

O DESIGN DE CALÇADOS NA (RE)EVOLUÇÃO DIGITAL

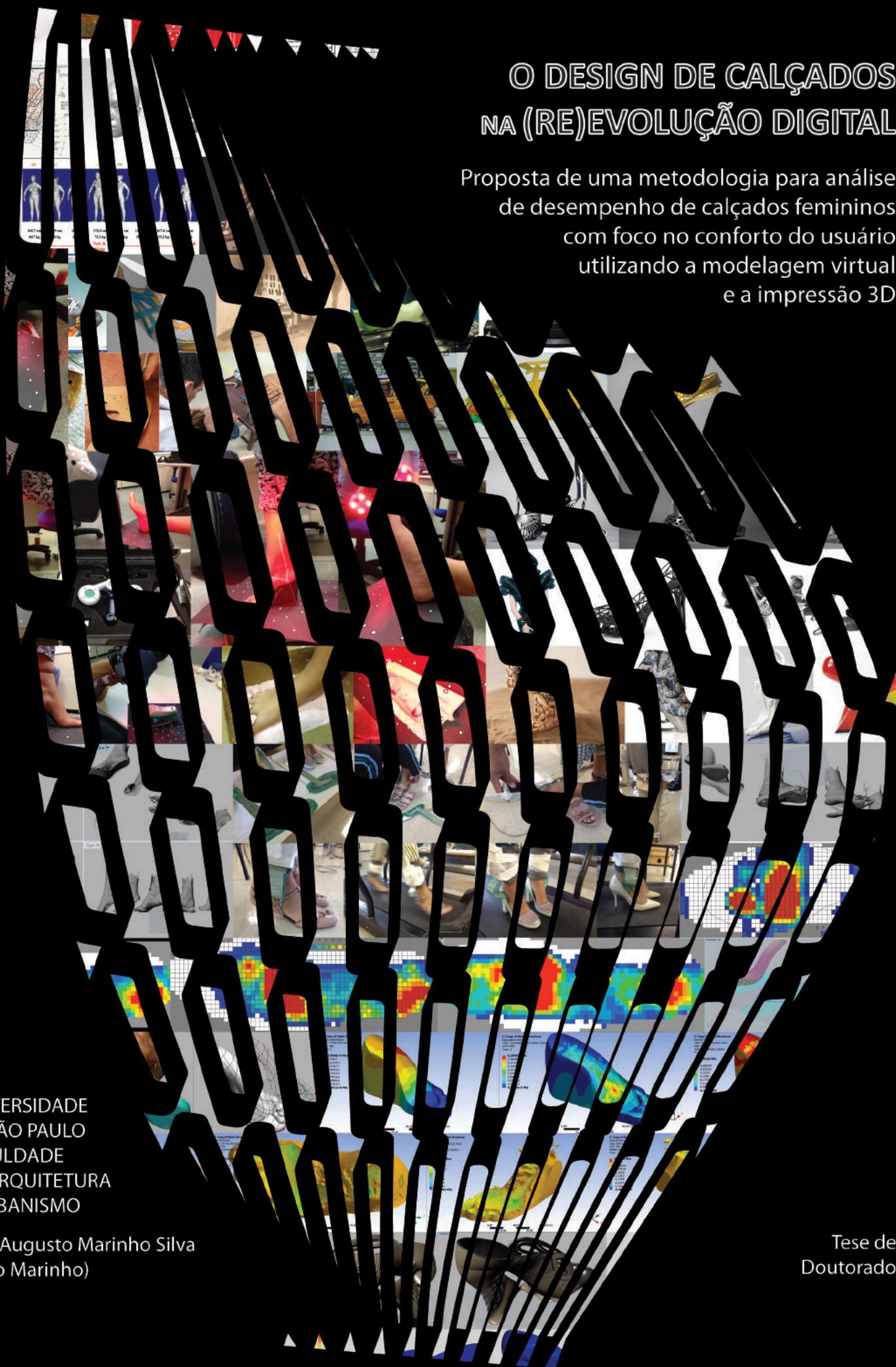
Proposta de uma metodologia para análise
de desempenho de calçados femininos
com foco no conforto do usuário
utilizando a modelagem virtual
e a impressão 3D

UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO
FACULDADE
DE ARQUITETURA
E URBANISMO

José Augusto Marinho Silva
(Guto Marinho)

2016

Tese de
Doutorado



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

José Augusto Marinho Silva

O Design de Calçados na (Re)Evolução Digital

Proposta de uma metodologia para análise de desempenho de calçados femininos com foco no conforto do usuário utilizando a modelagem virtual e a impressão 3D

São Paulo

2016

José Augusto Marinho Silva

O Design de Calçados na (Re)Evolução Digital

Proposta de uma metodologia para análise de desempenho de calçados femininos com foco no conforto do usuário, utilizando a modelagem virtual e a impressão 3D

Tese apresentada
a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Doutor
em Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração
Design e Arquitetura

Orientador
Prof. Dr. Paulo Eduardo Fonseca de Campos

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL,
SOB RESPONSABILIDADE DO AUTOR E ANUÊNCIA DO ORIENTADOR.
O original se encontra disponível na sede do programa

São Paulo, 26 de setembro de 2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL DO AUTOR: gutomarinho@usp.br

S586d Silva, José Augusto Marinho
O design de calçados na (re)evolução digital. Proposta de uma metodologia para análise de desempenho de calçados femininos com foco no conforto do usuário, utilizando a modelagem virtual e a impressão 3 D / José Augusto Marinho Silva. -- São Paulo, 2016. 200 p. : il.

Tese (Doutorado - Área de Concentração: Design e Arquitetura) – FAUUSP.
Orientador: Paulo Eduardo Fonseca de Campos

1.Calçados (Design) 2. Ergonomia 3.Biomecânica do calçado
4. Método dos elementos finitos 5.Fabricação digital I.Título

CDU 7.05

MARINHO, José Augusto Silva. **O Design de Calçados na (Re)Evolução Digital: Proposta de uma metodologia para análise de desempenho de calçados femininos com foco no conforto do usuário, utilizando a modelagem virtual e a impressão 3D.** Tese apresentada a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

**DEDICO ESTE TRABALHO
AO MAIOR INVENTOR, MEU PAI *in memoriam*,
E À MAIOR GUERREIRA, MINHA MÃE.**

AGRADECIMENTOS

Ao final de um intenso trabalho como este, sinto-me orgulhoso de ter uma longa lista a agradecer:

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Prof. Dr. João Bezerra de Menezes, responsável por ter despertado o interesse pela ergonomia, por sempre ter sido uma das melhores referências de um profissional competente e dedicado, além de ter disponibilizado e creditado seu tempo para a orientação no início da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Avelino Alves Filho por ter proporcionado a realização de cursos teóricos sobre o método dos elementos finitos.

À MSC do Brasil por ter cedido a licença de uso do NASTRAN / PATRAN.

À minha modelo de pé “perfeito” Nicole Figueiredo Moreira.

Ao CTI Renato Archer, sem o apoio, jamais teria conseguido concluir com a qualidade alcançada.

Um agradecimento especial à toda a equipe da Divisão de Tecnologias Tridimensionais, que sempre foi muito atenciosa e prestativa, colaborando significativamente com o conteúdo científico da pesquisa, em especial:

Sr. Jorge Vicente Lopes da Silva

Eng. Pedro Yoshito Noritomi

e os assistentes,

Paula M. Kaneko, Daniel Takanori Kemmoku e Henrique Takashi Idogava.

Ao Eng. Tomaz Puga Leivas pela valiosa entrevista e pela apresentação da Profa. Dra. Júlia Maria D’Andréa Greve, responsável pelo Laboratório de Estudo dos Movimentos do HCSP, disponibilizando a tecnologia para os teste de baropodometria.

Aos companheiros docentes que gentilmente compartilharam seus valiosos conhecimentos para o incremento desta pesquisa:
Prof. M_{SC} João Braga, Prof. M_{SC} Miti, Prof. M_{SC} Eddy e Prof. E_{SP} Márcio Banfi.

À minha querida namorada M.Gily pela companhia, confiança e paciência nesses 2 anos e meio.

Ao meu irmão por ter me incentivado a seguir a carreira como designer, e continuar me inspirando.

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo Fonseca de Campos, por ter sido atencioso, profissional e ter dado todo o apoio sempre que necessário, com toda a clareza e segurança, assim como um exímio orientador..... meu Muito Obrigado!

IN OMNIA PARATUS

Pronto para Tudo

Resumo

MARINHO, José Augusto Silva. O Design de Calçados na (Re)Evolução Digital: Proposta de uma metodologia para análise de desempenho de calçados femininos com foco no conforto do usuário utilizando a modelagem virtual e a impressão 3D. 2016. 200f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

O design de calçados femininos de salto alto frequentemente tem características de projeto com foco no *styling* ao invés de projeto centrado no usuário, uma vez que a estética prevalece em relação ao conforto. No presente trabalho, desenvolve-se uma abordagem metodológica para o projeto de calçados, focado na melhor adaptação aos pés dos usuários, representados pelo universo das mulheres, com a característica do “sob medida”, visando principalmente o conforto. Como estudo de caso considera-se o calçado comercial, feminino e de salto alto. A metodologia consiste na utilização de simulação virtual para análise do desempenho, podendo prever possíveis falhas antes da produção em escala, principalmente pelos estudos dos fenômenos relacionados com as deformações dos materiais sofridas por cargas aplicadas, ou seja, tensão x deformação. A elaboração do modelo de análise ocorreu pela obtenção de dados de pressão plantar realizados em ensaios de baropodometria, utilizando palmilhas com sensores que medem as pressões instantâneas durante o passo. Os calçados selecionados foram cedidos por uma marca comercial conhecida e atuante no mercado brasileiro há mais de 30 anos, sendo modelos sociais, tipo sandálias e *scarpins*, considerados produtos de luxo. Três alturas de salto foram usadas nas medições, e para o mais alto deles, utilizou-se dois modelos, um de salto fino e outro de salto com base retangular. Essas medições são os dados de entrada para o *software* de análise pelo método dos elementos finitos. As forças aplicadas em uma palmilha virtual simulam as regiões dos picos de pressão obtidas pela baropodometria, caracterizando a distribuição da pressão plantar.

Essas análises podem auxiliar novos projetos de calçados, dando o suporte necessário para a idealização de soluções que proporcionem diminuir os picos de pressão, causando assim menor desconforto e maior adequação do projeto às características fisiológicas de cada usuário pela criação de palmilhas anatômicas e personalizadas, como sugere o resultado das análises. Uma vez que é utilizada uma metodologia que consiga prever o desempenho de um calçado antes da sua fabricação, são inúmeras as vantagens que podem auxiliar na otimização e melhoria dos calçados existentes, ao reduzir o tempo de desenvolvimento e os custos envolvidos, além de garantir a qualidade do produto. Tanto o design de calçados comerciais quanto conceituais analisado pelo método dos elementos finitos pode ser inspirado pelos resultados de desempenho, influenciando as escolhas de soluções que auxiliem na definição do melhor projeto. Ao final do trabalho foi desenvolvido um protótipo experimental de um calçado feminino de salto alto que reforçou a validação da pesquisa.

Palavras-chave: Calçados (Design); Ergonomia; Biomecânica do calçado; Método dos elementos finitos; Fabricação digital.

Abstract

Marinho, José Augusto Silva. 'The Footwear Design in the Digital (Re)Evolution' It's the proposal of a methodology for performance analysis of women's footwear focused on user comfort, using virtual modeling and 3D printing. 2016. 200f. Thesis (Doctoral) - School of Architecture and Urbanism, University of São Paulo, São Paulo, 2016.

The women's high heels shoes design has features of project focused on styling rather than the user, since the aesthetic overcomes confort issues. In this present research, a methodological approach has been developed, focused on the best adaptation to the user's foot on the Tailor-made characteristics, manly on confort. As a case study, here it has been considered the less confort common shoe as well as women high heel shoe. The methodology consists in the use of virtual simulation for performance analysis and can predict potential failures before the production of the products, particularly in the studies of phenomena related to the material deformation under a force applied, in other words, tension versus deformation. The elaboration of this analysis model has occured by the datas on plantar pressure. The selected shoes, such as sandals and scarpins, considered as luxury products, were provided by a commercial Brazilian bdand present in this market for over 30 years. These measurements are the input data for the finite elements method analysis software. The forces applied in a virtual insole simulate regions of pressure peaks obtained by baropodometry, characterizing the distribution of plantar pressure. These analysis should help new shoe designs to reduce the peaks, thus causing less discomfort and better adequacy of the design to the physiological characteristics of each user, with creation of a more anatomical and customized insoles. This methodology provides the advantage of predicting the footwear performance before the manufacture, reducing development time and involved costs, in addition to ensuring product quality. Both the commercial shoes and conceptual shoes design can be affected by the finite element method results, improving solutions to define the best confort design. At the end of this teshis, a conceptual prototype of a women's high heels is presented to validate the research.

Keywords: Footwear (Design); Ergonomics; Footwear biomechanics; Finite elements method; Digital fabrication.

Lista de Abreviações

ABERGO - Associação Brasileira de Ergonomia

ABICALÇADOS - Associação Brasileira das Indústrias de Calçados

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABS - Plástico Acrilonitrila Butadieno Estireno

ACV - Análise do Ciclo de Vida

ASSINTECAL - Associação Bras. de Empresas de Componentes para Couro, Calçados e Artefatos

ANSYS - *Analysis System*

CAD - *Computer Aided Design*

CAE - *Computer Aided Engineering*

CAM - *Computer Aided Manufacturing*

CIMODE - Congresso Internacional de Moda e Design

CTI - Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer

DT - *Design Thinking*

FAAP - Fundação Armando Álvares Penteado

FabLab - *Fabrication Laboratory*

FASM - Faculdade Santa Marcelina

FEMAP - *Finite Element Modeling software by Siemens*

FMEA - *Failure Modes and Effects Analysis*

FScan - *Foot Scanner*

HCSP - Hospital das Clínicas de São Paulo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBTeC - Instituto Brasileiro de Tecnologia do Couro, Calçados e Artefatos

INT - Instituto Nacional de Tecnologia

NASTRAN - *NASA Stress Analysis*

NBR - Norma Brasileira

PLA - Plástico Poliacido Láctico

SLS - Sinterização Seletiva à Laser

WEAR - *World Engineering Anthropometry Resource*

WEF - *World Economic Forum*

Lista de Figuras

Figura 1 - Modelos apresentados no Milan Design Week em abril de 2015. Fonte: United Nude (2015).....	26
Figura 2 - Escaneamento 3D do corpo do autor realizado no INT Rio. Fonte: Acervo do autor.....	39
Figura 3 - Imagens tridimensionais para o estudo antropométrico do idoso, realizado pelo INT Rio. Fonte: Acervo do autor.....	39
Figura 4 - Análise biomecânica da distribuição da pressão plantar na caminhada humana em um pé descalço sobre uma plataforma de forças. Fonte: IBTeC (2014).....	40
Figura 5 - (Continuação) Análise biomecânica da distribuição da pressão plantar na caminhada humana em um pé descalço sobre uma plataforma de forças. Fonte: IBTeC (2014).....	40
Figura 6 - Chapins utilizados na época do renascimento. Fonte: KEEFFE (1996).....	44
Figura 7 - Relação semântica entre os aspectos de desejo e necessidades. Fonte: Van Der Linden (2004).....	50
Figura 8 - Dados antropométricos do corpo masculino e feminino. Fonte: Henry Dreyfuss (1966).....	63
Figura 9 - Medidas do corpo humano e sua relação com alcances e referências em posições específicas da atividade corriqueira. Fonte: Henry Dreyfuss (1966).....	63
Figura 10 - Relação das diferenças proporcionais do corpo humano entre algumas etnias, Ergokit. Fonte: INT (1995).....	64
Figura 11 - Referência da SizeChina para a idealização das medidas das cabeças dos chineses para a criação de capacetes. Fonte: SizeChina (2016).....	64
Figura 12 - Comparação entre crânios da população chinesa e da população ocidental. Fonte: National Research Council of Canada (2006).....	65
Figura 13 - Arquivos e manequins referente a população chinesa. Fonte: SizeChina (2016).....	65
Figura 14 - Arquivos de cabeças digitalizadas da população chinesa. Fonte: SizeChina (2016).....	66
Figuras 15 e 16 - Representações de corpos femininos e masculinos, segundo classificação antropométrica apresentada. Fonte: <i>WEAR, World Engineering Anthropometry Resource</i> (2015).....	66
Figura 17 - Modelos virtuais e variáveis de medidas obtidos por estudo antropométrico. Fonte: Berwanger (2011).....	67
Figura 18 - Equipamento utilizado para a medição de pés. Fonte: INT Rio (2012).....	69
Figura 19 - À esquerda, representação do corpo descalço na posição vertical. Ao centro, projeção do corpo para a frente ao elevar o calcanhar 20 graus em relação à ponta do pé. À direita, compensação da projeção, o corpo assume curvaturas consideradas anormais, trazendo consequências que podem resultar em dores no quadril e na coluna. Fonte: Rossi (2001). Reprodução do autor.....	70
Figura 20 - Comparação entre um passo e uma passada e análise da marcha durante a fase de contato e balanço durante o caminhar. Fonte: (PERRY, 2005).....	72
Figura 21 - Contato inicial e resposta a carga. Fonte: (Perry, 2005).....	73
Figura 22 - Sequência de leitura do pé escaneado, obtida pelo 'PedCAT3D scanner, "limpando-se" as camadas até a verificação da estrutura óssea. Fonte: <i>Royal National Orthopaedic Hospital, Londres</i> (2013).....	74
Figura 23 - Avaliação tridimensional de uma usuária de salto alto. Fonte: <i>Royal National Orthopaedic Hospital, Londres</i> (2013).....	74
Figura 24 - Raio-X de pés utilizando calçado de salto alto. Fonte: Pinterest (2016).....	75
Figura 25 - Visita à clínica de palmilhas ITEMP, Dr. Vitor Tosi. Acervo Pessoal.....	76
Figura 26 - Exemplo de palmilhas ortopédicas com enchimentos específicos para tipos de pisadas distintos. Fonte: <i>Ortopedia Rozaulo</i> (2012).....	76
Figura 27 - Classificação dos pés pela baropodometria na avaliação postural. Fonte: ZIMMER e PRYSIEZNY(2005).....	77
Figura 28 - Classificação dos pés quanto ao tipo de pisada. Fonte: ZIMMER e PRYSIEZNY(2005).....	77
Figura 29 - Avaliação do tipo de pisada para recomendação do tipo de tênis. Fonte: MR Running SP (2013).....	77
Figura 30 - Perfis distintos para curvatura de palmilhas em calçados de salto alto e sua influência nas pressões verificadas pela baropodometria. Fonte: <i>The Science of Footwear</i> (2015).....	78
Figura 31- Análise dinâmica para calçados de alto desempenho. Fonte: Universidade de Loughborough (2006).....	80

Figura 32 - Sequência de imagens registrando as forças atuantes no pé e na perna em relação ao contato com o chão. Fonte: Universidade de Loughbourough (2015).....	80
Figura 33 - Sequência de imagens registrando as cargas atuantes no pé e perna antes e depois do contato com o solo, desenvolvidos em estudos científicos. Fonte: Universidade de Loughbourough (2015).....	80
Figura 34 - Registros de ideias para um projeto de sapato italiano. Fonte: Prada (2010).....	83
Figura 35 - Desenhos de detalhes do projeto de um tênis, com foco no solado, desenvolvidos em maquete virtual 3D. Fonte: New Balance (2010).....	83
Figuras 36 e 37 - Vistas ortogonais de um desenho técnico de solado e outro modelo com perspectiva ilustrada em vista explodida, com visualização das partes / componentes. Fonte: Bounce (2010).....	83
Figura 38 - Importação de desenho manual sobre a fôrma, linhas para destacar a modelagem e ilustração digital 3D. Fonte: Lectra Brasil (2009).....	84
Figura 39 - Designer trabalhando em uma mesa com caneta digitalizadora e imagem no <i>software</i> RomansCad. Fonte: Lectra Brasil (2009).....	84
Figura 40 - Escalonamento de um modelo de um tênis e planificação da modelagem com uso do <i>software</i> . Fonte: <i>ShoeMaster</i> (2009).....	85
Figura 41 - Encaixe de moldes de vestuário para corte e equipamento de corte digital, <i>plotter</i> . Fonte: Lectra Brasil (2009).....	85
Figura 42 - Modelos tridimensionais de calçados. Fonte: Via Uno (esq.) e Nike (dir.) (2012).....	86
Figura 43 - Modelo verão 2009, com a participação da arquiteta Zaha Hadid, em que fica nítida a utilização de <i>software</i> 3D para a solução da forma, e cuja aparência é uma marca evidente em seus trabalhos. Fonte: Melissa (2009).....	86
Figura 44 - Processo artesanal de um sapateiro da década de 60, com uso de bancada para cola e prego e máquina de costura. Ao lado, uma cena de um sapateiro do século XVIII, notando-se todo o processo, desde a retirada de medidas, corte, costura, colagem e acabamento. Fonte desconhecida.....	87
Figura 45 - Modelagem com uso de fita-crepe sobre a fôrma e planificação das partes de um calçado. Fonte: Choklat (2012).....	88
Figura 46 - Esquema de modelagem planificada. Fonte: Michelli Martucci (1975).....	88
Figura 47 - Fôrma de madeira ainda utilizada por sapateiros. Fonte: www.novohamburgo.org (2016).....	88
Figura 48 - Fôrma em torno digital e molde de solado usinado em fresa CNC. Fonte: Acervo pessoal.....	89
Figura 49 - Complexa matriz para injeção de botas de borracha (galochas), usinadas em torno CNC. Fonte: Acervo pessoal.....	89
Figura 50 - À esquerda, posto de trabalho de corte industrial da década de 60; ao centro, corte artesanal na Itália, em 2010, ambos com uso de navalha para corte. Na imagem da direita tem-se o uso de faca de corte e balancim para corte de palmilhas. Fonte: Choklat (2012).....	89
Figura 51 - Fábrica de costura dos anos 60; processos industriais de grande escala na China, e trabalho ilegal na China. Fonte: International Press Photo Contest (2006).....	90
Figura 52 - Célula de produção de calçados da marca italiana Gucci. Fonte: International Press Photo Contest (2006).....	91
Figuras 53 e 54 - Fábrica de calçados em 100 anos de evolução, de 1900 à 2000. Fonte: Joseph Cheaney & Sons (2012).....	92
Figura 55 - Equipamentos de captura digital de informações pertinentes a projeto de calçados, adaptados com sensores piezoelétricos na palmilha para determinação da pressão plantar e <i>scanner</i> de pés. Fonte: da esquerda para a direita, LeftShoeCompany, USA e Vroom, Canadá (2015).....	93
Figura 56 - Sequência de instruções para utilizar o aplicativo. Fonte: SunFeet (2015).....	94
Figura 57 - Utilização do aplicativo desenvolvido pela SunFeet para a captura de imagens do pé para a geração do modelo virtual, com o objetivo de encomendar palmilhas anatômicas sob-medida. Acervo pessoal.....	94
Figura 58 - Modelo parametrizado para a criação de bicicleta. Fonte: Medland e Mullineux (2000).....	95
Figura 59 - Projeto do Double Studio, Itália. Fonte: Alessio Spinelli (2015).....	95
Figura 60 - Simulação virtual de um <i>crash test</i> frontal em um chassi de automóvel. Fonte: TSystems (2002).....	98

