realizado por Azevedo e Nascimento (2009), em que foram estudados os arcos plantares de crianças com idade média de 7,5 anos, existe uma prevalência de casos de pés planos (59,4%), seguidos de pés normais (32,1%) e por último pés cavos (8,5%), associando, porém, a prevalência dos casos de pés planos a sobrepeso e obesidade (20% dos casos).

O mesmo estudo refere que, na globalidade, a força plantar no retropé (calcânhar) é 1.4x superior comparativamente ao antepé, sem alterações relevantes quando comparados os dois pés.

Estudos mais recentes (Vangara et al. 2016) constata também essa prevalência de pés planos, ainda que numa fase mais precoce da infância (3-4 anos), superada pela prevalência de *pes cavus* ao entrar na fase de maturação do pé (14-15 anos).

Os arcos presentes no pé humano apresentam um carácter evolutivo uma vez que não existem desde nascença. Estes aparecem progressivamente com o peso que o ser humano suporta ao longo do tempo (Levangie e Norkin 2005), e como tal, a percentagem de crianças com *Pes Planus* aparenta diminuir à medida que a criança cresce (Luximon 2013; Vangara et al. 2016).

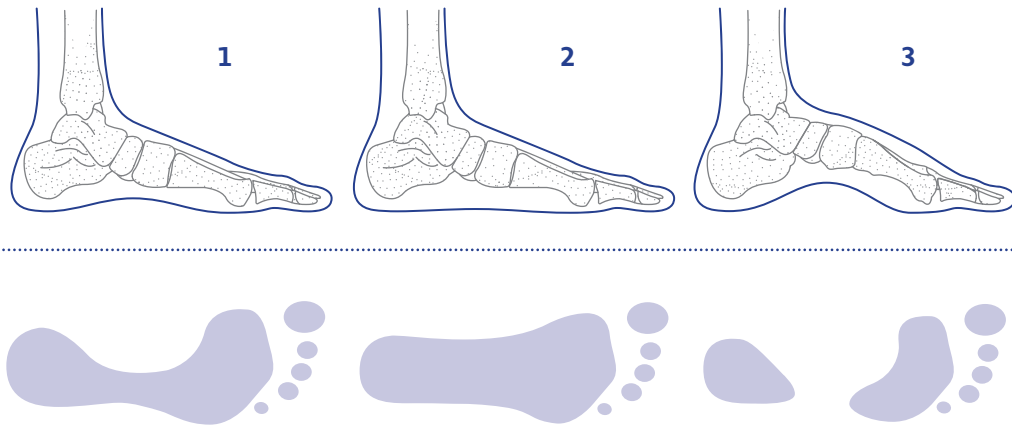


Figura 10. Variações anatômicas dos arcos do pé: (1) pé normal; (2) pes planus; (3) pes cavus  
Adaptado de (Goonetilleke 2012)

#### 2.1.6.1. *Pes Planus*

Ainda que não seja possível definir o quão plano é um pé com esta variação anatômica, este termo pode ser aplicado a qualquer pé com um arco excessivamente baixo. A origem desta deformidade resulta de fatores fisiológicos ou patológicos, sendo este último habitualmente associado a dores e rigidez (Standring 2008).

Este tipo de arco cria um aumento na região de contato do pé e, conseqüentemente, um aumento da força aplicada à região do mediopé (Chuckpaiwong et al. 2008).

#### 2.1.6.2. *Pes Cavus*

Em contraponto com o caso anterior, o pé cavo está associado a um arco do pé excessivamente elevado, sendo que, na maioria dos casos, se trate de uma consequência de um distúrbio neurológico. Esta deformidade pode afetar segmentos funcionais específicos ou toda a região do pé (Standring 2008).

## 2.1.7. Diferenças antropométricas entre gêneros

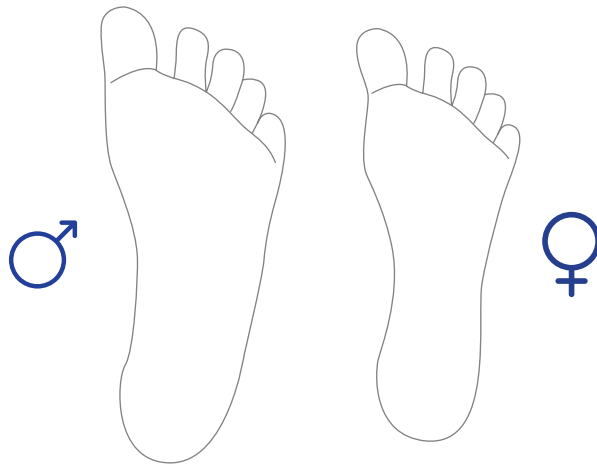
De acordo com Hennig (2003), o gênero também tem o seu papel no desenvolvimento de calçado, uma vez que existem fatores diferenciadores entre o sexo feminino e o masculino.

O sistema musculoesquelético apresenta uma percentagem de peso corporal de “aproximadamente 40% para os sexo masculino e apenas 23% para o sexo feminino”(Hennig 2003).

A maturação prematura das mulheres em relação aos homens leva a que estas atinjam um tamanho de pé considerado adulto aos 14 anos, enquanto os homens apenas o atingem aos 16 anos (Hennig 2003).



Figura 11. Exemplos de (a) pé masculino e (b) pé feminino adultos



**Figura 12. Diferenciação antropométrica entre géneros**  
Baseado em (Henning 2003)

Parâmetros dimensionais aumentam em ambos os sexos com a idade, sendo que o sexo masculino apresenta valores superiores em dimensões como comprimento e largura do pé (Vangara et al. 2016).

O pé feminino apresenta também um pé mais esguio e com um calcanhar mais estreito em comparação ao antepé (Hennig 2003).

Ainda que a área de contato do pé masculino seja superior em relação ao feminino, não existem diferenças significativas relativamente aos picos de pressão plantar (Putti, Arnold, e Abboud 2010).

Em termos de dimensionamento do calçado para adulto, os tamanhos presentes nas colecções de calçado feminino variam entre o 35-42/43, enquanto nas colecções de calçado masculino os tamanhos variam entre o 39-46.

## 2.1.8. Tipos de passada

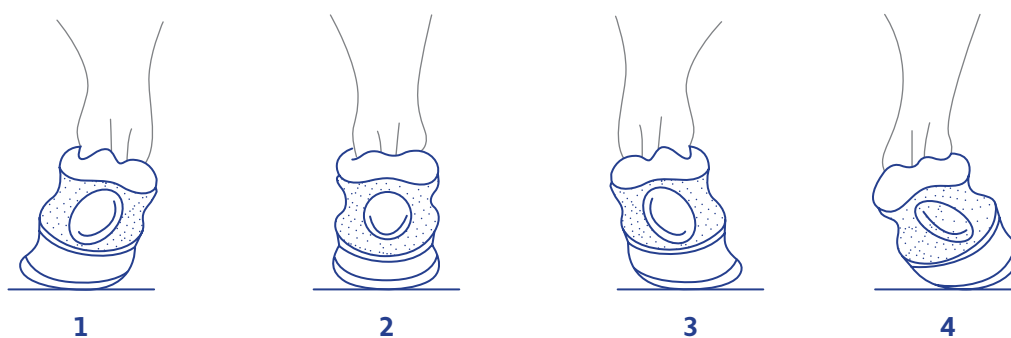
A forma do pé e a estabilidade da passada são determinadas pela estrutura anatômica individual de cada pessoa (Guimarães et al. 2000).

Como referido anteriormente, os tipos padrão de pé distinguem-se, quanto ao formato do arco, entre pé normal, pé chato (*pes planus*) e pé cavo (*pes cavus*) (Standring 2008).

Por sua vez, os tipos de passadas existentes distinguem-se entre passada neutra, supinada (inclinada para fora) ou pronada (inclinada para dentro) (Figura 13) (Guimarães et al. 2000; Dahle et al. 1991).

De acordo com Dahle et al. (1991), pés com pronação ou supinação excessivos possuem maior incidência de dores na articulação do joelho.

Ainda que frequentemente uma amplitude do arco do pé reduzida (*pes planus*), com excesso de flexibilidade, esteja normalmente associada a uma passada pronada e o inverso também se verifique, isto é, um excesso de amplitude do arco (*pes cavus*) promova uma passada supinada, estas características não são exclusivas a esse tipo de variações anatômicas (Guimarães et al. 2000; Nigg e Segesser 1992).



**Figura 13. Tipos de passada (pé direito):**  
(1) supinada; (2) neutra; (3) pronada; (4) pronada (acentuada)  
Adaptado de (Guimarães et al. 2000)



Guimarães et al. (2000) revela ainda que, de um estudo efectuado a 53 participantes adultos, 39 (73%) possuíam uma passada pronada, dos quais 12 tinham pé normal, 14 tinham pé cavo e 13 tinham pé chato. Apenas 9 participantes (17%) demonstraram uma passada supinada, dos quais 4 tinham pé normal e 5 pé cavo. Uma percentagem mais reduzida, de apenas 5 participantes, todos com pé normal, apresentaram uma passada neutra. Destaca-se, de acordo com os seus dados, uma prevalência de pés com arco normal, seguido de pé cavo e pé chato.

Esses dados em nada se comparam com os apresentados por Walker e Fan (1998) num estudo com 54 participantes, dos quais 49% apresentaram passada neutra, 36% apresentaram passada pronada e 15% apresentaram passada supinada. Os autores acrescentam ainda que 62% dos participantes apresentaram maior pressão na região central do pé.

Ainda que os valores apresentados sejam, em parte, discordantes, corroboram questões mencionadas anteriormente relativas à evolução do arco no pé humano e respectivas variações anatómicas (Luximon 2013; Levangie e Norkin 2005; Azevedo e Nascimento 2009; Standring 2008).

Face à literatura referida, admite-se a hipótese de existir uma tendência para a evolução no sentido de um maior número de pés com arco normal ou concavo na idade adulta.

De uma forma geral, em termos de seleção de calçado desportivo, pés normais e pés cavos necessitam de sapatos com maior capacidade de amortecimento, pés com pronação ligeira/moderada necessitam de sapatos com capacidade de estabilizar e suportar o pé, e pés com pronação severa (pé chato) necessitam de sapatos que controlem o movimento do pé. Contudo, este tipo de categorias pode sobrepor-se, não sendo uma divisão necessariamente estanque (Woitzik 2014).

A compreensão geral da anatomia do pé revela-se necessária uma vez que é o elemento central do desenvolvimento deste projecto. É portanto pertinente conhecer os elementos que o constituem e o seu papel na locomoção para que a proposta realizada corresponda às necessidades morfofisiológicas e biomecânicas do ser humano.

O pé tem características únicas correspondentes à singularidade de cada ser humano e como tal, desenvolver calçado que consiga corresponder a tais requisitos só se torna possível se este for produzido de forma customizada. Nesse sentido, uma vez que o desenvolvimento deste projecto se prende com uma produção padronizada e massificada, os tipos de arco e passadas correspondentes mais frequentes tornam-se centrais neste projecto.

Uma vez que a percentagem de população apresenta na sua maioria um arco normal, e uma passada que varia entre normal e pronada, torna-se acima de tudo pertinente que a sola garanta não só o amortecimento do pé como proporcione uma passada correta.

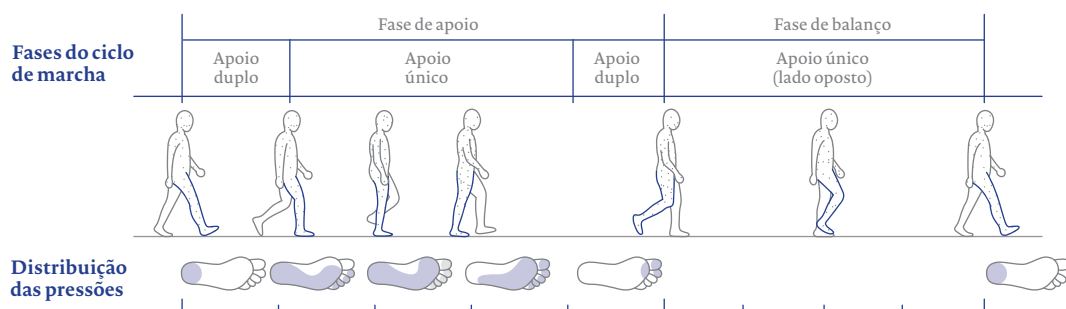
## 2.2. Biomecânica da marcha e da corrida

A passagem de uma marcha quadrúpede para uma marcha bípede foi um marco evolutivo no que toca à biomecânica da marcha do Homo sapiens (Standring 2008), sendo os atos de correr ou caminhar “parte integral da maioria dos desportos” (Tongen e Wunderlich 2010).

O ciclo de marcha (Figura 14) divide-se em duas fases – a fase de apoio, que corresponde a 60% da passada, e a fase de balanço, correspondente aos restantes 40% (Standring 2008).

A primeira fase do ciclo de marcha é marcada pelo contato inicial do pé no solo e termina quando o mesmo pé volta a tocar no solo novamente (Novacheck 1998).

Esse contato é geralmente feito pelo calcanhar, seguindo-se a região mais lateral da planta do pé, e por fim a porção anterior do pé e dedos, terminando com a rotação interna da tibia cujo papel se prende com o amortecimento do impacto (Guimarães et al. 2000).



**Figura 14. Fases do ciclo de marcha e distribuição da pressão plantar**  
Adaptado de (Standring 2008)

Idealmente, no momento de contato inicial, o pé encontra-se supinado, adquirindo uma rigidez estrutural ideal à absorção de choque. Dá-se imediatamente a pronação do pé, que o torna flexível e capaz de se adaptar à superfície do solo e, assim que se prepara para levantar, o pé supina novamente e enrijece, de modo a propulsionar o corpo (Novacheck 1998; Standring 2008).

Esta capacidade dúplice de enrijecer e mobilizar o pé auxiliando a propulsão do corpo é uma consequência da evolução humana (Holowka et al. 2017).

Nesta fase de apoio, existem momentos de suporte do corpo pelos membros inferiores que alternam entre apoio duplo (em que ambos os pés tocam o solo) e apoio único (onde apenas um dos pés toca no chão). Os momentos de suporte duplo ocorrem no início e no fim da fase de apoio (Novacheck 1998; Standring 2008).

Hohmann et al. (2016) constata um favorecimento pelo pé dominante por parte dos atletas nas fases de apoio.

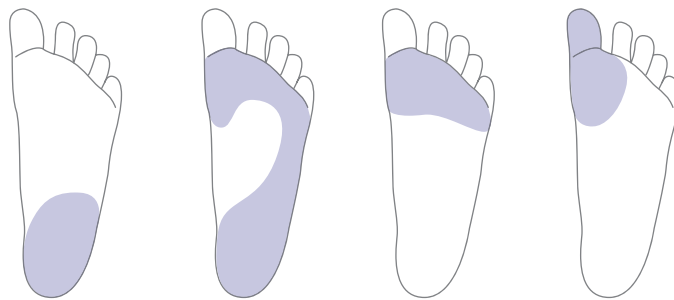
A fase de apoio termina quando deixa de existir contato do pé no solo. Esse momento, em que os dedos impulsionam o corpo, marca o início da fase de balanço, onde o corpo é suportado por apenas um dos membros inferiores. (Novacheck 1998; Standring 2008)

Na corrida, o contato do pé no solo é mais reduzido, podendo variar entre os 40% (*jogging*) e os 27% (*sprinting*). Cerca de 80% dos corredores pisam o solo inicialmente com o calcanhar e 20% com o médiopé (Standring 2008).

Na corrida existe uma fase em que nenhum membro tem contato com o solo e à qual dá o nome de “fase aérea” (Tongen e Wunderlich 2010; Standring 2008). Nesta fase não são aplicadas forças externas ao corpo, excepto a gravidade e a resistência ao vento, sendo que é a fase de apoio que influencia a velocidade (Tongen e Wunderlich 2010).

Com o aumento da velocidade dá-se uma diminuição na fase de apoio e, conseqüentemente, uma diminuição da superfície de contato com o solo (Standring 2008; Novacheck 1998). Em momentos de *sprint*, o antepé é a primeira zona a pisar o solo (Novacheck 1998), criando assim um impulso acrescido.

Na vasta maioria das pessoas, o médiopé é menos requisitado em situações de corrida, uma vez que o centro de pressão e as forças geradas passam rapidamente do bordo lateral do calcanhar para as cabeças distais do primeiro e segundo metatarsianos (Figura 15), no qual se mantém na fase de apoio (Novacheck 1998; Standring 2008; Cavanagh e Lafortune 1980).



**Figura 15. Pressão plantar e progressão do peso corporal num ciclo de marcha normal**

Adaptado de (Saxby, Lee. 2015. "Foot". Reawaken Your Innate Barefoot Running Skill.

Em *Barefoot Running: The Beautiful Hypothesis and the Ugly Facts*, editado por Born To Run.

Acedido a 27 de Maio de 2017. <https://goo.gl/akhqGa>.)

Deve ser prestada especial atenção ao retropé e ao antepé, concretamente a 25% e 70% de distância do calcanhar (Cavanagh e Lafortune 1980).

É possível constatar que, em locomoção, o peso recai de forma repetitiva nos membros inferiores, o que exige um amortecimento eficaz do pé de forma a evitar danos causados pelo impacto repetitivo nas articulações (Guimarães et al. 2000), uma vez que as lesões ósseas, são geralmente atribuídas à sobrecarga do sistema musculoesquelético (Nigg 1997; Tongen e Wunderlich 2010).

Dada a dureza das superfícies em que habitualmente nos deslocamos, o impacto resultante não é absorvido de forma eficiente pelo corpo. O calçado apresenta-se portanto como um elemento fundamental no auxílio do amortecimento natural do pé (Guimarães et al. 2000), capaz de alterar a forma de como as forças são aplicadas à sua estrutura anatómica (Novacheck 1998).

Face ao revisto na literatura, as zonas do retropé (calcanhar) e do antepé (dedos) devem ser o foco em termos de amortecimento, uma vez que são as mais requisitadas quer em marcha quer em corrida.

## 2.3. Pé versus Forma

As formas são elementos de auxílio com um papel determinante no desenvolvimento de calçado (Figura 16). O desenho da forma “influencia não só o estilo e a estética, mas também o calce e o conforto do calçado” (Luximon 2013). Será portanto, o desenho da forma que determinará o desenho da sola.

As formas podem ser diferenciadas pela elevação, pelo formato (dos dedos), pelo material, pela função e pelo seu método de fabrico. O seu fabrico, manual ou maquinado, pode ser feito a partir de materiais como madeira, metal ou, mais frequentemente, em materiais poliméricos como polietilenos de alta ou baixa densidade (Luximon 2013).

No desenvolvimento de solas para calçado desportivo, a forma ideal não deve possuir elevação, de forma a atribuir ao calçado melhor capacidade de distribuição de pressões, quando comparado a calçado com tacão mais elevado (Luximon 2013).



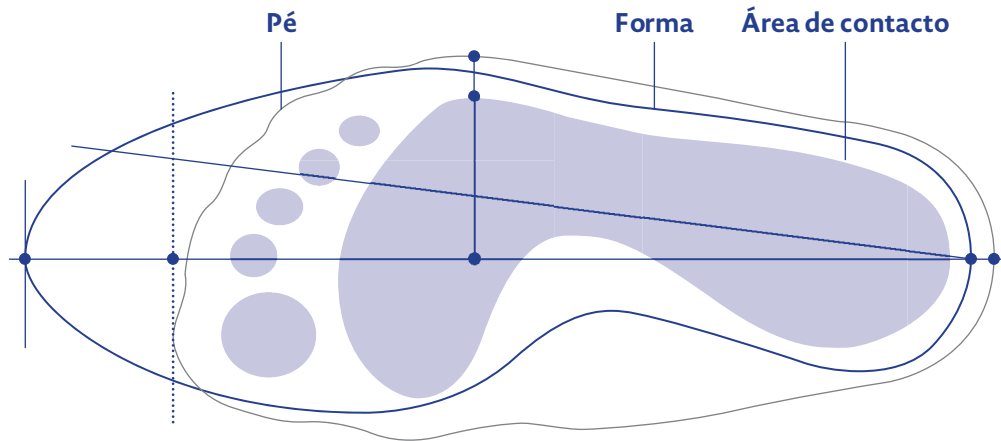
Figura16. Exemplo de uma forma de calçado de senhora: tamanho 37 e elevação de 7mm.

No que diz respeito à forma utilizada para o desenvolvimento da sola, o tamanho disponibilizado foi o 37, correspondente ao tamanho standard feminino, apresentando um elevação de aproximadamente 7mm, que, apesar de ligeiramente superior ao indicado pela literatura para o calçado desportivo, é interpretada pela empresa como uma elevação confortável para o pé.

Ainda que a forma represente o pé, as suas dimensões não são totalmente equivalentes (Luximon 2013). Os valores de comprimento e largura da forma não são portanto os mesmos que os do pé (Figura 17).

Um estudo realizado por Xiong et al. (2009), revela que o formato do pé sofre alterações dimensionais em situações de suporte de peso. Com o aumento da carga, o comprimento e a largura do pé aumentam, a altura diminui e existe maior tendência para o movimento de eversão do pé.





**Figura 17. Relação dimensional entre o pé e a forma**  
Adaptado de (Luximon 2013)

Um estudo semelhante, realizado por San Tsung et al. (2003), revela um aumento de 8.0mm (3.4%) de comprimento e 5.7mm (6.0%) de largura, acrescentando que, com o suporte total do peso do corpo, a área de contato do pé pode aumentar até os 60.4%.

Uma vez que o pé sofre deformações entre movimentos estáticos e dinâmicos, o desenho da forma deve precaver tais alterações ao comportamento do pé (Luximon 2013).



## 2.4. O calçado desportivo

O calçado desportivo (Figura 18) é definido como um “sapato de lona, tecido ou pele, geralmente com sola de borracha e com atacadores, usado para atividades desportivas ou, no dia-a-dia com roupa informal”, vulgarmente apelidado de sapatilha ou ténis (Costa e Melo 2017).

Dentro do calçado desportivo, a distinção entre calçado dedicado a uma atividade desportiva específica e calçado de uso quotidiano é evidente.

Atualmente, todavia, a versatilidade de alguns modelos de calçado permite que essa distinção desvaneça. Face à agitação diária, o calçado desportivo tornou-se a “tendência urbana” e o mais adequado à sociedade dos dias de hoje. A indústria do calçado desportivo encontra-se num dos seus melhores momentos, estando o calçado desportivo presente tanto em competições desportivas como na rua (Ricardo Pina, 2017, Apêndice B). Em entrevista com o autor, cujo percurso profissional e partilha da sua experiência e opinião profissionais foram uma mais valia para o desenvolvimento do projecto, foi possível perceber o papel do calçado desportivo na atualidade. É possível consultar a entrevista na íntegra em apêndice (Apêndice B).

## 2.4. 1. Anatomia do calçado desportivo

Uma divisão simplificada dos componentes do calçado desportivo pode ser feita da seguinte forma: corte, planta ou palmilha de montagem, e sola. A sola, por sua vez, pode ser ainda segmentada em regiões distintas: pata, enfranke e tacão (Figura 19).

Podem ser encontrados outros elementos adicionais em alguns modelos de calçado desportivo de alto desempenho. Todavia, não se revelaram essenciais ao desenvolvimento do corrente projeto.

O corte corresponde ao conjunto de elementos constituintes da parte superior de uma determinada sapatilha. Uma vez que o foco deste projecto é a sola, este conjunto de elementos não será analisado e é referido a título informativo.