Figura 61 - Protótipos físico e virtual de um <i>crash test</i> frontal a 65 km/h. Pode-se notar a veracidade da simulação digital quando comparada com o ensaio real. Fonte: TSystems (2002).....	98
Figura 62 - Análise do comportamento do conjunto de suspensão de um veículo. Fonte: TSystems (2002).....	98
Figura 63 - Desenho esquemático da medição do passo em plataforma de força. Fonte: Palhano (2013).....	101
Figura 64 - Gráfico obtido com a taxa de aceitação do peso da componente vertical da força de reação do solo, com primeiro e segundo pico de força. Fonte: Palhano (2013).....	101
Figura 65 - Plataforma de força e as componentes de força e momento Fz (força normal), Fx (força médio lateral), Fy (força anteroposterior), Mx (momento em torno do eixo X) e My (momento em torno do eixo Y). Fonte: Cavanagh e Lafortune (1980).....	102
Figura 66 - Força de Reação de Solo para diferentes velocidades de locomoção. Fonte: Barela e Duarte (2010).....	103
Figura 67 - Força de Reação do Solo para caminhada lenta e rápida. A linha tracejada diz respeito às amplitudes de forças horizontais que representam aproximadamente 15% da amplitude da força vertical em análises da marcha humana. Fonte: Cross (1999).....	103
Figura 68 - Modelo biodinâmico de um grau de liberdade. Fonte: Toso et al. (2012).....	103
Figura 69 - Modelo matemático da pisada estática humana. Fonte: Nigg (2010).....	104
Figura 70 - Modelo rígido de solado realizado em impressora 3D e minimodelo de calçado em impressão 3D com resina flexível. Fonte: material da disciplina AUP-5902, Estandartização Virtual: da linha de montagem à fabricação digital, Prof. Dr. Paulo Fonseca de Campos e Prof. André Fleury, FAU (2012).....	108
Figura 71 - Impressora 3D Cubify com área de impressão de um cubo com 51/2 polegadas de aresta. Fonte: Cubify 3D (2012).....	109
Figura 72 - Modelos de calçados impressos em tecnologia 3D. Fonte: <i>Continuum</i> (2012).....	110
Figura 73 - Modelo de calçado impresso em tecnologia 3D. Fonte: <i>Continuum</i> (2012).....	110
Figura 74 - Fotos do biquíni N12. Fonte: <i>Continuum</i> (2012).....	111
Figura 75 - (Continuação) Fotos do biquíni N12. Fonte: <i>Continuum</i> (2012).....	111
Figura 76 - Modelo de calçado em impressão 3D, <i>Morphogenesis</i> . Fonte: Pauline van Dougen (2010).....	112
Figura 77 - <i>Invisible Shoes</i> . Fonte: Andreia Chaves (2012).....	112
Figura 78 - Projeto de um calçado para atletas de corrida para aumento do <i>sprint</i> . Fonte: Luc Fusaro (2012).....	113
Figura 79 - Tênis Adidas com solado fabricado em impressora 3D. Fonte: Adidas (2015).....	113
Figura 80 - Trabalho de graduação da Universidade RMIT, Melbourne. Fonte: Amelia Agosta (2012).....	114
Figura 81 - Modelos de calçados com uso de impressão 3D. Fonte: Hoon Chung (2012).....	114
Figura 82 - <i>Melonia Shoes</i> , projeto acadêmico e pioneiro. Fonte: Naim Josefi e Souzan Youssouf (2010).....	114
Figura 83 - Calçado desenvolvido na escola Polimoda, Firenze, Itália. Fonte: Giulia Tanini (2012).....	115
Figura 84 - Fotos da coleção pioneira em 3D print, desenvolvida por nome renomado da alta costura. Fonte: Iris Van Herpen (2011).....	115
Figura 85 - (continuação) Fotos da coleção pioneira em 3D print, desenvolvida por nome renomado da alta costura. Fonte: Iris Van Herpen (2011).....	116
Figuras 86 e 87 - Dita Von Teese e seu customizado vestido. Fonte: Michael Schmidt e Francis Bitinti (2014).	116
Figura 88 - Projeto de calçado em impressão 3D. Fonte: Marieka Ratsma (2012).....	117
Figura 89 - (continuação) Projeto de calçado em impressão 3D. Fonte: Marieka Ratsma (2012).....	117
Figura 90 - Coleção de calçados com componentes em 3D print. Fonte: Anastasia Radevich (2012).....	118
Figura 91 - <i>Scorpion Shoes</i> . Fonte: Janina Allyne (2012).....	118
Figura 92 - <i>Reptile Shoes</i> e os três modelos juntos da coleção. Fonte: Janina Allyne (2012).....	118
Figura 93 - <i>Exoskeleton Shoes</i> . Fonte: Janina Allyne (2012).....	119
Figura 94 - iPhone Shoe. Fonte: Cubify 3D (2012).....	119
Figura 95 - Trabalho experimental de calçados. Fonte: Julian Hakes (2009).....	119
Figura 96 - (Continuação) Trabalho experimental de calçados. Fonte: Julian Hakes (2009).....	120
Figura 97 - Projeto premiado no <i>Drapers Footwear & Accessories Awards</i> . Fonte: Julian Hakes (2012).....	120

Figura 98 - Heavy Metal Shoes, fabricado com impressão 3D. Fonte: Bryan Oknyansky (2015).....	120
Figura 99 - <i>House Solar</i> . Fonte: FabLab do Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha, Barcelona (2010).....	121
Figura 100 - (Continuação) <i>House Solar</i> . Fonte: FabLab do Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha, Barcelona (2010).....	121
Figura 101 - Cortes (2009) e tubos (2012) idealizados para peças de mobiliário. Fonte: Sebastien Wierinck (2011)....	121
Figura 102 - Esquema de adaptação de extrusor para impressão 3D. Fonte: Dirk Vander Kooij (2010).....	122
Figura 103 - Projetos em 3D print por braço robotizado. Fonte: Dirk Vander Kooij (2010).....	122
Figura 104 - Reconstituição de mandíbula fabricada por impressão 3D, implantada em uma mulher de 83. Fonte: Biomedical Research Institute da Hasselt University, na Bélgica.....	123
Figura 105 - Amostras de materiais fabricados com impressão 3D testando desenhos estruturais diversos para verificação da resistência da peça. Fonte: www.lboro.ac.uk/microsites/enterprise/e2hs/technology/HSS/case-studies/robust-parts.html	125
Figura 106 - Representação do ensaio de tração e compressão em amostra fabricada por impressão 3D com conceito de metamateriais em escala nanométrica. Fonte: http://www.lboro.ac.uk/microsites/enterprise/e2hs/technology/advanced-mechanical-testing.html	125
Figura 107 - Peças fabricadas por impressão 3D em tamanho denominado <i>microprint</i> . Fonte: http://www.designboom.com/technology/nano-3d-printed-parts-made-with-micro-laser-sintering-technology-12-18-2013/	
Figura 108 - Pontos de controle da fôrma de calçados. Fonte: ABNT NBR 15159. Reprodução pelo autor.....	131
Figura 109 - Sequência de fotos demonstrando a utilização do <i>scanner</i> 3D portátil <i>Handyscan 3D EXAscan</i> , disponibilizado pelo CTI Renato Archer, para a captura das fôrmas do molde de calçado adquirido e da modelo de pé. Fonte: Acervo pessoal.....	135
Figura 110 - Vistas dos arquivos digitais gerados pelo <i>scanner</i> 3D do molde/fôrma 36 com salto 9cm e captura dos pés na posição descalço, relaxado e sob pressão do peso do corpo na posição do salto 9cm. Fonte: Acervo pessoal.....	135
Figura 111 - Visualização dos modelos tridimensionais dos pés e fôrma digitalizados no CTI Renato Archer. Observa-se que o arquivo da direita é a união da superfície do pé descalço sob um salto 9cm e a superfície inferior da fôrma. Fonte: Acervo pessoal.....	135
Figura 112 - Modelo de palmilha com sensores utilizada no teste de baropodometria. Fonte: Acervo pessoal.....	136
Figura 113 - Ensaio de baropodometria para obtenção da distribuição das pressões plantares em calçados femininos, realizados no Laboratório de Estudos dos Movimentos do Hospital das Clínicas de São Paulo. Fonte: Acervo pessoal.....	137
Figura 114 - Pressões máximas aferidas nos ensaios de baropodometria, utilizando o calçado com salto de 9cm, de modelo "salto fino". Fonte: Acervo pessoal.....	139
Figura 115 - Localização do contorno da palmilha com o posicionamento dos sensores de pressão, simulando a palmilha utilizada nos ensaios de baropodometria. Fonte: Acervo pessoal.....	139
Figura 116 - Pressões máximas obtidas no pé direito da modelo de prova, pelo ensaio de baropodometria realizado no HCSP, com medidas em kPa. Fonte: Acervo pessoal.....	140
Figura 117 - Calçados de salto alto de 9cm utilizados nos ensaios de baropodometria, apresentando dois modelos distintos de salto, sendo um tipo salto agulha e o outro com base retangular larga. Fonte: Acervo pessoal.....	141
Figura 118 - Imagem das médias dos picos de pressão obtidas no modelo de calçado com salto fino, tipo salto agulha, localizando o pico máximo de 923kPa. Fonte: Acervo pessoal.....	141
Figura 119 - Imagem das médias dos picos de pressão obtidas no modelo de calçado com salto de base retangular e larga, localizando o pico máximo de 762kPa. Fonte: Acervo pessoal.....	142
Figura 120 - Reprodução virtual de uma palmilha de um calçado feminino comercial com salto 9cm. À direita, superfície inferior da fôrma digitalizada como base para a criação da palmilha para os ensaios iniciais (linhas demonstradas no centro) e superfície com a projeção das centenas de sensores contidos na palmilha do ensaio de baropodometria, representada pela imagem à esquerda. Fonte: Acervo pessoal.....	149
Figura 121 - Volume de modelo plataforma, tipo anabela, criado a partir da extrusão das linhas de contorno da palmilha, com a localização das áreas correspondentes aos principais picos de pressão aferidos na baropodometria. Fonte: Acervo pessoal.....	150

Figura 122 - Visualização da unificação dos arquivos escaneados para a criação da palmilha anatômica. Fonte: Acervo Pessoal.....	150
Figura 123 - Definição da linha referente à altura da lateral da palmilha e construção geométrica da palmilha anatômica. Fonte: Acervo pessoal.....	151
Figura 124 - Modelo da palmilha anatômica com volume e localização das áreas das maiores pressões nas análises iniciais, mas servindo agora como local para restrições. Fonte: Acervo pessoal.....	152
Figura 125 - Resultados dos ensaios virtuais para a verificação do deslocamento total para os saltos 1, 4,5 e 9cm de altura (da esquerda para a direita, respectivamente) - <i>Total Translation</i> . Fonte: Acervo pessoal.....	156
Figura 126 - Resultados dos ensaios virtuais para a verificação das forças atuantes na vertical para os saltos 1, 4,5 e 9cm de altura (da esquerda para a direita, respectivamente) - <i>Normal Z</i> . Fonte: Acervo pessoal.....	156
Figura 127 - Resultados dos ensaios virtuais para a verificação do critério de falha de <i>Von Mises</i> para os saltos 1, 4,5 e 9 cm de altura (da esquerda para a direita, respectivamente). Fonte: Acervo pessoal.....	156
Figura 128 - Superfície gerada no ensaio de <i>Total Translation</i> no calçado com salto 9cm, em uma determinada faixa de tensão. Fonte: Acervo pessoal.....	157
Figura 129 - Superfície gerada no ensaio <i>Normal Z</i> no calçado com salto 9cm em uma determinada faixa de tensão. Fonte: Acervo pessoal.....	158
Figura 130 - Resultado referente à deformação total (<i>Total Translation</i> no FEMAP). Fonte: Acervo pessoal.....	160
Figura 131 - Resultado referente ao coeficiente de Von Mises. Fonte: Acervo pessoal.....	160
Figura 132 - Distribuição das tensões na estrutura com palmilha anatômica - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal..	160
Figura 133 - Distribuição das tensões na estrutura com palmilha anatômica - Vista isométrica interna. Fonte: Acervo pessoal.....	161
Figura 134 - Indicação de um ponto na malha com tensão inesperada, verificado e assumido como erro de leitura, desprezando-se o resultado do ponto - <i>Zoom</i> da vista superior. Fonte: Acervo pessoal.....	161
Figura 135 - <i>Isosurface</i> referente às tensões em Normal Z que sofrem algum efeito de compressão - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.....	162
Figura 136 - <i>Isosurface</i> referente às tensões em Normal Z que sofrem algum efeito de compressão - Vista isométrica externa. Fonte: Acervo pessoal.....	162
Figura 137 - <i>Isosurface</i> referente às tensões em Normal Z que sofrem algum efeito de compressão - Vista isométrica interna. Fonte: Acervo pessoal.....	162
Figura 138 - Inspiração principal para a criação do calçado conceitual. Fonte: Acervo pessoal.....	170
Figura 139 - Elaboração das linhas para a construção das superfícies inspiradas na imagem da <i>isosurface</i> selecionada. Fonte: Acervo pessoal.....	170
Figura 140 - Criação da parte inferior do calçado conceitual vistas com e sem a referência do pé. Fonte: Acervo pessoal.....	170
Figura 141 - Criação da parte inferior do calçado conceitual perspectiva inferior externa e superior interna. Fonte: Acervo pessoal.....	171
Figura 142 - Modelagem 3D com defeitos na elaboração dos planos. Além de espaços entre as superfícies criadas, a linha selecionada (amarela) não estava na posição ideal, devendo estar na intersecção das linhas azuis. O defeito foi percebido ao ser observado com <i>zoom</i> máximo. O vão maior representa uma medida desprezível de 0,04 mm, mas que pode comprometer análises posteriores. Fonte: Acervo pessoal.....	172
Figura 143 - Criação geométrica do formato celular utilizado pelo conceito dos metamateriais. Fonte: Acervo pessoal.....	172
Figura 144 - Intersecção das células geradas com o volume do calçado aplicando-se o conceito dos metamateriais. Fonte: Acervo pessoal.....	172
Figura 145 - Exemplo de construção geométrica em 3 dimensões, apresentando desencontro de planos, impossibilitando a utilização do modelo nas análises pelo método dos elementos finitos. Esse tipo de defeito deve ser corrigido para essa finalidade, mesmo que o vão represente valores semelhantes a 0,06 mm, como visto na imagem. Fonte: Acervo pessoal.....	173

Figura 146 - Exemplo de um modelo 3D (calçado conceitual) com certa complexidade em sua estrutura geométrica, a qual deve apresentar as intersecções de todos os planos devidamente unidas, sem vãos, antes de se exportar o arquivo para as análises de desempenho. Fonte: Acervo pessoal.....	174
Figura 147 - Tentativa inicial para proporcionar flexibilidade vertical à estrutura do calçado conceitual, mas descartada por apresentar fragilidade. Fonte: Acervo pessoal.....	174
Figura 148 - Volume para recorte final na região dos metatarsos, interseccionando com os recortes iniciais pela extrusão das células. Fonte: Acervo pessoal.....	175
Figura 149 - Detalhe do recorte obtido pela intersecção entre a extrusão das células e vão referente a proposta de flexibilidade. Fonte: Acervo pessoal.....	175
Figura 150 - Detalhe da aplicação do conceito de metamateriais na região do salto para proporcionar flexibilidade. Fonte: Acervo pessoal.....	175
Figura 151 - Modelo de tira única para idealização do cabedal. Fonte: Acervo pessoal.....	176
Figura 152 - Modelo final da divisão da tira em duas partes que não se interseccionam e estão fixadas apenas por um dos lados do calçado. Fonte: Acervo pessoal.....	176
Figura 153 - Resultado final do calçado conceitual <i>Ergo.Cyber.Shoes</i> . Fonte: Acervo pessoal.....	176
Figura 154 - (continuação) Resultado final do calçado conceitual <i>Ergo.Cyber.Shoes</i> . Fonte: Acervo pessoal.....	177
Figura 155 - Malha gerada para o modelo de calçado conceitual. Fonte: Acervo pessoal.....	178
Figura 156 - Resultado da análise de Total translation do calçado conceitual - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.....	179
Figura 157 - Resultado da análise de Total translation do calçado conceitual - Vista em perspectiva da lateral externa. Fonte: Acervo pessoal.....	179
Figura 158 - Resultado da análise de Total translation do calçado conceitual - Vista em perspectiva da lateral interna. Fonte: Acervo pessoal.....	179
Figura 159 - Resultado obtido na análise de Von Mises do calçado conceitual - Vista em perspectiva do lado externo. Fonte: Acervo pessoal.....	180
Figura 160 - Resultado obtido na análise de Von Mises do calçado conceitual - Vista em perspectiva do lado interno. Fonte: Acervo pessoal.....	180
Figura 161 - Resultado da análise na Normal Z do calçado conceito - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.....	181
Figura 162 - Resultado da análise na Normal Z do calçado conceito - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.....	181
Figura 163 - Resultado da análise na Normal Z do calçado conceito - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.....	181
Figura 164 - Corte. Fonte: Acervo pessoal.....	182

Lista de Gráficos e Tabelas

Gráfico 1 - Gráfico típico do passo de um pé com os dois picos de pressão. Reprodução do pesquisador.....	72
Gráfico 2 - Gráfico obtido pelo ensaio de baropodometria, com o auxílio do Laboratório de Estudos dos Movimentos do HCSP, com o passo escolhido que representa as médias obtidas pelo <i>software</i> utilizado, F-Scan Clinical. Acervo pessoal.....	138
Gráfico 3 - Gráfico correspondente a cada passo e os picos de pressão obtidos no modelo de calçado com salto fino, tipo salto agulha. Fonte: Acervo pessoal.....	142
Tabela 1 - Relação das medidas do tórax do público masculino com a classificação de tamanhos PP, P, M, G e GG. Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).	128
Tabela 2 - Relação das medidas da cintura do público masculino com a classificação de tamanhos PP, P, M, G e GG. Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).....	128
Tabela 3 - Relação das medidas do busto e da cintura do público feminino com a classificação de tamanhos PP, P, M, G e GG. Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).....	128
Tabela 4 - Relação das medidas do tórax e da cintura do público infantil com a classificação de tamanhos PP, P, M, G e GG. Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).....	128
Tabela 5 - Níveis de pressão em kPa para classificação de calçados segundo critérios de conforto. Fonte: ABNT NBR14836 (2011).....	130
Tabela 6 - Níveis de Percepção do Conforto de Calçados. Fonte: Norma ABNT NBR 14840 (2015).....	130
Tabela 7 - Níveis de pressão em kPa para classificação de calçados segundo critérios de conforto. Fonte: ABNT NBR14836 (2011).....	187
Tabela 8 - Análise dos resultados obtidos nas simulações virtuais em relação aos dados obtidos na baropodometria. Fonte: Norma ABNT NBR14836 (2011).....	188

SUMÁRIO

1. Introdução.....	21
1.1 Justificativa.....	24
1.2 Campo objeto, questão central e hipótese da pesquisa.....	27
1.3 Colocação do problema e premissas da pesquisa.....	29
1.4 Objetivos.....	29
1.5 Organização da tese.....	32
2 . Metodologia.....	35
2.1 Embasamento teórico.....	35
2.2 Base empírica.....	36
2.3 Formulação das conclusões.....	37
2.4 Participação em eventos, visitas técnicas e obtenção de parcerias.....	38
3 . Embasamento teórico.....	44
3.1 A percepção do valor simbólico dos objetos de desejo sob a ótica da história da moda.....	44
3.1.1 Styling e valor percebido competindo com a função do produto.....	49
3.2 Possíveis correlações entre as indústrias automotiva e calçadista.....	53
3.3 Contextualização do design para o projeto do produto.....	55
3.4 Ergonomia e biomecânica para o projeto de calçados.....	58
3.4.1 Definições e referências do conforto.....	60
3.4.2 Levantamento antropométrico.....	63
3.4.3 Biomecânica da postura e marcha humana.....	71
3.4.4 Relações entre a saúde da mulher e calçados de salto alto.....	74
3.4.5 Palmilhas ortopédicas e baropodometria para análise da pressão plantar.....	76
3.5 Criação, projeto e fabricação de calçados.....	82
3.5.1 A indústria calçadista e o meio ambiente.....	92
3.6 Tecnologias digitais viáveis para o design de calçados.....	93
3.6.1 <i>Scanner</i> 3D.....	94
3.6.2 Desenho CAD e parametrizado.....	95

3.6.3 Método dos elementos finitos: Análise e interpretação de desempenho.....	96
3.6.4 Impressão 3D e os metamateriais.....	107
4 . Base empírica.....	128
4.1 Normas ABNT como referência de conforto e antropometria para o design de calçados.....	128
4.2 Definição da modelo de pé e dos calçados para o ensaio de baropodometria.....	134
4.3 Procedimentos para os testes de baropodometria.....	137
4.4 Avaliação e análise dos resultados.....	139
4.5 Conclusões parciais.....	141
5 . Premissas para o design de calçados femininos de salto alto, confortáveis e sob medida.....	146
6 . Preparação das simulações computacionais: Metodologia e procedimentos.....	150
6.1 Desenho 3D - CAD e CAE.....	150
6.2 Situação de contorno.....	153
7 . Simulações computacionais realizadas e análise dos resultados.....	156
7.1 Simulações iniciais.....	156
7.2 Principais resultados e conclusões iniciais.....	158
7.3 Simulações e resultados finais.....	159
8 . Considerações e visão prospectiva.....	166
8.1 Projeto conceitual <i>Ergo.Cyber.Shoes</i>	169
8.2 Simulações Computacionais realizadas com o <i>Ergo.Cyber.Shoes</i>	178
8.3 Recomendações futuras.....	184
9 . Conclusões finais.....	192
10. Referências bibliográficas.....	197

INTRODUÇÃO



1. Introdução

As mulheres contemporâneas estão inseridas em um novo contexto socioprofissional, necessitando de calçados para as mais diversas ocasiões, incluindo a necessidade de melhorar sua apresentação em virtude de seus cargos na hierarquia corporativa. Com o crescimento da renda pessoal, há um conseqüente aumento no consumo. Somado a isso, pela facilidade de acesso à informação da vida atual, há um maior conhecimento sobre moda e quais são as principais tendências, forçando o mercado a evoluir em busca de resultados que possam atender o desejo individual de expressar cada estilo de vida.

A dinâmica atual é pautada pela necessidade constante de se ter estilos conforme cada ocasião social e profissional, sendo esses atributos decisivos para escolher e comprar um calçado. Uma série de exemplos que abordam esse contexto podem ser citados, mas como este trabalho não pretende abordar a complexidade contida no estudo da evolução e comportamento da sociedade, e mesmo sem citar trechos do livro ou discutir seu contexto, um dos principais autores estudados foi BAUMAN em seu livro *Modernidade Líquida* (2001), apontando a fluidez das mudanças da sociedade moderna, nas relações do indivíduo, trabalho, família e comunidade, onde o tempo e o espaço passam do concreto e absoluto para o líquido e relativo¹.

DRESCH e CAMPOS (2012) fizeram um levantamento sobre a importância do conforto e do design no consumo de calçados femininos com 2.458 mulheres, cujos resultados são apresentados em um modelo de pesquisa quantificada. Uma das principais referências estatísticas dos autores é a importância e a relevância da estética como atributo que agrega valor ao projeto conceitual do calçado desenvolvido para a conclusão da pesquisa.

A pesquisa foi apresentada no VI ENEC - Encontro Nacional de Estudos do Consumo, em 2012. Foram entrevistadas mulheres das classes A, B e C, de 15 a 54 anos, de seis capitais brasileiras - Porto Alegre, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília e Recife -, com 75,7% possuindo renda própria. Como principais resultados identificou-se que o design e o conforto são atributos indissociáveis, e que o calce/conforto, bem como o design, fazem parte dos três itens mais citados para o consumo de um calçado. Sobre o perfil de comportamento, notou-se significativa divergência entre as cidades pesquisadas: as gaúchas afirmaram ser discretas, clássicas e vaidosas, enquanto as cariocas se definem como extrovertidas, alegres, seguras, calorosas e também vaidosas. Paulistas são mulheres modernas, extrovertidas, confiantes e disciplinadas; já as mineiras são discretas, dóceis e vaidosas. No Recife, notou-se que as mulheres

¹ Torna-se importante a abordagem do comportamento do consumidor para o melhor entendimento e contextualização do tema, mesmo não havendo o objetivo de se aprofundar no estudo das bases conceituais de natureza sociológica, antropológica e filosófica, que pudesse caracterizar a passagem da pesquisa teórica para a prática do desenvolvimento do protótipo digital.

são mais satisfeitas com sua aparência e se preocupam menos com a vaidade; as pernambucanas se definem como práticas, extrovertidas e sentem prazer em passar a maior parte do tempo com a família. Por fim, no Distrito Federal, o perfil das mulheres foi definido como “descolado”, gostam e apreciam as novidades e os lançamentos da moda, buscando e valorizando a sua independência ao investir em educação e carreira profissional.