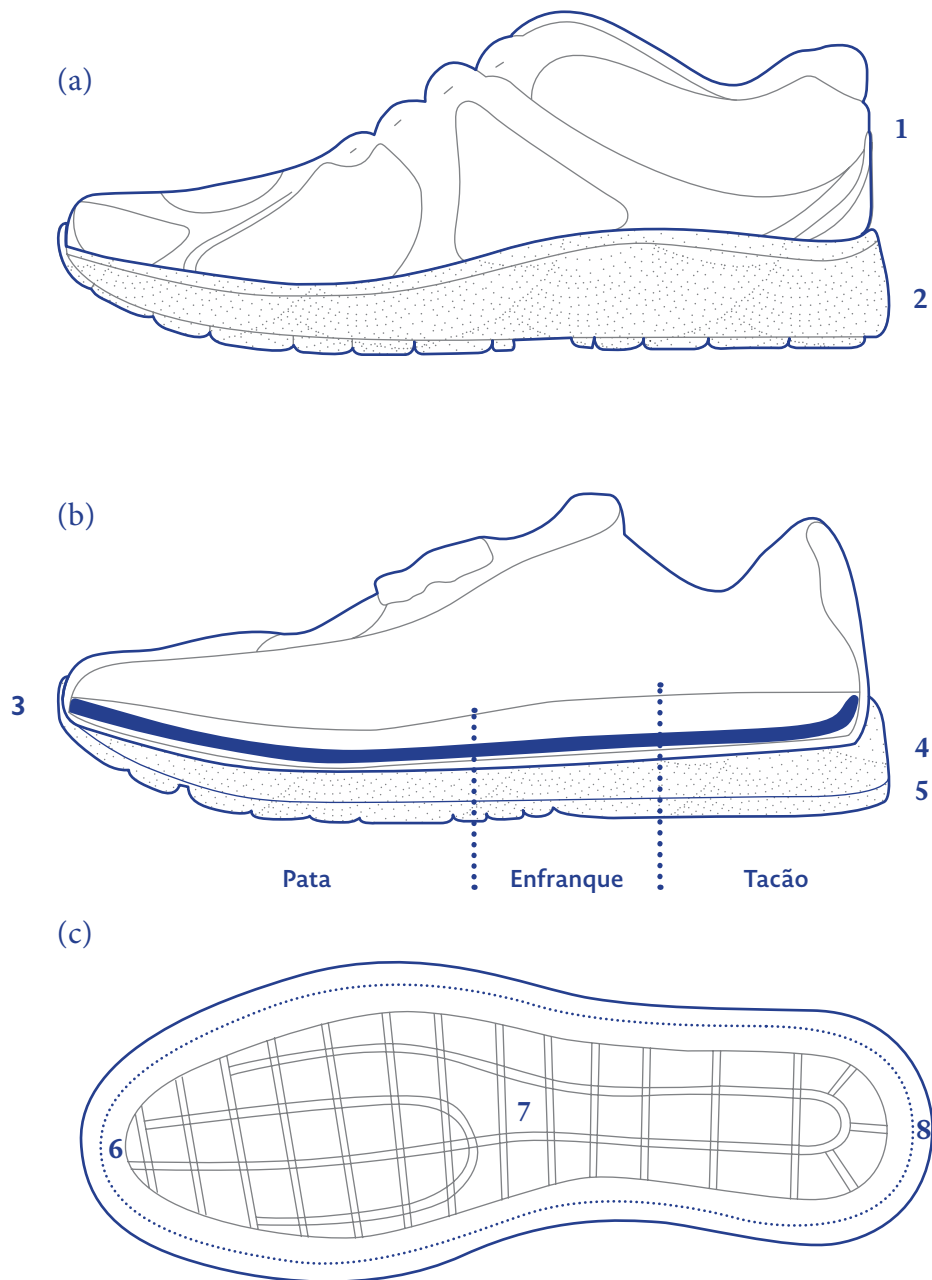
A planta ou palmilha de montagem é um elemento rígido padrão, geralmente em espuma, utilizado no interior do calçado, posicionada entre o corte e a sola e com o formato correspondente à forma utilizada.

Por fim, a sola corresponde à porção inferior do calçado desportivo, podendo esta ser inteiriça ou dividida em entressola e sola exterior ou rasto.

Quando existe uma separação evidente, a entressola, genericamente fabricada em espumas de EVA ou PU, é responsável pelo amortecimento (McPoil 2000).

De uma forma geral, a espuma utilizada na entressola percorre todo o sapato (Jenkins 2003). Porém, para um amortecimento acrescido, também é possível recorrer a materiais como gás, fluidos, ou gel (McPoil 2000).

A sola exterior, usualmente feita a partir de um compósito de borracha altamente resistente à abrasão, destina-se a criar aderência às superfícies com que o sapato entra em contato e para prevenir o desgaste da entressola (Jenkins 2003; McPoil 2000).



**Legenda** - 1. corte; 2. sola; 3. palmilha; 4. entressola;  
5. rasto; 6. margem de colagem; 7. grelha; 8. vira.

**Figura 19. Anatomia do calçado desportivo:**  
(a) vista lateral; (b) corte longitudinal; (c) vista de topo (sola)



Figura 20. Diferentes exemplos de grelhas no interior das solas

Quando esta separação não existe, do ponto de vista do amortecimento, solas mais convencionais, como solas de caixa, apoiam-se nas capacidades amortecedoras do material de que são feitas, o que nem sempre se revela suficiente.

Independentemente do tipo de material, é possível encontrar, no interior deste tipo de solas, uma grelha de padrões variados, utilizada para poupar material e, conseqüentemente, retirar peso à sola (Figura 20).

## 2.4.2. Requisitos do calçado desportivo

O calçado é das interfaces mais frequentes entre o pé e o chão, com um papel importante no que toca a melhorar a performance, prevenir lesões ou reduzir desconforto (Goonetilleke 1999).

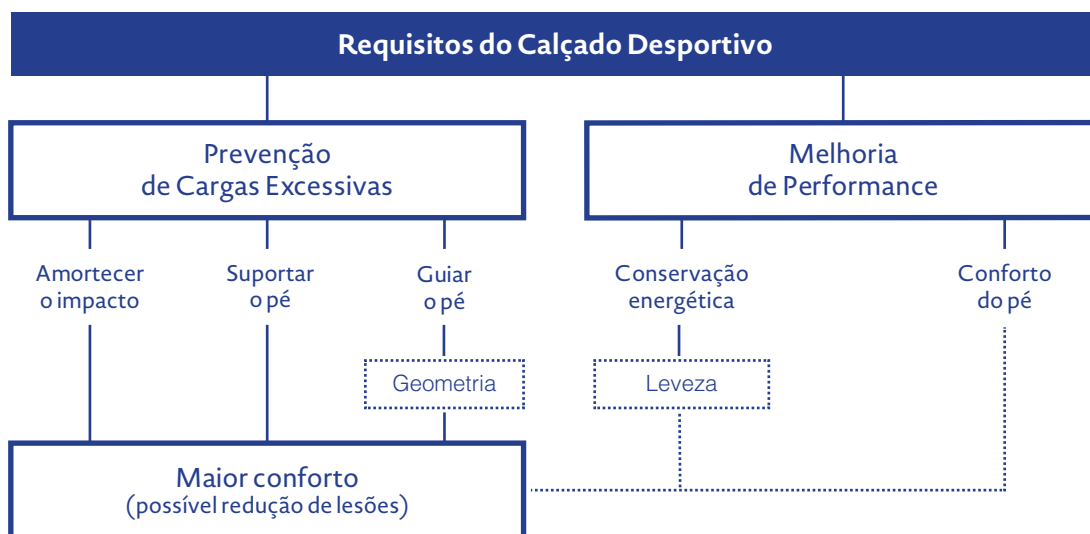
O calçado desportivo em particular deve, segundo Nigg e Segesser (1992), ser projetado tendo em conta dois fatores: (1) a prevenção de cargas excessivas que actuam nas estruturas do corpo humano e (2) a melhoria de performance. Estes fatores podem ser projetados de forma dissociada, dependendo do propósito do calçado (Diagrama 2).

No que toca à prevenção das cargas excessivas, assume-se a possibilidade de redução de lesões se o calçado conseguir amortecer as forças de impacto no primeiro contato da fase de apoio do pé, suportar o pé ao longo da fase de apoio e guia-lo para a posição correta no momento de impulso. Todavia, e dado o conhecimento reduzido neste campo, é mais seguro afirmar que “as propriedades amortecedoras do calçado talvez estejam mais ligadas ao conforto do que a prevenção de lesões” (Nigg e Segesser 1992).

Todo o calçado desportivo deve fornecer ao pé o apoio adequado durante a fase de apoio. Torna-se possível garantir que a articulação do tornozelo e o próprio pé tenham movimentos rotativos de inversão e eversão limitados (Nigg e Segesser 1992; Novacheck 1998).

A geometria do calçado é outro fator a ter em consideração, pois esta tem a capacidade de “alterar o posicionamento do pé e da perna no momento do impacto” (Nigg et al. 1986).

No que diz respeito à supinação efectuada pelo pé no momento em que se transita da fase de apoio para a fase de balanço, salienta-se que a adição à sola de algum tipo de suporte lateral à região do antepé é das soluções mais eficientes para garantir maior estabilidade (Nigg et al. 1986).



**Diagrama 2. Requisitos do calçado desportivo**

Baseado em (Nigg e Segesser 1992; Novachek 1998; Nigg et al. 1986; Nigg e Morlock 1987; Luo et al. 2009)

O mesmo acontece em relação à pronação excessiva do pé. Uma sola com um desenho curvado na região lateral do calcanhar reduz a pronação inicial e, conseqüentemente, “influência de forma positiva a redução e/ou prevenção de lesões” provocadas pela carga excessiva em situação de corrida (Nigg e Morlock 1987; Nigg et al. 1986).

A melhoria de performance por outro lado pode ser analisada do ponto de vista do retorno ou conservação energéticos. Todavia, Nigg e Segesser (1992) referem que o foco no retorno de energia quando se projecta calçado desportivo é pouco relevante dada a percentagem reduzida de energia que se poderia devolver.

Na construção de calçado desportivo, a solução aparentemente mais viável para otimizar a energia investida prende-se com a leveza do calçado, dado que a massa adicional do calçado aumenta o consumo energético até 5% quando comparado à não utilização de calçado. (Nigg e Segesser 1992).



Segundo os autores, o foco deve incidir em prevenir a perda de energia e não no seu retorno.

De acordo com Luo et al. (2009), o conforto do calçado pode também melhorar a performance do seu utilizador numa média de 0.7%.

Revistos os requisitos do calçado desportivo, todos eles parecem convergir, direta ou indiretamente, na capacidade de proporcionar maior conforto ao seu utilizador, quer seja no sentido de proteger o sistema músculo-esquelético, quer na melhoria da performance.

### 2.4.3. O amortecimento

Até ao início dos anos 70, elementos que amortecessem as forças de impacto eram inexistentes e os sapatos “relativamente rígidos” (Nigg et al. 1986). A utilização de espumas era inexistente no calçado desportivo tradicional (Jenkins 2003).

A procura por sistemas de amortecimento mudou a meio dos anos 70, tornando-se “um dos aspectos mais importantes no desenvolvimento de novo (e melhor) calçado” (Nigg et al. 1986).

Do estado líquido ao gasoso, diversos materiais foram já utilizados no calçado para melhorar as suas capacidades de amortecimento. A escolha de um dado material e respectivas propriedades afeta a deformação da entressola e, conseqüentemente, a sua capacidade amortecedora (Nigg e Segesser 1992).

A perceção desse mesmo amortecimento está também dependente das propriedades físicas de um dado material ([Diagrama 3](#)). Quanto menor a rigidez de um material, melhor é a perceção de amortecimento, quer parado quer em corrida. O mesmo não se aplica a atividades como caminhar, uma vez que a rigidez do material aparenta não afetar a perceção de amor-

tecimento. Neste caso, um baixo nível de desaceleração do material oferece uma maior percepção de amortecimento (Goonetilleke 1999).

Em suma, numa situação de marcha, existe uma menor percepção e diferenciação entre a rigidez dos materiais da sola.

Todavia, a explicação para esta distinção não é ainda clara, uma vez que, em termos biomecânicos, se trata de uma atividade intermédia das anteriormente mencionadas.

Como forma de promover uma maior percepção de conforto e evitar lesões, as propriedades de desaceleração e rigidez devem portanto ser tidas em consideração. O grau de amortecimento não pode, contudo, sobrepor-se a fatores como a estabilidade, existindo a necessidade de se criar um compromisso entre ambos (Goonetilleke 1999).

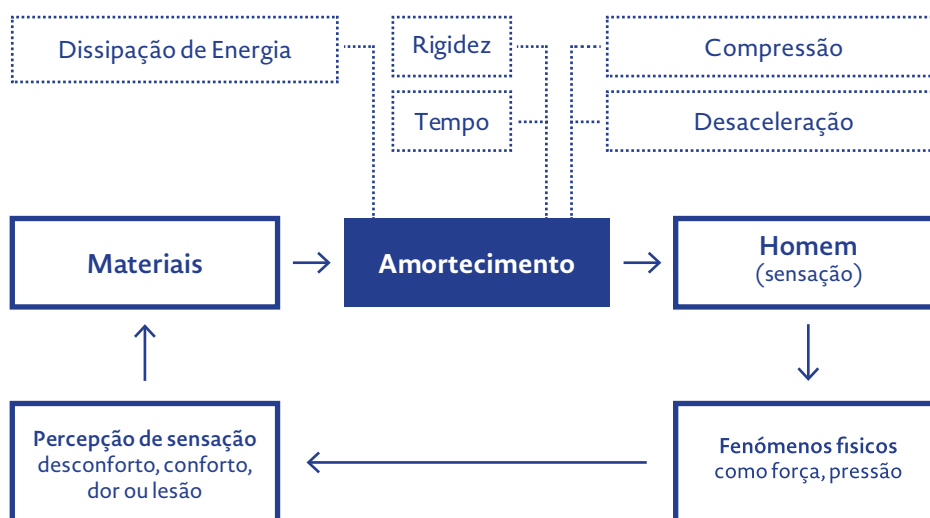


Diagrama 3. Percepção de amortecimento  
Adaptado de (Goonetilleke 1999)

A revisão da literatura revela-se antagónica no que toca à dureza ideal de um determinado material para propósitos de amortecimento.

De acordo com Novacheck (1998), solas mais densas oferecem melhor amortecimento.

Nigg et al. (1986) acrescentam que a escolha por um material de maior dureza é mais segura e oferece melhor proteção. Referem ainda que um material muito macio na região do mediopé provoca a pronação (excessiva) do pé e como tal deve ser evitado.

Robbins e Waked (1997) corroboram a escolha por um material de maior dureza, acrescentando que a instabilidade do calçado é induzida por materiais muito macios.

Estudos mais recentes (Theisen et al. 2013) revelam informação discordante, afirmando que a (falta de) rigidez dos materiais utilizados na entressola com um propósito amortecedor não coloca qualquer risco de lesões. Isto porque, como forma de evitar o impacto excessivo, o corredor irá adaptar o seu estilo de corrida.

Worobets et al. (2014) apresenta informação contrária, referindo que o calçado desportivo com entressolas mais macias e mais resilientes apresenta, em média, uma melhoria de performance de 1.0%.

Jenkins (2003) acredita que um dos possíveis caminhos a seguir passa pela criação de um sistema de amortecimento em borracha que “ofereça melhores amortecimento e estabilidade do que entressolas em EVA”.

A literatura acrescenta, ainda que de forma também discordante, questões ligadas à relação entre a necessidade de amortecimento e o peso do utilizador. Segundo Guimarães et al. (2000), o peso corporal é um fator importante no que toca à escolha de calçado, e é necessário optar por calçado com maior capacidade de amortecimento quando em situação de excesso de peso.

Theisen et al. (2013) discordam e referem que a necessidade de amortecimento em nada se correlaciona com o peso do utilizador.

O antagonismo apresentado na revisão da literatura dificulta a seleção apropriada dos materiais a utilizar. A não conformidade de ideias apresentadas leva a crer que a seleção dos materiais para as solas é feita a partir de um compromisso entre as propriedades do material e as necessidades performativas do calçado.

O desenho da sola é de uma forma geral negligenciado na revisão da literatura em questões de amortecimento, focando-se essencialmente, para esse efeito, nas propriedades do material.

Todavia, se a deformação da sola do sapato provocada pelo primeiro contato do pé com o solo for utilizada para impulsionar a transição para a fase de balanço e, conseqüentemente, melhorar a performance, Nigg e Segesser (1992) referem que a construção da sola deve assemelhar-se à estrutura de uma mola, deformando-se no momento inicial da fase de apoio e recuperando a sua forma na segunda metade da mesma fase.

Este foi um fator a ter em consideração, ainda que os requisitos para a sola a desenvolver não se prendam diretamente com uma melhoria de performance.

## 2.4.4. Níveis de amortecimento

Em termos de amortecimento, o calçado pode ser dividido essencialmente em três níveis: minimalista, convencional, ou maximalista (Figura 21).

Uma vez que não existe uma definição exata para estes tipos de calçado, não existe analogia entre modelos de diferentes marcas (Sinclair et al. 2013), o que torna este tipo de análise relativamente subjetiva.



Figura 21. Níveis de amortecimento  
Baseado em (Sinclair et al. 2013)

### 2.4.4.1. Convencional

É considerado convencional ou moderado todo o tipo de amortecimento que se insira entre o minimalista e o maximalista.

### 2.4.4.2. Minimalista

O calçado minimalista, inspirado na corrida *barefoot*, isto é, descalço, possui capacidade de amortecimento, altura e elevação do calcanhar reduzidos, não possuem elementos estabilizadores externos, apresentam alta flexibilidade e são mais leves do que o calçado convencional (da Silva Azevedo et al. 2016).

Este tipo de calçado (Figura 22) pode variar entre um (a) minimalismo extremo ou em (b) calçado mais estruturado (Sinclair et al. 2013). Este último pode já ser considerado calçado de transição entre calçado convencional e minimalista.

Um estudo realizado por Bergstra et al. (2015) a participantes do sexo feminino refere que o calçado minimalista provoca uma pressão plantar na região do antepé superior à provocada pelo calçado convencional, porém, sem alterações no padrão de contato inicial.

Em contrapartida, Sinclair (2014) refere que o calçado minimalista pode atenuar o risco de lesões no joelho. No entanto, não é o mais indicado para portadores de patologias associadas ao tendão de Aquiles.

De acordo com da Silva Azevedo et al. (2016) sapatos de transição são uma opção eficaz na passagem do calçado convencional para o calçado minimalista. Estes apresentam características intermédias em relação a ambos.

Ainda que inspirado na corrida sem calçado, o calçado minimalista não parece replicar o comportamento do pé com exactidão (Sinclair 2014; Sinclair et al. 2013).



**Figura 22. Calçado minimalista: (a) Vibram FiveFingers; (b) Nike Free**

Adaptado de (Runnerclick. 2016. "Vibram FiveFingers V-trail". Acedido a 7 de Junho de 2017. <https://goo.gl/gGFTFC>.; Nike. 2017. "Nike Free RN Flyknit MS". Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. <https://goo.gl/1F73Tj>.)

### 2.4.4.3. Maximalista

O calçado maximalista (Figura 23) revela uma abordagem totalmente oposta à do calçado minimalista. Quando comparado ao calçado desportivo convencional, o calçado maximalista apresenta uma entressola de dimensão muito superior (*oversized*), pensada para fornecer um amortecimento acrescido (Sinclair, Shore, e Dillon 2016).

Seria de esperar que, face à informação anteriormente mencionada em relação ao calçado minimalista, calçado com este tipo de amortecimento fosse apresentar resultados benéficos relativamente às forças aplicadas ao tendão de Aquiles. Todavia, de acordo com Sinclair, Richards, e Shore (2015), o amortecimento maximalista não acrescenta benefícios face ao calçado convencional.

Face aos níveis de amortecimento identificados é possível compreender que a redução na altura da sola tem um papel importante no amortecimento. O mesmo não se verifica em relação ao aumento da altura da sola, que parece ter um valor estético superior ao funcional. Assim sendo, não apresenta benefícios face ao calçado convencional e poderá, em contrapartida, implicar um aumento do seu peso.



**Figura 23. Calçado maximalista: Hoka One One**  
Adaptado de (HokaOneOne. 2017. "Hoka One One - Huaka".  
Acedido a 7 de Junho de 2017. <https://goo.gl/B46PRi>.)

## 2.5. Tipos de sola

Para uma melhor compreensão do processamento das solas foi feita uma pesquisa no sentido de verificar a diversidade de solas existentes.

Perante a revisão da literatura podemos constatar a existência de 11 tipos de solas, com materiais e processos de fabrico distintos (Motawi 2015), apresentados na tabela que se segue (Tabela 1).

Face aos tipos de sola identificados, é possível constatar que existe, com frequência, uma separação aparente entre os elementos da sola. Ou seja, é visível a separação entre entressola e sola exterior.

A nível de materiais, o EVA, seguido pelo PU, apresenta-se como o material mais recorrente utilizado nas entressolas do sector desportivo. As borrachas, por outro lado, são mais utilizadas na sola exterior, aparentemente como elemento de proteção contra o desgaste.

O custo da sola parece correlacionar-se fortemente com os processos de fabrico, sendo que solas que utilizam apenas um material e um processo, como o caso das solas de caixa em borracha, apresentam custos muito reduzidos comparativamente a solas produzidas a partir de processos de injeção ou sopro. De acordo com a informação obtida, as borrachas são os materiais economicamente mais viáveis.

Ainda que, de acordo com a revisão da literatura apenas sejam identificados 11 tipos de solas, algumas variantes, como a utilização de materiais menos usuais ou adição de componentes exteriores à sola, também se verificam.

A evolução e exploração que ocorrem neste sector têm vindo a permitir a utilização de processos e materiais inovadores e, nesse sentido, é necessário um acompanhamento e atualização contínuos.



**Tabela 1. Tipos de sola - Parte 1**  
Baseado em (Motawi 2015)

Tipo de Sola  
**Câmara de ar**

Custos

**Produção**  
Muito elevado

**Unitário**



**Figura 24. Sola com câmara de ar**  
Adaptado de (Nike. 2017. "Nike Air Max 2017".  
Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. [https://goo.gl/74L3Ad.](https://goo.gl/74L3Ad))

Elementos	Produção	Materiais
<b>Entressola</b>	Moldação por compressão Moldação por sopro	EVA + Termoplástico
<b>Sola Exterior</b>	Moldação por compressão	Borracha

Tipo de Sola  
**CMEVA**  
(EVA comprimido)

Custos

**Produção**  
Moderado

**Unitário**



**Figura 23. Sola em CMEVA**  
Adaptado de (NewBalance. 2017. "NB FreshFoam Vongo".  
Acedido a 15 de Fevereiro. [https://goo.gl/zKUNXb.](https://goo.gl/zKUNXb))

Elementos	Produção	Materiais
<b>Entressola</b>	Moldação por compressão	EVA
<b>Sola Exterior</b>	Moldação por compressão	Borracha

**Tabela 1. Tipos de sola - Parte 2**  
Baseado em (Motawi 2015)



**Figura 26. Sola em IMEVA**

Adaptado de (Nike. 2017. "Nike Free RN Flyknit MS".  
Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. <https://goo.gl/1F73Tj>.)

Tipo de Sola  
**IMEVA**  
(EVA injectado)

Custos

**Produção** Elevado

**Unitário** Moderado

Elementos	Produção	Materiais
<b>Entressola</b>	Moldação por injeção	EVA
<b>Sola Exterior</b>	Moldação por compressão	Borracha



**Figura 27. Sola com cunha em EVA**

Adaptado de (Nike. 2017. "Nike Classic Cortez Nylon Premium QS".  
Acedido a 17 de Fevereiro de 2017. <https://goo.gl/6RGL7p>.)

Tipo de Sola  
**Cunha em EVA**

Custos

**Produção** Baixo

**Unitário**

Elementos	Produção	Materiais
<b>Entressola</b>	Corte	EVA
<b>Sola Exterior</b>	Moldação por compressão	Borracha

**Tabela 1. Tipos de sola - Parte 3**  
Baseado em (Motawi 2015)

Tipo de Sola  
**PU**  
(Poliuretano)

Custos

**Produção** Elevado

**Unitário** Baixo



**Figura 28. Sola em PU**

Adaptado de (Puma. 2017. "Puma Ignite 3".  
Acedido a 17 de Fevereiro de 2017. [https://goo.gl/mUu16F.](https://goo.gl/mUu16F))

Elementos	Produção	Materiais
<b>Entressola</b>	Moldação por vazamento	PU (Poliuretano)
<b>Sola Exterior</b>	Moldação por compressão	Borracha

Tipo de Sola  
**PU**  
+ câmara de ar

Custos

**Produção** Moderado

**Unitário**



**Figura 29. Sola em PU com câmara de ar**

Adaptado de (Nike. 2017. "Nike Air Max Zero".  
Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. [https://goo.gl/pjhZRC.](https://goo.gl/pjhZRC))

Elementos	Produção	Materiais
<b>Entressola</b>	Sobremoldação	PU (Poliuretano) + Termoplástico
<b>Sola Exterior</b>	Moldação por compressão	Borracha

**Tabela 1. Tipos de sola - Parte 4**  
Baseado em (Motawi 2015)



**Figura 30. Entressola injectada**

Adaptado de (Adidas. 2017. "Adidas Springblade".  
Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. <https://goo.gl/dX7WUJ>.)

Tipo de Sola

**Injectada**  
(entressola)

Custos

**Produção**

Muito elevado

**Unitário**

Elementos	Produção	Materiais
<b>Entressola</b>	Moldação por injeção	TPU ou Nylon
<b>Sola Exterior</b>	Moldação por compressão	Borracha



**Figura 31. Sola exterior injectada**

Adaptado de (Adidas. 2017. "Messi 16+ Pureagility Firm Ground".  
Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. <https://goo.gl/JECr3L>.)

Tipo de Sola

**Injectada**  
(sola exterior)

Custos

**Produção**

Variável  
mediante  
complexidade

**Unitário**

Elementos	Produção	Materiais
<b>Entressola</b>	-	-
<b>Sola Exterior</b>	Moldação por injeção	Termoplástico

**Tabela 1. Tipos de sola - Parte 5**  
Baseado em (Motawi 2015)

Tipo de Sola  
**Clássica**  
(vulcanizada)

Custos

**Produção**  
Baixo  
**Unitário**



**Figura 32. Sola clássica vulcanizada**  
Adaptado de (Converse. 2016. "Chuck Taylor All Star Classic".  
Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. [https://goo.gl/djrrd.](https://goo.gl/djrrd))

Elementos	Produção	Materiais
Entressola	-	-
Sola Exterior	Moldação por compressão	Borracha

Tipo de Sola  
**Caixa**

Custos

**Produção**  
Baixo  
**Unitário**



**Figura 33. Sola de caixa**  
Adaptado de (Reebok. 2017. "Reebok C85".  
Acedido a 1 de Março de 2017. [https://goo.gl/tGys52.](https://goo.gl/tGys52))

Elementos	Produção	Materiais
Entressola	-	-
Sola Exterior	Moldação por compressão	Borracha

**Tabela 1. Tipos de sola - Parte 6**  
Baseado em (Motawi 2015)



**Figura 34. Sola de caixa com cunha em EVA**  
Adaptado de (Adidas. 2017. "Adidas Kaiser 5".  
Acedido a 21 de Fevereiro de 2017. <https://goo.gl/cSqVW9>.)

Tipo de Sola  
**Caixa**  
+ Cunha em EVA

Custos

Produção  
Moderado

Unitário

Elementos	Produção	Materiais
Entressola	Corte	EVA
Sola Exterior	Moldação por compressão	Borracha

## 2.6. Propriedades dos materiais

De forma a identificar o material mais indicado para a sola a desenvolver, foi realizada uma análise a uma seleção de matérias poliméricas, elastoméricas e híbridos, que se revelaram de maior interesse.

A importância desta análise prendeu-se com a necessidade de encontrar um material leve para o produto final e, como tal, o foco de análise foi a densidade dos materiais selecionados.

Como é possível verificar no gráfico que se segue (Gráfico 4), destacaram-se dois materiais: a espuma vinilica acetinada (EVA foam) e a borracha natural (NR). Este gráfico foi gerado no software CES EduPack 2016, com informação adicional da espuma de EVA, recolhida de Atlantic Gasket (2015).

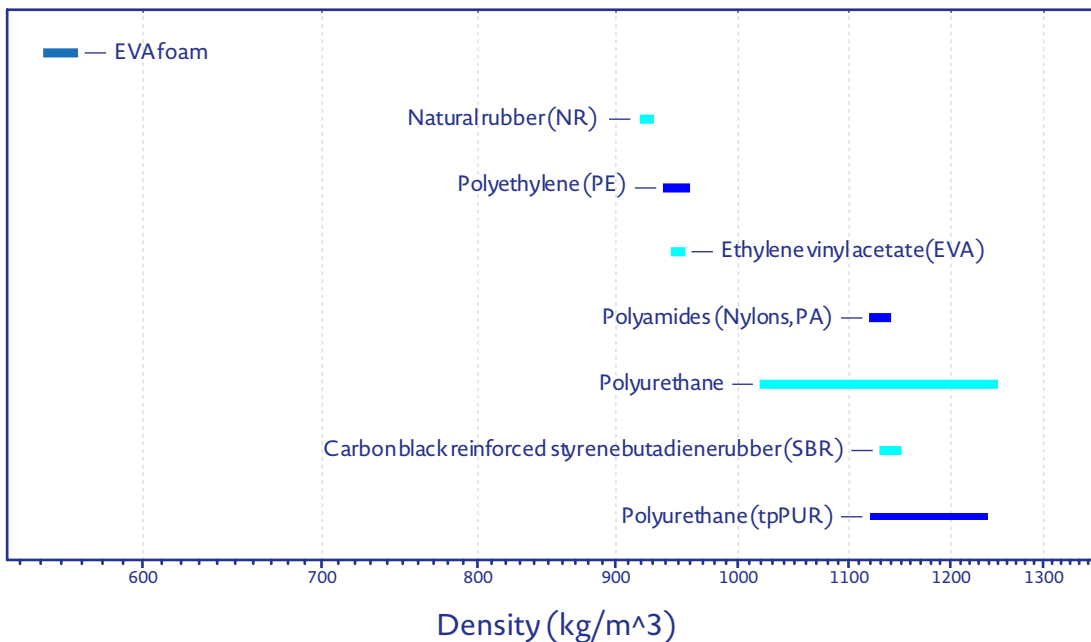


Gráfico 4. Análise comparativa da densidade de materiais poliméricos

Utilizada desde os primórdios do calçado desportivo até à actualidade, a espuma de EVA de célula fechada (Figura 35 - a) é dos materiais mais comuns neste tipo de calçado, praticamente irreprovável como material de entressola (Jane 2016).

Testes de impacto realizados por Brückner et al. (2010) revelaram que, a curto-prazo, o EVA como material de entressola apresenta, em média, bons resultados. Porém, as suas propriedades amortecedoras, em termos de durabilidade e envelhecimento, apresentam uma redução aparente a longo prazo. Este tipo de comportamento deteriorante de entressolas totalmente produzido em EVA pode ser ultrapassado com a adição de elementos noutros materiais como, por exemplo, o poliuretano termoplástico (TPU) (Brückner et al. 2010), ou borracha SBR, ainda que a sua resistência ao desgaste seja inferior ao TPU. Esta seleção prende-se essencialmente com custos e ciclos curtos de produção (Jenkins 2003).

Por outro lado, a borracha natural, de origem centenária e proveniente da árvore Hevea, é o mais utilizado de todos os elastómeros (Figura 35 - b). Este material passa por um processo de vulcanização, que envolve a adição de enxofre seguido do seu aquecimento. O processo em questão fortalece a borracha, tornando-a mais flexível, resistente e durável (Jane 2016b).

Ainda que os dois materiais de menor densidade sejam adequados relativamente à leveza pretendida, no caso da sola ser produzida em duas partes poderia ser considerado outro tipo de borrachas para a sola exterior, mediante os resultados de ensaios e decisão da empresa.

Em suma, com base nas informações recolhidas e dadas as suas propriedades, assumiu-se a possibilidade de utilizar ambos os materiais (EVA para a entressola e borracha para a sola exterior) de forma a tirar partido das suas melhores características.



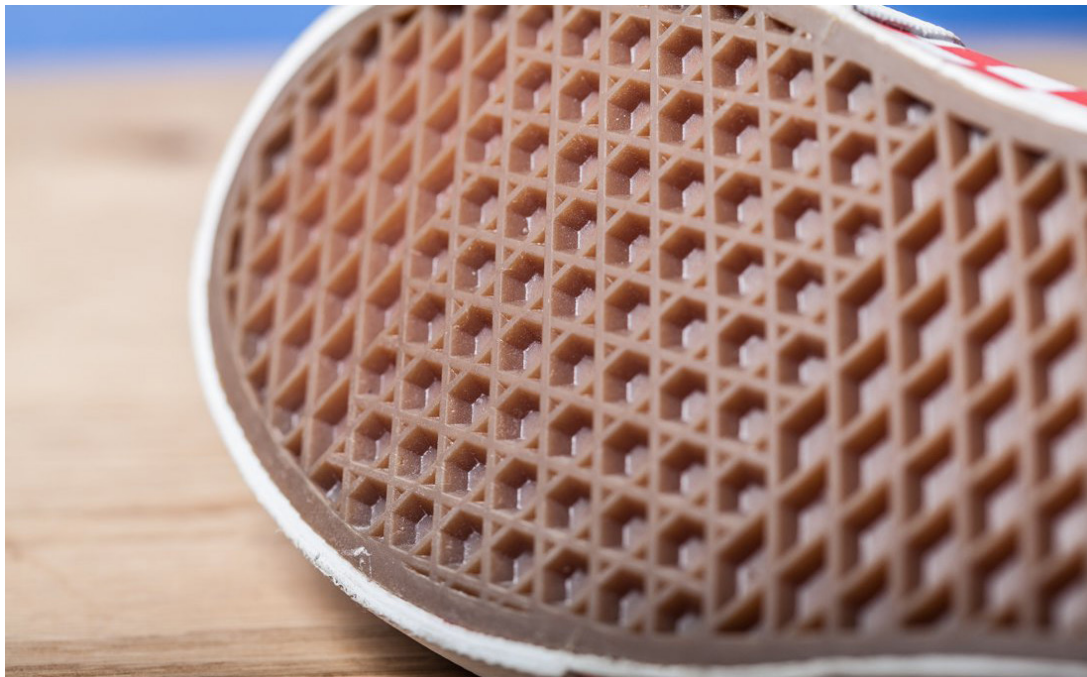


Figura 35. Compilação de imagens: (a) entressola em EVA; (b) sola em borracha vulcanizada  
(Jane 2016a; Jane 2016b)

## 2.7. Fabrico aditivo / Impressão 3D

Com a crescente inovação, processos de fabrico aditivo como FDM (*fused deposition modeling*), SLA (*stereolithography*) ou SLS (*selective laser sintering*) começam já a dar os primeiros passos na indústria do calçado. Inicialmente utilizados para produção de protótipos de conceito, alguns aparecem agora em edições especiais de produtos finais (Solereview 2016).

Apesar de tudo, e ainda que tecnologias como a "Future 4D" da Carbon consigam produzir protótipos funcionais, o fabrico aditivo não consegue ainda colmatar todas as necessidades da indústria, especialmente quando se trata de produção massificada.

O custo e o tempo envolvidos na produção de uma sola através de fabrico aditivo ultrapassam os de uma sola produzida através de processos mais convencionais, como moldação por injeção ou compressão (Solereview 2016).

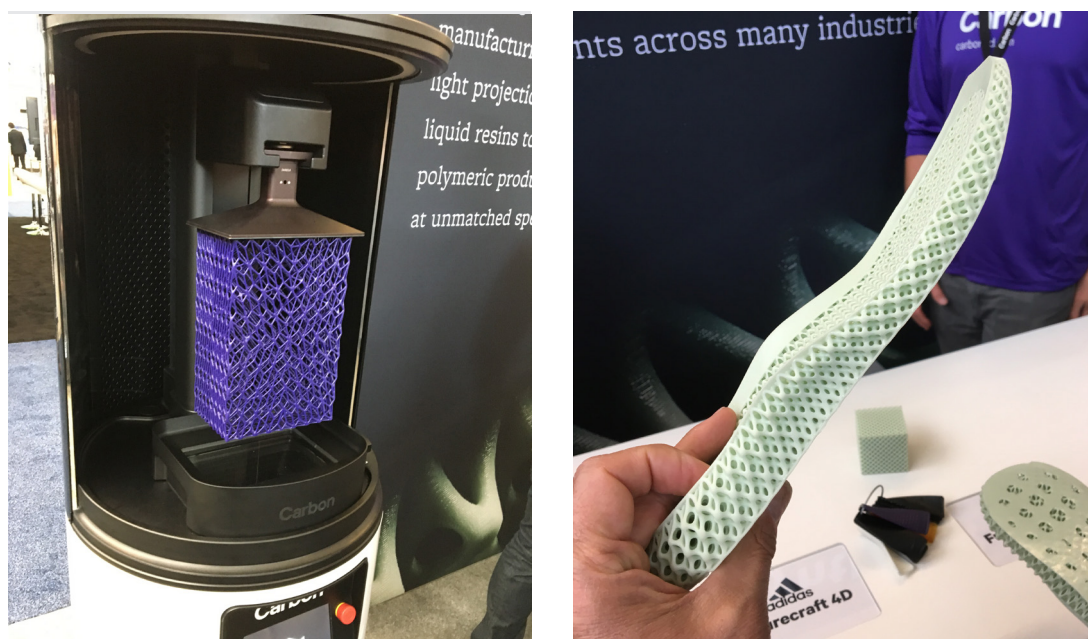


Figura 36. Compilação de imagens - tecnologia de impressão 3D "FutureCraft 4D"  
Arquivo pessoal - Prof. Jorge Lino Alves



Figura 37. Compilação de imagens - protótipos produzidos através de fabrico aditivo FDM



## 03. Fase experimental

Realizado o levantamento do estado da arte relativamente ao calçado desportivo, e mais concretamente as solas, surgiu a necessidade de recolher um maior volume de informação, concreta e objetiva, no que diz respeito a algumas características das solas

Como ponto de partida, foi realizado um levantamento de valores de dureza shore A de solas de calçado desportivo casual (usado). Esta abordagem teve o propósito de compreender a dureza de alguns modelos, mas também revelar um valor médio que pudesse ser utilizado como base para a produção da borracha a utilizar na sola desenvolvida.

Uma segunda abordagem passou pelo levantamento e análise do maior número de sistemas de calçado desportivo de várias marcas internacionais relevantes, até à data implementados no mercado, como forma de estabelecer uma estratégia para abordar a problemática a resolver, previamente estabelecida. Desta forma foi possível compreender os materiais, processos de fabrico e regiões do pé afectadas por estes sistemas, e de que forma esse conhecimento poderia ser aplicado ao desenvolvimento de um novo sistema.

### 3.1. Identificação da dureza das solas em borracha

Como meio de identificação do grau de dureza ideal para a sola exterior, foram realizados ensaios de dureza em algumas solas de calçado desportivo (Figura 36).

Foi utilizado um durómetro manual e realizado o ensaio de dureza Shore A, o mais indicado para polímeros macios. Este ensaio foi realizado com base na norma ASTM F1614-06 (ASTM 2010).

A norma em questão referia que seriam necessários 5 testes por amostra, com a duração de 1s, em regiões distintas, a uma temperatura de aproximadamente 23°C. Deveria ser evitado o impacto excessivo com o indentador (*indenter*) na superfície da amostra.

Amostras	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Testes 4	Teste 5	Dureza média Shore A
#01	65	70	73	65	63	67,2
#02	60	62	63	58	58	60,2
#03	67	67	70	66	58	65,6
#04	58	57	64	61	67	61,4
#05	65	73	70	70	66	68,8
#06	69	63	75	68	55	66
					Média	64,9

Tabela 2. Dados relativos às amostras submetidas aos ensaios de dureza.

Face aos resultado obtidos, o valor médio de dureza ronda os 64,9 shore. Ainda que tenha existido uma tentativa por realizar todos os ensaios de acordo com a norma, nem todos os requisitos foram possíveis de cumprir, inviabilizando a fidelidade dos resultados.

As amostras, não normalizados, não possuíam superfícies totalmente planas, dado que foram utilizadas solas usadas ainda unidas ao corte das sapatilhas. Por esse motivo, tornou-se difícil fazer a recolha de dados.



Figura 38. Amostras utilizadas para realização dos ensaios de dureza



**Figura 39. Compilação de imagens - sistemas e tecnologias de calçado desportivo**  
Adaptado de (Solereview. 2017. "Technology".  
Acedido a 10 de Janeiro de 2017. [https://goo.gl/jZEA8e.](https://goo.gl/jZEA8e))



## 3.2. Sistemas e tecnologias

Face à necessidade de desenvolver uma sola com um sistema de amortecimento, é pertinente a investigação e análise de sistemas aplicados ao calçado até agora implementados no mercado.

Esta investigação baseou-se exclusivamente em tecnologias ligadas à sola. Porém, dada a celeridade a que são desenvolvidos este tipo de sistemas, existem fortes possibilidades de sistemas mais recentes terem sido desenvolvidos e outros terem deixado de ser comercializados após o término desta análise.

O número desmedido de sistemas e marcas existentes no mercado não permite a sua análise na totalidade. Todavia, foram seleccionadas algumas marcas relevantes no mercado desportivo, que se revelaram de especial interesse dada a sua procura constante por produzir este tipo de sistemas e tecnologias.

Foram analisadas 7 marcas, com um total de 96 sistemas e, ainda que o foco fosse o amortecimento, foram também investigadas questões como leveza, estabilidade, flexibilidade, propulsão e tração, uma vez que um mesmo sistema pode englobar um conjunto diverso de funções.

Dos 96 sistemas analisados, 57 (59%) relacionavam-se com o amortecimento, demarcando-se assim como a função que mais atenção recebe no desenvolvimento de inovação no calçado desportivo.

As tecnologias foram distinguidas por parâmetros como tipologia, elemento da sola em que atuam, materiais presentes na sua composição, processo de fabrico, região do pé afetada e função-chave.

Foram consideradas tecnologias e sistemas associados a calçado desportivo casual e de performance, como corrida ou treino/fitness. Não foram consideradas tecnologias ou sistemas exclusivos a desportos com elevada especificidade como, por exemplo, o futebol (chuteiras).

A distinção entre sistemas foi estabelecida de forma a ser mais fácil a compreensão dos mesmos. Porém, estas tipologias podem sobrepor-se, existindo a possibilidade de, por exemplo, os componentes externos tirarem partido das propriedades de um material ou desenho específicos.

Uma vez que a informação analisada se trata, por vezes, de conteúdo altamente protegido pelas marcas e de difícil acesso, não foi possível analisar todos os sistemas em toda a sua extensão, o que impossibilitou a identificação da totalidade dos materiais e processos de fabrico.

Face aos sistemas analisados, é possível constatar um predomínio na separação entre elementos da sola, ainda que, em casos particulares, não exista essa divisão. Os sistemas localizam-se mais frequentes na entressola, especialmente quando se tratam de sistemas de amortecimento.

Com esta análise foi possível compreender que existe uma aposta muito grande por parte das marcas em desenvolver materiais patenteados e que estes são, de uma forma genérica, os principais responsáveis pelo amortecimento providenciado pelas solas.

Quando se recorre a este tipo de amortecimento, a tendência é que toda a sola seja produzida pelo material em questão e, conseqüentemente, toda a região do pé seja afetada pelas suas propriedades amortecedoras.

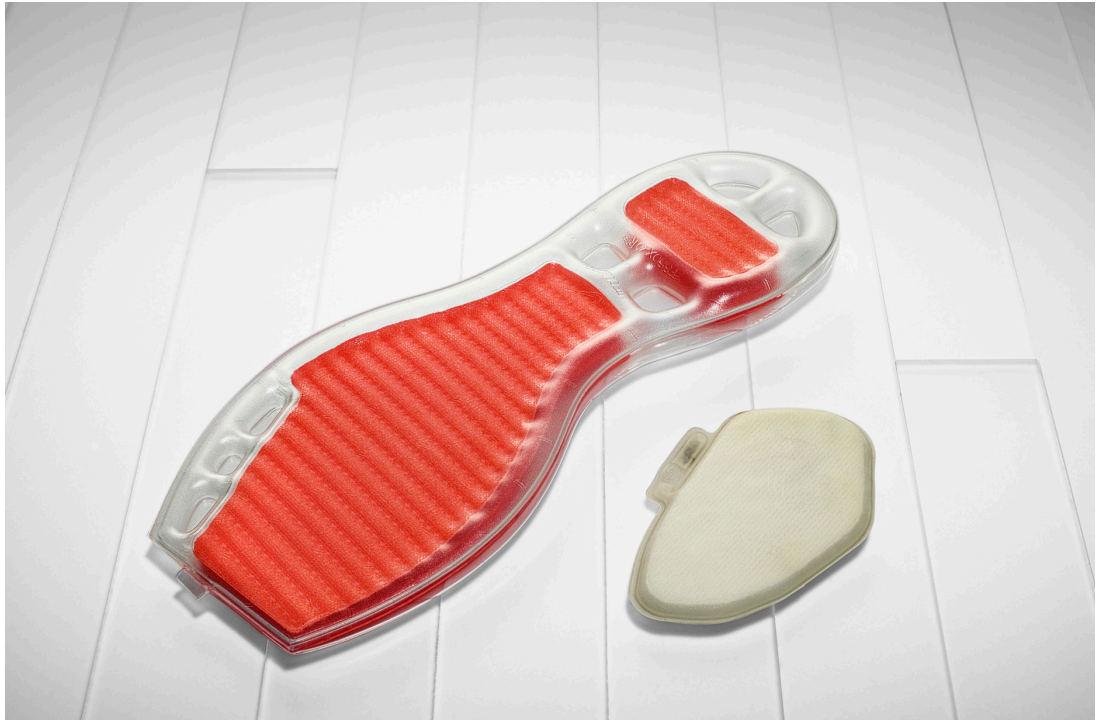
Exemplo disso é a tecnologia BOOST™ (nome comercial atribuído pela Adidas ao material Infinergy™), o primeiro Poliuretano Termoplástico Expandido (E-TPU) utilizado nas entressolas de alguns dos seus modelos (Figura 40). Combinando as propriedades do TPU e as vantagens das espumas, este material consegue responder mais rapidamente às exigências e devolve maior energia produzindo um efeito de ressalto quando comparado a materiais como o EVA. Ao contrário das espumas *standard*, as cápsulas de TPU não só absorvem a energia de impacto como a devolvem, mantendo este comportamento a temperaturas muito baixas (BASF 2013).



**Figura 40. Sistema de calçado desportivo - tecnologia Adidas BOOST™**  
(BASF. 2013. "Infinergy/BOOST". Acedido a 29 de Maio de 2017. <https://goo.gl/rMS5tA>.)

Segue-se o recurso a componentes externos aos elementos básicos da sola, de forma a prover amortecimento, sendo que neste caso existe uma predisposição para que o amortecimento afecte apenas zonas específicas do pé. O retro pé é a região do pé mais afetada por este tipo de sistemas de amortecimento.

Sistemas como Nike Air ou Nike Zoom Air apresentam de forma muito objetiva essas características. Este tipo de sistema consiste na utilização de uma bolsa flexível (e resistente) com ar pressurizado no interior de forma a amortecer o impacto nas várias regiões do pé, podendo ser aplicadas bolsas nas várias regiões da entressola (Figura 41).



**Figura 41. Sistema de calçado desportivo - tecnologia Nike Air**

(Nike. 2012. "Nike Zoom, Then and Now". Acedido a 29 Maio de 2017. <https://goo.gl/QSrVHe>.)

A tecnologia Nike Zoom Air, em particular, tira partido de fibras sob tensão, dentro de uma unidade Air pressurizada, que ao ser comprimida amortece o impacto e recupera rapidamente a forma, gerando um forte impulso do solo, sendo mais indicada para mudanças rápidas e multidireccionais de movimento (Nike 2015).

Entre os sistemas analisados, poucos são os que utilizam o desenho da sola como um todo para garantir o amortecimento do pé. À semelhança de sistemas que tiram partido do material, este tipo de sistemas aparenta, de uma forma geral, afetar a totalidade do pé.

Graças ao seu perfil em ziguezague e ao seu amortecimento multidireccional, o desenho da sola do sistema ZigTech da Reebok distingue-se das restantes (Figura 42). A geometria da sola, ao ser comprimida, absorve o im-



**Figura 42. Sistema de calçado desportivo- tecnologia Reebok Zig Tech**  
(Reebok. 2017. "Reebok Zig Tech". Acedido a 19 de Abril de 2017. <https://goo.gl/bW24M4>.)

pacto das forças (verticais ou horizontais) e, ao voltar à sua forma original, devolve a energia, sendo que, na região do antepé, o seu desenho permite maior flexibilidade (Reebok 2012)

Em conformidade com as conclusões anteriormente referidas, as espumas como o EVA mostraram ser os materiais mais recorrentes para a entressola, quer em termos de amortecimento, quer em termos de leveza. As borrachas, genericamente, foram os materiais de eleição para a sola exterior.

No que toca a processos de fabrico, a moldação por injeção aparenta ser o processo mais utilizado.

Uma análise sintética e objetiva da totalidade dos sistemas analisados encontra-se numa tabela (Tabela 3) em apêndice (Apêndice A).