Na elaboração de um planejamento estratégico para o lançamento de novos produtos, faz-se necessário o detalhamento de diversas informações para especificar os objetivos e as ações necessárias para alcançar o resultado desejado. Esse tipo de informação de mercado fundamenta e dá suporte para a defesa de qualquer intenção de projeto. Nesse sentido, vale destacar algumas informações obtidas na pesquisa de DRESCH e CAMPOS (2012): 53,5% admitiram mudar seu estilo conforme a ocasião, por diversos motivos como ambiente/local, tempo/clima e humor; 66,7% afirmaram que seu estilo não pode ser representado por uma única marca. A valorização do design é mais expressivo nas classes mais altas, A1 e A2, mas independentemente da classe social, algumas marcas sempre foram consideradas como referência de moda. Quanto ao potencial de consumo, obteve-se uma média de 3,3 pares no inverno, chegando a mulheres que compraram 60 pares; e uma média de 3,7 pares no verão, com mulheres que compraram 70 pares. Quanto aos itens mais influentes para a compra de um calçado, o calce e o conforto lideram o *ranking* entre 10 atributos. A pesquisa também identificou que “...a comodidade dos pés está vinculada à qualidade do produto e ao calce que oferece, representado pelo ajuste do calçado ao pé”. Em segundo lugar aparece o material do calçado, seguido pelo design/estilo. 50% das mulheres não fazem planejamento de compra para calçados, e 51,4% compram mesmo quando não precisam; 67,7% compram produtos da moda e 57,7% compram mais de um par; 40,5% concordam com a frase “não me importo de pagar mais caro por produtos que estão na moda”; 47,8% não concordam que calçado seja mais importante que a roupa; 47,5% discordam que gostam de comprar calçados que as diferenciem do seu grupo social; 65% não compram produtos que suas amigas também possuam; 76,3% afirmam que valorizam mais o conforto do que o design de um calçado; 67,9% discordam que a marca do calçado é mais importante que o conforto.

Analisando alguns dados da pesquisa, pode-se observar que ainda existem poucas marcas que conseguem atender os anseios da mulher contemporânea, que as mulheres apresentam espontaneidade ao efetuar a compra, identificando a compra como “desejo de consumo”. Quanto maior a renda, maior a compra de calçados, mesmo quando não há necessidade, envolvendo muitos aspectos emocionais e psicológicos. Conclui-se também que o acelerado ciclo da moda ainda define muito do que é consumido; que a roupa ainda é prioridade em relação ao calçado, definindo o que deve ser comprado posteriormente; que o calçado é mais um item de inclusão no

grupo social do que discriminatório; que as consumidoras não gostam de se apresentar com *looks* iguais aos de suas amigas; que as mulheres da classe A1 têm preferência pela marca ao invés do conforto. É possível concluir que ainda é difícil encontrar um calçado que apresente o melhor conforto e o melhor design, suprimindo todas as necessidades e anseios da consumidora atual.

A preocupação com o conforto sempre fez parte da própria natureza humana, seja pela relação com os ambientes que habitamos, seja pelo relacionamento com objetos, máquinas e equipamentos. O calçado é um produto que pode ser considerado como extensão do corpo, uma vez que sua função de proteger os pés é característica única entre os acessórios de moda. Nesse sentido, o conforto é a principal premissa de projeto que deve ser considerada para o desenvolvimento de novos calçados. Quanto aos sistemas produtivos, basicamente a indústria se apropriou das técnicas artesanais que foram inicialmente utilizadas por sapateiros e adequaram-nas à produção em larga escala, sem interferir na essência do projeto, quanto ao uso de couros, tecidos, corte, costura, cola, prego e parafuso. Inspirando-se em outras tecnologias, como as vistas na indústria automotiva e na bioengenharia, vislumbra-se a oportunidade de adequar princípios e ferramentas exclusivamente relacionados com as tecnologias digitais disponíveis e em evolução para definir um novo método de criação de calçados.

Pela proposta inicial apresentada para o ingresso no programa de doutorado na FAUUSP, a hipótese estabelecida estava baseada na transferência de tecnologia da indústria automotiva para a indústria calçadista, considerando o estudo da ergonomia e da biomecânica para proporcionar o máximo de conforto para calçados, utilizando uma metodologia com base no uso das tecnologias digitais.

Apesar desse ser o principal embasamento teórico e empírico para a elaboração da pesquisa, teve-se a preocupação de não torná-la meramente uma aplicação das técnicas de engenharia para análise de desempenho, apesar de se considerar que já seria esta uma contribuição relevante para o setor calçadista. Há interesse em agregar abordagens pertinentes ao universo do design de produto, fomentando questionamentos necessários para a implementação de projetos coerentes e consistentes, que correspondam às aspirações dos consumidores, submetendo as criações às análises de desempenho com foco no usuário.

Conforme sugestões de especialista², um modelo comercial de uma plataforma de calçado feminino com um desenho, por exemplo, que apresente uma curvatura com raio 10mm, submetida a análise dinâmica para prever sua *performance* de uso sob certas condições de cargas, comparado com outro modelo de desenho que apresente outra curvatura com raio 12mm, já seria

² Prof. Dr. Avelino Alves Filho, proprietário da empresa NCE - Núcleo de Cálculos Especiais, em São Paulo, é um dos únicos autores nacionais a abordar os elementos finitos, é professor universitário e consultor da área. O autor da tese realizou cursos teóricos em sua empresa.

o suficiente para comprovar a eficácia desta ferramenta de análise digital, validando assim o experimento. Desse modo, seria uma demonstração puramente sobre a técnica utilizada, sem valorizar nenhum aspecto específico do design, focando unicamente na ferramenta de análise vinda da engenharia. Ou seja, seria uma abordagem puramente sobre técnicas da engenharia mecânica aplicadas ao design de calçados.

Portanto, agregar um valor ao projeto no que se refere à verificação da melhor solução para atender aos requisitos do usuário, explorando soluções conceituais e inusitadas com o auxílio da análise dinâmica computacional, verificando seu desempenho ao criar protótipos com tecnologias de impressão 3D, tudo isso faz com que a hipótese adotada nesta pesquisa ofereça uma abordagem baseada na transferência de conceitos e tecnologias empregados em áreas da engenharia automotiva³ e da bioengenharia⁴ para a indústria calçadista.

O empirismo é comumente empregado na criação e fabricação de calçados, sendo caracterizado pelo método da tentativa e erro a fim de estabelecer se o projeto é eficiente. A verificação de desempenho, por sua vez, é feita pela construção de protótipos físicos de calçados e pela análise dos modelos de prova. Esse processo envolve custos e prazos elevados, que podem ser otimizados pela aplicação do método aqui proposto, agregando ciência e tecnologias digitais para o projeto e a fabricação de novos calçados.

Como o mercado brasileiro ainda está muito centrado na cópia de modelos lançados por grifes estrangeiras⁵, verifica-se a predominância do empirismo sem base científica para a fabricação dos protótipos, apenas norteadada pela experiência e pelos critérios visuais, tendendo a manter os diversos problemas ergonômicos normalmente encontrados em calçados com salto alto, cujo público tem significativa responsabilidade no consumo dos cerca de 770 milhões de pares consumidos em 2014 (ABICALÇADOS - Associação Brasileira das Indústrias de Calçados, 2016). Seja pela fabricação convencional, seja por soluções de fabricação digital, é fato que o setor

³ Da engenharia automotiva adota-se unicamente a teoria e as referências de utilização dos *software* de análise pelo método dos elementos finitos, como NASTRAN, FEMAP e ANSYS, com os quais o autor teve um primeiro contato na realização do Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva ofertado pela Engenharia Mecânica da POLI/USP. Vale a pena destacar que houve um apoio da MSC, fornecedor do software NASTRAN, disponibilizando uma licença de uso por 18 meses sem custo ao autor.

⁴ Em relação à bioengenharia, o CTI - Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, em Campinas, é a instituição que fomenta todo suporte técnico para definir quais relevâncias da biomecânica devem ser consideradas, disponibilizando especialistas para gerar as análises por elementos finitos e, também, para produzir os protótipos com a tecnologia de impressão 3D. O pesquisador responsável e que deu apoio ao projeto foi o engenheiro Pedro Noritomi.

⁵ A verificação se dá pela experiência de 18 anos deste pesquisador como docente de design de acessórios de moda na FASM - Faculdade Santa Marcelina, além de ter prestado serviços de consultoria para a ASSINTECAL - Associação Bras. de Empresas de Componentes para Couro, Calçados e Artefatos, onde teve a oportunidade de conhecer diversas empresas da cadeia produtiva.

calçadista apresenta oportunidades e tem necessidade constante de inovações que intensifiquem critérios de conforto como premissa de projeto.

1.1 Justificativa

Pessoas com a “cabeça no lugar” só compram um sapato novo depois de assegurar que terão casa, comida e transporte (embora seja verdade que nem todos têm a cabeça no lugar). Por isso, o avanço da moda se dá aos saltos. Segundo a revista Exame (2014)⁶, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, as pessoas dobram seus gastos mensais com moda a cada degrau que sobem na escada social. Pesquisas apontaram que nas classes D e E quase todo o dinheiro é gasto em necessidades básicas, como moradia e alimentação. Sobram apenas R\$40,00/mês, em média, para roupas e acessórios. Quem passa para a classe C gasta, em média, R\$97,00. Na classe B, R\$202,00, e na classe A, R\$455,00 por mês. Em outras categorias de produtos, a diferença de gastos por faixa de renda é muito menor. Portanto, à medida que um país enriquece e as pessoas pulam de faixa social, um dos setores mais beneficiados tende a ser o de moda. É o que vem acontecendo no Brasil.

Quem mais ajudou nessa expansão recente foram as mulheres. Mais de 11 milhões delas entraram no mercado de trabalho na última década, o que impulsiona o setor por dois motivos.

Primeiro, e mais óbvio, porque têm mais poder aquisitivo e, como mostram as estatísticas do IBGE, mais disposição para gastar.

Segundo, porque elas passam a ter a obrigação de andar bem vestidas no dia a dia. Esse tipo de mudança teve impacto direto em nichos como o de produtos para cabelo. E está se repetindo no vestuário. Segundo pesquisas da consultoria Data Popular, as mulheres das classes D e E têm em média nove pares de sapatos em casa. Nas classes A e B, a média sobe para 20.

Outra pesquisa de mercado realizada com o apoio da ABICALÇADOS e denominada “Azimute720”, aponta que 80,4% das mulheres entrevistadas afirmam que se sentem mais sexy ao utilizar salto alto.

Como símbolo sexual, como objeto de desejo ou para suprir necessidades básicas do caminhar humano, o calçado apresenta significativa relação com o usuário, merecendo toda a atenção os novos projetos que visem solucionar as principais reclamações quanto ao conforto, e principalmente aquelas que incluem prejuízos à saúde devido a um longo período de uso, seja ele de algumas horas, vários dias, semanas ou meses.

⁶ LEAL, A. L. **A Moda que vale bilhões**. Revista Exame, São Paulo, n1, p. 34-45, 22 jan. 2014.

A participação do setor calçadista na economia nacional já seria suficiente para justificar diversos estudos, pesquisas, dissertações e teses sobre o tema, pois o usuário necessita de produtos mais confortáveis e adequados.

Considerando a utilização das tecnologias de fabricação digital, especificamente a impressão 3D, verifica-se que os materiais utilizados em algumas máquinas para a fabricação de produtos são o ABS, PLA e *nylon*, não sendo equivalentes visualmente nem similares aos acabamentos possíveis em couro, por exemplo. Sem dúvida que os calçados desenvolvidos atualmente em *3D print* fogem das formas habituais até então conhecidas e são verdadeiras experimentações, obras de arte, design, arquitetura e engenharia, mas deve-se considerar também os padrões de conforto quando se deseja inovar.

Na apresentação do embasamento teórico, diversos modelos de calçados fabricados com a tecnologia de impressão 3D serão analisados. Uma das marcas de vanguarda mais renomada que atualmente comercializa calçados conceituais impressos, United Nude, apresentou em abril de 2015 modelos de renomados criadores, artistas e arquitetos, como Zaha Hadid, carregados de questões quanto ao seu desempenho no caminhar e seu conforto, conforme representado pela figura 1. De fato que a impressão 3D proporciona diversas experimentações para novas concepções de calçados, mas acredita-se que as soluções de conforto devem evoluir na mesma proporção do avanço estético, sendo esta a principal abordagem da pesquisa.



Figura 1 - Modelos apresentados no Milan Design Week em abril de 2015. Fonte: United Nude (2015).

Sob o olhar da biomecânica, encontram-se em periódicos da área de Medicina pesquisas que também devem ser consideradas para o design de calçados, apontando que diversos aspectos podem influenciar na saúde da mulher além da altura do salto, tais como as variações de forma, consistência e material usado na fabricação dos componentes. WAGNER et al. (2007) constatou em voluntárias que usaram solados macios depois do uso de solados rígidos maior conforto referido, redução no edema e no impacto calcâneo ao final de apenas 2 horas de uso. Conforme apontam, “a ergonomia e condições de trabalho, referentes à postura (sentada, de pé e caminhando), tipo de calçado e dureza do solo, influem nos sintomas de cansaço, dor lombar e plantar. Essas queixas foram confirmadas a partir de dados eletromiográficos, que possibilitam a

análise muscular durante o movimento das pernas e da musculatura lombar paravertebral por meio de sensores de pressão e impacto instalados nos calçados. A pletismografia⁷ a ar (PGA) foi utilizada para evidenciar a correspondência das queixas de dor e fadiga em membros inferiores de trabalhadores que usavam calçados rígidos e em permanência ortostática prolongada, demonstrando que as queixas de fadiga estão associadas ao aumento do volume das pernas. A espessura e a dureza do salto também têm implicações ortopédicas, como na formação de esporões calcâneos”. Concluem que nem tudo no âmbito da saúde dos membros inferiores limita-se ao calçado usado, à característica do solo ou à posição do indivíduo; a velocidade da marcha, quando aumentada, eleva os picos de pressão plantar, e a constituição biofísica também interfere nas queixas de dor e fadiga, pois são mais comuns em indivíduos mais baixos ou com maior massa. Concluem ainda que o salto alto diminui a função de bomba muscular da panturrilha e que seu uso contínuo pode provocar situação de hipertensão venosa nos membros inferiores, sendo essa situação um componente primordial na evolução da doença venosa de estados de menor para maior gravidade clínica. A situação se agrava ao considerarmos a pesquisa de BERTONCELLO et al. (2009) que conclui que o uso de calçados de salto alto por mais de quatro horas diárias pode promover alterações de equilíbrio em mulheres jovens, além de retração muscular.

Sobre a influência postural do salto alto em mulheres adultas sob análise por biofotogrametria computadorizada, IUNES et al. (2008) indica que a frequência no uso de salto e o tipo de salto utilizado praticamente não modificam a postura estática das mulheres, sendo que a única característica diferente encontrada entre as mulheres que usam salto com frequência e as que não usam foi a projeção da cabeça mais a frente.

Segundo o ortopedista Dr. Fabiano Rebouças⁸, o uso excessivo de salto alto pode ocasionar ou agravar as varizes, as calosidades, os joanetes e proporcionar alterações posturais na coluna, levando muitas vezes a dores crônicas de difícil tratamento. Conforme a publicação no *Brazilian Journal of Physical Therapy*, a pesquisa de JUNQUEIRA, BARBOSA e BONFIM (2007) mostrou que o arco plantar em mulheres que utilizam com frequência calçados de salto alto apresenta curvatura elevada, podendo ocasionar processos degenerativos e/ou alterações posturais.

A preocupação com o conforto da mulher é o principal objetivo da pesquisa, que buscou utilizar os conceitos e as metodologias pertinentes ao universo do design de produto, da ergonomia e biomecânica, da engenharia mecânica para a análise de desempenho e das tecnologias de impressão 3D como método projetual de calçados. Esse é o processo de

⁷ Pletismografia venosa de membros é um exame para detectar insuficiência venosa e falha na bomba periférica (WAGNER et al, 2007).

⁸ Entrevista disponível em: <http://www.ortesp.com.br/website/index.php/artigos-e-entrevistas/144-entrevista-sobre-griscos-do-uso-excessivo-do-salto-alto-para-saude-da-mulherq>. Acesso em julho de 2015.

desenvolvimento da pesquisa e a justificativa principal para a escolha do tema é a preocupação com a saúde da mulher, usuária de calçados de salto alto.

1.2 Campo objeto, questão central e hipótese da pesquisa

Em uma breve explicação sobre os motivos pessoais que levaram à escolha do tema para o desenvolvimento desta pesquisa de doutoramento, salienta-se que durante a graduação em desenho industrial pela FAAP nos anos 1990, o pesquisador realizou estágio e iniciou sua carreira na empresa de consultoria e projetos em ergonomia ERGOTEC, motivo este de querer ser orientado pelo Prof. João Bezerra de Menezes, docente da FAUUSP e proprietário da empresa. Nessa ocasião pode compreender a importância do estudo da ergonomia para proporcionar o melhor relacionamento entre consumidores e produtos.

O envolvimento do pesquisador com acessórios de moda ocorreu no fim dos anos 1990, após iniciar a carreira como docente em faculdades com cursos de design e moda. Após quase duas décadas no ensino superior de design de acessórios de moda, pela experiência obtida como consultor da indústria de componentes de calçados, couros e afins por meio da ASSINTECAL, além da própria vivência em sala de aula, observando e se relacionando com usuárias de salto alto, foi construindo ao longo desses anos sua visão crítica e analítica quanto ao produto “calçado de salto alto”.

Nessa observação, idealizou diversas possibilidades para elaborar projetos inovadores para o setor calçadista, sempre com o questionamento sobre o conforto. Mais recentemente, após a conclusão do mestrado profissionalizante em Engenharia Automotiva, do departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 2007, teve a referência final para a proposta da tese de doutorado agora apresentada. É nesse contexto que se opta estudar o método dos elementos finitos como forma de análise de desempenho para a criação de novos calçados.

As principais vantagens das simulações virtuais estão relacionadas principalmente com a redução de custos e prazos. Com a utilização correta dessa ferramenta, tem-se a oportunidade de prever possíveis falhas do produto. Para o setor calçadista, há diversas vantagens na adoção desse tipo de *software*, como analisar a melhor adequação anatômica de componentes aos diversos biotipos de pés dos usuários, e definir quais são os melhores materiais para a sua fabricação, sem a necessidade da elaboração de protótipos físicos, gerando uma grande economia de tempo e redução no custo de novos desenvolvimentos de produtos. Em relação às normas que estabelecem parâmetros para homologar conforto e analisar resistências de materiais, os ensaios físicos também podem ser substituídos pelas simulações virtuais, agilizando todo o processo de

criação. Portanto, a formulação da hipótese considerada nesta pesquisa se dá pela transferência da tecnologia utilizada na indústria automotiva para prever virtualmente o comportamento dos automóveis. A finalidade é analisar virtualmente o comportamento dos calçados, antes de sua fabricação.

A principal motivação pessoal para propor a pesquisa para o programa de doutoramento na FAUUSP teve como embasamento as técnicas de análise de desempenho assistida por computador e os sistemas CAD/CAE/CAM⁹. A experiência como docente de design de moda e consultor da área de calçados fizeram-no acreditar em grandes possibilidades de sucesso ao propor esta metodologia de análise de desempenho, uma vez que há a verificação de oportunidades apontadas pelas necessidades do mercado e dos próprios consumidores.

Vislumbrou-se a possibilidade de contribuir para o setor calçadista, sendo esse o campo objeto da pesquisa, com foco nos modelos de calçados femininos de salto alto. O problema principal abordado é relativo ao conforto dos pés das mulheres e a melhor adequação dos calçados às diversas características anatômicas das usuárias.

1.3 Colocação do problema e premissas da pesquisa

Problema principal: Como melhorar a biomecânica do contato pé x solo?

O objetivo é baixar os picos de pressão de calçados femininos de salto alto. Por exemplo, ao aumentar a área de contato com um componente mais envolvente e um material flexível como um colchão de molas, distribuem-se as pressões nesse aumento da região, diminuindo, assim, os picos. PERRY (2005) nos mostra que normalmente a pressão frontal localiza-se na cabeça do 2º metatarso e atrás, no centro do calcanhar, um pouco deslocado para fora. Há uma linha de apoio entre esses dois pontos que percorre a lateral externa do pé, fazendo uma curva. Por essa razão, é comum não se desgastar o solado de calçados homogeneamente.

Se considerarmos a região de contato da sola do pé e melhorarmos a área fazendo com que haja um modo de envolver a parte inferior e que suba para as bordas laterais, desse modo deve-se ter uma diminuição de todas as médias das pressões distribuídas em todo o calçado, pois aumenta-se a área de contato e as pressões médias tendem a baixar. Nesse contexto, a utilização de palmilhas anatômicas podem proporcionar o resultado esperado.

Conforme será apresentado adiante, a pesquisa considera o projeto centrado no usuário, como uma das principais premissas do design de calçados. O conforto pode ser um

⁹ CAD/CAE/CAM significam *Computer Aided Design*, *Computer Aided Engineering* e *Computer Aided Manufacturing*, respectivamente - Desenho Assistido por Computador, Engenharia Assistida por Computador e Manufatura Assistida por Computador.

sinônimo de projeto centrado no usuário, e é parte indissociável desta pesquisa, que pode ser assim apresentada: projeto centrado na mulher usuária de salto alto com foco no conforto como critério de saúde e de bem-estar, promovendo assim a melhoria de sua qualidade de vida.

1.4 Objetivos

Diante do crescente desenvolvimento das ferramentas digitais para a criação de produtos, o embasamento teórico desta pesquisa está fundamentado na integração entre estudos de design de produto, ergonomia, biomecânica do calçado, bioengenharia, engenharia automotiva e larga escala. O objetivo principal é aplicar uma nova metodologia para a criação de calçados, com foco no projeto centrado na usuária de calçados femininos de salto alto, considerando características de calçados feitos sob medida, na busca de soluções para a obtenção de conforto. Salienta-se a utilização de tecnologias exclusivamente digitais em toda a abordagem metodológica aqui considerada.

Equipamentos digitais como *scanner* 3D, impressora 3D e *software* de engenharia para análise pelo método de elementos finitos são os recursos tecnológicos considerados para a fundamentação técnica do trabalho. O aprofundamento nas questões da biomecânica do pé humano para o projeto de calçados dá sustentação à modelagem virtual utilizada. Dados reais obtidos em ensaios de baropodometria para a captura das pressões plantares em calçados sociais femininos, com saltos de 1, 4,5 e 9cm de altura, são as informações utilizadas para criar o cenário das análises virtuais realizadas. Há uma delicada questão quanto à elaboração dos modelos virtuais e a conseqüente interpretação dos dados obtidos, devendo-se ter o total domínio dos fatores e fenômenos mecânicos envolvidos, especificando e inserindo todos os carregamentos, as restrições e as propriedades dos materiais, objetivando o correto entendimento dos resultados gerados pelo *software*. Havendo esse controle, as respostas das análises podem proporcionar valiosas informações sobre a biomecânica da marcha humana, influenciando assim o método projetual para a criação de calçados de um modo inovador, que considere as características anatômicas dos pés e a análise das reais necessidades de uso, na possibilidade de se verificar a propagação das tensões nos planos estruturais do calçado. Essas análises são feitas com o auxílio das imagens geradas pelo *software*, servindo como inspiração para atender ao máximo os requisitos que priorizam o conforto em um calçado, sem desconsiderar os valores atribuídos pelos anseios e desejos estabelecidos pelo *styling*¹⁰.

¹⁰ *Styling* é a expressão que designa ao desenvolvimento de imagens de moda, harmonizando o uso de peças do vestuário, acessórios de moda, joias, adornos, cabelo e maquiagem.

Com o objetivo de definir parâmetros para novos projetos de calçados, as informações devem conter referências para as questões de conforto físico, segurança, desempenho e estética, que correspondam às expectativas do mercado e dos consumidores, com o propósito de atender suas reais necessidades e desejos de consumo. Como a percepção do calce pode ser considerada subjetiva, definir as informações ideais para transformar em dados de análise virtual é uma delicada e específica tarefa, mesmo na adoção de simplificações para a elaboração de modelos digitais. Contudo, na busca pela ideal caracterização do pé humano, com as especificações da dinâmica da pisada sob o olhar da biomecânica e do design, além da possibilidade de explorar todo o universo dos materiais convencionais e inusitados, tanto para processos de fabricação usuais como inovadores, definiu-se como principal objetivo proporcionar conforto à mulher usuária de calçados de salto alto.

Para se alcançar o objetivo principal, os objetivos secundários estabelecidos foram:

- 1) Verificar os meios digitais para obter as características anatômicas do pé humano, como a utilização de *scanner* 3D, com a finalidade de realizar um projeto de calçado sob-medida.
- 2) Realizar teste de baropodometria para a aquisição das informações referentes as pressões plantares, sendo estes os dados para a geração dos modelos numéricos.
- 3) Desenvolver modelos matemáticos que simulem a pisada humana, com o propósito de submetê-los às análises de desempenho.
- 4) Interpretar os resultados para utilizar as informações das análises, com o objetivo de obter informações relevantes que possam conduzir a um projeto de calçado ergonomicamente satisfatório, uma vez que este deve proporcionar o máximo de conforto aos pés.
- 5) Como estudo de caso, foi desenvolvido um projeto experimental fabricado com o uso da tecnologia de impressão 3D. Esse novo modelo de calçado feminino de salto alto teve a finalidade de confrontar os dados obtidos pelas análises de desempenho com as informações coletadas no teste de baropodometria, auxiliando a confirmação da eficácia do método projetual utilizado.

Quanto ao desempenho do produto e sua relação com seu uso, a percepção do consumidor sobre a qualidade varia na proporção direta do grau em que a *performance* ideal ou máxima do produto seja alcançada. Entende-se como *performance* os fatores que cobrem as qualidades que os consumidores declararam esperar dos produtos (BAXTER, 2000).

Se por um lado a inovação é importante para todos os designers, é igualmente relevante reconhecer que nem sempre é possível gerar ideias inteiramente novas; apenas 5% dos novos produtos lançados no mercado a cada ano são considerados radicalmente novos. Em vez disso, a maioria dos novos

lançamentos representa pequenas variações sobre temas anteriores ou cópias de outras ideias. (MORRIS, 2010).

Vale a pena ressaltar que o contexto do novo aqui explorado é definido pela adequação do produto ao usuário, ou seja, a principal preocupação é gerar possibilidades de adequar novos calçados às características anatômicas de cada pé, estudando uma melhor acomodação na base (palmilha) para obter a melhor distribuição da pressão plantar, proporcionando, assim, a sensação de conforto físico. O conforto pode ser caracterizado de diversas maneiras, sob diversos aspectos, com efeitos psicológicos e físicos. Este trabalho considera o conforto como a sensação de ausência de dor ou qualquer outro tipo de incômodo que possa ser percebido pelo usuário do calçado com seu uso habitual.

1.5 Organização da tese

A presente pesquisa articula-se na interdisciplinaridade característica do design. Faz-se necessária a contextualização das grandes áreas que se encontram na pesquisa. A área da saúde é analisada sob o olhar da ergonomia e biomecânica para observar e propor meios que auxiliem a atribuição do conforto aos calçados femininos de salto alto. Nesse contexto, o design para a saúde surge como um design socialmente responsável e relacionado à melhoria de qualidade de vida.

O segundo capítulo apresenta a metodologia e os meios pelos quais foram alcançados os objetivos, apresentando o embasamento teórico e a base empírica para a realização da pesquisa. Os temas selecionados e a pesquisa técnica das tecnologias envolvidas definem a base teórica para sistematizar a metodologia proposta, relacionando as áreas do design com a moda e a engenharia mecânica. A base empírica da pesquisa contempla o estudo da biomecânica da marcha humana pelo teste de baropodometria, análise virtual pelo método dos elementos finitos e desenvolvimento de protótipo pela fabricação digital.

O capítulo 3 é referente à revisão bibliográfica para definir o estado da arte dos temas abordados, iniciando pela apresentação das considerações pelo crivo da história do design e da moda, como e porque surgem e surgiram os objetos de desejo. Tendências de moda e análise de comportamento do consumidor agregadas aos valores advindos da idealização de uma imagem de moda pelo estudo do *styling* auxiliam na construção de um pensamento de projeto focado nos aspectos de utilidade e satisfação pessoal física e psicológica. Ainda para criar o cenário inicial dos assuntos envolvidos, no capítulo 3 as particularidades do projeto de calçados são analisadas e apontadas em sua generalidade, desde as considerações para a criação até o projeto e a fabricação. Especificações para projetos sob medida, de alto desempenho e como se relacionam com o meio ambiente, incrementam o capítulo. Pela proposta de considerar o conforto como a principal razão do método projetual, o aprofundamento dos conceitos e das pesquisas

relacionados com a ergonomia e com a biomecânica dos calçados se faz necessário. Definir referências para estabelecer parâmetros de conforto também é o objetivo do capítulo 3.

A compilação das principais considerações empíricas para propor uma nova metodologia projetual para calçados é detalhada no capítulo 4. As etapas propostas estão focadas no projeto centrado na usuária de calçados femininos de salto alto, apontando como foram estabelecidos os modelos de calçados e as referências de tipo e tamanho do pé para as análises, descrevendo os modos utilizados para a captura digital dos pés e para a elaboração dos arquivos tridimensionais assistidos por *software* CAD. Os recursos tecnológicos envolvidos foram trabalhados sob o olhar crítico do design de produto com o objetivo de identificar as principais considerações para o projeto de novos calçados femininos de salto alto e confortáveis.

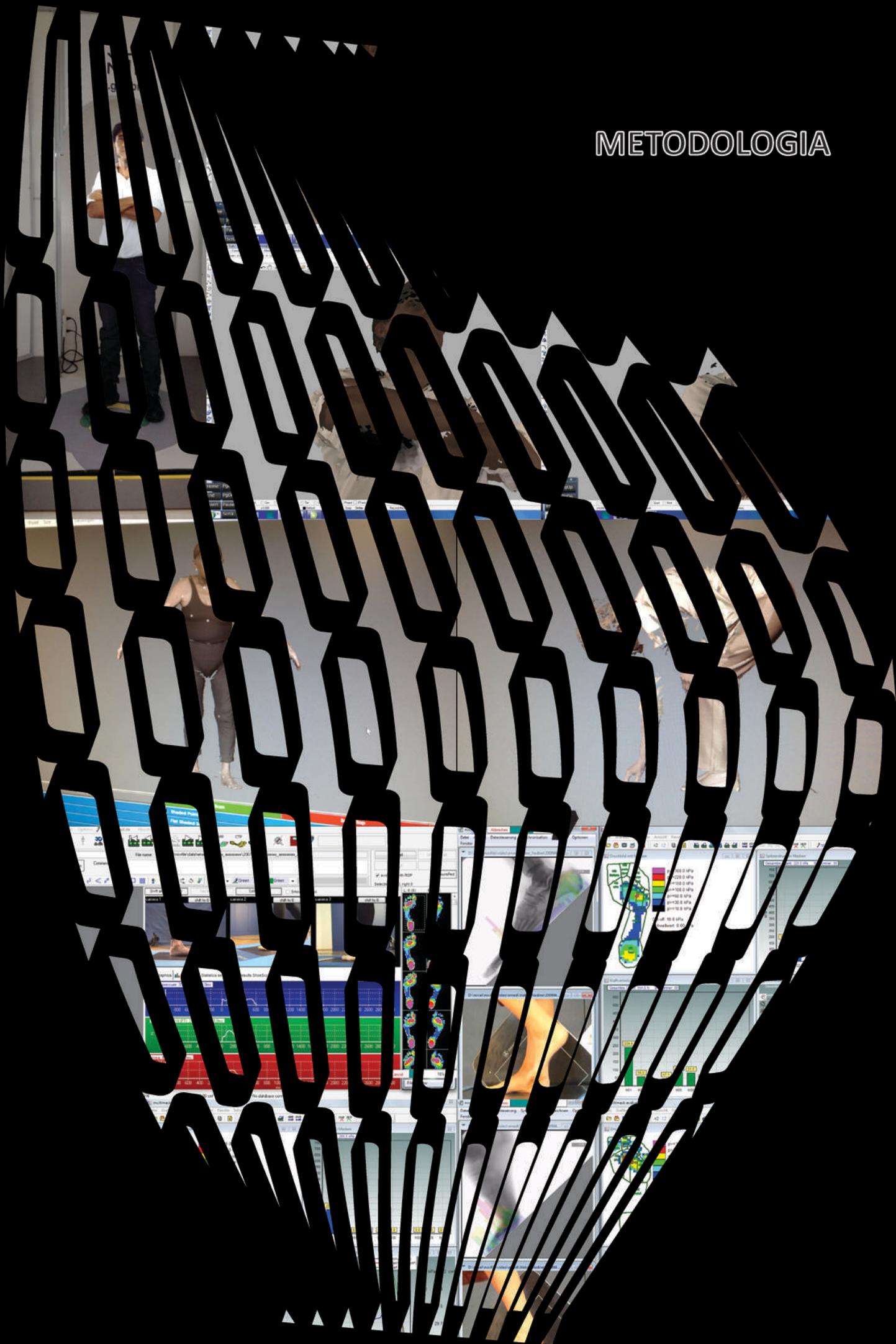
O capítulo 5 apresenta as principais considerações de projeto, sendo a principal premissa o projeto centrado no público feminino usuário de salto alto com foco no conforto, ou seja, almejando melhorar a qualidade de vida e a própria saúde das mulheres.

No capítulo 6 evidenciam-se os métodos e processos adotados como preparativos para os procedimentos dos ensaios pretendidos, como as considerações de carregamentos e restrições, fundamentais para a realização das análises.

O capítulo 7 apresenta os principais resultados e demonstra a eficácia da metodologia adotada, confirmando assim a hipótese considerada na pesquisa quanto às vantagens que podem ser obtidas pela implantação da metodologia proposta.

O trabalho é concluído com uma análise e considerações sobre as possibilidades futuras, sugerindo possíveis desdobramentos para a presente pesquisa. Ao final desenvolveu-se um projeto autoral de criação de um calçado feminino de salto alto. O capítulo 8 ilustra todo o percurso criativo e descreve passo a passo como as análises virtuais influenciaram nas escolhas dos caminhos para decidir quais as considerações que deveriam ser relevadas para atender o objetivo inicial, que é a criação de um calçado que minimize as percepções do desconforto. O comparativo das análises virtuais com as medições de baropodometria aferidas nos calçados comerciais comprovam a eficácia da metodologia proposta. Verifica-se que se pode obter redução significativa no desconforto de calçados de salto alto ao distribuir melhor as pressões plantares em palmilhas anatômicas, diminuindo assim o principal pico de pressão, localizado na região dos metatarsos. Apresenta-se também a proposta de um modelo de negócios que considera os meios de fabricação digital que possam atender os anseios e as necessidades de cada projeto “sob medida” e seu envolvimento com os processos de customização/personalização em larga escala.

METODOLOGIA



2 . Metodologia

Este capítulo tem como objetivo apresentar a compilação das informações que foram utilizadas para a implantação da metodologia proposta. Conforme apontado anteriormente, a fundamentação teórica e prática da pesquisa está apoiada nas tecnologias encontradas em equipamentos como *scanner* 3D e impressora 3D, além do uso de *software* de simulação de ensaios mecânicos para a análise e prevenção de possíveis falhas, normalmente visando o aumento de desempenho e a redução de custos. Os equipamentos e conceitos advindos da engenharia mecânica e automotiva para a utilização no método de projeto de calçados devem ser crivados pelo olhar do *designer*, atentando para as informações que possam inspirar a elaboração de formas estruturalmente resistentes, sem desconsiderar os aspectos estéticos que valorizem o produto.

2.1 Embasamento teórico

Pela abrangência do assunto e pela complexidade técnica envolvida, o terceiro capítulo desta pesquisa apresenta uma vasta revisão bibliográfica em que se busca definir conceitos e teorias, e a identificação de casos que sirvam como referência prática, definindo assim o atual estado da arte, sendo apresentado o embasamento teórico do trabalho. O levantamento bibliográfico dos temas selecionados e a pesquisa técnica das tecnologias envolvidas definem a base teórica para sistematizar a metodologia proposta. Inicia-se pelo estudo dos aspectos do design e da moda que influenciam no surgimento de produtos com apelo de desejo a fim de se entender e identificar os motivos para a criação de novos calçados. A pesquisa evolui no estudo das premissas do design de produto e sua potencial relação com o setor automotivo, considerando ainda o aprofundamento no estudo da ergonomia e da biomecânica dos pés para um melhor entendimento dos fatores fisiológicos, anatômicos e antropométricos relacionados aos pés, que possam auxiliar na criação de palmilhas e calçados confortáveis. O conhecimento técnico das simulações virtuais auxiliaram na definição da pesquisa necessária para se alcançar os resultados definidos no objetivo, principalmente o conhecimento das ferramentas de análise virtual de desempenho, advindas da engenharia mecânica. O estudo finaliza com a identificação do estado da arte da fabricação digital, sendo a tecnologia escolhida para a fabricação de um protótipo de calçado conceitual feminino de salto alto.

2.2 Base empírica

Conforme citado anteriormente, a base empírica da pesquisa está embasada unicamente por tecnologias digitais, e o processo de criação de calçados sob medida proposto está dividido em três etapas:

1) Estudo biomecânico da marcha humana deve considerar, especificamente, os picos de pressão na distribuição da pressão plantar no calçado. A obtenção de dados dessa distribuição deve se dar em ensaios de baropodometria, com a utilização de palmilhas sensoriais, uma vez que o uso de plataformas de forças é recomendado para a análise de pés descalços. A captura das características anatômicas dos pés do usuário deve ser realizada com a utilização de tecnologia de *scanner* 3D, sendo estas as informações iniciais fundamentais para a elaboração do modelo virtual.

2) Análise virtual pelo método dos elementos finitos, com *software* tradicionais empregados na área da engenharia mecânica, difundidos e consagrados na indústria automotiva, que possibilitam simular qualquer condição de uso de um produto. Com essa ferramenta de simulação digital, torna-se possível avaliar toda situação de desempenho que se queira, além de poder prever eventuais falhas. As análises elaboradas para a pesquisa fundamentam-se na ciência da biomecânica dos pés, sempre com a principal preocupação centrada no conforto de calçados, sintetizada nos dados de pressão plantar e suas relações com as forças de reação do solo. As análises estão direcionadas para a obtenção de uma melhor distribuição da pressão plantar, com foco em diminuir os picos de pressão. O ambiente virtual para as análises teve um importantíssimo suporte e auxílio teórico-prático do CTI - Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, onde as principais análises foram realizadas.

3) A tecnologia de fabricação, também de cunho digital, vem ao encontro dos novos avanços conseguidos pelo emprego da impressão 3D. As impressões tridimensionais para a pesquisa também tiveram apoio do CTI Renato Archer. Dois fatores, apresentados a seguir, justificam o emprego dessa tecnologia. Um calçado convencional é constituído por diversos componentes, que envolvem dezenas de operações industriais, com um grande número de fabricantes e fornecedores, assim como ocorre no setor automotivo. Sintetizar um calçado em apenas uma peça ou em um número mínimo de partes reduz processos produtivos e ambientalmente oferece um atrativo inquestionável, uma vez que diversas intervenções ambientais simplesmente não serão mais necessárias, se considerarmos um cenário que hoje se agrava pelos altos índices de poluição apresentados pelo setor calçadista, segundo constatado pela Câmara Ambiental da Indústria de Couros, Peles, Assemelhados e Calçados da CETESB - Companhia Ambiental de São Paulo. Apesar de, atualmente, já fazer parte de projetos

apresentados por grifes de alta costura, o *styling* insiste em prevalecer em relação à ergonomia, principalmente em calçados de estilo social. Apoiadas nas técnicas da engenharia automotiva, e com os devidos estudos biomecânicos da marcha humana, vislumbra-se a obtenção de informações que poderão e deverão influenciar a criação de calçados centrados no conforto e na adequação aos diversos biotipos dos pés dos usuários, ou seja, o objetivo prevê a obtenção de formas arrojadas, inusitadas e com grande apelo estético, assumindo a obrigatoriedade de apresentar a melhor acomodação dos pés, proporcionando a maior sensação de conforto possível para calçados femininos de salto alto.

Algumas entrevistas foram realizadas contribuindo significativamente para o entendimento dos temas pesquisados. Da área da saúde, além das conversas informais, houve o depoimento do ortopedista Dr. Rodrigo Stuginski do Hospital Santa Catarina, e da Dra. Júlia Maria D'Andréa Greve e do engenheiro Tomaz Puga Leivas, ambos do Hospital das Clínicas de São Paulo. Da área do design e da moda, renomados professores compartilharam seus conhecimentos, com seu senso crítico sobre o paradigma entre o desejo e o conforto ao longo da história e como se enquadra nos tempos atuais, são eles: Prof. M_{SC} João Braga, Profa. M_{SC} Mitsuko Shitara (Miti), Prof. E_{SP}. Márcio Banfi e Prof. M_{SC} Auresnede Pires Stephan (Eddy).

2.3 Formulação das conclusões

Para cada finalidade de investigação, a definição correta da ambientação é de suma importância para gerar os resultados pretendidos, ou seja, parte do sucesso das análises está diretamente relacionada ao modo como o modelo será submetido às simulações dos esforços aplicados, e como as forças foram aplicadas e quais suas respectivas restrições.

São requeridos conhecimentos das propriedades dos componentes, tais como espessura, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson¹¹, densidade de massa, entre outras. Conhecendo-se o carregamento atuante na forma de forças, pressão, cargas gravitacionais, e as condições de fixação da estrutura, pode-se determinar as regiões mais solicitadas ao componente, estabelecendo-se previsões a respeito do seu comportamento, conforme aponta ALVES F (2005).

Além dos gráficos, animações em vídeo também podem ser geradas, facilitando o entendimento dos esforços sofridos e sua devida interpretação.

Vale a pena salientar que, após a modelagem 3D, com a inserção das informações para elaborar a situação de contorno, mesmo com os gráficos e vídeos gerados, é de fundamental

¹¹ Coeficiente de Poisson é a razão entre a deformação transversal e a deformação longitudinal.

importância sua correta interpretação, objetivando prever com exatidão quais aspectos seriam apresentados por um modelo físico real.

Após a simulação digital, deve-se prototipar os modelos de calçados selecionados pelas análises virtuais, objetivando experimentá-los posteriormente no teste de pressão plantar. Esses ensaios com os protótipos físicos devem ser confrontados com os dados obtidos na análise pelo método dos elementos finitos, validando e comprovando assim a eficácia dessa ferramenta de projeto.

Os simuladores de esforços de produtos estão referenciados às solicitações das suas determinadas utilizações. Para saber das solicitações nos veículos e construir testes físicos de desgaste acelerado, as montadoras utilizam uma série de veículos rodando pelo país, no que eles consideram situações típicas, carregados de equipamentos de leitura do esforço real. Para os calçados, deveria-se mapear quais são os usos e pisos típicos, e os respectivos esforços impostos pelos usuários, mas esse tipo de análise ainda não foi considerada.

2.4 Participação em eventos, visitas técnicas e obtenção de parcerias

Desde o ingresso no programa de doutoramento, o pesquisador participou de eventos científicos relacionados ao mercado de moda, nacionais e internacionais, apresentando palestras sobre as etapas do desenvolvimento da tese, como no I e II CIMODE (Congresso Internacional de Moda e Design), realizados em Portugal (2012) e Itália (2014), respectivamente, e no Colóquio de Moda, realizado em Curitiba em 2015. Como ouvinte participou do VIII Simpósio Brasileiro da Biomecânica do Calçado, realizado em Novo Hamburgo, RS. Como um registro dos eventos futuros, no início de 2016, época do depósito desta tese, recebeu a confirmação do aceite para participar como palestrante no 18º Congresso Brasileiro de Ergonomia e no II CIMODE, além de ter enviado outros artigos para a participação no I Congresso Internacional/VII Workshop: Design & Materiais 2016, no IX Simpósio Brasileiro da Biomecânica do Calçado e no 12º P&D Design - Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design.

Retornando ao começo da pesquisa, visitas importantes foram realizadas para intensificar a pesquisa de campo. No INT - Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro, a coordenadora Cristina Zamberlan proporcionou acesso ao Laboratório de Ergonomia (LABER), sendo possível conhecer e operar o escaneamento 3D do corpo humano (figura 2). Há diversos projetos com avaliações e diagnósticos ergonômicos, e um deles contempla, por exemplo, o estudo das variáveis e dos principais movimentos dos idosos em tarefas domésticas (figura 3), a fim de

proporcionar referencial para projetos de design de interiores, prevendo a melhor relação do usuário com móveis e instalações residenciais.



Figura 2 - Escaneamento 3D do corpo do autor realizado no INT Rio. Fonte: Acervo do autor.



Figura 3 - Imagens tridimensionais para o estudo antropométrico do idoso, realizado pelo INT Rio. Fonte: Acervo do autor.

Percebe-se que há uma limitação para a captura das imagens, uma vez que as superfícies com sombras e cabelos escuros não são capturados pelo equipamento.

O IBTeC, Instituto Brasileiro de Tecnologia para Calçados, sob os cuidados do Dr. Aluísio Avila, conta com um laboratório de estudos da biomecânica dos pés, oferecendo diversos serviços de análise para o setor industrial, além de certificar o conforto de calçados segundo as normas ABNT. Inicialmente obteve-se alguns dados sobre a pressão plantar para as primeiras simulações virtuais. Mas como tratava-se de dados confidenciais, não foi possível obter as características tanto do calçado quanto da usuária, inviabilizando a evolução das simulações. Sendo assim, optou-se pela medição própria, para garantir a qualidade pretendida.

As imagens e os gráficos apresentados nas figuras 4 e 5 representam o tipo de informação disponibilizada pelo IBTeC. O estudo apresenta características da dinâmica da passada humana em um pé descalço.

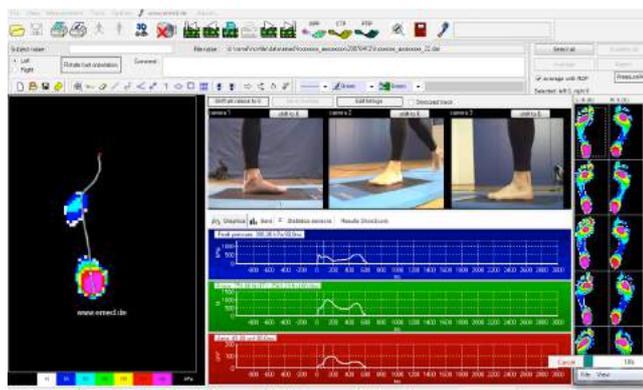


Figura 4 - Análise biomecânica da distribuição da pressão plantar na caminhada humana em um pé descalço sobre uma plataforma de forças. Fonte: IBTeC (2014).

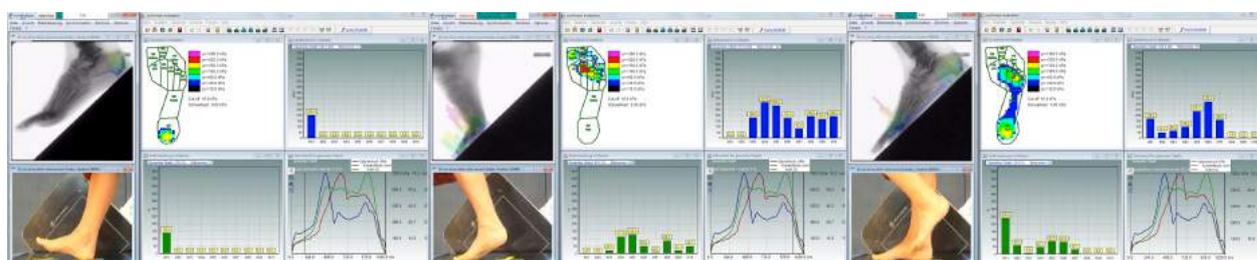


Figura 5 - (Continuação) Análise biomecânica da distribuição da pressão plantar na caminhada humana em um pé descalço sobre uma plataforma de forças. Fonte: IBTeC (2014).

Existem pessoas e entidades competentes que se interessam em ajudar trabalhos de graduação, mestrado e doutorado, assim como o CTI (Centro de Tecnologia da Informação) Renato Archer, localizado em Campinas, SP. Em uma visita organizada pelo Prof. Dr. Paulo Fonseca, que veio a ser o posterior orientador em razão da aposentadoria do Prof. Dr. João Bezerra, foi possível aproveitar a excelente oportunidade de conhecer esse grande parque tecnológico. Como um dos trabalhos ali desenvolvidos envolve o estudo da bioengenharia e da biomecânica humana, obteve-se a chance de ter um suporte teórico e prático, fundamentais para a realização desta tese, garantindo a qualidade desejada e necessária para o sucesso do estudo em questão. Com o aval do Sr. Jorge Vicente Lopes, chefe da Divisão de Tecnologias Tridimensionais do CTI de Campinas, o acesso foi possibilitado. O acompanhamento e a supervisão do Sr. Pedro Noritomi, responsável pelos serviços tridimensionais, contribuíram significativamente para a realização das análises por elementos finitos, assim como para realizar a fabricação do protótipo pelo uso da tecnologia de impressão 3D. Outro valioso serviço prestado foi a utilização do *scanner* 3D para a captura do modelo do pé feminino, referenciado neste trabalho.