## 04. Desenvolvimento do projeto

### 4.1. Definição do problema

A procura constante dos consumidores por produtos novos e inovadores leva a que as empresas procurem produzir uma oferta ampla e variada.

Como forma de responder as necessidades do mercado e simultaneamente colmatar uma lacuna da empresa é proposta o desenvolvimento de uma sola desportiva com sistema de amortecimento que responda as necessidades do público feminino, garantindo conforto e leveza.

A sola deverá ser versátil o suficiente para poder ser utilizada de forma ambivalente num contexto diário.

Como restrições colocam-se as capacidades produtivas da empresa em termos quer de processos de produção quer de materiais. Uma vez que, independentemente do processo de produção, a sola será produzida através de moldes, o seu desenho não deverá comprometer a capacidade de produção da mesma.

Definida a problemática, estabeleceram-se possíveis soluções técnicas e procedeu-se à exploração de conceitos. Após seleção e aprovação, deu-se início a uma fase de desenho bi-e tridimensional, com recurso a equipamento de *scan 3D* e *softwares* de modelação 3D. Numa fase final, foram ainda realizados ensaios a amostras do sistema de amortecimento e produzidos protótipos de conceito.

## 4.2. Soluções técnicas

Face a toda a informação recolhida, algumas soluções técnicas foram identificadas como as mais viáveis para o desenvolvimento da sola.

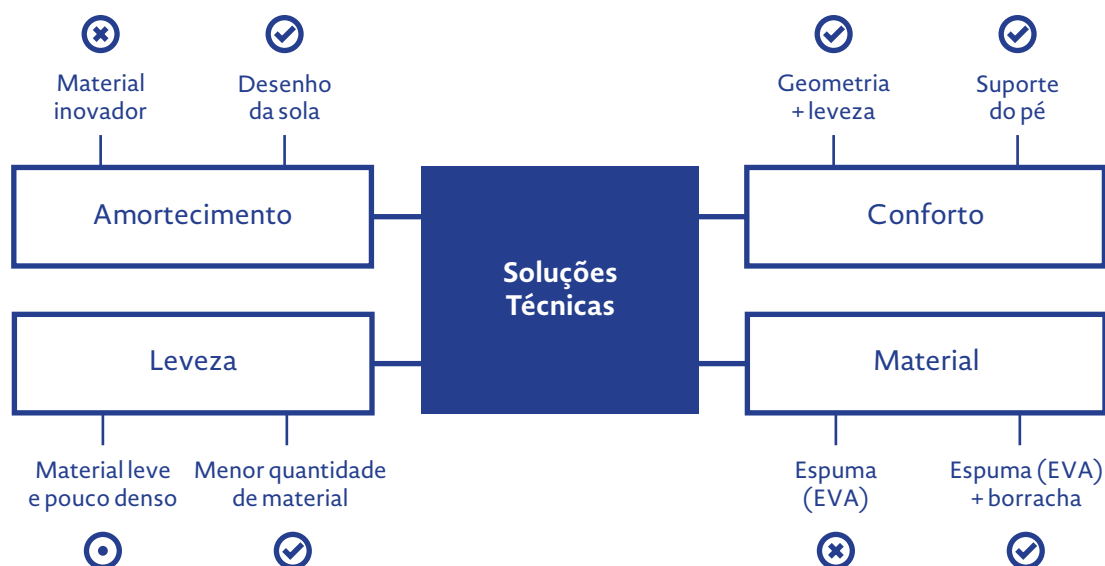


Diagrama 4. Soluções técnicas definidas

### 4.2.1. Amortecimento

1

Do ponto de vista do amortecimento, apostar no desenvolvimento de um material ou de um componente externo são opções inviáveis que aumentariam a necessidade de um maior número de recursos, quer técnicos quer financeiros.

Desta forma, a aposta recai num desenho capaz de providenciar esse amortecimento.



#### 4.2.2. Leveza

Em termos de leveza, optar por um material de densidade e peso reduzidos poderá ser uma boa opção.

2

Na eventualidade de isso não ser exequível, uma alternativa será optar por um desenho que utilize a menor quantidade de material possível.

#### 4.2.3. Conforto

Relativamente ao conforto, este será fruto das capacidades amortecedoras da sola, associadas à sua geometria e leveza.

3

Além de amortecer o impacto, o desenho da sola deverá suportar o pé e garantir uma passada correta.

#### 4.2.4. Material

Em termos de material, e não considerando ainda o design da sola, optar por utilizar uma espuma como o EVA parece ser a solução mais viável e dentro das capacidades produtivas da empresa.

4

Todavia, a fragilidade do EVA ao desgaste torna necessária a adição de borracha nas zonas mais problemáticas, o que envolve um maior número de processos e custos.

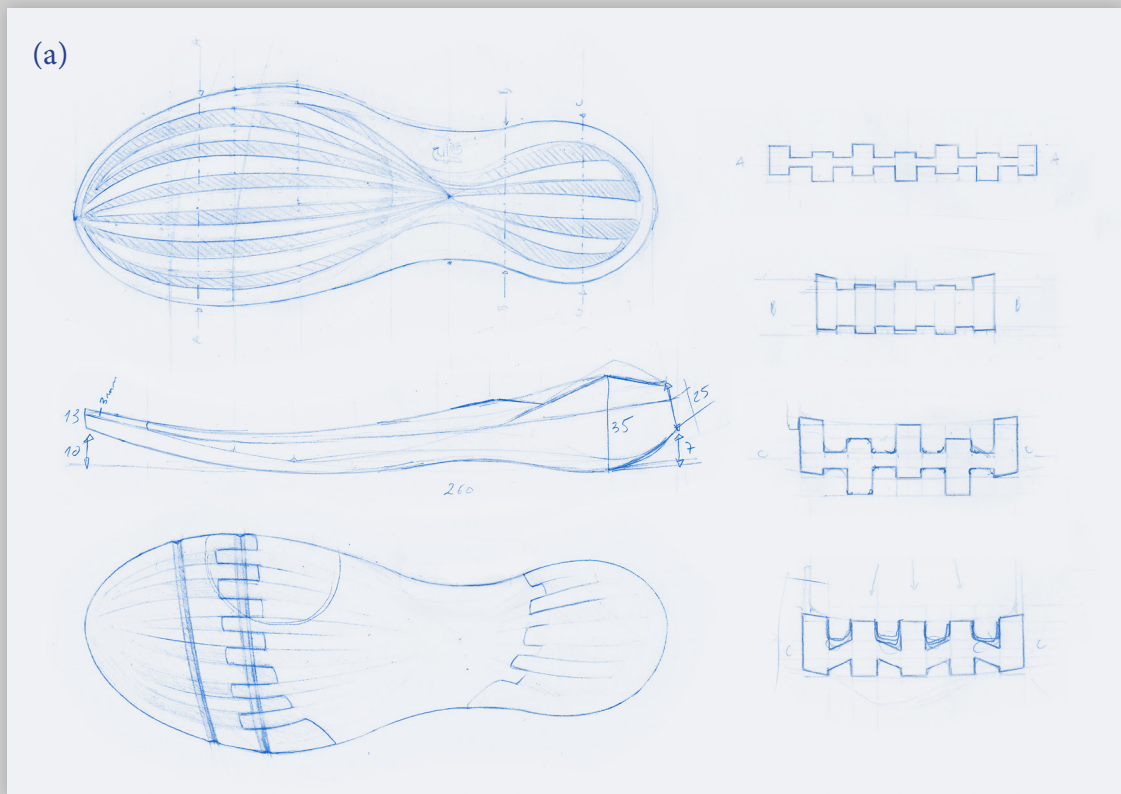


Figura 43. Exploração de conceitos: (a) conceito selecionado; (b) outros conceitos

### 4.3. Exploração de conceitos

Definidas as soluções técnicas para cada um dos elementos, deu-se início a uma fase de exploração de conceitos.

Nesse sentido, os conceitos foram evoluindo tendo por base a concepção de uma estrutura capaz de amortecer o impacto e, simultaneamente, intensificar a leveza da sola através da remoção de material. O amortecimento do impacto seria provocado pela compressão da estrutura, que iria atrasar o momento de contato do pé no solo (Figura 43 e 44). Este conceito reflete questões abordadas por Nigg e Segesser (1992), relativamente à de redução de consumo energético e ao desenho estrutural da sola.

A utilização do EVA pareceu a solução ideal para o material deste tipo de sola, quer pelas suas propriedades amortecedoras quer pela sua densidade/peso.

À semelhança de outros modelos actualmente no mercado, propõe-se a separação entre os elementos da sola, sendo que a sola exterior, em borracha, seria colocado apenas nas regiões de maior desgaste.

Após a fase de exploração, foi escolhido o conceito que melhor responderia ao problema e aprimados os desenhos para uma apresentação informal a empresa (Figura 43 - a).

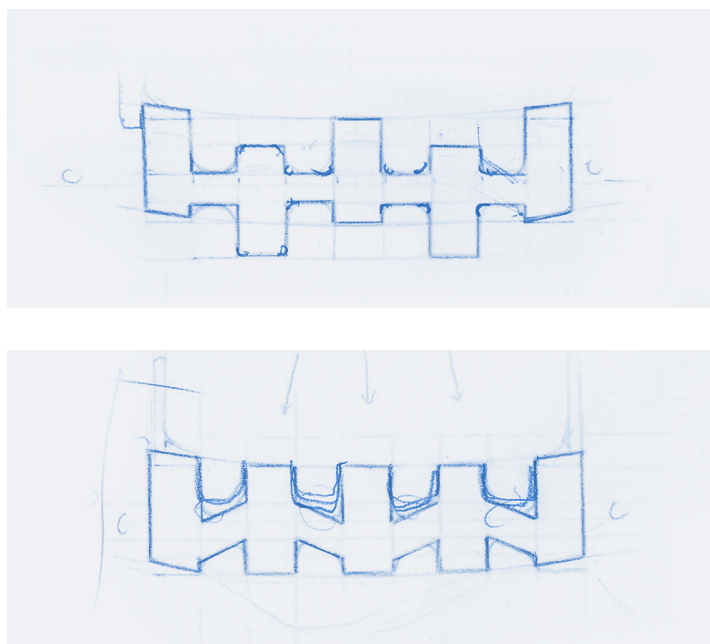


Figura 44. Conceptualização do comportamento do sistema

#### 4.3.1. Apreciação do conceito selecionado

Realizada a apresentação, a empresa aprovou o conceito selecionado em unanimidade, referindo que, apesar da escolha inicial dos materiais ser viável, a sola deveria ser inicialmente produzida totalmente em borracha.

Esta alteração à escolha do material poderia causar alterações ao comportamento do sistema, e iria seguramente afetar o peso da totalidade da sola.

Ainda que esses factos fossem reconhecidos por todos, foi decidido prosseguir com o conceito apresentado, ficando a escolha definitiva do material para o momento em que o volume total da sola fosse obtido.

Para tal procedeu-se à modelação 3D da sola, quer para efeitos de produção quer para simulação virtual do comportamento do sistema.

## 4.4. Dimensionamento do desenho

Estipulado o conceito final, foi necessário dimensionar corretamente os desenhos com o objectivo de os fazer corresponder à forma utilizada. Como referido anteriormente, a forma utilizada foi uma forma de senhora, de tamanho 37.

Inicia-se este processo com a colagem de uma película (fita-cola de papel, p.e.) na qual se irá registar o desenho da planta com o auxílio de um riscador.

Essa película será de seguida retirada da forma e colada numa outra superfície (Figura 45) de modo a ser digitalizada e importada para um software CAD. O software utilizado foi o Rhinoceros v5.0.

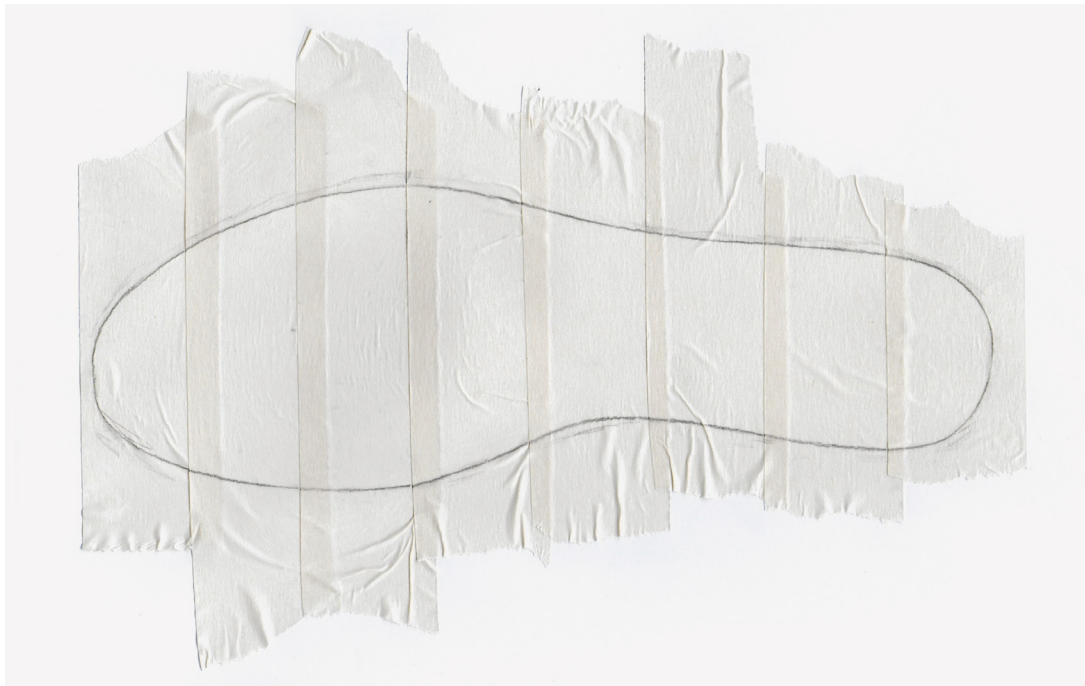


Figura 45. Levantamento do desenho da planta com recurso a película

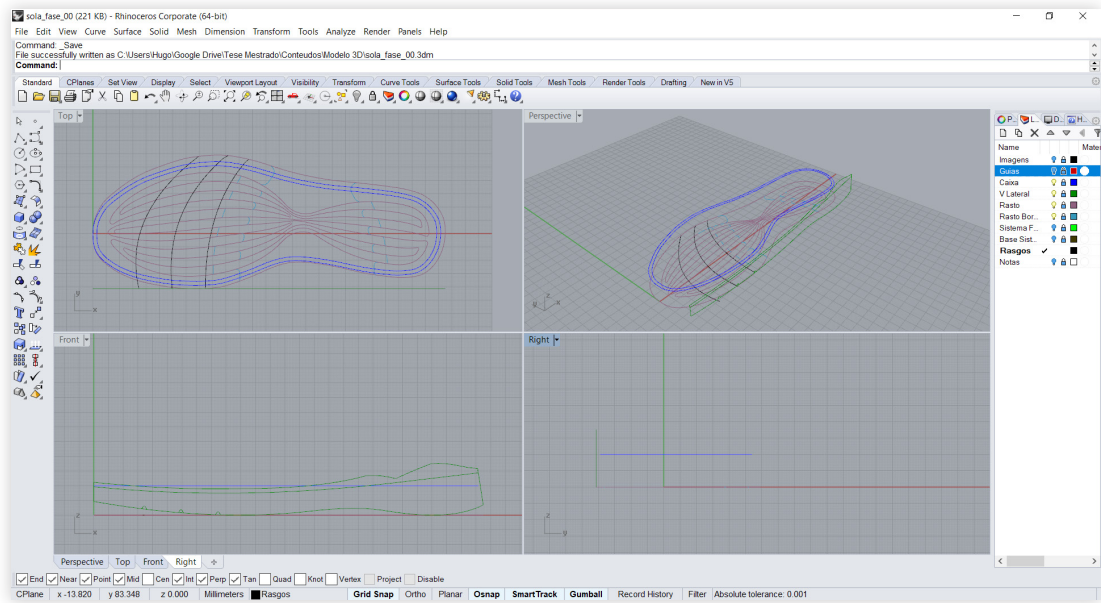


Figura 46. Conversão dos desenhos para formato CAD com recurso ao software Rhinoceros

A importância de utilizar este método de levantamento do desenho da planta prende-se com o facto de a forma não ter uma superfície plana, o que dificulta um desenho técnico rigoroso, especialmente a nível do comprimento da sola. Desta forma é possível ultrapassar esse obstáculo e obter uma planta com o dimensionamento correcto.

A partir do dimensionamento da planta é possível obter o comprimento real da vista lateral da sola. Todo o desenho do sistema é então adaptado aos desenhos anteriormente efectuados.

## 4.5. Digitalização 3D da forma

Para um melhor ajuste ao pé foi realizada a digitalização da forma correspondente, utilizando um equipamento de scan 3D da marca Artec 3D (Figura 47). Este scanner captou imagens da forma a cerca de 15 frames por segundo, com recurso a flash.

O levantamento 3D da forma foi efectuado em duas partes- primeiramente foi feito o levantamento da superfície superior da forma e de seguida a superfície da planta da forma.

Feito o levantamento, este culminaria na união das nuvens de pontos, juntando ambas as superfícies digitalizadas e formando assim o modelo completo (Figura 49).



**Figura 47. Scanners Artec 3D**

(Coppa, Roberto. 2015. "Scanner 3D Professional Artec".  
Acedido a 8 de Junho de 2017. [https://goo.gl/okpHZu.](https://goo.gl/okpHZu))

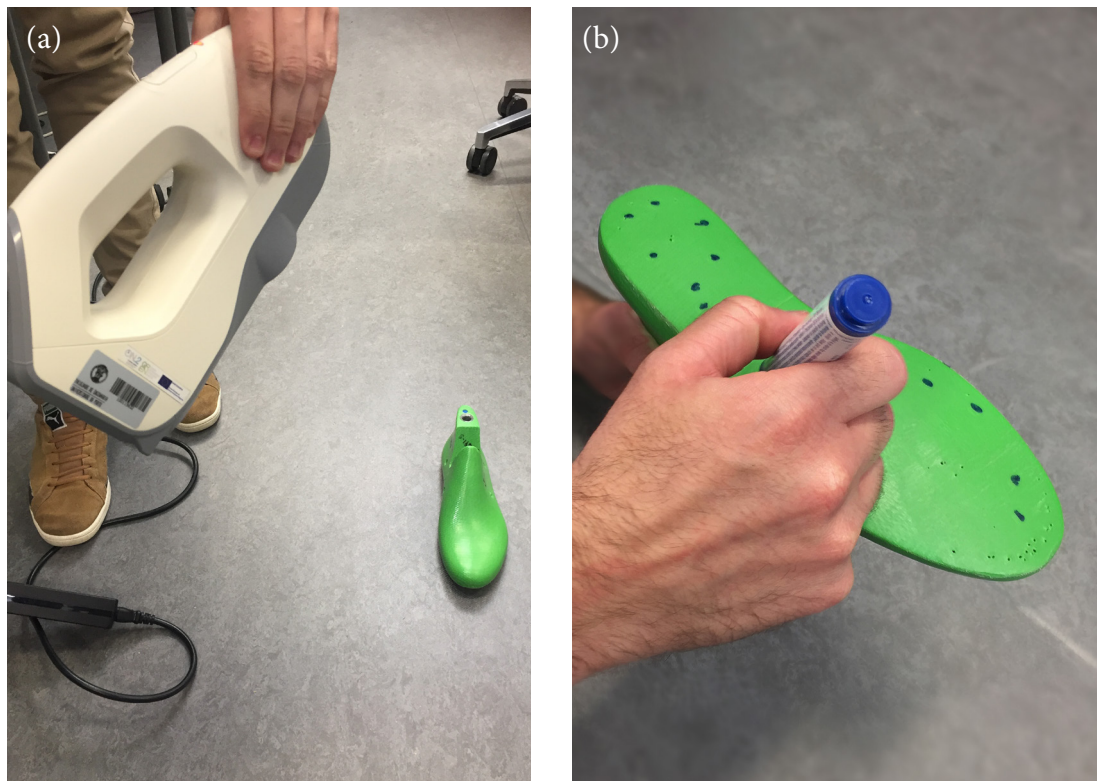


Figura 48. Compilação de imagens - scan 3D da forma: (a) captação da forma; (b) pontos de referência

Este levantamento foi realizado tendo por base duas abordagens distintas., de modo a obter os melhores resultados relativamente a captação das superfícies.

A primeira abordagem baseou-se na captação da forma, porém, sem recurso a nenhum ponto de referência. Esta tentativa não foi bem-sucedida uma vez que, não criando qualquer tipo de referênciação, o scanner não foi capaz de captar corretamente o objecto, produzindo assim uma nuvem irregular e pouco fiel à forma.

A segunda abordagem, bem-sucedida, repetiu a abordagem anterior, porém, recorreu a pontos de referência desenhados na superfície da forma (Figura 48 - b). Este método permitiu uma melhor e mais fiel captação do modelo tridimensional.



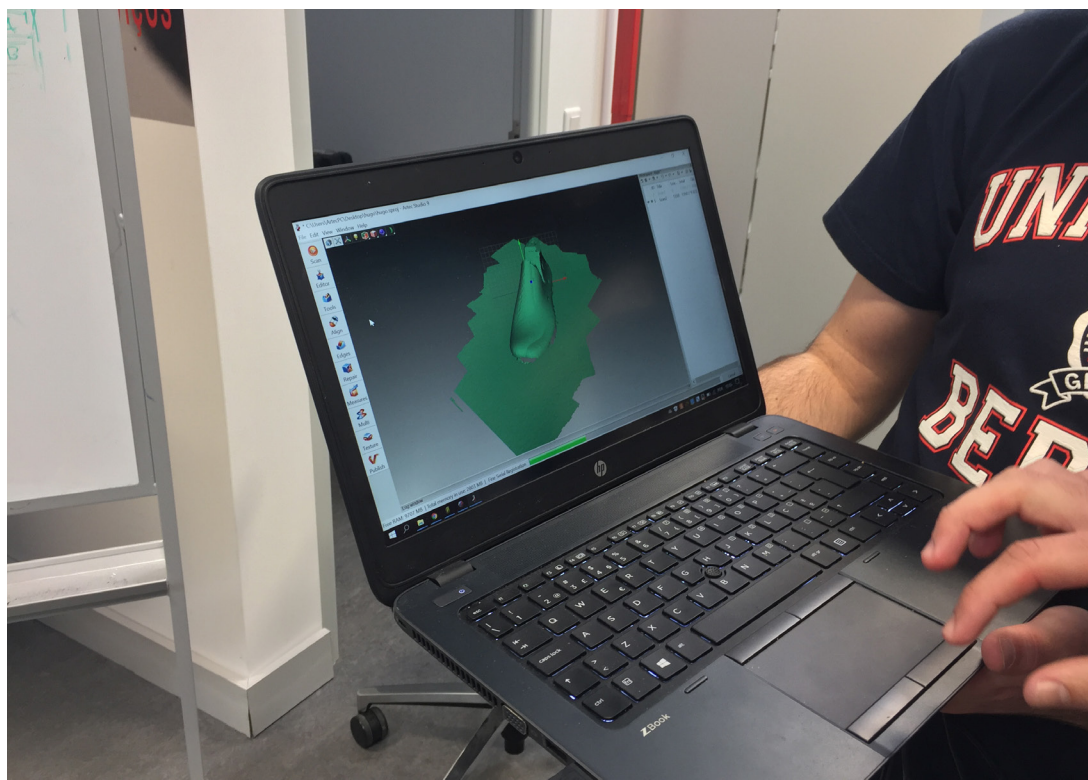


Figura 49. União da nuvem de pontos gerada pelo scanner 3D

A forma, já digitalizada, é então importada para o software de modelação 3D. É a partir deste modelo 3D que se efectua a modelação da superfície interior da sola.

Todavia, dado que este processo não está isento de imperfeições superficiais, a superfície interior da sola necessita de ser refeita e, como tal, este modelo serve apenas como base.

## 4.6. Revisão e alterações ao desenho CAD

Transposto o desenho em papel para o software CAD, e ao importar o modelo 3D da forma, alguns ajustes foram necessários.

As linhas do desenho foram também ajustadas em função da forma (Figura 50). O arco na parte superior da pata foi ajustado de forma a acompanhar as linhas da forma. Foram também realizados alguns ajustes à região do tacão, cuja área de contato com o solo foi ligeiramente alargada.