Assim como efetivada a parceria com o CTI Renato Archer, em pesquisas realizadas para encontrar meios de efetuar as medições de baropodometria, houve a realização de uma entrevista com o engenheiro Tomaz Puga Leivas, o qual contribuiu com excelentes informações sobre o aspecto amplo do conforto de calçados. Nessa ocasião, soube-se que o Hospital das Clínicas de

São Paulo (HCSP) tem um laboratório de Estudos dos Movimentos, supervisionado pela Profa. Dra. Júlia Maria D'Andréa Greve, onde o pesquisador teve a oportunidade de realizar os ensaios de baropodometria pretendidos.

Apesar de ter feito o primeiro contato com o *software* de elementos finitos em uma disciplina no mestrado em engenharia automotiva, as informações recebidas não foram suficientes para dominar o programa, uma vez que a disciplina oferecida era apenas teórica. Na época do estudo, quando foi preciso procurar maior conhecimento, este foi encontrado junto a um dos poucos autores nacionais de livros sobre elementos finitos, o Prof. Dr. Avelino Alves Filho, que gentilmente proporcionou a oportunidade de cursos complementares, mas ainda assim teóricos. Sem dúvida esse apoio inicial foi fundamental para o desenrolar da tese.

3 . Embasamento teórico

Assim como mencionado, para o desenvolvimento da pesquisa tornou-se necessária uma revisão extensa das informações disponíveis no mercado principalmente sobre a produção científica. A revisão bibliográfica foi dividida em partes específicas sobre o surgimento e a evolução dos objetos de desejo e sedução sob a ótica da história da moda, conceitos do design, criação e fabricação de calçados, tecnologias do setor automotivo, ergonomia e biomecânica dos pés, técnicas de simulação virtual e impressão 3D.

3.1 A percepção do valor simbólico dos objetos de desejo sob a ótica da história da moda

Como o objetivo não é aprofundar em dados ou fatos históricos, mas identificar as razões pelas quais um produto passa a ser um ícone ou objeto de desejo e como isso pode influenciar os novos projetos, torna-se necessário o estudo do contexto histórico da vestimenta e os correspondentes hábitos de consumo, objetivando o entendimento dos fatores que levam ao comportamento do consumidor feminino, e como isso se relaciona com as ações decisórias para efetuar a compra de um calçado.

Historicamente, o calçado não foi inventado por uma pessoa específica, mas pela necessidade de dar proteção aos pés. Segundo o Prof. M_{sc}. João Braga¹², usa-se a vestimenta por três motivos: por pudor, por adorno ou por proteção. Além de proteger, segundo o ponto de vista teológico, a roupa tem a função de cobrir o corpo em razão do pudor, para obedecer a Deus. Do ponto de vista científico, o homem cobre o corpo por adorno ou por proteção. Complementa, ainda, observando: "...como a História é uma ciência e as ciências precisam de comprovação, acredita-se que se tenha colocado alguma coisa no corpo por adorno mais do que por proteção. O adorno restou nos sítios arqueológicos, por ser fabricado de pedras, metal, osso, entre outros materiais que apresentam certa durabilidade, bem maior que uma roupa, sendo esta feita de fibras ou peles animais, que se decompõem facilmente. O adorno foi comprovado porque conseguiu restar ao longo do tempo. Como o processo civilizatório se deu em locais com predominância do clima quente e o homem precisa se proteger mais do frio do que do calor, acredita-se que a roupa surgiu mais por adorno do que proteção". E ressalta: "...destacar-se uns dos outros é inerente à própria condição humana." Sob essa ótica, o calçado também faz parte da indumentária, uma vez que tudo que se coloca sobre o corpo pode ser assim chamado.

Quanto às definições e origens, e ao uso da sedução, observa-se que uma das premissas em seduzir, se não a maior delas, é exatamente cobrir o corpo. "Cobre-se o corpo com a intenção

¹² Prof. M_{sc} João Braga também é autor de significativos títulos sobre moda, além de pesquisador da história da indumentária e da moda.

de descobri-lo, seduzindo com aquilo que é velado, aquilo que é escondido, para suscitar o direito de querer ter posse sobre aquele corpo”, aponta o Prof. M_{Sc.} João Braga, complementando que “...velar o corpo é muito mais sedutor do que deliberadamente mostrá-lo”. Quando se pensa em um modelo de calçado feminino, cada época possui um referencial de sensualidade, sem levar em conta o conforto, pois as características são muito peculiares desde os povos antigos até o século XXI. Ao considerar o desejo de modificar o corpo com algo mais sensual, representativo ou imponente, por exemplo, tem-se indícios do surgimento dessa prerrogativa desde a virada do século XIV e XV, segundo os professores entrevistados João Braga e Miti¹³. É a época em que ocorre o Renascimento, originado na Itália, onde encontravam-se modelos de calçados denominados *chopine* ou *chapin*, em francês, que tinham plataformas altas com a finalidade inicial de proteger o próprio calçado (figura 60). Na Idade Média não havia o conceito de sensualidade, pois Deus era o centro de tudo, sendo o pensamento teocêntrico predominante, diferente do período do Renascimento, em que o pensamento torna-se antropocêntrico, estando o homem no centro do universo, “...mesmo que Deus não tenha sido esquecido, mas valorizado pela sua imagem e semelhança, surgindo assim o conceito de moda, justamente nessa virada da Idade Média para a Idade Moderna, em função do homem querer se diferenciar dos demais”, segundo o Prof. M_{Sc.} João Braga. Os pés masculinos sempre foram mostrados, enquanto que os femininos sempre foram cobertos, dificultando identificar nos registros históricos que tipo de calçado uma mulher estava usando em pinturas ou esculturas, por exemplo, podendo ser percebido algum tipo de modelo de salto, alguma cor ou ponta do calçado. Segundo a Profa. M_{Sc.} Miti, no Renascimento, quando a apresentação do corpo não é mais satisfatória, o calçado também não é.



Figura 6 - Chapins utilizados na época do renascimento. Fonte: KEEFFE (1996).

¹³ Profa. M_{Sc.} Mitsuko Shitara (Miti) é mestre em História Social pela PUC/SP.

Evidenciado por ambos os professores, João Braga e Miti, a partir do século XVI, para assumir uma postura mais longelínea, o corpo passa a ser elevado pelas altas plataformas dos novos calçados, a fim de fazer a pessoa ser destacada perante a sociedade, tornando essa uma característica da monarquia. Os vestidos acabaram sendo alongados para cobrir os pés, e a plataforma deveria ser alta o suficiente para proteger a barra dos vestidos, para não molharem ou sujarem, alongando cada vez mais a figura da pessoa. Pela dificuldade para caminhar e se equilibrar sobre essas plataformas, era preciso ter sempre alguém para segurar a mão da dama. Era também um motivo para assegurar que a dama não fosse tentada a se aventurar fora do casamento, uma vez que precisava estar constantemente rodeada dos serviçais. Essa dificuldade impunha um passo diferente, um rebolado diferente, que criava um diferencial ligado à sedução. Somente no século XIX os pés femininos, segundo os historiadores, começam a ser muito cobiçados, ou seja, ver o pé feminino causava um *frisson* tremendo. Há indícios de que os podólatras¹⁴ tenham surgido nessa época. Mais do que a cintura fina, mais do que o decote e o seio voluptuoso, mais do que os braços desnudos, no início do século XIX, segundo a Profa. M_{sc.} Miti, o que mais interessava aos homens eram os pés femininos.

Desde o início da Era Moderna, pode ser dito que o pé feminino de tamanho pequeno sempre representou uma mulher que não trabalhava, e os pés avantajados eram característicos das escravas e operárias. Assim, os pés pequenos representavam um grupo de elite, referente à burguesia da época.

Na virada do século XIX para o século XX, durante o movimento da *Belle Époque*, nunca o corpo foi tão comprimido, com a cintura “ideal” em torno de 40 cm, podendo chegar a 35 cm, segundo relato da Profa. M_{sc.} Miti, entrando em moda a referência do pé chinês, que podia chegar a medir 8 cm de comprimento em razão da compressão causada pelo uso de modelos menores que os pés, causando-lhes atrofiamento. Para alguns, esse era um padrão de beleza e um fetiche, além de um impedimento para que as mulheres não pudessem fugir.

Historicamente, começaremos a ver o surgimento do salto a partir do século XVI. Segundo relato dos professores, Luís XIV tinha baixa estatura, e como ninguém poderia ser mais alto do que o soberano, criou o salto modelo Luís XIV. Seu sucessor, Luís XV, continuou a utilizar o salto Luís XIV, e tanto homens como mulheres usavam, virando assim um ícone da moda local. Já na China, no século XVIII, o salto era mais alto, pela própria postura assumida pelo pé pequeno, que na posição vertical acabava parecendo ainda menor. Surge assim a importância do salto alto como meio icônico de transformar o pé das mulheres em uma importante referência de sensualidade.

¹⁴ Podólatra é a pessoa que tem fetiche e desejo pelos pés.

Na época da *Belle Époque* há uma difusão dos *fetiché shoes*, que já existiam anteriormente, e são uma consequência do movimento de expor o corpo um pouco mais. Já na época vitoriana, na virada do século XIX para o século XX, as roupas íntimas, antes sem nenhum adereço, começam a ganhar elementos como babados, rendas e bordados, aparecendo a relação da mulher mostrar o corpo ao seu marido, o que não ocorria antes.

Até esse momento, como a preocupação era em torno da não exposição dos pés femininos, ainda não se pensava em termos de conforto dos calçados para mulheres, como explica a Profa. M_{Sc.} Miti: “...as mulheres até então não tinham alma! Elas não tinham direitos, não eram consideradas cidadãs até por volta da década de 1920, portanto, eram desalmadas!”.

A década de 1920 foi marcada pela participação mais efetiva da mulher na vida da sociedade, quer seja pelo trabalho, quer seja pela presença em relacionamentos sociais. A mulher assume uma postura evidente de querer se impor, deixando aflorar o desejo de mostrar o corpo; o encurtamento da saia é um marco histórico da mudança do comportamento feminino. É possível então a visualização e a valorização dos calçados. Um exemplo é o modelo de bico, até hoje conhecido como “bico de boneca”, usado pelas mulheres para dançar.

Até praticamente a década de 1970, as peças do vestuário perduravam por gerações, devendo servir por muito tempo, sendo a maioria consideradas como valiosos bens de herança, dificilmente jogando-se no lixo alguma peça. As mais usadas e que não se destinavam a herança, iam parar nos mercados de pulgas. Novamente o conforto não era considerado, sendo a durabilidade a maior preocupação. As roupas das décadas de 1950, 1960 e 1970, de um modo geral, eram mais justa e os tecidos em lugar de proporcionar conforto causavam desconforto. O *nylon* surge na década de 1940, aparecendo fortemente no mercado na época do pós-guerra, em que são fabricados diversos tipos de sintéticos usados em roupas. Como o *nylon* dificulta a transpiração do corpo, retendo calor, ativava a transpiração, causando desconforto, diferente dos tecidos inteligentes que existem atualmente e que ainda têm uma preocupação com o meio ambiente.

O luxo aparece como um diferencial, despertando o inspiracional, algo que é muito mais desejo do que necessidade. Mas deve-se salientar que, independentemente da classe social, sempre haverá algum objeto que terá a capacidade cultural de produzir uma sensação de experiência estética, tornando-se um objeto de desejo. Segundo o Prof. M_{Sc.} João Braga “...dentro de uma realidade de consumo *conspicuo*, ou seja, o consumo pelo consumo, um consumo ostentatório para se posicionar”, uma questão discutida já no século XIX.

Quanto ao conceito de marca, como aponta o professor, *Charles Frederick Worth* foi a primeira referência de marca na moda, sendo o primeiro a assinar uma peça de indumentária. No

meio do século XIX, passa de um fazedor de roupa para um artista da roupa, criando o conceito de alta costura. Já em meados de 1970, há o surgimento da *griffe*, que é a elitização do que é produzido em série, do *prêt-à-porter* (pronto para uso). É nesse momento que a marca vai para o lado de fora da roupa, além de aparecer na etiqueta. Nesse momento, na Itália, valoriza-se pela primeira vez o “*made in*”, sendo um “orgulho italiano” ser fabricado na Itália. O “*Made in Italy*” garantia qualidade de origem e prestígio ao produto e ao seu portador. Assim como nas sociedades passadas, em que o calçado também tinha um valor icônico e significava prestígio. Escravos, por exemplo, quando eram libertados ou recebiam a carta de alforria, queriam imediatamente ter um calçado, para marcar sua nova posição na sociedade, pois em sua maioria costumavam andar descalços.

Porém a personalização como maneira de se destacar na sociedade não chegou a dar espaço para a avaliação e a necessidade do conforto. E os problemas ambientais, o uso da mão de obra escrava, o uso indevido de peles exóticas são preocupações contemporâneas que fazem agir no contemporâneo.

Zeitgesit, que significa “espírito de uma época”, é um conceito que pode ser aplicado à abrangência do assunto aqui tratado, sendo aplicado para definir o pensamento de agir, resultando no ato de consumir das várias gerações, “...fazendo com que o tempo de cada coisa tenha sido o que é!”, como diz o Prof. M_{sc.} João Braga, fazendo pensar na necessidade de o designer ajudar a estabelecer e atualizar constantemente o *zeitgeist* de cada época em que atua.

Para o Prof. M_{sc.} Eddy¹⁵, os desejos são construídos e facilitados pelos meios atuais: mídias, internet, shows, grandes espetáculos, criando assim diariamente diversos referenciais. Ao longo da evolução das mídias, mudam-se os meios e as estratégias, mas o consumidor sempre será alvo de alguma ação, mesmo que não perceba. O consumidor pode achar que está tomando alguma decisão por escolha própria, mas na verdade está sendo manipulado pelos meios inventados pela sociedade. Segundo ele ainda aponta, a Itália e a França estão entre os maiores pólos de influência de moda graças ao trabalho de algumas agências de fomento, e trabalham intensamente com as ferramentas do *marketing*. No momento em que se dita alguma tendência, trazem pessoas de várias partes do mundo, aquecendo o turismo e os mercados locais, construindo assim um sistema que faz a máquina do comércio e da indústria se moverem e fazendo as pessoas acreditarem em certas imposições da moda ao atingir seu ponto fraco: o consumo pelo desejo de possuir, de se diferenciar. Porém, o design oferecido por essa indústria e esse comércio não pode ser considerado como um design de soluções, e sim um design de estética, pura e simplesmente de

¹⁵ Prof. M_{sc.} Auresnede Pires Stephan (Eddy) é doutorando pela FAUUSP e renomado designer atuante em diversos concursos, eventos e projetos, além de responsável pela idealização de diversos cursos de designe moda no Brasil.

status, em que o ato de criar é guiado por um ambiente definido, construído pelos meios, pelas marcas e pelos ícones de desejo. A definição de sociedade líquida, de Zygmunt Bauman, sociólogo polonês, explica a dinâmica das “coisas passageiras” e lhe dá suporte, nos oferecendo o contexto para as mudanças de comportamento, aponta o Prof. MSc. Eddy.

Assim, o mercado pode ser definido como um grande mecanismo engendrado por forças definidas pelo próprio mercado, em que os críticos acabam colaborando para definir certos objetos de desejo, certos ícones, fazendo com que suas avaliações levem uma obra de arte para um catálogo importante, para ser arrematado por algum magnata sem um senso crítico apurado para compreender o verdadeiro valor do objeto, fazendo com que sua comercialização seja realizada por motivo de *status*. Dessa forma também muitos produtos são elaborados, a partir de parâmetros estipulados pelo mercado, de forma que seu próprio autor não tem mais controle sobre eles, deixando que sejam definidos por fatores comerciais que dificilmente são percebidos pelo grande público em geral. Segundo o Prof. MSc. Eddy, as pessoas com maior nível cultural podem perceber essas artimanhas, mas a grande maioria é participante desse “grande show”. Nesse contexto, a parte ergonômica, o conforto, são relegados a um segundo plano. O design de calçados confortáveis em escala industrial, por exemplo, é uma tarefa que se torna inviável quando há necessidade de se obterem medidas específicas de cada consumidor, por isso é preciso que existam certos padrões.

Quando se considera a sociedade de um modo geral e os problemas ambientais que se apresentam hoje para ela, não se identificam claramente os culpados, e mesmo que fosse possível identificá-los, não teríamos acesso a eles. Vivemos algo muito real e ao mesmo tempo abstrato. Na questão do conforto acontece algo parecido: dificilmente é possível quantificar e padronizar todas as necessidades e todos os desejos de uma população, por isso há necessidade de uma identificação do mercado por parte do *designer*, uma missão necessária para avaliar tanto o consumidor quanto as imposições por ele sofridas em razão dos mecanismos econômico e político.

3.1.1 Styling e valor percebido competindo com a função do produto

O conceito de valor percebido pelo consumidor corresponde a uma grande variedade de atributos e abstrações de alto nível, indicando ser muito pessoal e idiossincrático. ZEITHALM (1988) identificou quatro padrões que podem abranger essa variedade: 1) valor é preço baixo; 2) valor é o quanto eu quero um produto; 3) valor é a qualidade que eu obtenho pelo preço que eu pago, e 4) valor é o que eu obtenho pelo que eu dou. A percepção de valor envolve os benefícios

em relação à qualidade percebida e os sacrifícios para sua aquisição, dependendo do contexto em que está sendo avaliado.

A qualidade afetiva estaria mais relacionada a serviços e bens de consumo não-duráveis, enquanto que a qualidade cognitiva seria mais relacionada com bens industriais e bens de consumo duráveis.

Produtos devem funcionar para o fim a que se destinam, logo o valor de uso é um critério considerado para sua comercialização. Para produtos que proporcionam *status* social, assim como ocorre no mercado de moda, o valor simbólico pode ser o único fator de decisão de compra, ou seja, jamais deve ser ignorado. Mesmo que um calçado seja ambientalmente correto e que apresente características de conforto, será que o usuário busca essas qualidades ou releva muito mais a estética do que as outras características?

Considerando que não há sentido em analisar a percepção quanto aos significados dos produtos fora de seu contexto de uso, cabe mencionar que a partir da Semiótica os calçados femininos, e outros produtos, fazem parte de um dinâmico código social de sedução, como apontado por DANESI (1999).

Para MOLES (1972) o desejo apresenta três níveis: o desejo intenso, que leva à catarse pela posse; a necessidade, uma função permanente e o desejo impulsivo, como uma pulsão passageira. A partir da posse, em certas condições, ocorrem novas relações, como: habituar-se ao objeto, quando ocorre a depreciação cognitiva e esse só é percebido pela sua falta; a conservação do objeto, quando o indivíduo o liga a uma “esperança de vida” e, por fim, a substituição do objeto.

A oposição entre o útil e o fútil é entendida como uma função ética. No mundo dos objetos das sociedades contemporâneas, o inútil, o fútil, o supérfluo e o não-funcional correspondem à ociosidade aristocrática como signo de prestígio e riqueza. Assim, o indivíduo pode se dar ao luxo de ter algo que não funciona só por que gosta, ou por que vai lhe dar prestígio junto aos seus pares. A funcionalidade atribuída ao objeto cotidiano é regida pela ética puritana do trabalho, para a qual o objeto deve “trabalhar”, “funcionar” para ter o direito de existir (BAUDRILLARD, 1972). Em sua definição, BAUDRILLARD assume a negação pelo valor simbólico dos objetos.

Nas sociedades contemporâneas, com mobilidade social, os objetos desempenham o papel de signo distintivo da possibilidade de ascensão. Os objetos traduzem aspirações sociais de mobilidade social (BAUDRILLARD, 1972). A contradição identificada nesse fluxo e refluxo de signos distintivos é que “todos os objetos são revogáveis perante a instância da moda” (BAUDRILLARD, 1972, p. 71).

Ainda sob o enfoque da semiótica, LÖBACH (1981) propõe explicar a relação entre usuários e os produtos industriais por meio das funções do produto: prática, simbólica e estética. Essas

funções estariam presentes em todos os produtos, em maior ou menor grau, e se manifestariam por meio do uso, gerando ou não a satisfação das necessidades. A função prática corresponde a “todas as relações entre o produto e um usuário que estão baseadas em aspectos diretos orgânico-corporais, ou seja, fisiológicos” (LÖBACH, 1981, p. 55). A função simbólica “está determinada por todos os aspectos espirituais, psíquicos e sociais do uso” (LÖBACH, 1981, p. 62). A função estética refere-se à “relação entre um produto e um usuário experimentada por meio de um processo de percepção” (LÖBACH, 1981, p. 56).

Assim como apresenta VAN DER LINDEN (2004), os domínios das funções prática, estética e simbólica (LÖBACH, 1981) e as necessidades humanas (MASLOW, 1970) estariam relacionados com as necessidades e os desejos (KOTLER, 2000), conforme a figura 7:

- 1) A função prática dos produtos atende a necessidades fisiológicas e de segurança, que correspondem ao nível das necessidades e;
- 2) As funções estética e simbólica se manifestam nos níveis de necessidades sociais, estima e autorrealização, que correspondem ao nível dos desejos.



Figura 7 - Relação semântica entre os aspectos de desejo e necessidades. Fonte: Van Der Linden (2004).

A semântica do produto está baseada em um axioma: “as pessoas não respondem às qualidades físicas das coisas, mas ao que estas significam para elas” (KRIPPENDORFF, 2000). A partir dessa ótica, o design deve “responder às multiplicidades de significados para diferentes usuários” (KRIPPENDORFF, 1997).

No sistema afetivo são gerados quatro tipos de respostas: emoções, sentimentos específicos, humores e avaliações.

O sistema cognitivo corresponde aos processos mentais denominados “superiores”, como compreender (interpretar e atribuir significado a aspectos do ambiente), avaliar (julgar aspectos do ambiente e o próprio comportamento), planejar (determinar como solucionar problemas) e

decidir (comparar alternativas e selecionar a adequada). Novamente verificam-se poucas informações que possam contribuir para a definição das formas de um calçado, limitado ao universo filosófico para a verificação dos anseios, mas sem embasamento científico.

Em um editorial de moda ou desfile, segundo o Prof. Esp. Márcio Banfi¹⁶, a imagem final sempre é o mais importante, com o trabalho editorial prevalecendo à questão do conforto, uma vez que a intenção é a criação da imagem ideal. A modelo que participa de editoriais de moda acaba tendo algum desconforto eventualmente, mas como se trata de um trabalho rápido, não chega a ter comprometida sua saúde. O mesmo ocorre na passarela: trata-se de poucos minutos em que o incômodo pode ocorrer. Em seu depoimento, o Prof. Esp. Banfi salienta que “...para o tempo de uma foto, dá para aguentar... para o tempo de um desfile, dá para aguentar, e nesses momentos a última questão a ser considerada será o conforto”. O que tem que prevalecer é a imagem final, principalmente se a imagem está ligada a questões de fetiche, complementa.

Segundo Banfi, o calçado feminino de salto alto apresenta questões similares à da gravata masculina, ao terno completo em dias de calor, a vestidos e peças justas do vestuário feminino, casos em que se aplica a definição de “*suffer for fashion*”, ou seja, “sofrer pela moda”, no sentido de que o usuário suporta qualquer coisa, menos abrir mão de seu “*look*”¹⁷. Mesmo assim, a moda é cíclica e certos padrões adotados sempre estarão em evidência e em uso, e as pessoas sempre estarão dispostas a encarar qualquer situação de desconforto para garantir sua imagem. No caso do salto alto, a situação sempre foi a mesma desde os anos 30, passando pelos 40 e 50, aparecendo de um modo ou de outro, mas sempre presente no traje feminino associado à ideia de proporcionar poder, altura e valorização do corpo feminino. Atualmente, acredita o Prof. Esp. Banfi, “...que vivemos em um momento forte de adequações, onde perder o gênero está em evidência: tudo que envolva um símbolo sexual, assexual ou polisssexual, tem uma forte presença por desejos, fetiches por saltos exagerados, muita borracha e presença de materiais sintéticos como vinil e falsos couros, apesar dos fabricantes elaborarem saltos grandes mas com preocupação na usabilidade do produto.” A tecnologia está mais presente no desenvolvimento de produtos com maior potencial de uso mas que principalmente valorizem e definam uma forte imagem de moda.

¹⁶ O Prof. Esp. Márcio Banfi leciona na Faculdade Santa Marcelina, sendo o responsável pelas orientações dos trabalhos de graduação com ênfase em fotografia e imagem de moda, além de atuar como *stylist*.

¹⁷ “*Look*” é um termo utilizado pelo mercado de moda para referenciar o conjunto de peças do vestuário que compõem o visual de uma pessoa.

Desse modo, pode-se dizer que o design de calçados femininos de salto alto tem características de projeto com foco no *styling* mais do que centrado no usuário, uma vez que a estética prevalece aos problemas do conforto.

Apesar do trabalho estar focado em aspectos técnico-científicos quanto ao desempenho do produto e sua relação com seus componentes, materiais e processos de fabricação, uma abordagem das relações do produto “calçado feminino de salto alto” com as percepções de suas usuárias é de extrema relevância em virtude de seus significados como ícones sociais, de poder e de sedução.

Segundo DANESI (1999), assim como diversos outros críticos de moda, pode-se afirmar que tudo na moda é vendido por impulso, logo, deve ser prático para levar. Mas assim como a simbiose na relação homem x máquina, muito bem explorada por Donald Norman em seu livro *O Design do Futuro*, a relação entre o usuário e seu calçado deve ser similar à relação do cavaleiro com seu cavalo. A questão não é polemizar os modos de consumo da moda, seja como fruto de necessidades ou de desejos impulsivos, e sim estabelecer parâmetros científicos que auxiliem no aprimoramento do design de calçados, principalmente sob a ótica do conforto. Por questões óbvias, o setor industrial calçadista tem a obrigação de minimizar seus impactos ambientais e sociais, assim como demonstrado recentemente no documentário *The True Cost*¹⁸. Por outras questões também óbvias, calçados de salto alto, e todos os outros modelos, podem se valer de ferramentas de análises virtuais em benefício do projeto, e assim minimizando a sensação de desconforto, proporcionando um aumento de desempenho do produto, explorando as vantagens da união interdisciplinar entre engenharia, design e moda, mas sem deixar de lado valores e motivos impostos ao longo da história da sociedade, imputados em produtos de desejo, assim como ocorre com os calçados.

3.2 Possíveis correlações entre as indústrias automotiva e calçadista

Ao analisar um calçado, determinando-se quantas partes ou componentes existem em um tênis, por exemplo, verifica-se normalmente uma quantidade considerável de materiais diversos, como tecidos, espumas, borrachas, metais, colas e linhas. Tomando-se como exemplo um modelo de indústria calçadista onde existem fornecedores desses componentes e materiais, como palmilhas, solados, cadarços e ilhoses, e algumas etapas de montagem, como corte e costura são realizadas internamente, nesse contexto, pode-se dizer que essa indústria é uma montadora de seus produtos e não fabricante.

¹⁸ *The True Cost* (O Verdadeiro Custo, 2015) é um documentário do diretor Andrew Morgan que aborda de forma clara o impacto estorrecedor da moda sobre as pessoas e o planeta.

Analogamente, tal modelo produtivo é encontrado com muita tradição, precisão e perfeição na indústria automotiva que, apesar de fazer diversas etapas da fabricação de um veículo em sua planta industrial, possui uma série de fornecedores de componentes, como bancos, mostradores, faróis, partes da suspensão e motor, estabelecendo-se dessa forma a referência da indústria como uma montadora de automóveis.

Pode-se assim determinar certos comparativos entre a indústria calçadista e automotiva, buscando um aprimoramento do setor de calçados em seus diversos contextos como a produção dos componentes, os processos de fabricação, bem como o projeto de design de produto e certas soluções de engenharia, que podem ser aplicadas tanto no projeto quanto na fabricação.

Em seu artigo, GODINHO *et al* (2005) evidencia a similaridade dos conceitos da manufatura em massa utilizados pela indústria brasileira de calçados com a manufatura em massa precedente, de *Henry Ford* a *Alfred Sloan*¹⁹, para a indústria automobilística, destacando-se como principais objetivos:

- 1) superar problemas da produção artesanal;
- 2) aumento da produtividade;
- 3) redução de custos.

Assim como ocorre nos carros-conceito, a moda frequentemente apresenta projetos que também despertam diversas euforias, verdadeiras paixões e desejos de consumo, ao experimentar novas formas, volumes, funções, texturas e tecnologias, sempre atenta às tendências de mercado e às mudanças de comportamento dos consumidores, explorando seus reais anseios, necessidades e expectativas.

O projeto conceitual tem o objetivo de produzir princípios de projeto para o novo produto (BAXTER, 2000).

Como aponta LIPOVETSKY (2009), "...a sociedade centrada na expansão das necessidades é, antes de tudo, aquela que reordena a produção e o consumo de massa sob a lei da obsolescência, da sedução e da diversificação, aquela que faz passar o econômico para a órbita da forma moda". Complementa ao analisar que "...iniciativa e independência do fabricante na elaboração das mercadorias, variação regular e rápida das formas, multiplicação dos modelos e séries – esses três grandes princípios inaugurados pela Alta Costura não são mais apanágio do luxo do vestuário, são o próprio núcleo das indústrias de consumo". A busca incessante da indústria da moda para lançar novidades a todo instante, personifica um comércio centrado na aquisição insana e constante de novos produtos que apresentem as instantâneas motivações de anseios de

¹⁹ Henry Ford foi o fundador da marca Ford e Alfred Sloan, fundador da General Motors, GM.

consumo, em uma velocidade jamais presenciada. A busca por terceirizações baratas faz surgir um cenário de exploração da mão de obra em países subdesenvolvidos, foco de manchetes e documentários pelo mundo todo. Mas há quem diga que os tempos devem mudar, assim como atitudes e movimentos como o denominado “*Slow Fashion*”²⁰, apresentado no vídeo “*The Rise of Lowsumerism*”²¹, com relevantes informações para mudar os hábitos de consumo e sua influência nos fatores sociais, econômicos e ambientais. Sem dúvida que essa ideia de um mundo melhor deve ser encorajada pelos organismos governamentais de todos os países, pois simplesmente a ação de vestir a camisa do Greenpeace²² já há muito não basta para recuperar os danos encontrados atualmente no mundo em que vivemos.

Segundo SANCHES (2008), o universo da moda é um campo em crescente exploração e muito se comenta sobre o grande movimento financeiro promovido pela indústria da confecção nacional e sobre a criatividade brasileira nessa área, evidenciando um mercado em contínua ascensão. Entretanto, crescer exige planejamento e gerenciamento de riscos, para que tal criatividade não se perca em experiências puramente intuitivas. Dessa forma, a solidificação do setor tem se caracterizado por uma abordagem cada vez mais profissional. Nesse profissionalismo, espera-se que as considerações para o projeto do produto relevem o usuário sob os aspectos de comodidade de uso e preço justo, sendo o mínimo que poderíamos esperar de um setor industrial tão importante mundialmente como o setor calçadista.

3.3 Contextualização do design para o projeto do produto

Sendo o projeto a atividade principal de quem desenvolve produtos, seu desenvolvimento envolve sempre fatores tecnológicos, econômicos, humanos e ambientais. Designers de produtos, ao criar objetos como cadeiras, luminárias, utensílios domésticos e objetos de uso pessoal, frequentemente desenvolvem modelos físicos, com o objetivo de testar resistências e esforços, como parâmetros de verificação de desempenho e durabilidade (BAXTER, 2000; KAMINSKI, 2000; MORRIS, 2010). A percepção que se tem é que poderia haver uma utilização maior das ferramentas da engenharia pelos designers, uma vez que o processo do projeto do produto de engenharia é muito similar.

²⁰ *Slow Fashion* é um termo utilizado para a prática do consumo consciente.

²¹ *The Rise of Lowsumerism* é um vídeo sem fins lucrativos, produzido pela BOX 1824, empresa nacional de pesquisa especializada em tendências de comportamento de consumo. É um documentário que aponta a necessidade de mudança dos hábitos de consumo em direção a práticas mais saudáveis para a sobrevivência social, financeira e ambiental. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jk5gLBihJtA>

²² O Greenpeace é uma ONG que é praticamente um sinônimo de ativismo ambiental.

Segundo NORMAN (2010), *design* é a adaptação intencional do ambiente para satisfazer necessidades individuais e sociais. Quanto à oposição entre designers e engenheiros, enfatiza que os engenheiros tentam aplicar métodos formais e algoritmos que otimizam os aspectos mecânicos e matemáticos de um projeto, mas tendem a ignorar os sociais e estéticos. Talvez a proposta não seja unificar os conhecimentos em um único profissional, mas reunir uma equipe de trabalho multidisciplinar para abranger o design e engenharia em benefício dos novos projetos de calçados.

Para FLUSSER (2007), *design* tem diversos significados: "...design funciona como substantivo e também como verbo. Como substantivo significa, entre outras coisas, propósito, plano, intenção, meta, esquema maligno, conspiração, forma, estrutura básica, e todos esses outros significados estão relacionados a astúcia e a fraude. Na situação de verbo, significa, entre outras coisas, tramar algo, simular, projetar, esquematizar, configurar e proceder de modo estratégico."

O desafio para o designer de hoje é a absoluta complexidade de nosso mundo; o ritmo das mudanças que atingem nossas experiências em sociedade e o alcance e a profundidade das informações disponíveis e exigidas. (MORRIS, 2010).

Entendida a complexidade e importância atual de um *designer* estar preparado para atuar com desenvolvimento de produtos, é possível e devemos considerar a possibilidade de serem idealizadas intervenções e soluções advindas das equipes de projetistas, que se enquadrem em qualquer etapa do processo do projeto do produto, uma vez que devem estar atentos a todas as fases pertinentes a criação, fabricação, comercialização, uso e descarte.

Basicamente, o projetista projeta para o consumidor, mas também deverá satisfazer o fabricante. O consumidor quer aparência, funcionalidade, durabilidade, confiabilidade etc.; o fabricante quer facilidade de transporte e de armazenamento, atratividade para a venda etc.; o recuperador quer facilidade para recuperar os componentes e materiais reutilizáveis. Todos querem lucro, e a sociedade como um todo quer produtos que não degradem o meio ambiente. (KAMINSKI, 2000).

Para VALERIANO (1998), o projeto deve ser um excelente veículo de captação de preciosas informações e ensinamentos preciosos para a melhoria contínua de sua organização, em inúmeros aspectos, especialmente quanto à melhoria de qualidade e melhoria ambiental. Diante disso, torna-se fato a importância de um conhecimento multidisciplinar pertinente ao universo do designer, a fim de encarar todas as atribuições e complexidades de um grande projeto. Segundo BAXTER (2000), "...os melhores designers do futuro serão multifuncionais e se sentirão à vontade discutindo pesquisa de mercado, fazendo uma ilustração em cores de um novo produto ou selecionando o tipo de material que deve ser usado no produto." Complementa ainda apontando que "...a capacidade de usar métodos em cada uma das três áreas - marketing, engenharia e

desenho industrial - capacitará o designer a ter uma visão global sobre o processo de desenvolvimento de novos produtos.”

Na preparação da especificação do projeto, conseguir utilidade significa produzir especificações úteis para controlar a qualidade durante o processo de desenvolvimento do produto. Portanto, a especificação do projeto deve ser feita com precisão suficiente para permitir a tomada de decisões. Essa precisão não deve prejudicar a correta interpretação das necessidades e dos desejos do consumidor. E a especificação do projeto, de uma forma geral, deve conter uma descrição completa e compreensível das percepções e dos valores do consumidor. A especificação do projeto deve ser fiel às necessidades do consumidor. (BAXTER, 2000).

Dada a devida importância quanto à definição de um projeto, NORMAN (2010) reflete sobre a situação atual e futura, principalmente pela velocidade da evolução das tecnologias e pelos impactos significativos no comportamento de consumo: “Estamos sob a ameaça de tempos confusos e excitantes, perigosos e agradáveis, de interações visceralmente excitantes, do ponto de vista comportamental, satisfatórios e reflexivamente agradáveis. Ou seja, talvez, não estejamos. O sucesso disso vai depender do design das coisas futuras”.

Como apontava KAMINSKI há 16 anos (2000), “...ultimamente, a competição, com a crescente globalização da economia, tem levado à necessidade cada vez maior do chamado *projeto inovador*, com soluções expressivamente novas, que utilizam as últimas descobertas técnico-científicas”. Esta afirmação também pode ser observada em VALERIANO (1998), quando explica que o progresso tecnológico ocorre essencialmente segundo dois mecanismos: por sucessivos melhoramentos de cada tecnologia e pelo surgimento de novas tecnologias, mais eficientes, mais promissoras, que vêm substituir aquelas já exauridas e sem possibilidades de progresso.

Fica evidente a necessidade de preparação que um designer, engenheiro e/ou equipe devem ter para poder absorver as inúmeras referências tecnológicas disponíveis atualmente e acompanhar o avanço da realidade virtual, já que o mundo é cada vez mais dinâmico e transdisciplinar²³.

²³ A transdisciplinaridade como o prefixo “trans” indica, diz respeito àquilo que está ao mesmo tempo entre as disciplinas, por meio das diferentes disciplinas e além de qualquer disciplina. Seu objetivo é a compreensão do mundo presente para o qual um dos imperativos é a unidade do conhecimento NICOLESCU (1999).

3.4 Ergonomia e biomecânica para o projeto de calçados

Sabe-se que o uso do salto altera a distribuição do peso do corpo, verificando-se que ao elevar o calcanhar, este alivia a pressão, transferindo-a para a região do antepé, havendo uma proporção do aumento da pressão diretamente relacionado com a altura do salto.

Segundo MELO (2005), dependendo de alguns fatores, o calçado como é concebido ou produzido pelo fabricante afetará de forma positiva ou negativa a saúde e a *performance* do indivíduo.

Para MANFIO e AVILA (2003), o calçado deve ter como focos principais segurança e conforto, além da prevenção das lesões.

Sabe-se a importância de um calçado proporcionar segurança, satisfação e bem-estar ao usuário, e de seu relacionamento com o meio de uso, sendo este um dos princípios da ergonomia: a análise da interface produto x usuário.

Segundo GOMES F. (2003), a ergonomia objetiva sempre a melhor adequação ou adaptação possível do objeto aos seres vivos em geral. Provavelmente esses objetivos já fazem parte da preocupação normal dos projetistas, entretanto, a ergonomia trata desses assuntos de modo organizado e científico, utilizando metodologias para interferir tanto durante o projeto quanto na operação de sistemas produtivos com razoável certeza de produzir resultados satisfatórios (ITIRO IIDA, 2005).

Com relação a conforto, GOMES F. (2003), especifica como sendo uma condição de comodidade e bem-estar. Ampliando mais, pode-se considerar como a sensação de bem-estar, comodidade e segurança percebida pelo usuário nos níveis físico e sensorial. O fator conforto muitas vezes está atrelado às condições subjetivas, e relaciona as condições física, psicológica, experiências de vida e idiosincrasias do usuário do objeto, o que o torna, de certo modo, difícil de ser qualificado e quantificado.

Dentre os problemas ergonômicos apresentados por calçados, GOMES F. (2003) destaca os principais: inadequação física de acomodação dos pés e/ou pernas dentro do calçado; inadequação pela própria configuração do modelo de calçado (bico fino, por exemplo); inadequação causada por materiais utilizados na confecção dos calçados; incompatibilidade com a função para o qual o calçado é destinado; numeração não coincide com aquela adequada aos pés; pouca disponibilidade de sortimento de modelos para usuários com pés de tamanho superior ao número 42.

Outro conceito importante a ser considerado é o de “design inclusivo”, não significando simplesmente criar design para portadores de necessidades especiais. Esse tipo de *design* envolve

toda uma filosofia que busca atender às necessidades do maior público possível, com princípios que incluem igualdade, simplicidade, flexibilidade, uso acessível e intuitivo, baixo esforço, e tamanho e peso apropriados (MORRIS, 2010).

Igualmente importantes, outras ramificações da ergonomia devem ser consideradas como a “ergonomia cognitiva”, que inclui aspectos de estética, expectativas, percepções e satisfação sensorial, além do “design afetivo”, que se preocupa com o efeito emocional que um produto tem sobre o usuário com base em sua interação com o produto (MORRIS, 2010).

Parte delicada do estudo está relacionada à percepção de conforto no calce. Em seu trabalho, VAN DER LINDEN (2004) desenvolve um modelo que permite descrever a percepção de conforto e a percepção de risco. Para os indivíduos que têm a referência dominante orientada ao prazer, a aparência é importante e afeta a percepção de conforto, enquanto é negado o risco. Nos casos em que a dor é a referência dominante, a aparência é negligenciada, enquanto a percepção de risco apresenta-se altamente sensível e afeta a percepção de conforto. Esse modelo inclui as dimensões do produto (aparência, usabilidade e funcionalidade), as formas de estímulo (como objeto, agente ou evento), a referência dominante (prazer ou dor), os níveis do processo de avaliação (visceral, comportamental ou reflexivo) e as respostas afetivas (emoções prazerosas, sentimentos de indiferença e/ou emoções desprazerosas). Apesar da vasta coleta e geração de dados, não se verifica a obtenção de dicas ou parâmetros para o design de calçados mais confortáveis, pois a discussão sempre considera aspectos variáveis e instáveis da subjetividade nela apresentada.

Por que certos membros da espécie humana, rotineiramente, põem a sua sobrevivência em risco fumando cigarro? Por que mulheres tornam o caminhar um esforço ao usarem sapatos de salto alto? Esses comportamentos de risco são gerados, obviamente, por outras forças além do instinto (DANESI, 1999). E como entender essa complexidade ao ponto de transformar em inspirações para um novo design de calçado? Mesmo difícil de mensurar, é um universo muito explorado, mas com poucas soluções efetivamente adequadas, verificando assim um grande potencial de desenvolvimento do setor para produtos cada vez mais adequados ao consumidor.

Adotar uma visão sobre o homem não apenas como uma soma de fatores físicos e cognitivos, mas também incluindo valores pessoais, estilos de vida, medos, esperanças, sonhos, etc (JORDAN, 2000), nos fornece referências e dimensões estéticas e simbólicas, as quais devem ser consideradas, não apenas pelo valor que têm em si, mas principalmente pelos efeitos que produzem no comportamento humano.

BONSIEPE (1997) define produto como uma interface entre três domínios: o usuário ou agente social, que quer realizar uma ação efetiva; a tarefa, que o usuário quer cumprir; e uma

ferramenta ou artefato, de que o usuário precisa para realizar efetivamente uma ação. Na sua concepção, a interface não é uma coisa, mas um espaço onde se estrutura a interação entre esses três domínios. Assim, para BONSIEPE (1997): a interface revela o caráter de ferramenta dos objetos e o conteúdo comunicativo das informações; a interface transforma objetos em produtos; a interface transforma sinais em informação interpretável (BONSIEPE, 1997, p.12).

Adota-se como principal interface a superfície de contato do pé com o calçado, partindo dos exemplos e soluções de palmilhas denominadas anatômicas e ortopédicas. Essa visão encontra sua equivalência na Ergonomia, no conceito de “sistema homem-máquina”. A definição de sistema homem-máquina inclui qualquer tipo de objeto físico, aparato, equipamento ou meio de trabalho, utilizado para atingir um propósito (McCORMICK, 1980). O papel do homem nesse sistema se dá de forma ativa, interagindo com a máquina para realizar a função para a qual o sistema foi projetado.

Já sobre a qualidade de produto, IIDA (1998) avalia a qualidade de qualquer produto envolvendo três dimensões: a qualidade técnica, a qualidade ergonômica e a qualidade estética. A qualidade técnica corresponde ao funcionamento do produto, considerando a eficiência física com que o produto executa a função. A qualidade ergonômica do produto inclui aspectos de usabilidade, conforto e segurança. Por fim, a qualidade estética envolve as características formais que afetam a agradabilidade do produto. Integrar essas qualidades em um projeto conceitual de calçado utilizando as tecnologias digitais para sua criação e fabricação torna o objetivo da pesquisa quase uma utopia diante das dificuldades e complexidades envolvidas, mas que jamais deixou de ser considerada.

3.4.1 Conforto e ergonomia para o mercado de moda e para o design de calçados

A ergonomia surge após a II Guerra Mundial, tendo em vista as falhas ocorridas na interface entre o homem e a máquina, com objetivos práticos de segurança, satisfação e bem-estar dos trabalhadores no seu relacionamento com sistemas produtivos (IIDA, 2005). Com o interesse nesse assunto, a ergonomia tem seu aprofundamento em especial nos Estados Unidos e na Europa, em especial na Inglaterra. IIDA aponta que o estudo abrange diversos aspectos relacionados com: a postura e os movimentos corporais (sentado, em pé, empurrando, puxando e levantando pesos); fatores ambientais (ruídos, vibrações, iluminação, clima e agentes químicos); informações (captadas pela visão, audição e outros sentidos) e a relação do homem com equipamentos que contenham mostradores e controles. Quanto ao conhecimento das áreas científicas, explica que deve se relacionar com anatomia, antropometria, biomecânica, fisiologia, psicologia, toxicologia, engenharia, desenho industrial, eletrônica, informática e gerência

industrial. Essas considerações devem auxiliar no desenvolvimento de métodos e técnicas específicas para aplicar tais conhecimentos na melhoria do trabalho e nas condições de vida, tanto dos trabalhadores como da população em geral.

Algumas definições podem ser adotadas para conceituar a ergonomia, sendo a mais clássica estabelecida pela *Ergonomics Research Society* (Inglaterra): “Ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e seu trabalho, equipamento, ambiente e, particularmente, a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas que surgem desse relacionamento”. Mais recentemente, no ano 2000, a *International Ergonomics Association* oferece nova definição: “Ergonomia (ou fatores humanos) é a disciplina científica que estuda as interações entre os seres humanos e outros elementos do sistema, e a profissão que aplica teorias, princípios, dados e métodos a projetos que visem otimizar o bem-estar humano e o desempenho global de sistemas”. No Brasil, a ABERGO (Associação Brasileira de Ergonomia) adota a seguinte definição: “Entende-se por ergonomia o estudo das interações das pessoas com a tecnologia, a organização e o ambiente, objetivando intervenções e projetos que visem melhorar, de forma integrada e não dissociada, a segurança, o conforto, o bem-estar e a eficácia das atividades humanas”. A norma NR 17 (Norma Regulamentadora 17), publicada em 1978 pelo Ministério do Trabalho e Emprego, dispõe sobre os “parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente”.

A base da divisão da ergonomia em duas escolas se deu em função dos diferentes sistemas de medidas adotados pelos franceses e ingleses. A decisão de criar um modelo único de medidas, que fosse prático e exato, se efetivou com a Revolução Francesa em 1789, criando um sistema de unidades que se baseava em um padrão da natureza, portanto imutável e indiscutível, podendo assim ser aceito como um sistema universal adotado por todas as nações, inclusive a rival Inglaterra. Como o conceito de medida pertencia àqueles que detinham o poder imperial, a França e todos os territórios sob sua influência adotaram o sistema métrico decimal, enquanto na Inglaterra, com a Revolução Industrial, não sofreram influências dos sistemas de medidas, continuando a utilizar as referências de jardas, onças e galões.

A ergonomia anglo-saxônica ou clássica tinha como premissa melhorar as condições de trabalho, mas sem atender as reclamações dos operários, e sim para obter um maior desempenho, ou seja, maior produtividade. O progresso tecnológico e a sociedade industrial criaram um ambiente favorável para o surgimento da ergonomia anglo-saxônica, consolidando-a a partir da indústria da guerra. Com o surgimento de radares, sonares e aeronaves na II Guerra Mundial, revelou-se a incapacidade do homem em lidar eficazmente com as máquinas. Grupos

multidisciplinares foram criados com o objetivo de aumentar a eficácia nos combates e secundariamente garantir segurança e conforto (MORAES e MONT'ALVÃO, 2000).

Ao fim da guerra os ergonomistas identificaram que as máquinas domésticas e muitos equipamentos cotidianos apresentavam diversos problemas, e cuja falta de adaptação às características físicas, psíquicas e cognitivas do homem confundiam os usuários e geravam incompatibilidades no sistema humano-tarefa-máquina. Novos laboratórios, estudos, pesquisas e conferências surgiram, inclusive pela integração de psicólogos, fisiologistas e engenheiros, fundando assim a *Ergonomics Research Society*. Posteriormente, seguindo esse mesmo modelo, surge nos Estados Unidos a *Human Factors Society*.