O sistema foi reformulado e redimensionado para poder estar posicionado dentro da margem de colagem (aproximadamente 10mm) e poder retirar o máximo de material excedente ao interior da sola. Consequentemente o espaçamento entre linhas do sistema foi redistribuído (Figuras 51 e 52).

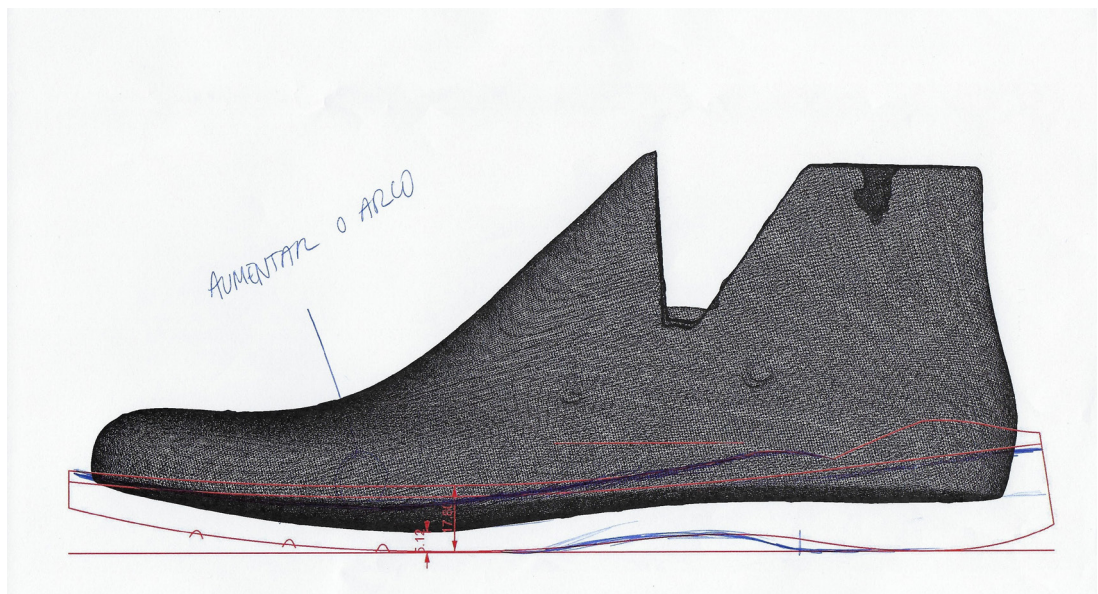


Figura 50. Primeiras revisões ao desenho CAD.

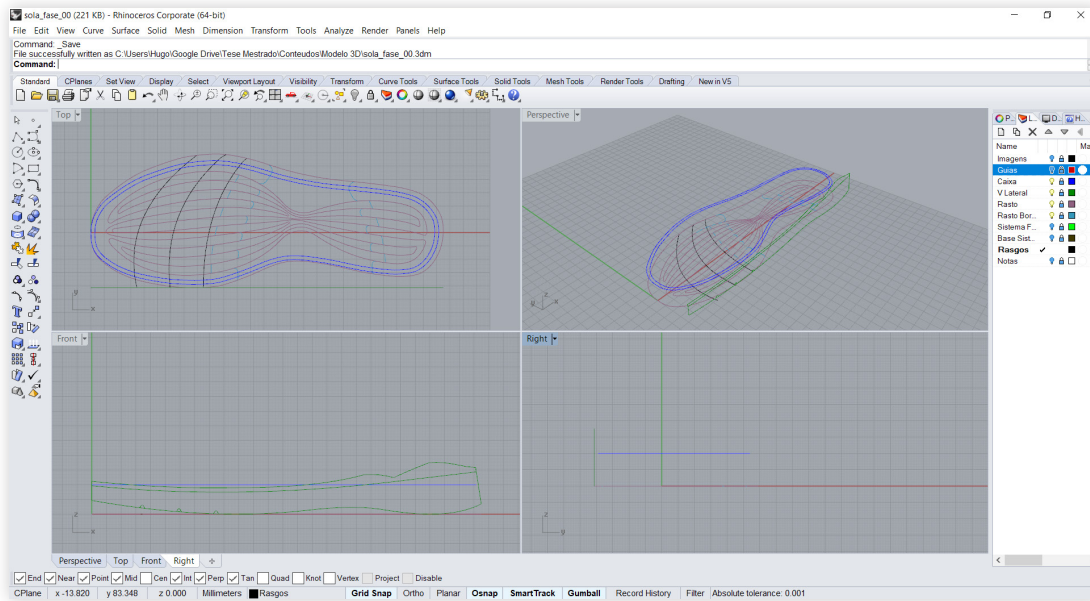


Figura 51. Primeira versão do desenho CAD realizado em Rhinoceros

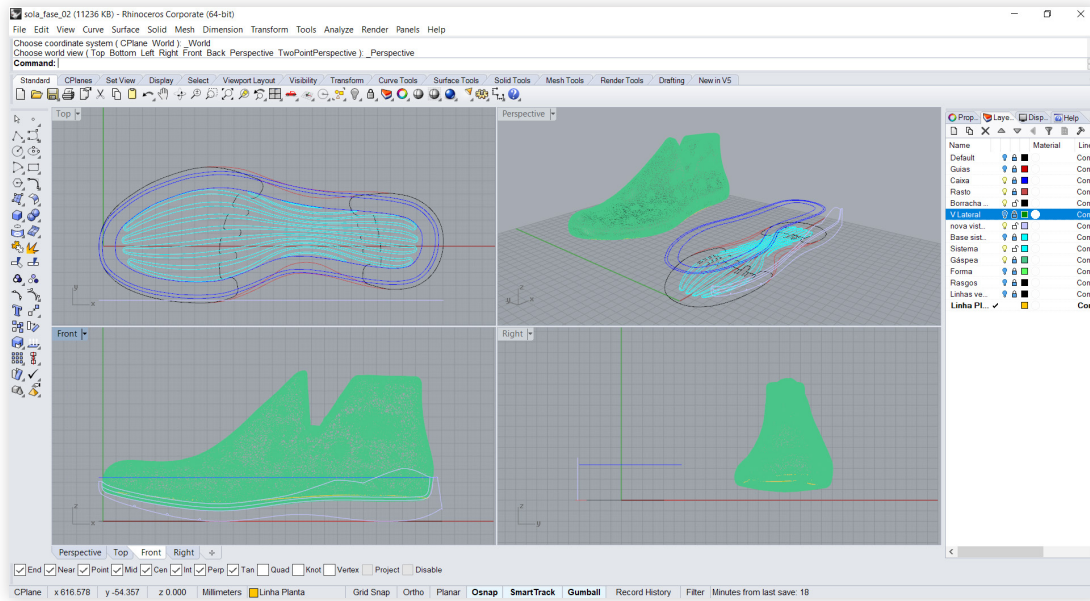


Figura 52. Versão revista e adaptada à forma e à margem de colagem

## 4.7. Modelação 3D

Terminados os desenhos bidimensionais das duas vistas principais, procedeu-se para a modelação tridimensional (Figura 53).

Para tal foi modelada inicialmente a superfície interior da sola, tirando partido da superfície da forma, anteriormente digitalizada. Esta superfície é posteriormente cortada a partir do desenho da vista lateral da sola.

São de seguida modeladas as restantes superfícies exteriores da sola, sendo que o desenho do sistema de amortecimento é modelado a posteriori.

### 4.7.1. Apreciação do modelo 3D

Terminada a modelação 3D total da sola (Figura 54), foi calculado o seu volume utilizando o *software* Rhinoceros, apresentando um valor de aproximadamente 220,147 cm<sup>3</sup>. Este valor, calculado com base na densidade de aproximadamente 1,14g/cm<sup>3</sup> (valor fornecido pela empresa), representaria um peso total aproximado de 250gr, caso fosse efectivamente produzida em borracha como inicialmente sugerido pela empresa.

O valor obtido representa portanto um peso ligeiramente superior, uma vez que o espectável seria, de acordo com a empresa, um valor compreendido entre os 150-225gr.

Por outro lado, se a sola fosse produzida em EVA como inicialmente proposto à empresa, esta pesaria 75g (excluindo sola exterior em borracha), um valor que ultrapassou positivamente as expectativas iniciais.

Ainda assim, e apesar de os resultados se mostrarem positivos para a produção em EVA, a decisão em relação ao material não foi conclusiva.

Tornou-se portanto necessário, em conjunto com a empresa, adoptar uma estratégia capaz de solucionar o inconveniente do peso excessivo, na eventualidade da sola ser produzida em borracha

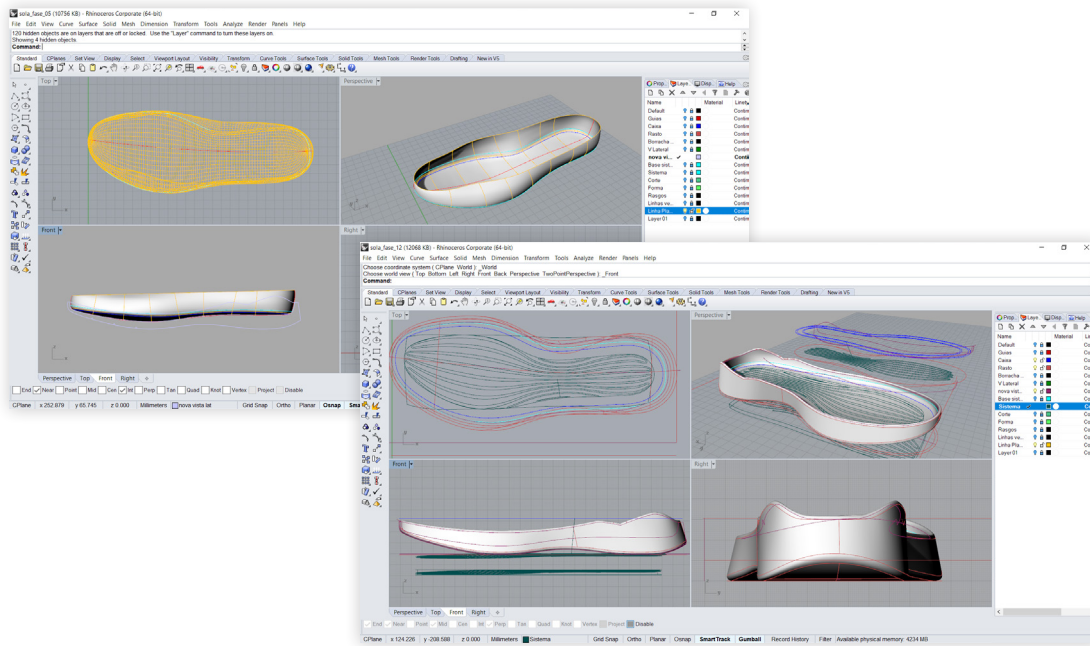


Figura 53. Modelação tridimensional das superfícies interna e externa da sola



Figura 54. Primeira versão do modelo 3D da sola

#### 4.7.2. Estratégia aplicada para redução de peso

De forma a combater o excesso de peso foi necessário pensar numa estratégia capaz de fazer a sola corresponder ao intervalo de peso expectável.

A primeira solução adoptada foi a adição de um padrão escavado no rasto da sola (Figura 55).

Uma vez que existia uma área livre entre o sistema e os limites externos do rasto da sola, foi então removido material nessa região tirando partido de um padrão que de alguma forma conjugasse com o desenho do sistema.

A primeira tentativa de remoção de material revelou-se excessiva pois, ainda que a redução do peso tenha sido realizada com sucesso e a sola tenha atingido os 220gr, algumas regiões da sola, como o tacão, saíram fragilizadas no caso de esta ser produzida em borracha.

O padrão necessitou então de ser adaptado de forma a evitar a fragilidade produzida pela remoção excessiva de material.

As linhas presentes no desenho foram então redistribuídas de forma a que o sistema possuísse um espaçamento mais alargado.

#### 4.7.3. Estratégia aplicada para aumento da flexibilidade

Para um aumento adicional à flexibilidade da sola, foram ainda adicionados sulcos na superfície da planta e do rasgo, mais concretamente na região da pata da sola, onde se situa a articulação metatarsal (Figura 56).

Esta abordagem, que aumentou a flexibilidade, retirou material à sola e provocou, conseqüentemente, uma ligeira redução ao seu peso total.

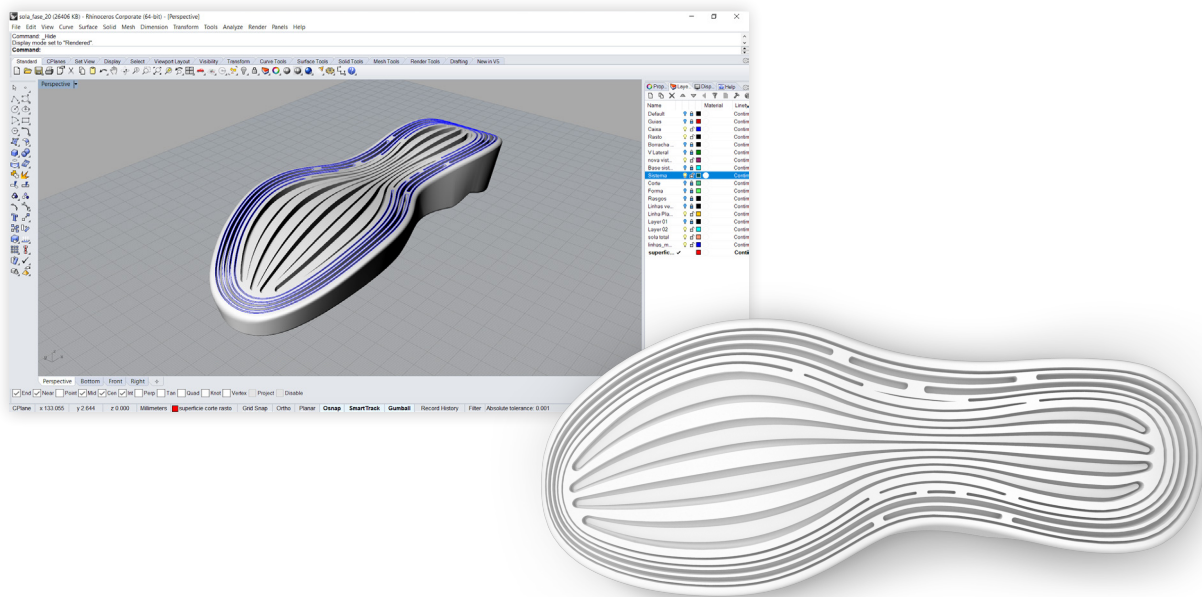


Figura 55. Primeira tentativa de redução do peso da sola

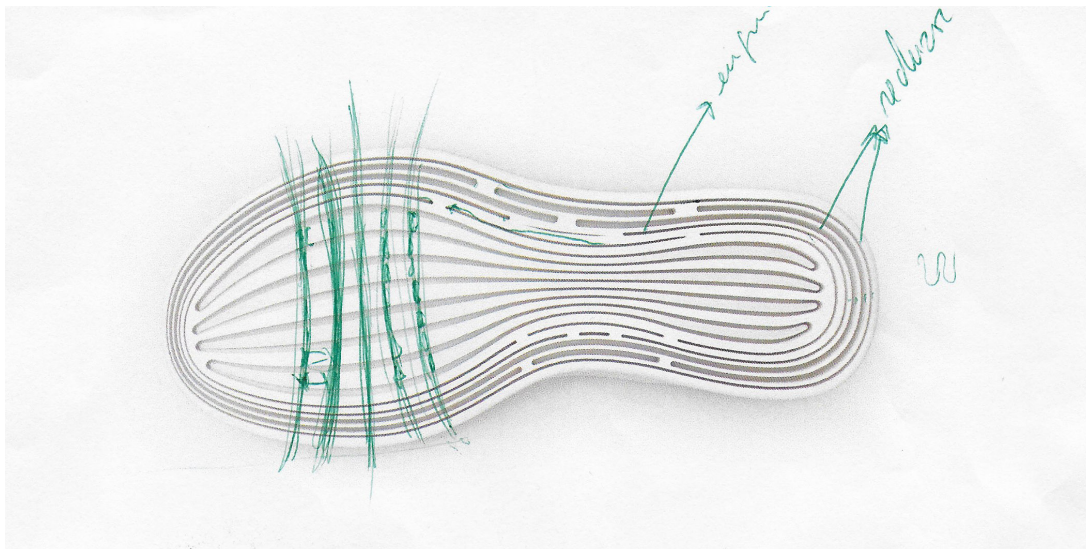


Figura 56. Ajustes ao padrão do rasto e estratégia a aplicar para aumento de flexibilidade

## 4.8. Simulação do sistema

Tirando partido do sistema de amortecimento anteriormente projectado, foram simultaneamente realizadas simulações virtuais do comportamento do mesmo, através de uma análise por elementos finitos (Figura 57).

Esta simulação, a cargo do aluno Marco Guimarães, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, em contexto de dissertação de mestrado, pretendeu demonstrar qual seria o comportamento mecânico do sistema e quais as eventuais alterações a efectuar.

Apenas foram testadas, individualmente, as regiões da pata (Figura 58) e do tacão (Figura 59), uma vez que se tratavam das regiões mais requisitadas. As amostras em questão foram paralelamente modeladas com recurso ao software SolidWorks e analisadas utilizando o software Abaqus.

Tendo por base valores de Tongen e Wunderlich (2010), anteriormente mencionados, foram analisados três tipos de locomoção – caminhada, caminhada rápida e corrida – adaptando-os ao perfil de um individuo do sexo feminino de 50kg, de forma a estabelecer um perfil de força a ser aplicadas (Guimarães 2017).

Os materiais seleccionados para análise foram a borracha natural e a borracha SBR, tendo sido realizados um total de 15 simulações. Foram analisadas 3 durezas distintas de cada um dos materiais mencionados, testando os limites de tensões e deslocamento, de forma a validar a viabilidade do sistema face ao comportamento do material.

Mediante os valores obtidos, a borracha natural (NR3) foi a que, de uma forma geral, apresentou melhores resultados em ambas as regiões, sendo a borracha SBR excluída por resultados insatisfatórios.

Algumas sugestões foram feitas por Guimarães (2017) para o melhoramento do comportamento do sistema, na região do tacão (Figura 60).



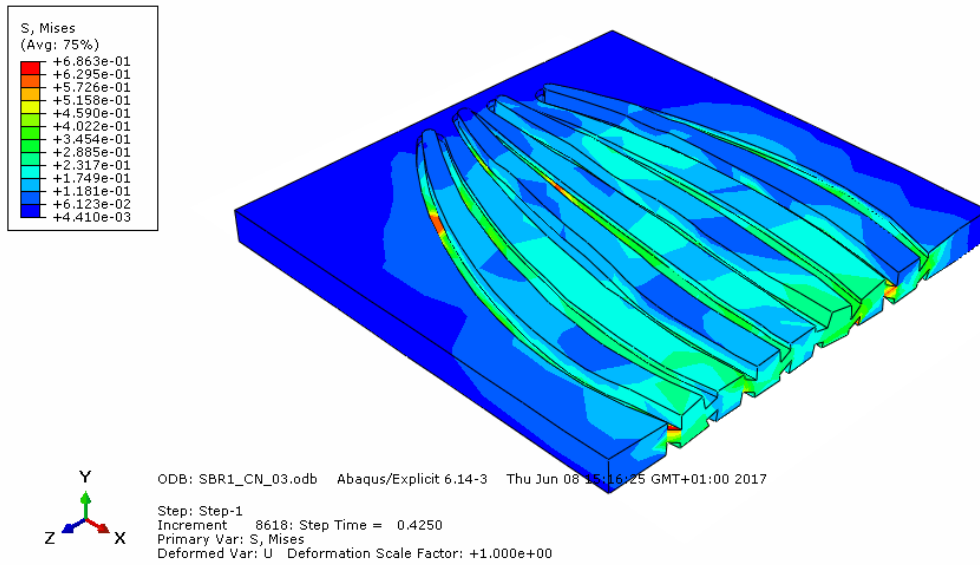


Figura 57. Exemplo de amostra em análise por elementos finitos - região da pata  
(Guimarães 2017)

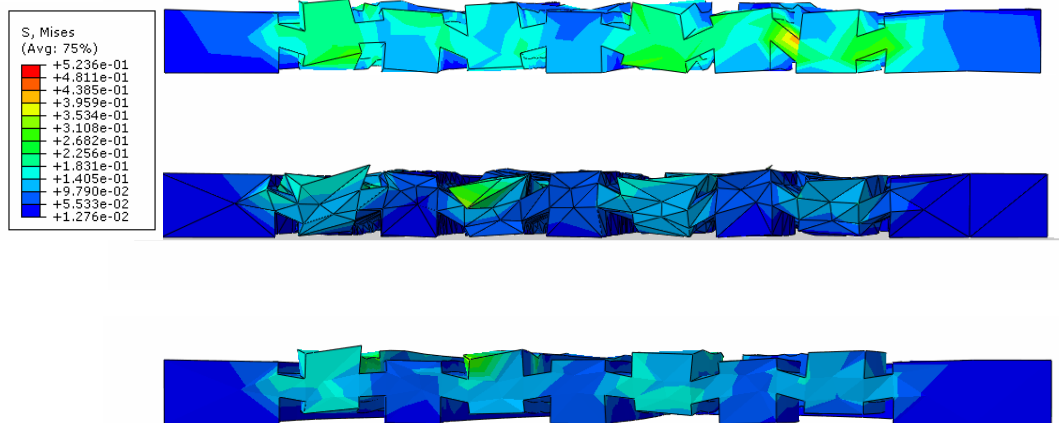
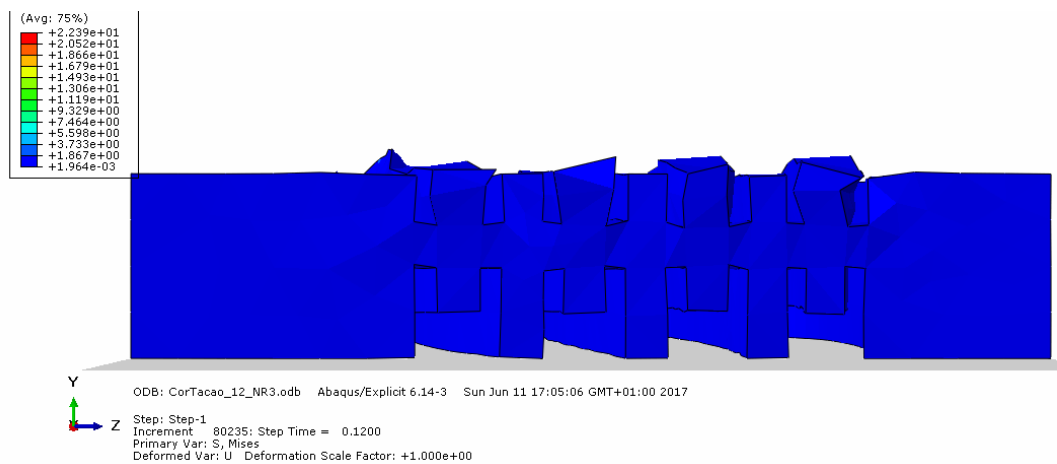


Figura 58. Exemplos de simulações realizadas à região da pata  
Adaptado de (Guimarães 2017)



**Figura 59. Exemplo de simulação realizada à região do tacaço**  
(Guimarães 2017)

A primeira sugestão prendeu-se com a redução da altura das saliências na região no tacaço. Por motivos ergonómicos, e uma vez que foi utilizada uma forma com uma elevação de 7mm, esta sugestão iria afetar negativamente o posicionamento do pé, revelando-se assim inviável.

Outra alteração sugerida passava por reduzir a espessura das pontes do sistema. Todavia, essa alteração revelou-se também inviável uma vez que afetaria a arquitectura e, conseqüentemente, o comportamento do sistema, assim como aumentaria a possibilidade de rasgamento.

Foi sugerido também o aumento do comprimento das pontes do sistema de forma a permitir mais flexibilidade ao sistema numa situação de impacto.

Esta sugestão foi considerada na redistribuição do espaçamento entre as saliências do sistema.