Segundo a análise das situações existentes na indústria, surgem na França questões relacionadas ao trabalho: o que faz, quem faz, como faz, e de que maneira poderia fazê-lo melhor? Essa ergonomia contemporânea, ao longo da década de 1970, é marcada pela passagem da abordagem na observação e na teoria para a abordagem voltada para o campo da ação e da prática, fazendo com que essa ciência ultrapassasse os limites do ambiente industrial e do processo produtivo, alcançando o usuário comum no seu cotidiano. Mais cognitiva e psicológica do que antropométrica ou fisiológica, a ergonomia francesa não resolve os mesmos problemas que a ergonomia clássica. Vale a pena reforçar que ambas utilizam técnicas e métodos de pesquisa consagrados cientificamente, cada qual sob seu enfoque, visando um mesmo objetivo: o trabalhador realizando sua tarefa em seu local de trabalho.

Com o foco dirigido para a indústria de vestuário, SLATER (1985) definiu conforto como “um estado prazeroso de harmonia fisiológica, física e psicológica entre o ser humano e o ambiente”. O conforto é uma sensação prazerosa de bem-estar físico e psicológico. O conforto é, também, uma condição de bem-estar com ausência de dor, desconforto e estresse, definida a partir de uma situação de desconforto (VAN DER LINDEN e GUIMARÃES, 2004). Desse modo, pode-se afirmar que “o conforto é a ausência do desconforto”!

Muitos ergonomistas sugerem medir a intensidade do desconforto por meio da observação do comportamento. Para a posição sentada, por exemplo, o aumento das trocas de postura pode indicar um aumento no desconforto. Portanto, o registro do número de trocas de postura é sugerido como uma medida do desconforto (STRACKER, 2000). Contudo, outros autores entendem que a troca de posturas não necessariamente reflete um desconforto, na medida em que os movimentos do corpo estão relacionados à circulação sanguínea, a mudanças nas estimulações nervosas e à difusão de nutrientes para a coluna vertebral. Portanto, as mudanças de postura traduzem necessidades do metabolismo (IIDA, 1998).

Para SHEN e PARSONS (1997, p. 442), “desconforto é uma sensação genérica e subjetiva que surge quando a homeostase fisiológica, o bem-estar psicológico ou ambos são negativamente afetados”.

Para a criação de calçados, pode-se concluir que, ao considerar o modelo clássico, tem-se estudos ergonômicos bastante numerosos, inclusive normas, que já seria o suficiente para que regularidades possam ser identificadas, estabelecendo-se referências antropométricas e fisiológicas dos pés. O modelo francês se volta para as subjetividades e experimentações, praticamente não visando diretamente a concepção das máquinas e dos produtos, mas considerando primeiramente os valores humanos.

Principalmente para o público feminino usuário de salto alto, pode-se dizer que há a necessidade da abordagem das duas escolas, tanto para projetar produtos que atendam ao desempenho de segurança e conforto físico, quanto para idealizar soluções que agradem aos anseios peculiares e aos aspectos de desejo e sua relação com poder e sexualidade, em geral ligados ao uso do salto alto. Ao invés da situação ser definida como “*suffer for fashion*”, talvez o ideal fosse buscar algo como “*comfort by fashion*”.

3.4.2 Levantamento antropométrico

De um modo abrangente, quando o assunto é a medição do corpo humano, sua relação com o entorno e com postos de trabalho, a melhor referência encontrada na literatura é de Henry Dreyfuss, em seu livro “*The Measure of man: Human factors in design*”, lançado em 1967 e até hoje considerado como a “bíblia da antropometria” pelo levantamento e pela diversidade de informações apresentadas (figuras 8 e 9). No ano anterior, em 1966, ele disponibilizou para o mercado uma compilação de desenhos técnicos e tabelas dinâmicas que mostram as diversas variáveis do corpo e sua inserção nas principais tarefas cotidianas e nos postos de trabalho.

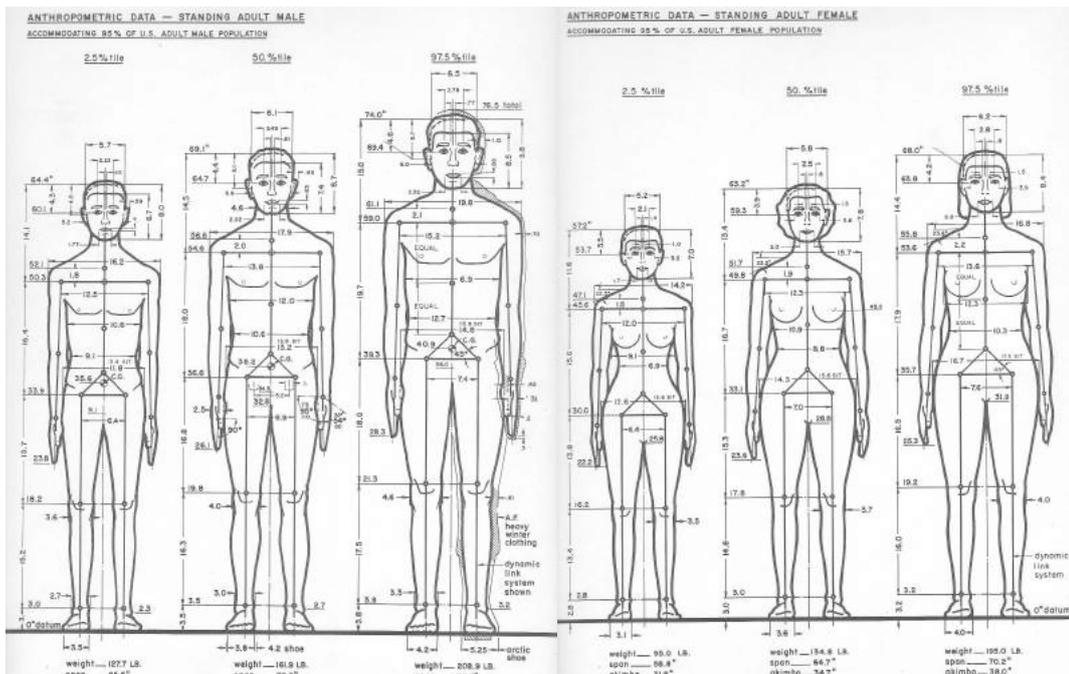


Figura 8 - Dados antropométricos do corpo masculino e feminino. Fonte: Henry Dreyfuss (1966).

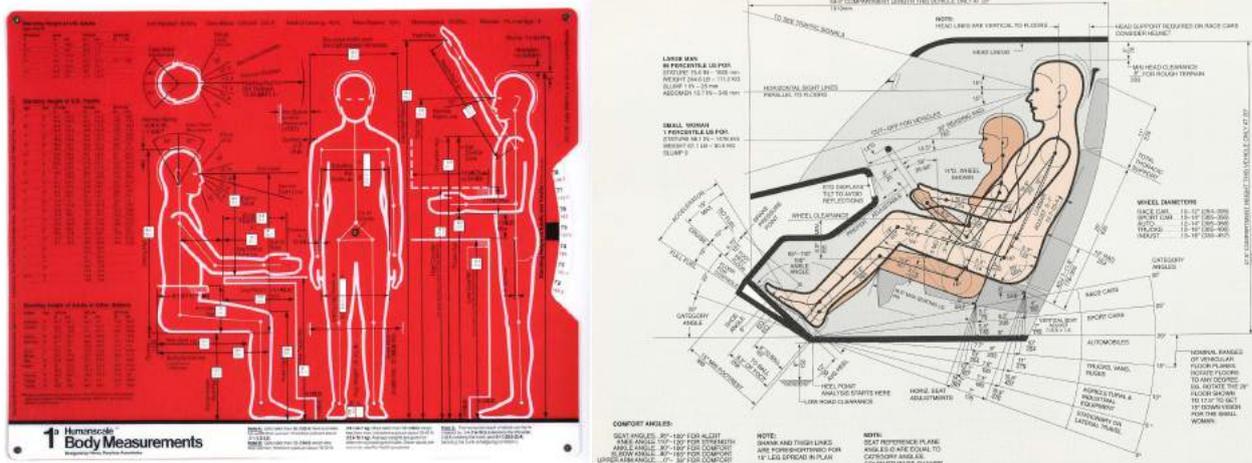


Figura 9 - Medidas do corpo humano e sua relação com alcances e referências em posições específicas da atividade corriqueira. Fonte: Henry Dreyfuss (1966).

No Brasil, um importante material desenvolvido pelo INT Rio denominado Ergokit (1995), fornece diversas variáveis antropométricas. Com pesquisas realizadas entre 1985 e 1992, o levantamento conta com dados que podem servir como parâmetros para diversas finalidades de projetos que considere as medidas do corpo humano. As coletas consideraram amostras de alguns grupos da população brasileira, como 3100 homens operários da indústria de transformação do Rio de Janeiro em 1985 e 1986, 203 homens e 202 mulheres digitadores do SERPRO (Serviço Federal de Processamento de Dados) do Rio de Janeiro e São Paulo em 1988, 1080 militares do Exército do Brasil em 1990 e 64 mulheres telefonistas da TELERJ em 1992. Apesar do material ser uma excelente referência, deve-se considerar que seu uso acaba sendo limitado pelo biotipo da

amostra da população e pela falta de atualização dos dados. Além do programa, o material é acompanhado por um manual que contém interessantes informações. Por exemplo, aponta as diferenças proporcionais entre algumas etnias, como negros e brancos norte-americanos e japoneses (figura 10).

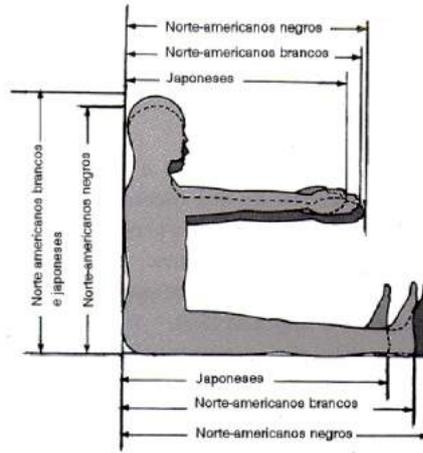


Figura 10 - Relação das diferenças proporcionais do corpo humano entre algumas etnias, Ergokit. Fonte: INT (1995).

Na China, uma organização não governamental se propôs a desenvolver medidas e padrões de referência da face e da cabeça dos chineses, auxiliando o projeto de óculos e capacetes, por exemplo, por não encontrarem produtos que atendessem às características anatômicas das cabeças da população local (figura 11).



Figura 11 - Referência da SizeChina para a idealização das medidas das cabeças dos chineses para a criação de capacetes. Fonte: SizeChina (2016).

A comparação das imagens da vista superior do padrão de cabeças dos público chinês em relação à de um indivíduo ocidental (figura 12) deixa evidente a importância de tais estudos.

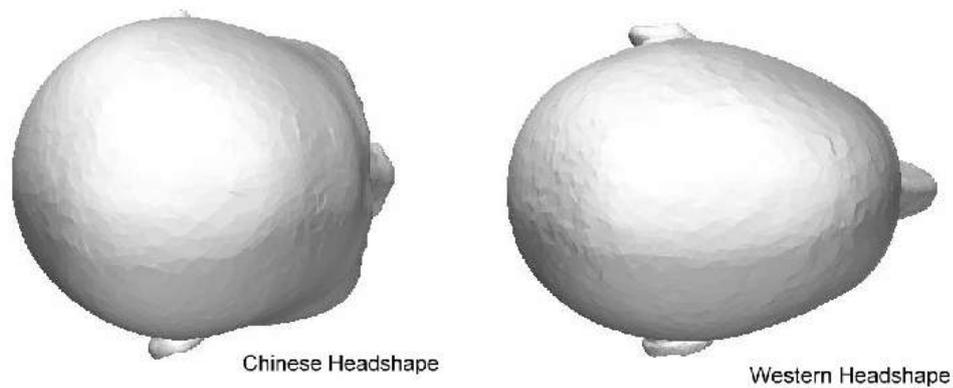


Figura 12 - Comparação entre crânios da população chinesa e da população ocidental. Fonte: National Research Council of Canada (2006).

A comercialização dos arquivos é realizada pela empresa SizeChina sob consideráveis valores, que certamente não são acessíveis ao pequeno empresário. Cabeças com definição da face custam de 10.000 Euros (uma cabeça) até 50.000 Euros pelo kit das 6 cabeças (3 femininas e 3 masculinas, cada uma com representando os percentis 5, 50 e 95%). Para adquirir o molde físico dos volumes das cabeças, manequins são comercializados pelos valores de 5.000 Euros cada medida e 20.000 Euros o kit das 10 medidas disponibilizadas (são consideradas circunferências de 510 a 600mm, com intervalos de 10mm), como verificado na figura 13.



Figura 13 - Arquivos e manequins referente a população chinesa. Fonte: SizeChina (2016).

Para os arquivos (figura 14), os valores são estipulados pela quantidade de *scans*, desde 420 Euros por 12 arquivos até 15.000 Euros pelas 1.500 cabeças disponibilizadas, o total de dados no banco. Considera-se esse um grande avanço, e referencial para outros trabalhos similares. Mas para um país que apresenta uma população de 1 bilhão e 300 milhões de habitantes (Countrymeters, 2016), o quanto representa a amostra de 1500 cabeças? Esse valor corresponde a 0,00115% da população chinesa atual. Qual o padrão de amostragem para se considerar uma média representativa, afinal?

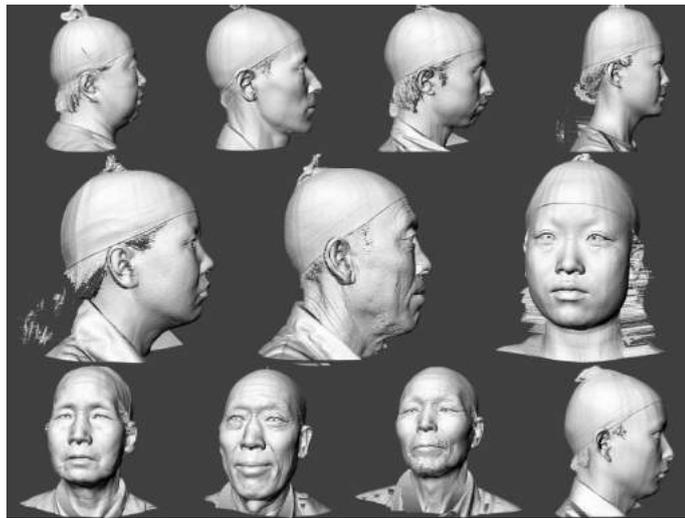
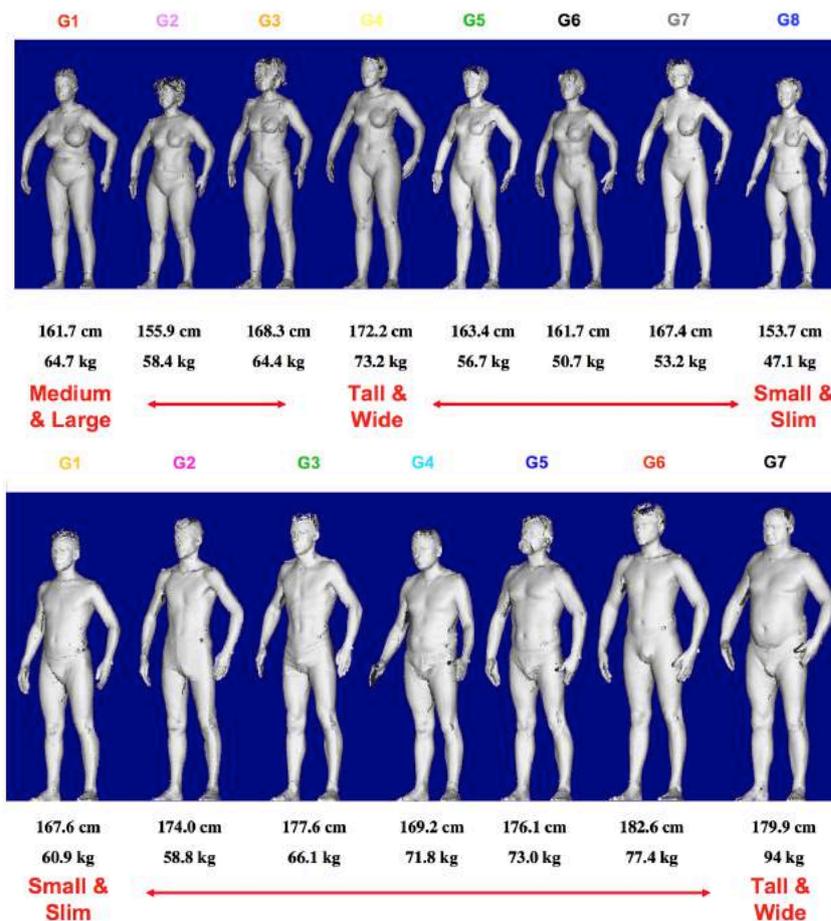


Figura 14 - Arquivos de cabeças digitalizadas da população chinesa. Fonte: SizeChina (2016).

Encontram-se poucas referências de bancos de dados antropométricos ao redor do mundo. A *WEAR, World Engineering Anthropometry Resource*, comercializa por 1.000 Euros 12.000 corpos digitalizados, mas com dados coletados na Europa entre os anos 2000 e 2002, conforme ilustram as figuras 15 e 16.



Figuras 15 e 16 - Representações de corpos femininos e masculinos, segundo classificação antropométrica apresentada. Fonte: *WEAR, World Engineering Anthropometry Resource* (2015).

No seu estudo sobre a antropometria do pé feminino em diferentes alturas de salto como fundamento para conforto de calçados, BERWANGER (2011) apresenta um levantamento antropométrico realizado com o auxílio de um *scanner* de pés, conforme figura 17. Os modelos virtuais obtidos são interessantes fontes de dados para o desenvolvimento de fôrmas²⁴ para calçados, por exemplo.



Figura 17 - Modelos virtuais e variáveis de medidas obtidos por estudo antropométrico. Fonte: Berwanger (2011).

Como estudos de levantamento antropométrico para padronização de tamanho de calçados, encontra-se na literatura uma série de trabalhos acadêmicos e profissionais com a difícil missão de se estabelecer parâmetros de medidas para uma melhor adequação aos diversos biotipos dos usuários. Em diversos momentos foram lembrados os nomes de Delfina Falcão, que em 1994 realizou um importante estudo para sua dissertação de mestrado, além do Dr. Aluísio Avila que está à frente dos trabalhos do IBTeC e contribuindo com diversos trabalhos científicos ao longo das últimas décadas. Sabe-se da dificuldade em padronizar medidas em populações multiétnicas, assim como encontradas no Brasil, e pode-se afirmar que, apesar das inúmeras investigações dos levantamentos antropométricos, não existe atualmente no Brasil alguma referência significativa que contemple todas as variáveis do pé humano, necessárias para a padronização comercial das medidas utilizadas pelo setor calçadista. Considera-se a mesma afirmação para o mercado internacional, seja popular ou mercado de luxo. No trabalho de BERWANGER (2011) foi considerado um grupo de 407 mulheres, com o total de 3.256 pés escaneados, sendo 4 posições com diferentes alturas de salto, considerando o par, totalizam 8 pés digitalizados de cada voluntária. Apesar da considerável amostragem, ela representa a caracterização regional de Porto Alegre, RS, local da defesa do trabalho de mestrado. Aliás, as mais significativas coletas são provenientes de trabalhos acadêmicos, necessitando haver diretrizes que representem o perfil do biotipo brasileiro e que sirvam, efetivamente, para a produção do vestuário.

²⁴ Fôrma é a estrutura rígida, usada na fabricação de calçados, sendo o ponto inicial para a fabricação atendendo o calce e o design, segundo a norma ABNT NBR 15159 de 2013.

Essas considerações e outros aspectos ergonômicos relacionados com anatomia, variáveis antropométricas e biomecânica dos pés enfatizam possibilidades de explorar campos específicos da Medicina para o desenvolvimento de calçados para portadores de necessidades especiais, como deformidades, joanetes, calos, esporões e calçados para diabéticos.

Nesse aspecto, RONCOLETA (2014), em sua tese “Design de calçados para pessoas com deficiência física: os prazeres do belo e conforto”, apresenta uma investigação de como aspectos ergonômicos e estético-simbólicos do design de calçados promovem efetiva inclusão sociocultural para pessoas com deficiência no aparelho locomotor. Independentemente do público abordado, é uma excelente referência para estipular alguns parâmetros para o projeto de calçados mais difíceis de se quantificar, como as considerações subjetivas referente aos prazeres. Segundo a autora, aos prazeres físicos foram relacionados os conceitos de equilíbrio, segurança e conforto físico. Foi observado que duas dimensões estão presentes nos prazeres psicológicos: na primeira, a realização de tarefas, encontra-se a facilidade e/ou dificuldade de manuseio e de manutenção, e, na segunda, a emocional, estão os conceitos de autoestima e bem-estar. Aos prazeres sociais foram relacionados e analisados o desejo pessoal e a sociabilidade. Os prazeres ideológicos foram relacionados à responsabilidade social, desenvolvimento sustentável e ciclo de vida dos produtos. Verificou-se, portanto, como os conceitos mencionados promovem efetiva inclusão sociocultural dos usuários. Como também é um trabalho recente, entre os poucos que são desenvolvidos na área calçadista, principalmente em relação à produção científica de outras áreas, observa-se uma grande oportunidade para elaborações de projetos específicos e personalizados para esse mercado tão significativo para o comércio nacional e global.

Há cerca de 20 anos, na sua dissertação de mestrado, Eliane Manfio (1995) desenvolveu um estudo para estabelecer um banco de dados a partir de variáveis antropométricas e biomecânicas dos pés que pudesse atender a fabricação de calçados segundo critérios de conforto, saúde e segurança. Considerou-se uma amostragem de 280 indivíduos, sendo coletadas 43 variáveis de comprimentos, perímetros, alturas, larguras e ângulos dos pés esquerdo e direito. As conclusões apontam que o grande índice de calosidades e deformações nos pés deve-se à má escolha de calçados por parte do consumidor e também à falta de perfis diferenciados, os quais possam acomodar mais confortavelmente os pés. Além disso, conclui que existem, de forma significativa, diferentes níveis de assimetria entre pé esquerdo e o pé direito, em que as variáveis de perímetro, alturas e larguras não crescem na mesma proporção em que aumenta o comprimento do pé, havendo uma grande variação do perímetro na região da extremidade dos metatarsos com os dedos, apontando que devido a isso é necessária a confecção de mais de um perfil nos calçados para cada numeração. Com essas conclusões podemos fazer certos questionamentos: qual

empresa investirá quantidade de tamanhos por numeração, considerando essas variáveis e quantos modelos devem ser produzidos para cada número? Qual a relação entre as variáveis para definir os tamanhos? Vale a pena o investimento ou a fabricação customizada em massa pode ser uma alternativa para os produtos sob medida? Após a análise do trabalho de Eliane Manfio, acredita-se que dificilmente haverá nas lojas, para pronta entrega, modelos de calçados que atendam às diversas medidas dos usuários, conferindo relevância ao método proposto nesta pesquisa.

O modo manual para a medição de pés emprega equipamentos para a fabricação de calçados sob-medida, em que se obtém o comprimento e a largura, conforme a figura 18. Porém outras variáveis importantes para a adequação anatômica dificilmente são consideradas, comprometendo e limitando o projeto ideal.



Figura 18 - Equipamento utilizado para a medição de pés. Fonte: INT Rio (2012).

Ressalta-se novamente a importância da utilização de meios mais sofisticados para a medição das diversas variáveis necessárias para a construção adequada de calçados para o biotipo de cada indivíduo, como acontece com os equipamentos digitais para captura de imagens em 3 dimensões, como os citados *scanners* 3D. Mesmo em épocas futuras, o que mais poderia existir de evolução nesse quesito, uma vez que todas as características físicas do corpo são perfeitamente capturadas? Conforme apontado anteriormente, a qualidade de captação da imagem continuará sendo melhorada, uma vez que as sombras não fornecem possibilidade de leitura no *scanner*, restando certos “buracos” na imagem com áreas obscurecidas. Mas com a evolução do sistema essa questão das sombras se resolverá e os arquivos digitais poderão ser utilizados em uma produção customizada, em larga escala e a pronta entrega. Esse sim é o desafio atual.

3.4.3 Biomecânica da postura e marcha humana

Deve-se verificar também que, sob o aspecto da biomecânica da marcha humana, o calçado deveria ser considerado como uma continuação do corpo humano, tamanha sua importância para proporcionar o melhor rendimento ao caminhar. Mas para a indústria da moda, é visto apenas como um produto passageiro que será substituído com o lançamento de novas coleções, não lhe atribuindo valores funcionais e de conforto, prevalecendo apenas os estéticos.