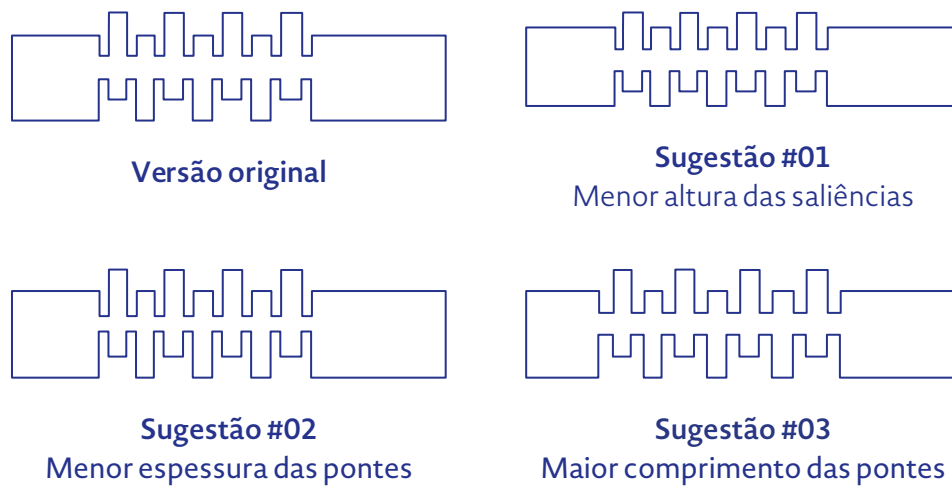


Figura 60. Sugestões de alteração ao desenho do sistema na região do tacão  
Adaptado de (Guimarães 2017)

A escolha do material foi também revista, e ainda que a borracha natural conseguisse produzir o efeito pretendido, a sua composição deveria permitir maior flexibilidade ao sistema e uma tensão de cedência mais elevada.

Guimarães (2017) sugere ainda a utilização do EVA como material alternativo, indicado para o sistema em questão e já utilizado em modelos de solas dos segmentos casual e desportivo.

Refere contudo que, face ao comportamento do material quando moldado por injeção, a estrutura do sistema poderia não manter o detalhe inicialmente desenhado, propondo, em alternativa, o processo de moldação por compressão de EVA.

Foram ainda produzidas amostras físicas do sistema para eventual realização de testes adicionais.

## 4.9. Produção e ensaios das amostras

Produzidas as amostras da pata e do tacão, revelou-se necessária uma análise mais profunda, de forma a assegurar a validade, agora com amostras físicas, do comportamento do sistema.

À semelhança das simulações, esta análise ficou a cargo do aluno Marco Guimarães, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, em contexto de dissertação de mestrado, reportando à posteriori os valores obtidos.

Foram produzidas 3 amostras de cada uma das regiões, utilizando misturas distintas de borrachas, submetendo-as a três ensaios: densidade relativa (norma ASTM D2240); dureza Shore A (norma ASTM D792) e teste de impacto (norma ASTM F1614-06).

Os ensaios de dureza e os testes de impacto em questão foram realizados com o apoio do Centro Tecnológico do Calçado (CTCP).

Duas propriedades revelaram-se de maior interesse relativamente à análise do sistema, nomeadamente a absorção ao choque e a energia ao retorno, equivalendo, respectivamente, às propriedades de amortecimento e resiliência da sola (Guimarães 2017).

Segunda Silva et al. (2009) para uma melhor capacidade de amortecimento são necessários valores baixos de desaceleração máxima e, para maior resiliência, valores de retorno energético elevados.

Várias condições podem afetar essas propriedades, devendo portanto existir um compromisso entre elas. A espessura e a arquitectura da sola são algumas dessas condições (Silva et al. 2009).

Os ensaios realizados utilizaram como referência, no caso dos testes de impacto, os resultados obtidos por Lindsey (2017).



Figura 61. Amostras produzidas para realização dos ensaios

Material	Amostra	Densidade (relativa)	Dureza Shore A	Massa (g)	Absorção ao choque (m/s <sup>2</sup> )	Resiliência (%)
L119	Pata	1,06	46	50	612-619-636	57-57-58
	Tacão	1,06	46	42	232-236-232	62-63-62
L148	Pata	1,06	42	50	608-580	52-51
	Tacão	1,06	42	41	236-234	57-58
L153	Pata	1,04	41	48	630-604-602	55-53-55
	Tacão	1,04	41	40	239-234-234	64-62-61
Norma		ASTM D792	ASTM D2240		ASTM F1614-06	ASTM F1614-06

**Tabela 4. Dados relativos às amostras da pata e do tacão obtidas para cada material**  
Adaptado de (Guimarães 2017)

Segundo Guimarães (2017), os valores de referência, que se regem por uma norma diferente (ASTM 1976-13), revelam uma “desaceleração máxima, igual a 135 e 190 m/s<sup>2</sup>, para tacão e pata, respectivamente e uma percentagem de energia ao retorno, igual a 34,5% e 25,5%, para tacão e pata, respectivamente”.

Face aos resultados obtidos nos ensaios realizados às amostras, estes revelam dados peculiares (Tabela 4).

Relativamente aos valores de dureza Shore A obtidos por Guimarães (2017), estes revelam-se inferiores aos aqui apresentados anteriormente, utilizando amostras de solas de calçado desportivo. Dado que os valores apresentados pelo autor foram obtidos através de ensaios que seguiram a norma na íntegra, utilizando as amostras anteriormente apresentadas, foram considerados de maior fidelidade. O antagonismo apresentado anteriormente na revisão da literatura não permite obter um meio de comparação entre os valores de dureza obtidos, uma vez que os autores se focam em fatores qualitativos e não quantitativos.

As amostras da pata apresentam maior absorção ao choque e maior retorno de energia comparativamente ao tacão. Com base nos valores de referência,

esta região apresenta ainda valores de absorção de choque três vezes superiores (Guimarães 2017).

Apesar da pata ter cerca de metade da espessura das solas referenciadas por Lindsey (2017), possui um retorno de energia muito superior. Esta característica, de acordo com o técnico que realizou os testes, leva a que a parte frontal da sola possa oferecer um maior impulso á passada (Guimarães 2017). Relativamente às amostras do tacão, estas apresentam valores de absorção ao choque mais próximos, ainda que superiores, ao valor de referência ( $135\text{m/s}^2$ ) e ligeiramente superiores ao calçado standard ( $200\text{m/s}^2$ ) (Guimarães 2017).

Apresentam ainda, à semelhança da pata, um retorno energético superior ao valor de referência (34,5%). Apesar de uma resiliência superior, um valor demasiado elevado leva a que o tacão da sola produza um efeito semelhante a uma mola (Guimarães 2017).

Ainda que, de acordo com Guimarães (2017) nem sempre essa característica seja desejável, de acordo com Nigg e Segesser (1992), mencionados anteriormente, em termos de performance desportiva, poderá revelar-se uma característica benéfica.

Todavia, duas soluções são capazes de reduzir a resiliência da região do tacão: a redução da altura das saliências nessa região ou a utilização de, por exemplo, uma palmilha. Esta última revelou ser a solução que melhor permite a distribuição do impacto, distribuindo-o por uma área superior (Guimarães 2017).

De uma forma geral, as amostras testadas apresentaram resultados positivos face ao pretendido, sendo que, de acordo com Guimarães (2017), o material que apresentou melhor compromisso entre as propriedades analisadas foi o L148, uma mistura confidencial da empresa, cujo polímero base é a borracha natural.

## 4.10. Conceito final

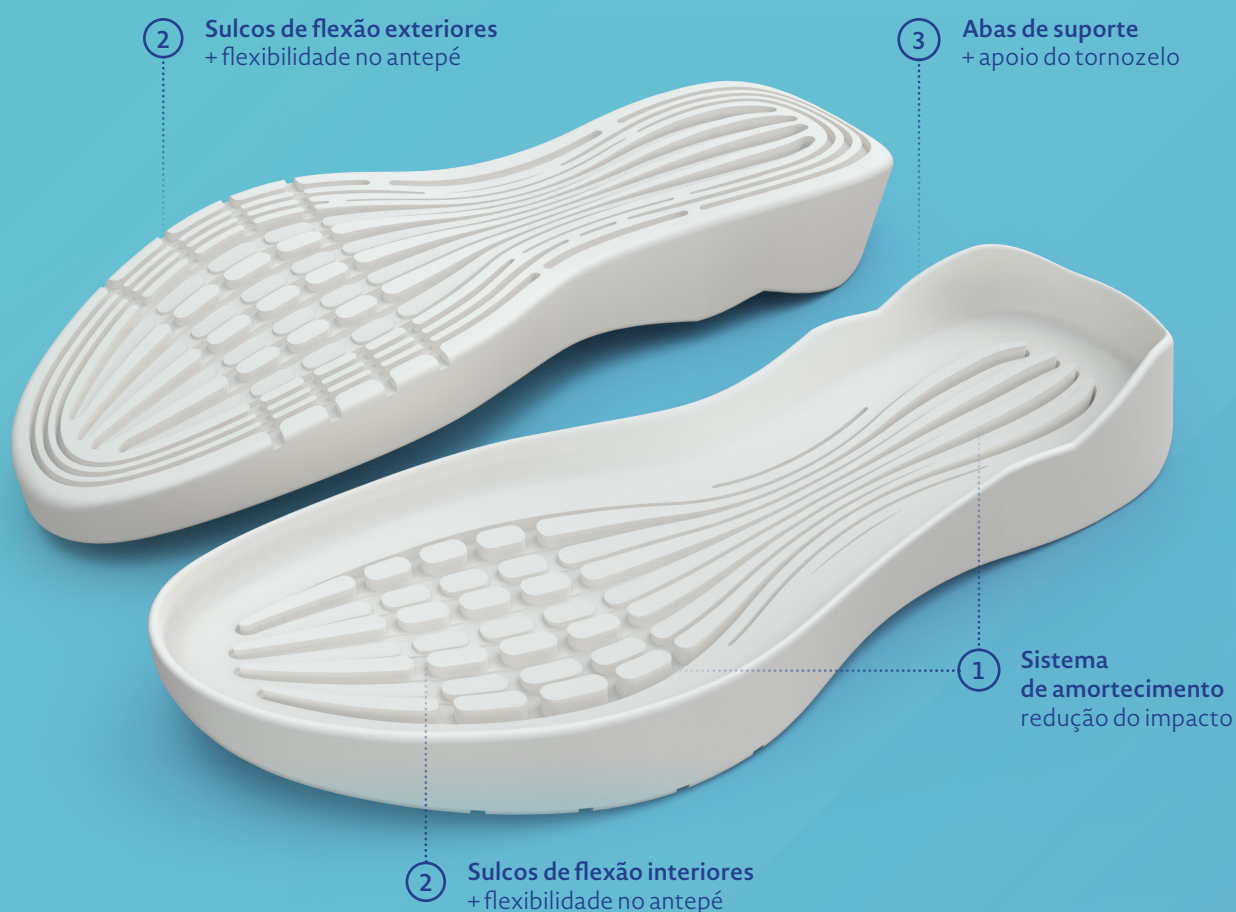


Figura 62. Renders da versão final da sola- vistas em perspectiva

### 1. Sistema de amortecimento

Saliências na planta da sola, responsáveis pelo amortecimento do impacto provocado pelo peso do corpo durante a passada.

### 2. Sulcos de flexão

Ranhas na região da pata, local onde se situa a articulação metatarsofalângica, de modo a permitir maior flexibilidade ao pé.



### 3. Abas de suporte

Vira com abas elevadas, com um desenho que acompanha as linhas do tornozelo, de modo a garantir um apoio confortável.

### 4. Suporte lateral

Rasto mais largo para permitir maior área de contato, prevenindo a supinação excessiva e oferecendo maior estabilidade à passada.

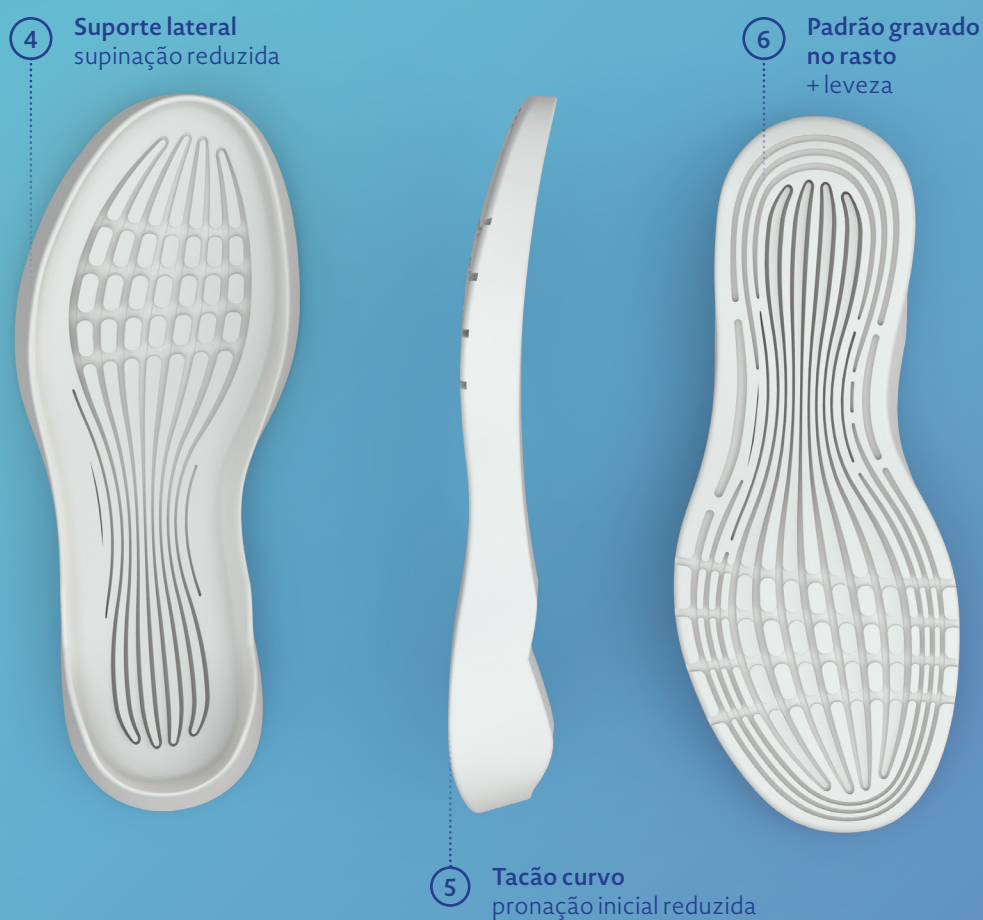


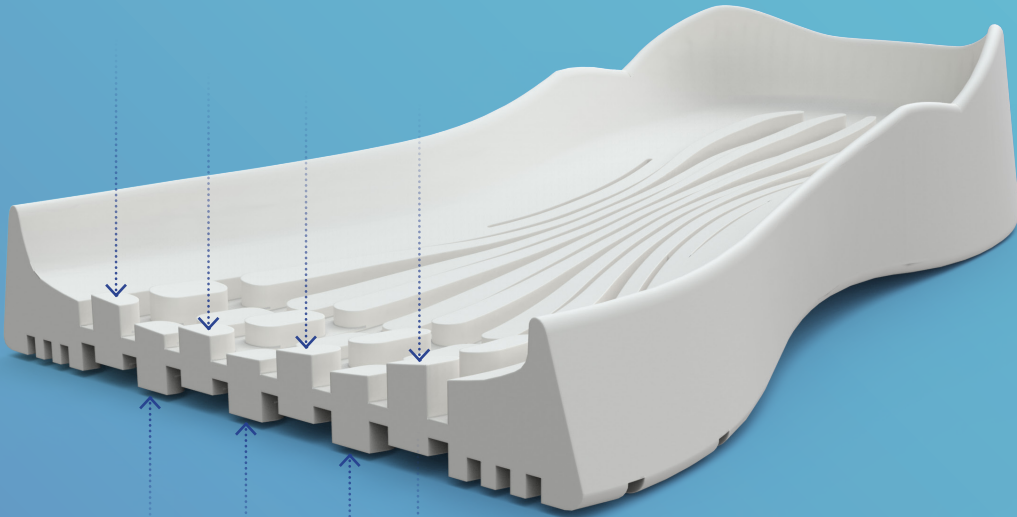
Figura 63. Renders da versão final da sola - vistas de topo, lateral e de baixo

### 5. Tacão curvo

Com um perfil curvo, o tacão da sola permite reduzir a pronação inicial do pé e aumentar a estabilidade da passada.

### 6. Padrão gravado no rasto

O padrão gravado no rasto permite reduzir o material necessário à produção da sola e aumentar a sua leveza.

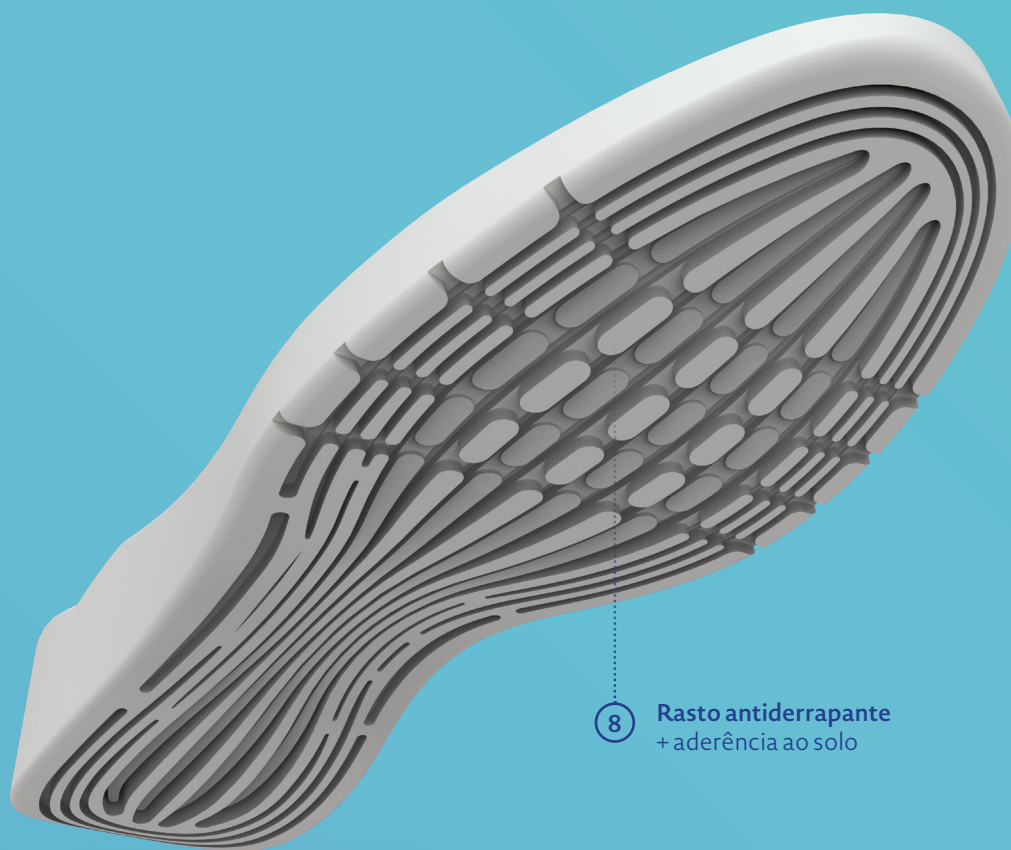


7 Comportamento do sistema  
ilustração da aplicação de forças

Figura 64. Cortes e pormenores do sistema de amortecimento

### 7. Comportamento do sistema

Com a aplicação das forças verticais geradas entre o pé e o chão, a compressão da sola irá provocar o alinhamento das saliências. A estrutura dinâmica da sola irá não só absorver o choque, como irá impulsionar o pé e o corpo durante a locomoção.



8 Rasto antiderrapante  
+ aderência ao solo

Figura 65. Rasto da sola - vista de baixo, em perspectiva

## 8. Rasto antiderrapante

O relevo do rasto na região da pata oferece uma maior aderência ao solo.

## 4.11. Prototipagem da sola

Numa fase final, anterior à produção massificada da sola, é recorrente a produção de protótipos como ferramenta auxiliar na aprovação da mesma.

Estes protótipos podem ser produzidos, tal como referido anteriormente, através de processos de fabrico aditivo (impressão 3D, p.e.), ou através de maquinaria CNC.

Por norma, a escolha do processo prende-se com o objetivo final do protótipo: enquanto que por vezes é necessário perceber (ainda que apenas de forma aproximada) o comportamento da sola, outras vezes o importante é a questão estética. Processos de fabrico aditivo tendo por base a utilização de material flexível são, por norma, mais complexos do que em material rígido.

O fator monetário é decisivo e de extrema importância uma vez que o custo de produção deste tipo de protótipos pode ser elevado. Todavia, torna-se na maioria dos casos inevitável pois previne erros inicialmente imperceptíveis e que podem ser corrigidos à posteriori, e evita a produção precoce de moldes, que podem atingir os milhares de euros.

Para a produção do protótipo da sola, e uma vez que era necessário obter uma sola o mais semelhante ao produto final, a solução necessária passaria pela produção de uma peça em material flexível. Apesar de tudo, este protótipo não poderia ser alvo de ensaios mecânicos, uma vez que o material utilizado na produção do protótipo não corresponderia ao material final da sola.

Apesar das várias tentativas em produzir um protótipo em material quer rígido quer flexível (Figura 66), com recurso às impressoras 3D das marcas Prusa e CubePro, a capacidade de impressão das máquinas inviabilizou a sua produção.

Dada a geometria complexa da sola e a necessidade de suportes para o processo de fabrico aditivo, ambos associados a uma escala reduzida da mesma, os resultados obtidos não se revelaram satisfatórios.



Figura 66. Tentativas de impressão da sola utilizando (a) material rígido (PLA)  
e (b) material flexível (TPU)

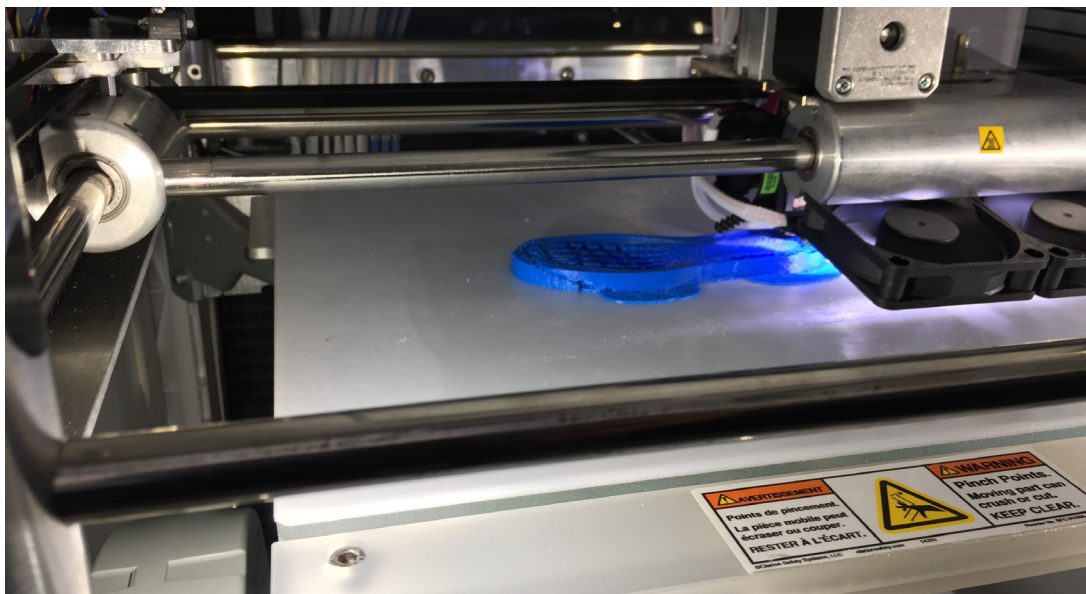


Figura 67. Processo de impressão por FDM da sola à escala 1:2, em material rígido (PLA)

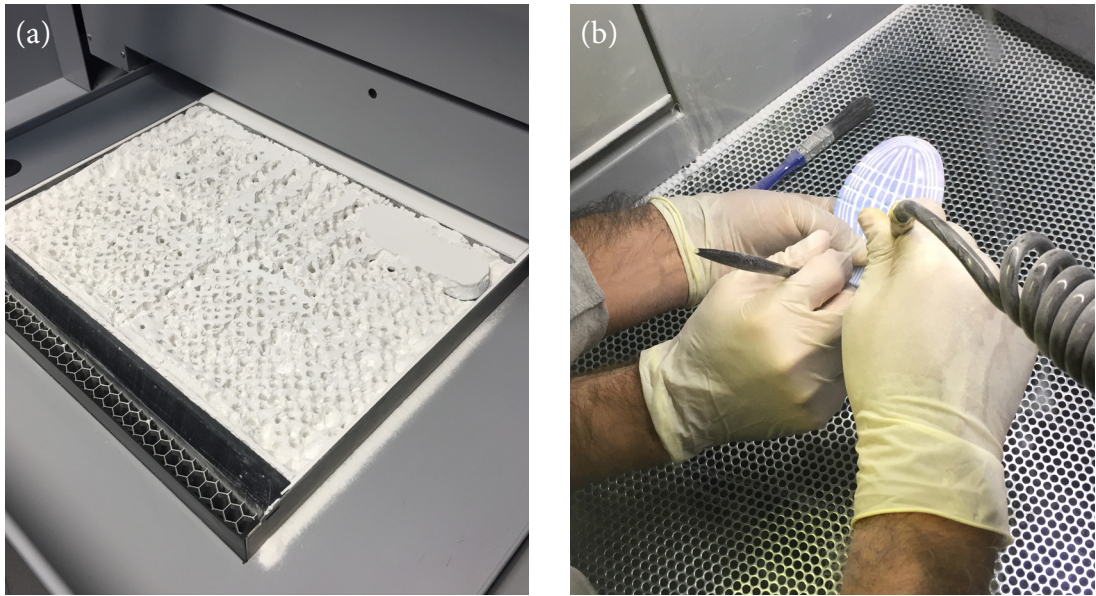


Figura 68. Compilação de imagens - (a) Processo de impressão por Binder Jetting e (b) limpeza do material em excesso



Figura 69. Modelo final após aplicação do infiltrante - escala 3:4

Em ambos os casos, o material de suporte não foi capaz de cumprir o seu papel, gerando dificuldades na obtenção do protótipo.

Como alternativa, foi então impresso um modelo à escala 3:4, através do processo de *Binder Jetting*, utilizando a impressora Project 660 Pro da 3D Systems, e os materiais Visijet PXLCore (pó) e Visijet PXL (ligante) (Figura 68 - a).

Este processo, também conhecido por *3D printing*, obtém o seu nome pela semelhança as impressoras de papel, não só pela forma como é depositado o ligante sobre o pó mas também pela sua capacidade de colorir as peças produzidas com recurso a cartuchos de tinta.

Após a sua produção, a peça é retirada da impressora e passa para a fase de limpeza de modo a retirar o material em excesso (Figura 68 - b). Uma vez que ainda se encontra num estado frágil, é necessário ser embebida num produto infiltrante (cianoacrilato) para ganhar robustez, sendo utilizado para este efeito o infiltrante ColorBond (Figura 69).





## 05. Considerações finais

Face ao estabelecido, e apesar de algumas limitações ao longo do processo, foi possível atingir todos os objectivos estipulados inicialmente.

A necessidade de uma maior oferta de solas que conseguissem competir no mercado internacional de componentes de calçado, levou a que se identificasse uma lacuna dentro do sector desportivo casual/conforto dedicado a um público feminino no seio da empresa.

O estudo da anatomia do pé revelou-se essencial uma vez que o propósito de criar uma nova sola com sistema de amortecimento necessita intrinsecamente do estudo dos seus constituintes e do seu comportamento biomecânico. Desta forma foi possível indentificar as necessidades do pé, destacando nomeadamente a necessidade de amortecimento nas regiões de maior pressão no pé e questões antropométricas de dismorfia entre géneros.

A análise realizada ao sector do calçado desportivo permitiu também compreender quais são os requisitos necessários à concepção deste tipo de calçado, e em particular da sola. O amortecimento revelou ser um requisito importante em questões de conforto, muito associado à seleção do material, e um dos fator mais relevantes entre os modelos de calçado das maiores marcas de calçado desportivo internacionais.

A nível de tipologia de solas, uma análise comparativa permitiu compreender que existem várias alternativas e combinações que, de uma forma geral, se distinguem entre elas por métodos e custos de produção, assim como pelos materiais utilizados, podendo estas atuar sob auxílio de sistemas e tecnologias que, em constante desenvolvimento e evolução, são criados para oferecer maior conforto ao pé e/ou melhor a performance do seu utilizador.

Todo o levantamento do estado da arte realizado permitiu uma melhor conceptualização da sola e, principalmente, do tipo de sistema a adoptar. Nesse sentido, a opção por um sistema que funcionasse através da sua compressão revelou ser a solução mais viável, especialmente em termos de capacidade produtiva da empresa.

Muito do trabalho projectual passou não só pelo desenho bidimensional mas também pelo desenho tridimensional, com recurso a scanners e softwares de modelação 3D. A utilização da forma permitiu criar uma base dimensional aproximada relativamente às dimensões do pé feminino e a sua digitalização revelou-se de extrema importância nas reproduções não só do desenho bidimensional do conceito como também da modelação tridimensional da sola, e de grande auxílio em questões ergonómicas que se prendem com o desenvolvimento da mesma.

Ainda que a seleção do material se prendesse com o comportamento do sistema durante os ensaios mecânicos realizados, a compressão de propriedades como a densidade ou dureza de alguns polímeros permitiu a melhor e mais adequada filtragem e seleção do material para a sola, que foi neste caso um polímero à base de borracha natural.

A colaboração do aluno Marco Guimarães, que no desenvolvimento da sua dissertação de mestrado utilizou o sistema aqui apresentado como elemento de estudo, mostrou-se fundamental à validação do presente projecto. Permitiu, através de simulações por elementos finitos e ensaios mecânicos aplicados às amostras produzidas, seleccionar o material mais adequado, nomeadamente a borracha natural (face à seleção disponível), assim como a sugestão de alterações que de outra forma não seria possível identificar.

## 5.1. Limitações

Uma das principais limitações prenderam-se inicialmente com a análise dos sistemas existente no mercado pela vasta quantidade de modelos e sistemas disponíveis, e a dificuldade em encontrar informação suficiente sobre os mesmos dado que se trata de informação, por vezes, altamente protegida e de difícil acesso.

Outra das limitações foi o facto de que, em termos de tempo, o apoio por parte da empresa não acompanhou em simultâneo o desenvolvimento da sola. Por motivos de sobrecarga de trabalho da equipa de designers, a demora na revisão do trabalho realizado levou a que a modelação da sola fosse mais morosa do que o expectável.

Por esse mesmo motivo, não foi possível produzir atempadamente o produto final resultante da sola desenvolvida, de forma a poder ser apresentada na presente dissertação. Contudo, estima-se a sua presença nas feiras internacionais de calçado, a decorrer nos meses de Outubro e Novembro de 2017.

A produção de protótipos foi também difícil pela capacidade produtiva das máquinas disponíveis face à complexidade da sola. Uma reprodução à escala real tornou-se também inviável por uma questão de custos.

## 5.2. Trabalho futuro

A nível de trabalhos futuros a realizar tendo por base o trabalho desenvolvido, estes poderiam enverdar pelo complemento, melhoria ou adaptação do projecto, pelo estudo ou alteração dos materiais ou pela análise do comportamento da sola.

A nível de projecto, e uma vez que apenas foi desenvolvida a sola, outros componentes do calçado desportivo como a palmilha ou o corte poderiam ser alvo de estudo. Uma vez que se tratam de elementos complementares, a sua conceptualização como elementos adicionais poderia trazer benefícios

ao projecto apresentado. A identificação de possíveis melhorias ou adaptações face a alguma necessidade específica, como atividades desportivas concretas ou patologias associadas ao pé, poderiam ser algumas abordagens também a seguir.

As borrachas foram os materiais escolhidos para análise do comportamento do sistema. Contudo, tal como proposto, materiais como o EVA poderiam ser utilizados para a produção da sola e, conseqüente, alvo de uma análise comparativa do comportamento do sistema entre os diferentes materiais.

Uma outra possível abordagem passaria pelo estudo biomecânico do comportamento da sola através de testes físicos com recurso a voluntários, de forma a compreender, com recurso a sensores, de que forma a sola afeta os utilizadores. Uma vez que os testes realizados até a data de conclusão da presente dissertação se basearam em dados produzidos por máquinas, seriam interessante compreender o fator humano neste tipo de avaliações. Este tipo de ensaios poderiam ser realizados no LABIOMEC da Universidade do Porto.

À data de conclusão, o presente trabalho encontra-se em processo de submissão de *abstract* para a segunda edição da conferência *International Conference on Materials Design and Applications 2018*, na FEUP, e culminou na proposta, por parte da empresa parceira, de uma posição na empresa em regime de estágio profissional.

# Referências



## Referências

- APICCAPS, Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado Componentes Artigos Pele Sucedâneos. 2013. FOOTure 2020. Acedido a 20 de Maio de 2017. [http://www.apiccaps.pt/library/media\\_uploads/APICCAPS20166289123310p.pdf](http://www.apiccaps.pt/library/media_uploads/APICCAPS20166289123310p.pdf).
- . 2017. Facts and Numbers. Acedido a 31 de Maio de 2017. [http://www.apiccaps.pt/library/media\\_uploads/APICCAPS20177697503403p.pdf](http://www.apiccaps.pt/library/media_uploads/APICCAPS20177697503403p.pdf).
- ASTM, The American Society of Testing and Materials. 2000. Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness. ASTM.
- Atlantic Gasket, Corporation. 2015. "Typical Properties of Style AG-4911 4# EVA Closed Cell Foam". Última atualização 11 de Junho de 2015. Acedido a 10 de Julho de 2017. <https://www.atlanticgasket.com/materials/spec-sheets/ag-4911-spec.html>.
- Azevedo, Liliana Aparecida P e Luiz Fernando C Nascimento. 2009. "A distribuição da força plantar está associada aos diferentes tipos de pés". *Rev Paul Pediatr* no. 27 (3):309-14.
- BASF. 2013. Infinergy® (E-TPU) – The first expanded TPU. Acedido a 7 de Outubro de 2016. [https://www.basf.com/documents/cn/en/chinaplas/InfinergyEN\\_updated.pdf](https://www.basf.com/documents/cn/en/chinaplas/InfinergyEN_updated.pdf).
- Bergstra, SA, B Kluitenberg, Rienk Dekker, SW Bredeweg, K Postema, ER Van den Heuvel, JM Hijmans e S Sobhani. 2015. "Running with a minimalist shoe increases plantar pressure in the forefoot region of healthy female runners". *Journal of Science and Medicine in Sport* no. 18 (4):463-468. [http://www.jsams.org/article/S1440-2440\(14\)00118-2/pdf](http://www.jsams.org/article/S1440-2440(14)00118-2/pdf).

- Brückner, Karoline, Stephan Odenwald, Stefan Schwanitz, Jens Heidenfelder e Thomas Milani. 2010. "Polyurethane-foam midsoles in running shoes-impact energy and damping". *Procedia Engineering* no. 2 (2):2789-2793.
- Cavanagh, Peter R e Mario A LaFortune. 1980. "Ground reaction forces in distance running". *Journal of biomechanics* no. 13 (5):397-406.
- Chuckpaiwong, Bavornrit, James A Nunley, Nathan A Mall e Robin M Queen. 2008. "The effect of foot type on in-shoe plantar pressure during walking and running". *Gait & posture* no. 28 (3):405-411.
- Costa, J Almeida e A Sampaio Melo. 2017. *Dicionário da Língua Portuguesa*. Editado por Porto Editora. 06-2017 ed.
- da Silva Azevedo, Ana Paula, Bruno Mezêncio, Raísa Valvassori, Luis Mochizuki, Alberto Carlos Amadio e Júlio Cerca Serrão. 2016. "Does "transition shoe" promote an intermediate biomechanical condition compared to running in conventional shoe and in reduced protection condition?". *Gait & posture* no. 46:142-146.
- Dahle, Laurie K, Michael Mueller, Anthony Delitto e Jay E Diamond. 1991. "Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injury". *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* no. 14 (2):70-74.
- FOREVER. 2017. "FOREVER - Your soles mate.". Acedido a 15 de Fevereiro de 2017. <http://forever.pt/>.
- Goonetilleke, Ravindra S. 1999. "Footwear cushioning: relating objective and subjective measurements". *Human Factors* no. 41 (2):241-256.
- . 2012. *The science of footwear*. CRC Press.
- Guimarães, Guilherme Veiga, Hédio Fortunato G Freitas, PR Silva e Luzimar R Teixeira. 2000. "Pés: devemos avaliá-los ao praticar atividade físico-esportiva". *Rev Bras Med Esporte* no. 6 (2):57-59.
- Guimarães, Marco. 2017. "Estudo do comportamento de uma sola em borracha com sistema de amortecimento", Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- Heitner, Darren. 2017. "Athleisure Shows Stability In Choppy 2016 For \$87 Billion Sports Manufacturers Industry". *Forbes*, 9 de Março de 2017. Acedido a 31 de Maio 2017. <https://www.forbes.com/sites/darrenheitner/2017/03/09/athleisure-shows-stability-in-choppy-2016-for-87-billion-sports-manufacturers-industry>.



- Hennig, Ewald M. 2003. "The evolution and biomechanics of the human foot-applied research for footwear". *Rev. bras. biomec* no. 4 (1):7-14.
- Hohmann, Erik, Peter Reaburn, Kevin Tetsworth e Andreas Imhoff. 2016. "Plantar Pressures During Long Distance Running: An Investigation of 10 Marathon Runners". *Journal of sports science & medicine* no. 15 (2):254.
- Holowka, Nicholas B, Matthew C O'Neill, Nathan E Thompson e Brigitte Demes. 2017. "Chimpanzee and human midfoot motion during bipedal walking and the evolution of the longitudinal arch of the foot". *Journal of Human Evolution* no. 104:23-31.
- Jane, Adam. 2016a. "Material Matters: EVA Foam". Última atualização 2 de Novembro de 2016. Acedido a 10 de Julho de 2017. <https://www.sneakerfreaker.com/articles/material-matters-eva-foam/>.
- . 2016b. "Material Matters: Vulcanised Rubber Sole Construction". Última atualização 31 de Agosto de 2016. Acedido a 10 de Julho de 2017. <https://www.sneakerfreaker.com/articles/material-matters-vulcanised-rubber-sole-construction/>.
- Jenkins, Mike. 2003. "Running shoe materials". Em *Materials in sports equipment* Elsevier.
- Levangie, Pamela K e Cynthia C Norkin. 2005. *Joint structure and function: a comprehensive analysis*. 4e ed.: FA Davis.
- Lindsey, Crawford. 2017. "Tennis Shoe Cushioning - Impact Testing To Compare Tennis Shoes". Acedido a 10 de Julho 2017. [http://twu.tennis-warehouse.com/learning\\_center/cushioning.php](http://twu.tennis-warehouse.com/learning_center/cushioning.php).
- Luo, Geng, Pro Stergiou, Jay Worobets, Benno Nigg e Darren Stefanyshyn. 2009. "Improved footwear comfort reduces oxygen consumption during running". *Footwear Science* no. 1 (1):25-29.
- Luximon, Ameersing. 2013. *Handbook of footwear design and manufacture*. Elsevier.
- McPoil, Thomas G. 2000. "Athletic footwear: design, performance and selection issues". *Journal of Science and Medicine in sport* no. 3 (3):260-267. Acedido a 10 de Outubro de 2016. [http://www.jsams.org/article/S1440-2440\(00\)80035-3/pdf](http://www.jsams.org/article/S1440-2440(00)80035-3/pdf).

- Moore, K.L., A.F. Dalley e A.M.R. Agur. 2009. Clinically Oriented Anatomy (Intl. Edition). 6e ed.: Wolters Kluwer Health.
- Motawi, Wade. 2015. How Shoes Are Made - A behind the scenes look at a real sneaker factory. Second Edition ed.
- Nigg, Benno M. 1997. "Impact forces in running". Current Opinion in Orthopaedics no. 8 (6):43-47.
- Nigg, Benno M e M Morlock. 1987. "The influence of lateral heel flare of running shoes on pronation and impact forces". Med Sci Sports Exerc no. 19 (3):294-302.
- Nigg, BM, AH Bahlsen, J Denoth, SM Luethi e A Stacoff. 1986. "Factors influencing kinetic and kinematic variables in running". Biomechanics of running shoes no. 63:139-159.
- Nigg, BM e B Segesser. 1992. "Biomechanical and orthopedic concepts in sport shoe construction". Medicine and science in sports and exercise no. 24 (5):595-602.
- Nike. 2015. "Nike Zoom Air: The Technology of Fast". Última atualização 30 de Junho de 2015. Acedido a 6 de Janeiro de 2017. <http://news.nike.com/news/nike-zoom-air-the-technology-of-fast>.
- Novacheck, Tom F. 1998. "The biomechanics of running". Gait & posture no. 7 (1):77-95.
- Onofre, Luís. 2017. New APICCAPS President announces 50 million euros investment plan editado por World of Footwear. <https://www.worldfootwear.com/news/new-apiccaps-president-announces-50-million-euros-investment-plan/2453.html>.
- Pina, Ricardo. 2017. Entrevista ao Designer de calçado Ricardo Pina. [A entrevista encontra-se transcrita no Apêndice "A" desta dissertação.]
- Powell, Matt. 2016. "Sneakernomics: Predictions for the Sports Business in 2017". The NPD Group Blog - Insights and Opinions From Analysts and Experts in More Than 20 Industries, 19 de Dezembro de 2016. Acedido a 31 de Maio de 2017. <https://www.npd.com/wps/portal/npd/us/blog/2016/sneakernomics-predictions-for-the-sports-business-in-2017/>.
- PROCALÇADO, S.A. 2016. "PROCALÇADO, S.A.". Acedido a 19 de Setembro de 2016. <http://www.procalcado.com/>.
- Putti, AB, GP Arnold e RJ Abboud. 2010. "Foot pressure differences in men

- and women". *Foot and ankle surgery* no. 16 (1):21-24.
- Reebok. 2012. "Reebok ZigTech-Technology Video 2012". Acedido a 2 de Março de 2012. [https://www.youtube.com/watch?v=nIbasL\\_u4gA&t=1s](https://www.youtube.com/watch?v=nIbasL_u4gA&t=1s).
- Robbins, Steven e Edward Waked. 1997. "Balance and vertical impact in sports: role of shoe sole materials". *Archives of physical medicine and rehabilitation* no. 78 (5):463-467.
- San Tsung, Bonnie Yuk, Ming Zhang, Yu Bo Fan e David Alan Boone. 2003. "Quantitative comparison of plantar foot shapes under different weight-bearing conditions". *Journal of rehabilitation research and development* no. 40 (6):517.
- Silva, RM, JL Rodrigues, VV Pinto, MJ Ferreira, R Russo e CM Pereira. 2009. "Evaluation of shock absorption properties of rubber materials regarding footwear applications". *Polymer testing* no. 28 (6):642-647.
- Sinclair, J, Hannah Shore e Stephanie Dillon. 2016. "The effect of minimalist, maximalist and energy return footwear of equal mass on running economy and substrate utilisation". *Comparative Exercise Physiology* no. 12 (1):49-54.
- Sinclair, Jonathan. 2014. "Effects of barefoot and barefoot inspired footwear on knee and ankle loading during running". *Clinical biomechanics* no. 29 (4):395-399.
- Sinclair, Jonathan, Andrew Greenhalgh, Darrell Brooks, Christopher James Edmundson e Sarah Jane Hobbs. 2013. "The influence of barefoot and barefoot-inspired footwear on the kinetics and kinematics of running in comparison to conventional running shoes". *Footwear Science* no. 5 (1):45-53.
- Sinclair, Jonathan, Jim Richards e Hannah Shore. 2015. "Effects of minimalist and maximalist footwear on Achilles tendon load in recreational runners". *Comparative Exercise Physiology* no. 11 (4):239-244.
- Solereview. 2016. "3 reasons you won't see mass produced 3D printed running shoes – for now.". Última atualização 27 de Abril de 2016. Acedido a 23 de Março. <https://www.solereview.com/3-reasons-you-wont-see-mass-produced-3D-printed-running-shoes/>.
- Standring, Susan. 2008. *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical*

- practice. 40th Edition ed. Nova Iorque: Churchill Livingstone.
- Theisen, Daniel, Laurent Malisoux, Joakim Genin, Nicolas Delattre, Romain Seil e Axel Urhausen. 2013. "Influence of midsole hardness of standard cushioned shoes on running-related injury risk". *British journal of sports medicine*:bjsports-2013-092613.
- Tongen, Anthony e Roshna E Wunderlich. 2010. "Biomechanics of running and walking". *Mathematics and Sports*:315-325.
- van der Zwaard, Babette C, Benedicte Vanwanseele, Fred Holtkamp, Henriëtte E van der Horst, Petra JM Elders e Hylton B Menz. 2014. "Variation in the location of the shoe sole flexion point influences plantar loading patterns during gait". *Journal of foot and ankle research* no. 7 (1):20.
- Vangara, Shanmukha Varalakshmi, Patnaik VV Gopichand, Minu Bedi e Nidhi Puri. 2016. "Effect of barefoot walking on foot arch structure in Tribal children". *Asian Journal of Medical Sciences* no. 7 (5):108-116.
- Walker, Martha e Hui-Ji Fan. 1998. "Relationship between foot pressure pattern and foot type". *Foot & ankle international* no. 19 (6):379-383.
- Woitzik, Erin. 2014. "Tread Lightly: Form, footwear, and the quest for injury-free running". *The Journal of the Canadian Chiropractic Association* no. 58 (4):481.
- Worobets, Jay, John William Wannop, Elias Tomaras e Darren Stefanyshyn. 2014. "Softer and more resilient running shoe cushioning properties enhance running economy". *Footwear Science* no. 6 (3):147-153.
- Xiong, Shuping, Ravindra S Goonetilleke, Jianhui Zhao, Wenyan Li e Channa P Witana. 2009. "Foot deformations under different load-bearing conditions and their relationships to stature and body weight". *Anthropological Science* no. 117 (2):77-88.

# Apêndices



# Apêndice A

## Tabela 3. Sistemas e tecnologias de solas de calçado desportivo





**Tabela 4. Sistemas e tecnologias de solas de calçado desportivo - Parte 1**

Marcas	Tecnologia	Tipologia			Elemento da sola	Materiais	Processo de fabrico	Região do pé	Função-chave	
Adidas	Boost	M	D	C	Entressola	E-TPU	Expansão de espuma	Total	Amortecimento Propulsão	
					Sola Exterior					
	Adiprene	M	D	C	Entressola	-	-	Retropé	Amortecimento	
					Sola Exterior					
	Adiprene+	M	D	C	Entressola	-	-	Antepé	Propulsão	
					Sola Exterior					
	Torsion System	M	D	C	Entressola	Termoplástico	Moldação por injeção	Mediopé	Estabilidade	
					Sola Exterior					
	A3	M	D	C	Entressola	TPU	-	Antepé	Amortecimento Propulsão	
					Sola Exterior					
ForMotion	M	D	C	Entressola	-	-	Retropé	Amortecimento Estabilidade		
				Sola Exterior						
Pro Moderator	M	D	C	Entressola	TPU	-	Mediopé Suporte Lateral	Estabilidade		
				Sola Exterior						
Stableframe	M	D	C	Entressola	EVA	-	Mediopé Suporte Lateral	Estabilidade		
				Sola Exterior						
Springblade	M	D	C	Entressola	TPU	Moldação por injeção	Total	Propulsão		
				Sola Exterior						
StretchWeb	M	D	C	Entressola	Borracha	-	Total	Flexibilidade		
				Sola Exterior						
Nike	Air	M	D	C	Entressola	TPU	Moldação por sopro	Múltiplas	Amortecimento Leveza	
					Sola Exterior					
	Air	Max	M	D	C	Entressola	TPU	Moldação por sopro	Total	Amortecimento Leveza
						Sola Exterior				
	Zoom	M	D	C	Entressola	PU termoplástico + Fibras Sint.	-	Múltiplas	Amortecimento Leveza Propulsão	
					Sola Exterior					
	Phylon	M	D	C	Entressola	EVA	Moldação por compressão	Antepé Total	Leveza	
					Sola Exterior					
	Phylite	M	D	C	Entressola	EVA + Borracha	Moldação por injeção	Total	Leveza Flexibilidade	
					Sola Exterior					
Shox	M	D	C	Entressola	Espuma + Resina Pebax	-	Antepé	Amortecimento Estabilidade Propulsão		
				Sola Exterior						
Free	M	D	C	Entressola	EVA + Borracha	Moldação por injeção + Corte Laser	Total	Leveza Flexibilidade		
				Sola Exterior						
Lunarlon	M	D	C	Entressola	EVA + Phylon	Moldação por injeção + compressão	Total	Amortecimento Leveza Propulsão		
				Sola Exterior						
Dynamic Support	M	D	C	Entressola	Lunarlon	-	Mediopé Suporte Lateral	Estabilidade		
				Sola Exterior						
Cushlon	M	D	C	Entressola	EVA + Borracha	Moldação por compressão	Total	Amortecimento Propulsão		
				Sola Exterior						

Legenda **M** Material **D** Desenho **C** Componente

**Tabela 4. Sistemas e tecnologias de solas de calçado desportivo - Parte 2**

Marcas	Tecnologia	Tipologia			Elemento da sola	Materiais	Processo de fabrico	Região do pé	Função-chave
ASICS	Gel	M	D	C	Entressola	-	-	Antepé Retropé	Amortecimento
					Sola Exterior				
	X-Gel	M	D	C	Entressola	-	-	Retropé	Amortecimento
					Sola Exterior				
	Solyte	M	D	C	Entressola	Compósito de LLDPE	-	Total	Amortecimento Leveza
					Sola Exterior				
	SpEVA	M	D	C	Entressola	EVA	-	Total	Amortecimento Propulsão
					Sola Exterior				
	FluidRide	M	D	C	Entressola	Solyte SpEVA	-	Total	Amortecimento Leveza Propulsão
					Sola Exterior				
	AHAR	M	D	C	Entressola	Borracha + Aditivo	-	Antepé	Resistência à abrasão
					Sola Exterior				
	AHAR+	M	D	C	Entressola	Borracha + Aditivo	-	Retropé	Resistência à abrasão
					Sola Exterior				
	Durasponge	M	D	C	Entressola	AHAR expandida	-	Antepé	Amortecimento Resistência à abrasão
					Sola Exterior				
	Duomax	M	D	C	Entressola	EVA	-	Mediopé Suporte Lateral	Estabilidade
					Sola Exterior				
	Duomax Dynamic	M	D	C	Entressola	EVA	-	Mediopé Suporte Lateral	Estabilidade Leveza
					Sola Exterior				
Duomax Sloped	M	D	C	Entressola	EVA	-	Mediopé Suporte Lateral	Estabilidade	
				Sola Exterior					
FluidAxis	M	D	C	Entressola	-	-	Retropé	Estabilidade	
				Sola Exterior					
Guidance Line	M	D	C	Entressola	-	-	Total	Estabilidade	
				Sola Exterior					
N. C. Rubber	M	D	C	Entressola	Borracha Natural + Borracha Sintética	-	Antepé	Estabilidade Resistência à abrasão	
				Sola Exterior					
S.E.W. Midsole	M	D	C	Entressola	-	-	Total	Amortecimento Flexibilidade	
				Sola Exterior					
Propulsion Plate	M	D	C	Entressola	Resina	-	Antepé	Propulsão Estabilidade	
				Sola Exterior					
Trusstic	M	D	C	Entressola	Resina	-	Mediopé	Estabilidade	
				Sola Exterior					
Adaptruss	M	D	C	Entressola	Resina + Carbono	-	Antepé	Estabilidade Flexibilidade	
				Sola Exterior					
Archsustain	M	D	C	Entressola	-	-	Mediopé	Estabilidade	
				Sola Exterior					
FlyteFoam	M	D	C	Entressola	Espuma + Fibras Naturais	-	Total	Amortecimento Leveza	
				Sola Exterior					

Legenda **M** Material **D** Desenho **C** Componente

Tabela 4. Sistemas e tecnologias de solas de calçado desportivo - Parte 3

Marcas	Tecnologia	Tipologia			Elemento da sola	Materiais	Processo de fabrico	Região do pé	Função-chave	
New Balance	Abzorb	M	D	C	Entressola	DuPont Engage + Borracha Isoprene	-	Antepé Retropé	Amortecimento	
					Sola Exterior					
	Abzorb	FL	M	D	C	Entressola	Abzorb	-	Total	Amortecimento
						Sola Exterior				
		EX	M	D	C	Entressola	Abzorb + TPU	-	Total	Amortecimento Estabilidade
						Sola Exterior				
	SBS	M	D	C	Entressola	SBS	-	Antepé	Amortecimento	
					Sola Exterior					
	DTS	M	D	C	Entressola	Abzorb + Abzorb SBS	-	Retropé	Amortecimento Estabilidade	
					Sola Exterior					
	Acteva	M	D	C	Entressola	DuPont Engage	-	Total	Leveza	
					Sola Exterior					
	Acteva	Lite	M	D	C	Entressola	DuPont Engage + DuPont Elvaloy	-	Total	Amortecimento Leveza
						Sola Exterior				
	Ultra Lite	M	D	C	Entressola	DuPont Elvaloy	-	Total	Amortecimento Leveza	
					Sola Exterior					
	Encap	M	D	C	Entressola	EVA + PU	-	Retropé	Amortecimento	
	Sola Exterior									
	C-Cap	M	D	C	Entressola	EVA	Moldação por compressão	Total	Amortecimento Flexibilidade	
	Sola Exterior									
Cush+	M	D	C	Entressola	Espuma	-	Total	Amortecimento Estabilidade Leveza		
Sola Exterior										
FreshFoam	M	D	C	Entressola	EVA	Moldação por compressão + Corte laser	Total	Amortecimento Estabilidade Leveza		
Sola Exterior										
N2	M	D	C	Entressola	Espuma + Nitrogénio	Moldação por injeção assistida a gás	Antepé Retropé	Amortecimento		
				Sola Exterior						
N-ergy	M	D	C	Entressola	TPU + DuPont Hytrel	-	Retropé	Amortecimento Estabilidade		
				Sola Exterior						
Rapid Rebound	M	D	C	Entressola	Espuma	-	Total	Propulsão		
				Sola Exterior						
RevLite	M	D	C	Entressola	Compósito de EVA	-	Total	Amortecimento Estabilidade Leveza		
				Sola Exterior						
RevLite RC	M	D	C	Entressola	Compósito de EVA	-	Total	Amortecimento Estabilidade Leveza		
				Sola Exterior						
Stabilicore	M	D	C	Entressola	Termoplástico	-	Mediopé Suporte Lateral	Estabilidade		
				Sola Exterior						
Ionix	M	D	C	Entressola	RevLite + Borracha	-	Total	Leveza Flexibilidade Resistência à abrasão		
				Sola Exterior						
T-Beam	M	D	C	Entressola	TPU	-	Mediopé	Estabilidade		
				Sola Exterior						

Legenda **M** Material **D** Desenho **C** Componente

**Tabela 4. Sistemas e tecnologias de solas de calçado desportivo - Parte 4**

Marcas	Tecnologia	Tipologia			Elemento da sola		Materiais	Processo de fabrico	Região do pé	Função-chave	
		M	D	C	Entressola	Sola Exterior					
New Balance	StabilityWeb	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	Termoplástico	Moldação por injeção	Antepé	Estabilidade Flexibilidade	
					Sola Exterior						
	ExtendedWeb	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	Termoplástico	Moldação por injeção	Total	Estabilidade Flexibilidade	
					Sola Exterior						
	N-Fuse	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	Espuma	-	Total	Amortecimento Estabilidade	
					Sola Exterior						
	TS2	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	Espuma	-	Retropé Mediopé Suporte Lateral	Propulsão	
					Sola Exterior						
	NB Zip	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	Termoplástico	-	Retropé	Amortecimento Estabilidade	
					Sola Exterior						
Rollbar	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	TPU + Compósito de Grafite	-	Antepé	Propulsão		
				Sola Exterior							
Walking Strike Path	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	-	-	Total	Estabilidade		
				Sola Exterior							
Dynaride	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	Borracha	-	Antepé	Leveza Tração		
				Sola Exterior							
Flexonic	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	EVA	Moldação por injeção	Total	Amortecimento Flexibilidade		
				Sola Exterior							
Quix	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	Borracha	-	Antepé Mediopé	Flexibilidade Tração		
				Sola Exterior							
Reebok	DMX	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	-	-	Total	Amortecimento	
					Sola Exterior						
	DMX	MAX	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	-	-	Total	Amortecimento
						Sola Exterior					
		Shear	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	-	-	Retropé	Amortecimento Propulsão
						Sola Exterior					
	Foam	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	Espuma	-	Total	Amortecimento	
					Sola Exterior						
	Hexalite	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	- + TPU	-	Antepé Retropé	Amortecimento	
					Sola Exterior						
	HexRide	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	- + TPU	-	Total	Amortecimento	
					Sola Exterior						
	3D Ultralite	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	EVA + Borracha	-	Múltiplas	Leveza	
Sola Exterior											
ZigTech	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	-	-	Total	Amortecimento Flexibilidade Propulsão		
				Sola Exterior							
RealFlex	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	-	-	Total	Amortecimento Flexibilidade Leveza		
				Sola Exterior							
SmoothFlex	M	D	C	Entressola	Sola Exterior	-	-	Total	Amortecimento Flexibilidade Leveza		
				Sola Exterior							

Legenda M Material D Desenho C Componente

**Tabela 4. Sistemas e tecnologias de solas de calçado desportivo - Parte 5**

Marcas	Tecnologia	Tipologia			Elemento da sola	Materiais	Processo de fabrico	Região do pé	Função-chave
Reebok	SubLite Foam	M	D	C	Entressola	-	-	Total	Leveza Estabilidade
					Sola Exterior				
	FoamFusion	M	D	C	Entressola	Espumas C43, T48, R52	-	Total	Propulsão
					Sola Exterior				
E.R.S.	M	D	C	Entressola	DuPont Hytrel	-	Retropé	Propulsão	
				Sola Exterior					
Zquick	M	D	C	Entressola Sola Exterior	Espuma carbonatada	-	Total	Amortecimento Flexibilidade	
Puma	Mobium	M	D	C	Entressola	EVA + Elástico	-	Total	Estabilidade Flexibilidade
					Sola Exterior				
	Trinomic	M	D	C	Entressola	-	-	Antepé Retropé	Amortecimento Propulsão
					Sola Exterior				
Ignite Foam	M	D	C	Entressola Sola Exterior	Compósito de PU	Moldação por vazamento	Total	Amortecimento Estabilidade Propulsão	
ForEver Foam	M	D	C	Entressola Sola Exterior	Espuma	-	Retropé	Amortecimento	
Saucony	Grid	M	D	C	Entressola	- + Dupont Hytrel	-	Retropé	Amortecimento Flexibilidade
					Sola Exterior				
	PowerGrid	M	D	C	Entressola	Espuma	-	Retropé Total	Propulsão
					Sola Exterior				
	PowerGrid+	M	D	C	Entressola	Espuma	-	Total	Amortecimento Flexibilidade
					Sola Exterior				
	Everun	M	D	C	Entressola	-	-	Retropé Total	Propulsão
Sola Exterior									
Tri-Flex	M	D	C	Entressola Sola Exterior	-	-	Total	Amortecimento Flexibilidade	
IBR+	M	D	C	Entressola Sola Exterior	Compósito de borracha	Moldação por injeção assistida a gás	Múltiplas	Propulsão	
SRC Impact Zone	M	D	C	Entressola Sola Exterior	Espuma	-	Retropé	Amortecimento Flexibilidade	

Legenda M Material D Desenho C Componente



# Apêndice B

## Entrevista realizada ao Designer Ricardo Pina

A entrevista que se segue foi realizada ao Designer de calçado Ricardo Pina, que dado o seu percurso profissional se demonstrou uma mais valia na compreensão do sector desportivo de calçado.

Após concluir a sua formação em Design de Moda, no Porto, o designer de calçado já trabalhou com o Designer Nuno Baltazar, e também para marcas internacionais como a Zara, em Espanha, ou a Puma, na Alemanha.

Atualmente trabalha para a marca Adidas, mais concretamente nas colaborações Y-3 (Yohji Yamamoto X adidas), e nas colaborações da Adidas com Raf Simons e Rick Owens, como *Senior Footwear Designer*.

Segue uma transcrição completa da entrevista:





Olá Designer Ricardo Pina,

Antes de mais obrigado pela disponibilidade em responder a esta entrevista.

As questões que se seguem têm o intuito de esclarecer algumas dúvidas que foram surgindo ao longo da investigação para a tese de mestrado que estou atualmente a desenvolver. A tese em si insere-se na área das solas de calçado desportivo, com maior incidência no desenvolvimento de sistemas de amortecimento.

Se por algum motivo esta entrevista não tocar em algum ponto que lhe pareça pertinente, sinta-se à vontade para acrescentar o ponto em questão.

- Do seu ponto de vista, o que distingue o calçado desportivo das restantes vertentes de calçado?

- O que mais distingue o calçado desportivo dos restantes tipos de calçado é que o calçado desportivo é pensado e desenhado para potenciar a "performance" de um determinado desporto e para isso tem-se em conta a ergonomia do pé, e de todo o corpo, e as diferentes posições, forças e pressões a que é submetido durante a realização desse desporto. O calçado "normal" também tem em conta a ergonomia, obviamente, mas é fácil de perceber que um desporto tem uma exigência física muito maior do que o resto da atividade humana. Por isso, ao longo das décadas, a indústria do calçado desportivo evoluiu muito ao nível da ciência e da engenharia, e o calçado desportivo tem uma componente científica, tecnológica, e de inovação muito maior que o resto das tipologias do calçado.

- No momento em que desenha um sapato, existem componentes que requerem mais atenção do que outros? Atribui uma hierarquia de importância aos elementos que constituem o sapato ou pensa-o como um todo?
  - No geral quando desenho um sapato penso-o como um todo, para mim é tão importante a vertente funcional como a estética. Mas cada sapato, cada projecto, tem as suas próprias características, e alguns projectos requerem uma atenção maior numa determinada parte do processo, ou num determinado aspecto do produto, e outros requerem uma maior atenção noutra parte.
  
- Quando projeta a sola de um sapato desportivo, quais são os fatores/ características que devem ser tidos em consideração?
  - O conforto é um dos principais fatores no desenho de uma sola, por isso o material, ou materiais, de que é feito, e o conjunto desses materiais, é uma das características mais importantes a ter em conta. O seguinte a ter em conta são os pontos ergonómicos da sola (exemplo: onde o pé exerce mais pressão, onde o pé flexiona, etc.). E por fim, claro, a estética!
  
- No desenvolvimento de um sapato desportivo, tem alguma preocupação especial no que toca ao género (feminino ou masculino), especificamente no desenho das solas?
  - Há diferenças na ergonomia masculina e feminina, sobretudo na realização de determinados desportos. Mas essas diferenças são relevantes quando se trata de calçado desportivo próprio para a "performance" de um determinado desporto. Quando se trata de calçado desportivo para o dia-a-dia (que é o que eu faço) essas diferenças são muito ténues, e o que é importante para o homem é o mesmo que é importante para a mulher, ou vice-versa.

- **Considera o amortecimento um fator importante do sapato desportivo?**
  - O amortecimento está intimamente relacionado com o conforto, e por conseguinte é importantíssimo para o calçado desportivo, ou mais precisamente para as solas do mesmo. Há inúmeras tecnologias e materiais usados nas solas dos sapatos desportivos que são precisamente desenvolvidos para aumentar o amortecimento.
  
- **Para si, o que define um bom sapato desportivo? Passa pelos materiais, pelo desenho (ou ambos), ou existem outras características importantes para validar a qualidade de um sapato desportivo?**
  - O que define um bom sapato desportivo é basicamente o conjunto de todas as características desse sapato. E o trabalho de um designer é precisamente ter em conta todas as características do produto que está a desenvolver, e criar o melhor conjunto possível. Por isso valorizar um bom, ou mau, design é valorizar o conjunto total e não determinados aspectos por separado.
  
- **Nos dias de hoje é cada vez mais comum ver pessoas a utilizar calçado desportivo num contexto de quotidiano – acredita na separação entre o calçado dedicado exclusivamente ao desporto e o calçado de uso diário, ou esta diferenciação é já mais ténue?**
  - Eu acredito que existem duas tipologias bem definidas quando se trata de calçado desportivo, uma é o calçado esportivo de "performance" e outra é o calçado desportivo para o dia-a-dia. E esta distinção existirá sempre, basta pensarmos por exemplo no calçado de futebol que é quase impossível de usar no dia-a-dia, por dar um exemplo extremo. Mas há exemplos não tão extremos, se pensarmos num sapato de basquetebol (umas Nike Jordan por exemplo) são sapatos que podem

ser usados tanto para performance como no quotidiano, e esse uso é basicamente uma escolha pessoal do consumidor. Hoje em dia quase toda a gente usa sapatos desportivos diariamente, eu penso que é uma tendência urbana, que faz todo o sentido nos dias (tão agitados) de hoje. Mas quem sabe o que acontecerá amanhã?! Quem sabe como será a vida dentro de 10 anos?! Que calçado necessitaremos então?!

- Algumas marcas recorrem já a novas tecnologias (impressão 3D, p.e.) para produção de calçado – o que pensa sobre este assunto do ponto de vista de uma produção massificada?

- Como referi anteriormente, as marcas de calçado desportivo estão constantemente a investigar e inovar nas tecnologias usadas na produção e desenvolvimento de calçado. Eu penso que algumas dessas tecnologias, como a impressão 3D por exemplo, que talvez ainda nos pareçam impossíveis de produzir massificadamente, estão precisamente a evoluir muito rapidamente, também graças a à investigação das marcas de desporto, entre outras. Tudo o que é tecnologia evoluciona muito rapidamente hoje em dia, e o que nos parece impossível hoje é o mais banal amanhã, por isso eu acredito que a produção massificada seja do que for é totalmente possível, basta que haja um interesse por parte do consumidor e da marca em causa.

- Em que direcção lhe parece caminhar a indústria do calçado (especialmente na área do desporto)? Quais são as tendências atuais e futuras?

- Estamos num dos melhores momentos para a indústria do calçado desportivo, como referi antes, o calçado desportivo esta em todo o lado, não só nas competições desportivas, mas também na rua,

em todas as redes sociais, nos desfiles de moda das marcas de luxo, no meu armário e de certeza que no teu! Nunca antes o calçado desportivo esteve tão presente no nosso dia-a-dia. E a razão, como referi também, é simples - é o calçado mais adequado à sociedade dos dias de hoje. As marcas de desporto são, mais que ninguém, conscientes disso e vão continuar a tirar o maior partido possível, através de uma oferta super ampla de diferentes tipos de sapatos desportivos, desde performance, a casual, a moda, etc... Resumindo eu acho que a principal tendência das marcas de desporto é continuar a surpreender o consumidor com inovação e uso de novas tecnologias, e com uma oferta super variada para os diferentes tipos de consumidor e as diferentes necessidades de cada um desses consumidores.

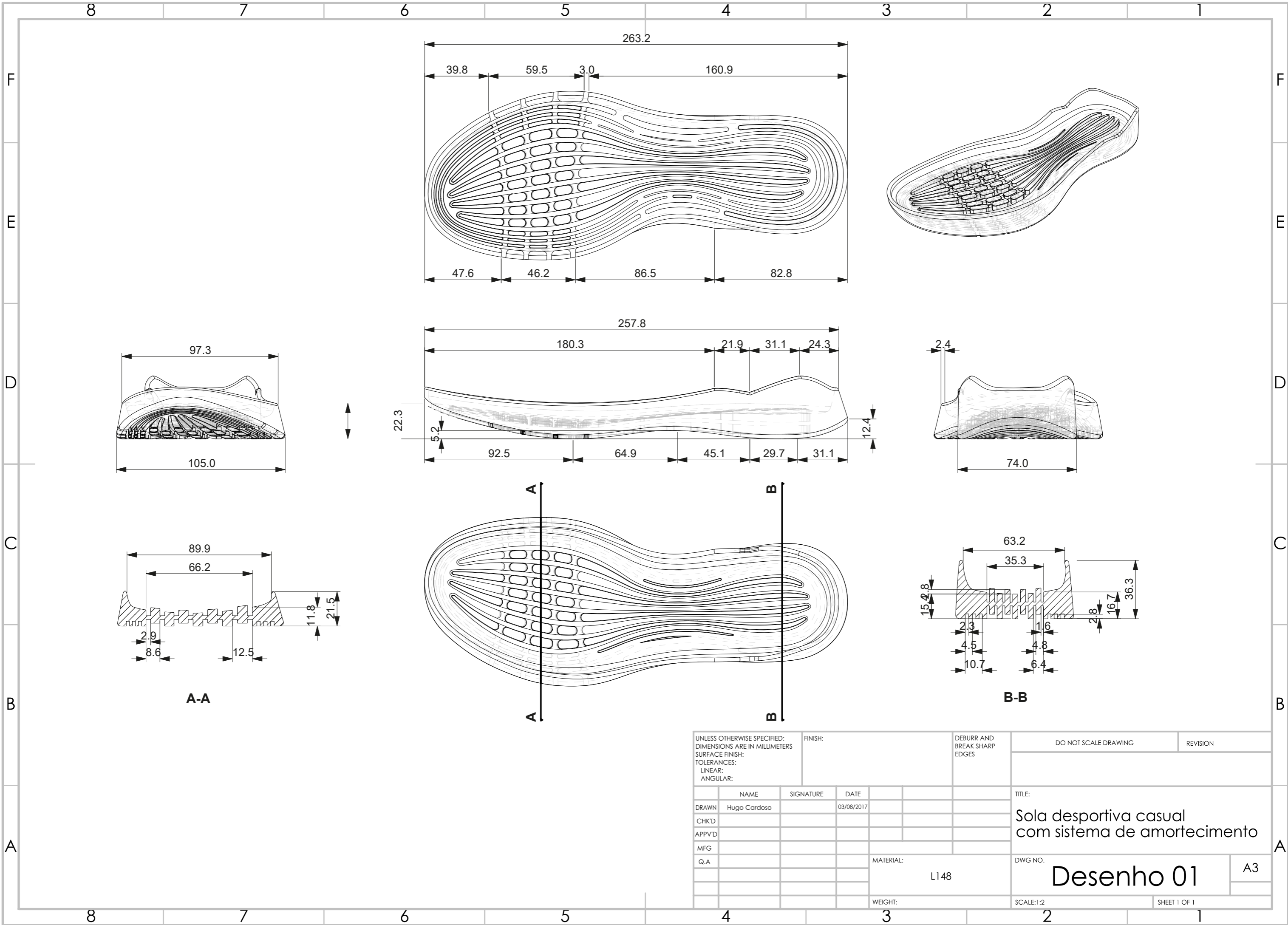


# Apêndice C

## Desenho técnico da sola







UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
DRAWN	Hugo Cardoso	SIGNATURE	DATE	03/08/2017	TITLE: Sola desportiva casual com sistema de amortecimento						
CHK'D					DWG NO. <b>Desenho 01</b>						
APPV'D					A3						
MFG					SCALE:1:2						
Q.A					SHEET 1 OF 1						
MATERIAL: L148					WEIGHT:						



# Anexos



# **Anexo A**

## **Lista de materiais (For Ever 2017)**





*Your soles mate.*

BORRACHA

- Borracha natural** - Percentagem elevada de borracha natural.
- Borracha natural 100%** - **Pura Latex®** - 100% borracha natural da árvore Hevea.
- SBR** - Borracha sintética tradicional.
- Borracha nitrílica** - Borracha resistente a combustível / óleo / solventes.
- Borracha nitrílica + Anti-estática** - Borracha anti-estática.
- Borracha nitrílica + ESD** - Borracha com proteção de descargas elétricas.
- Borracha nitrílica + Retardante de chama** - Borracha retardadora de fogo.
- Borracha nitrílica + Anti-derrapante** - **Ever Grip®** - Borracha anti-derrapante.
- Borracha de Neoprene** - Proteção alargada + Resistente a chamas.

PU

- PU** - Material de conforto.
- PU+ESD** - Conforto + proteção de descargas elétricas.
- PU+Cortiça** - Conforto extra por adição de cortiça. Adequado para calçado ortopédico.

TERMOPLÁSTICOS

- SEBS** - **Steri-tech®** - Esterilizável em autoclave. Adequado para ambientes clínicos.
- TPU** - Total criatividade e detalhe extremo.
- TPU expandido** - Total criatividade e detalhe extremo + leveza.
- TR** - Material versátil polivalente.
- TR expandido** - Material versátil polivalente + leveza.
- TPR biodegradável** - Material 100% biodegradável. Amigo do ambiente.
- PVC** - Material tradicional de preço equilibrado.

EVA

- EVA** - **Everlite®** - Material extremamente leve.