É possível encontrar na literatura muitas análises biomecânicas considerando o estudo da marcha humana sobre uma plataforma de forças (utilizada para medir as Forças de Reação do Solo e a verificação da distribuição da pressão plantar exercida nos calçados).

Quando se eleva o calcanhar, a curvatura da coluna se modifica. Ao aumentar o arco da coluna, há grandes probabilidades de se iniciar alguma dor. A base do corpo é alterada, desequilibrando o quadril e a coluna. Se considerarmos a posição vertical do corpo descalço e ao subir o calcanhar, mantendo-o ainda na posição inicial/vertical, um salto alto pode elevá-lo cerca de 20 graus, conforme ilustra a figura 19. Para compensar a inclinação para a frente, o corpo tem que corrigir a postura, alterando toda a sua posição, fazendo com que o tendão de Aquiles se encurte, então o joelho é projetado mais à frente, e a coluna apresenta uma outra curvatura, alterando-se totalmente em relação à posição inicial, quando descalço.

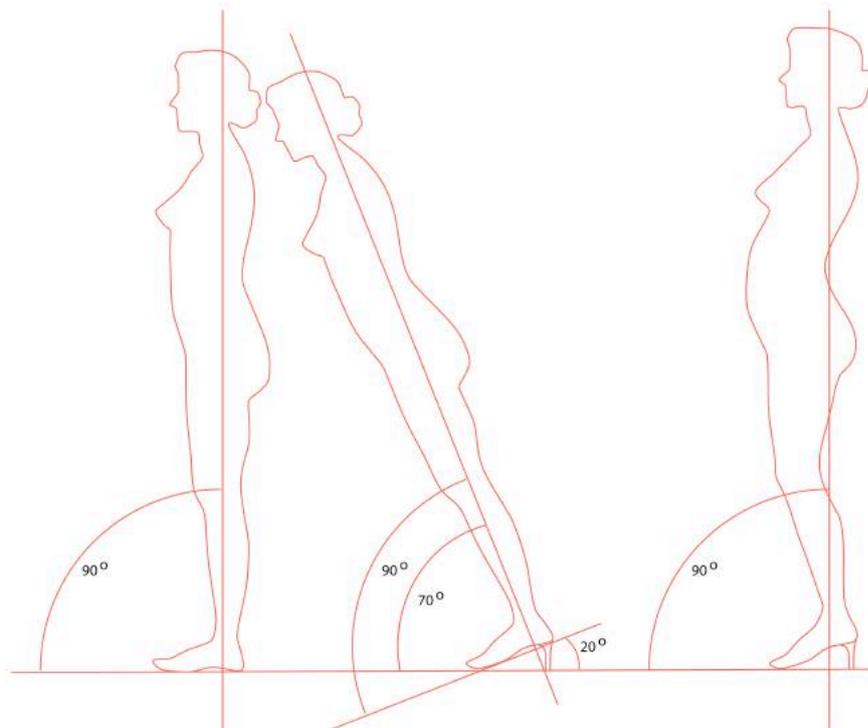


Figura 19 - À esquerda, representação do corpo descalço na posição vertical. Ao centro, projeção do corpo para a frente ao elevar o calcanhar 20 graus em relação à ponta do pé. À direita, compensação da projeção, o corpo assume curvaturas consideradas anormais, trazendo consequências que podem resultar em dores no quadril e na coluna.

Fonte: Rossi (2001). Reprodução do autor.

Sob o olhar da biomecânica, calçados de alto rendimento para atletas profissionais necessitam adequações específicas em que a relevância do estudo é fundamental. Para o caso de calçados comerciais considerados “de moda”, principalmente os sociais femininos com salto alto, podemos verificar que, pela própria postura intrínseca adotada sobre um salto alto, onde há um conseqüente aumento de pressão na região dos metatarsos, segundo o engenheiro Tomaz Puga Leivas²⁵ o estudo da biomecânica é irrelevante, pois acredita que no máximo 5% do desconforto poderá ser amenizado, sugerindo que o foco seja direcionado para a correta adequação de componentes e materiais. Contudo, espera-se provar a eficácia das análises virtuais para demonstrar que é possível com elas se obter um maior percentil, de cerca de 30%, meta esta estipulada pelo pesquisador.

Usuários portadores de necessidades especiais, diabéticos e atletas, sem dúvida são potenciais usuários que se beneficiarão com os estudos da biomecânica e da aplicação de métodos personalizados para a confecção de calçados, mas para se estabelecer apenas um nicho de mercado, o desafio proposto considera unicamente calçados comerciais femininos com salto alto.

Assim como explicado anteriormente, a pesquisa considera os picos de pressão na distribuição da pressão plantar como principal informação para análise, com o objetivo de diminuir os picos de pressão, homogeneizando a distribuição das cargas na planta do pé, minimizando assim o desconforto.

O corpo na posição ereta faz com que o pé apresente deformidades nas partes moles, tornando a região inferior plana e achatada no calcanhar e ante-pé, além de ocasionar o efeito de “esparramar”, aumentando suas bordas, ou seja, a largura do pé.

Na posição estática, conforme apresentado por PALHANO (2013), a carga em cada perna é cerca de metade do peso corpóreo (P), ou seja, $P/2$. Andando em uma velocidade normal, a 4km/h, quando o calcanhar toca o solo temos o primeiro pico de pressão. Em seguida, ao transferir as forças para a região frontal, é produzido o impulso, onde se localiza o segundo pico de pressão, próximo às extremidades dos metatarsos. A marcha de um pé e as cargas geradas no contato deste com o solo apresentam dois picos de pressão (gráfico 1).

²⁵ O engenheiro Tomaz Puga Leiva é o chefe do laboratório de biomecânica do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas de São Paulo.



Gráfico 1 - Gráfico típico do passo de um pé com os dois picos de pressão. Reprodução do pesquisador.

No início do gráfico tem-se uma pequena inflexão, sinalizada pela mudança do joelho no coxim gorduroso. No pico do calcanhar, normalmente tem-se uma pressão de 0,8 a 1,2P. As pressões normais de uma corrida podem chegar de 4 a 5P, e em corridas extremas, principalmente em saltos à distância, pode-se alcançar uma pressão de até 10 vezes o peso corpóreo. A maior carga humana conhecida no pé foi medida no salto triplo, alcançando 1,5 a 1,8 toneladas no contato pé x solo, segundo NIGG (2010). Com tamanha carga, pode-se imaginar a seriedade dos danos para veias, artérias, ligamentos e ossos causados em uma queda.

Como a etapa inicial para a simulação virtual é a representação do passo humano, no estudo da biomecânica a pesquisa da marcha humana é de extrema importância. Para VAUGHAN (2003), "...apesar da complexidade dos eventos, a marcha pode ser caracterizada por movimentos uniformes, regulares e repetitivos".

PERRY (2005) destaca que, para ocorrer o deslocamento, é necessária uma sequência repetitiva de movimento dos membros, sendo um dos requisitos importantes no andar bípede. A marcha humana é determinada por ciclos repetitivos de passos e passadas, sendo o ciclo da marcha também denominado de "passada" (figura 20).



Figura 20 - Comparação entre um passo e uma passada e análise da marcha durante a fase de contato e balanço durante o caminhar. Fonte: (PERRY, 2005).

SAMMARCO e HOCKENBURY (2003) dividem a fase de apoio ou fase de suporte como sendo toque do calcâneo, pé planado, elevação do calcâneo e inversão. Durante o contato inicial do calcâneo, determina-se a quantidade da força peso no decorrer do tempo. PERRY (2005) conceitua a taxa de aceitação do peso, sendo uma norma específica para análise de absorção de impacto da massa corporal.

A resposta à carga é determinada pelo instante em que a planta do pé entra em contato com o solo e o peso corporal é aceito pelo membro. Durante a resposta à carga, o calcâneo é utilizado como rolamento, enquanto o peso é transferido para o pé contra lateral no instante em que o pé oposto está na fase de pré-balanço.

SAMMARCO e HOCKENBURY (2003) afirmam que do toque do calcâneo até a resposta à carga ocorre uma eversão da articulação subtalar, ou seja, ocorre a pronação. A articulação everte em parte, sendo que o ponto de contato do calcâneo é lateral ao centro da articulação do tornozelo, fazendo um valgo forçado na articulação subtalar (figura 21).

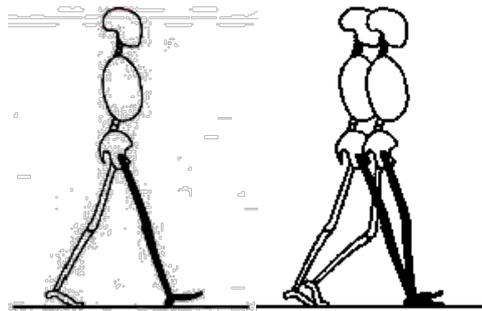


Figura 21 - Contato inicial e resposta a carga. Fonte: (Perry, 2005).

Apoio médio, determinado quando o pé oposto se encontra elevado e até que o peso do corpo seja alinhado sobre o antepé. O apoio médio é o período em que a tíbia sofre uma rotação sobre o pé estacionário no sentido da marcha (NORDIN e FRANKEL, 2003).

O apoio terminal é caracterizado no momento que o calcâneo eleva-se até o instante que o pé contralateral toque no solo, sendo que o peso é transferido para o antepé (NORDIN e FRANKEL, 2003; PERRY, 2005).

Diversas interpretações e simplificações podem ser adotadas para simular virtualmente a passada humana, cabendo ao olhar da engenharia, e neste caso também do design, estipular os parâmetros que devem ser considerados para alcançar os objetivos propostos.

3.4.4 Relações entre a saúde da mulher e calçados de salto alto

Esse assunto poderia ser tratado de diversos modos, sob diversos pontos de vista, sob o aspecto psicológico em relação às mulheres, problemas quanto ao conforto, visão do mercado pelos lojistas e seus modos de comercialização para atrair novos clientes, por seus componentes e materiais, pelos processos de fabricação utilizados para proporcionar ao calçado maior estabilidade, segurança e conforto, enfim, o produto apresenta um grande possibilidade de enfoques ainda não aprofundados. Marcas renomadas e consagradas que idealizam seus projetos para intensificar o desejo e fetiches que cercam o universo dos calçados femininos de salto alto,

como por exemplo o ícone em que se transformou o solado vermelho, patenteado por Christian Louboutin, além das criações artísticas e de luxo, como as de outro icônico criador, Manolo Blahnik, não foram citadas até o momento e nem serão. Como o trabalho tem uma preocupação mais científica do que estética, o ícone feminino “salto alto” está sendo considerado sob a ótica de especialistas do conforto, ortopedistas, engenharia e medicina.

Um *scanner* 3D específico para a análise da influência dos calçados nos pés foi desenvolvido por especialistas do *Royal National Orthopaedic Hospital*, em Londres, e batizado de *PedCAT3D scanner* (figura 22). Em comunicado para a imprensa em 2013, Andy Goldberg, cirurgião ortopédico do hospital, comentou que “...o novo *scanner* nos permite ver claramente o pé e o tornozelo em detalhes e como funcionam dentro dos sapatos preenchidos com a sustentação do peso”. Os especialistas confirmam que é a primeira vez que o efeito do calçado de salto alto no pé pode ser visto em tempo real pelas imagens tridimensionais obtidas por esse novo equipamento.



Figura 22 - Sequência de leitura do pé escaneado, obtida pelo ‘PedCAT3D scanner’, “limpando-se” as camadas até a verificação da estrutura óssea. Fonte: *Royal National Orthopaedic Hospital*, Londres (2013).

Com a rotação proporcionada por arquivos em três dimensões, a visualização e análise específica fica facilitada, possibilitando identificar detalhes para amenizar problemas de conforto, conforme pode ser observado pelas imagens apresentadas na figura 23.



Figura 23 - Avaliação tridimensional de uma usuária de salto alto. Fonte: *Royal National Orthopaedic Hospital*, Londres (2013).

É possível encontrar na literatura diversas imagens de raio-X de pés em posições de uso com diversos calçados, mas sempre em duas dimensões, conforme pode ser visto na figura 24.



Figura 24 - Raio-X de pés utilizando calçado de salto alto. Fonte: Pinterest (2016).

Com o surgimento desse tipo de equipamento, e com o cenário digital dos tempos atuais, acredita-se na possibilidade de se adotar em um curto prazo modos e métodos para projetar novos calçados, similares ou idênticos ao proposto nesta pesquisa.

3.4.5 Palmilhas ortopédicas e baropodometria para análise da pressão plantar

Em tênis de alta *performance* normalmente são feitos testes diversos com vários materiais até que se consiga diminuir cada vez mais os pontos de pico de pressão e homogeneizar as áreas de distribuição de contato pelo uso de palmilhas acolchoadas e com certo volume, principalmente na região do arco plantar. Mas em um salto alto, como o ponto de contato do calcanhar quase não existe pela elevação do mesmo, há como consequência a transmissão das cargas para a frente do pé, massacrando sempre a região do ante-pé. Pela postura intrínseca do salto alto, pode-se afirmar que a utilização de estudos biomecânicos faz muito mais sentido para o projeto de tênis do que para calçados de salto alto, pois a própria postura é contra qualquer modelo de conforto e contra os próprios princípios da biomecânica... E eis que surge um importante questionamento: a moda tem cura?

Além de componentes anatômicos e acolchoados, seria óbvio e fácil diminuir a altura do salto para minimizar o desconforto. Mas é óbvio também que as mulheres jamais deixarão de comprar saltos altos por questões de comportamento, trabalho e posicionamento social, segundo DANESI (1999). Já esse estudo possibilita verificar e estabelecer parâmetros que seriam muito difíceis, caros e até impossíveis de prever em estudos com protótipos em ensaios físicos e químicos reais.

Assim como percebido na revisão bibliográfica, o uso efetivo de palmilhas influencia na distribuição da pressão plantar, na força de impacto e na percepção do conforto. Pela própria

postura do pé com o uso de salto alto, e mesmo aumentando-se a carga na região dos metatarsos, considera-se pela literatura avaliada que a palmilha proporciona uma tendência ao equilíbrio das forças, indicando essa importante consideração para novos projetos.

Clínicas especializadas vendem o serviço de análise de pressão plantar para a fabricação de palmilhas sob-medida, mas apresentam alto valor e poderiam durar mais, segundo a percepção de alguns usuários (figura 25).



Figura 25 - Visita à clínica de palmilhas ITEMP, Dr. Vitor Tosi. Acervo Pessoal.



Figura 26 - Exemplo de palmilhas ortopédicas com enchimentos específicos para tipos de pisadas distintos. Fonte: Ortopedia Rozaulo (2012).

O exame de baropodometria tem como objetivo analisar a pressão plantar sobre uma plataforma composta de sensores ou pelo uso de palmilha também com sensores. Visa mensurar e comparar as pressões dos diferentes pontos da região plantar, seja na postura em pé, estática ou na marcha, pela equação:

$$p = f/A$$

Onde **p** = pressão plantar (esforço mecânico) – unidade N/cm²; **f** = peso corporal do indivíduo executante da caminhada – unidade Newton (N), podendo ser determinada pelo produto da massa corporal do indivíduo pela aceleração da gravidade local (9,81 m/s²), e **A** = área de contato dos pés com o solo (plantigrama) – unidade cm².

O baropodômetro eletrônico é um equipamento desenvolvido para a análise dos pontos de pressão plantar exercido pelo corpo, tanto em posição estática quanto dinâmica, com o objetivo de detectar possíveis anomalias na marcha e na postura. Consiste de uma plataforma barossensível com sensores piezoelétricos conectados a um computador que utiliza um *software* apropriado para visualizar imagens coloridas e dados estatísticos, com um alto valor diagnóstico. Identifica

agentes diretos ou indiretos que proporcionam ao indivíduo uma instabilidade corpórea, que mais tarde serão impressas sob a forma de gráficos ou planilhas.

ZIMMER e PRYSIEZNY (2005) demonstraram as aplicações típicas do uso da baropodometria na avaliação postural de indivíduos, conforme a caracterização do deslocamento do corpo (figuras 27, 28 e 29).



Figura 27 - Classificação dos pés pela baropodometria na avaliação postural. Fonte: ZIMMER e PRYSIEZNY(2005).

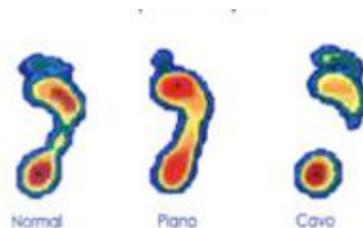


Figura 28 - Classificação dos pés quanto ao tipo de pisada. Fonte: ZIMMER e PRYSIEZNY(2005).

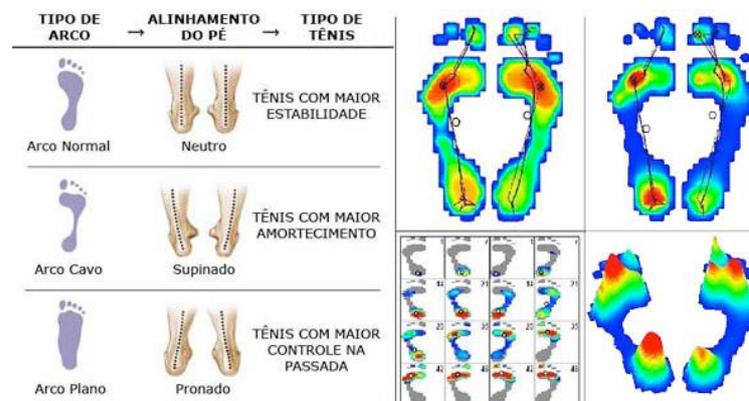


Figura 29 - Avaliação do tipo de pisada para recomendação do tipo de tênis. Fonte: MR Running SP (2013).

A MR Running SP utiliza as análises baropodométricas para avaliar os tipos de arco do pé em relação ao seu alinhamento, sugerindo assim qual o melhor tipo de tênis para cada tipo de pisada. Na Europa, o baropodômetro é muito utilizado também em exames com pacientes diabéticos, para detectar as áreas de maior pressão nos pés, podendo assim aliviá-la evitando a formação de úlceras e, em casos mais graves, a amputação dos pés. Utilizando um *software*, por meio da plataforma baropodométrica é possível detectar a estabilidade do corpo no espaço, ou seja, as oscilações posturais e o equilíbrio, por meio da quantificação da posição corporal em relação a sua base de suporte, que assegura o centro de gravidade dentro do polígono de sustentação. O baropodômetro eletrônico é indispensável para avaliar de forma objetiva os

seguintes parâmetros: distribuição das cargas em condições ortostáticas; disfunções de equilíbrio e estabilidade; análise dinâmica da marcha e sua distribuição de carga durante o passo; picos de pressão e tempo de contato com o solo; alterações do pé, joelho, quadril e coluna vertebral; quais as áreas de maior risco do pé; comparação dos resultados das terapias efetuadas ao longo do tempo, tornando-se fundamental para a confecção das palmilhas posturais.

Há pouco tempo lançado no mercado, o livro *“The Science of Footwear”* abrange todos os temas possíveis do relacionamento entre pés e calçados. Quanto à análise de pressão plantar, apresenta uma excelente referência sobre a influência das curvaturas da palmilha de calçados de salto alto especificamente na região do arco planar e sua relação com as pressões verificadas. Percebe-se que quanto mais plano, mais as pressões se localizam na região dos metatarsos, aliviando à medida que o arco é acentuado (figura 30). Pode-se concluir que mesmo em calçados de salto alto são necessárias palmilhas, ou soluções similares, que correspondam às palmilhas ortopédicas utilizadas em tênis, normalmente apresentando volumes para o preenchimento debaixo dos pés (arco planar). Para a criação de novos calçados femininos de salto alto, acaba sendo uma verificação quase óbvia, mas importantíssima de ser considerada, tamanha a influência no alívio dos esforços sofridos pelos pés durante o uso.

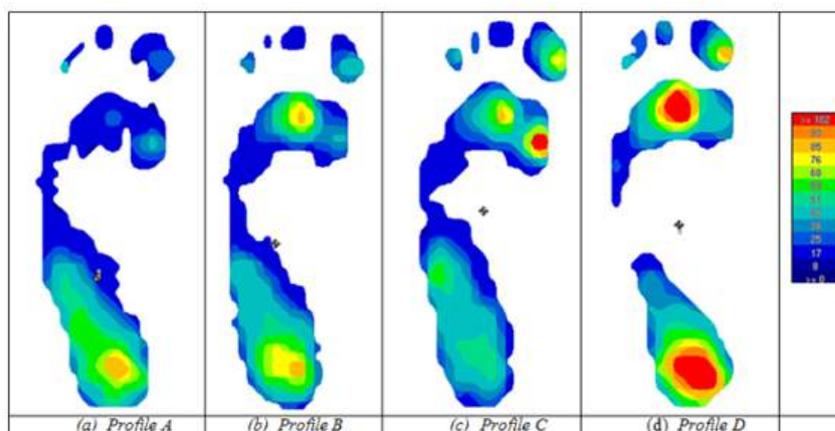
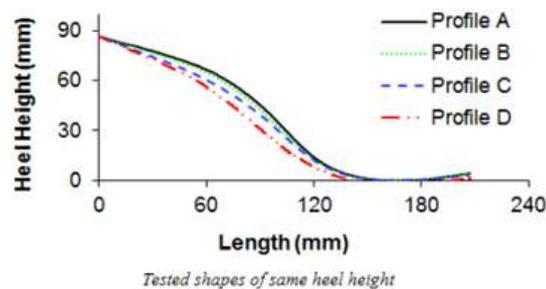


Figura 30 - Perfis distintos para curvatura de palmilhas em calçados de salto alto e sua influência nas pressões verificadas pela baropodometria. Fonte: *The Science of Footwear* (2015).

Um tênis comercial considerado de moda tem praticamente um único apelo: o estético. Calçados de alto desempenho para atletas profissionais necessitam elevada qualidade de materiais e objetivam o melhor rendimento da marcha, devendo proporcionar equilíbrio e segurança. Segundo o engenheiro Tomaz Leivas, do HCSP, o universo do esporte profissional busca primeiramente desempenho, antes de conforto. Há a necessidade de leveza, dureza, locais para reforçar, saber qual a função do atleta, se ele necessita de aumento na velocidade, aumento de salto, ou alguma combinação que tenha um pouco de cada. Nesse momento começa-se a utilizar materiais mais caros, modelos sob medida e soluções mais tecnológicas em relação às utilizadas nos produtos de moda.

Para o atleta de final de semana, complementa, “...existem produtos que agregam *performance* com conforto, já o indivíduo que caminha, seja para o trabalho ou lazer, ele apenas procura estética, conforto e durabilidade”.

Deve chegar um tempo em que haverá um material em *spray* que será aplicado diretamente no pé, expandindo-se ao redor dele, evitando o contato com a meia, diminuindo a formação de bolhas. Em competições extremas, como o *Iron Man*, a transpiração não é absorvida pela meia, deixando o pé molhado. O atrito entre o calçado e o pé inicia o processo de surgimento de bolhas. Criada a bolha, há incômodo ou dor, perde-se rendimento e *performance*. Tenistas profissionais, por exemplo, utilizam dois pares de meias, para transferir o atrito do movimento do pé com a meia para a “meia x meia”, sendo este um artifício muito comum adotado por competidores.

No intuito de coletar a maior quantidade de dados reais em testes e ensaios físicos para criar calçados de alto desempenho, em que esforços e solicitações extremas são exigidas, é possível encontrar centros tecnológicos para esse fim, como o da Universidade de Loughborough, na Inglaterra. “*Personalised Footwear: E2HS - From Elite to High Street*” é um dos projetos mais atuais que contemplam o estudo da biomecânica do pé para a criação de calçados otimizados e individualizados, específicos para cada prática esportiva (figura 31). A parceria com a renomada marca de tênis New Balance estabelece um importante vínculo com o mercado.

Fazendo uma analogia, pode-se afirmar que o esporte está para a moda, assim como a F1 está para o setor automotivo, ou seja, o que de mais inovador e tecnológico se encontra disponível no mercado de moda, certamente inicialmente foi criado para atender alguma exigência esportiva, como o tecido *dri-fit*, ou anti-suor.



Figura 31- Análise dinâmica para calçados de alto desempenho. Fonte: Universidade de Loughbourough (2006).

Ainda em Loughbourough, diversas tecnologias são utilizadas para proporcionar meios de observação avançada, assim como as filmagens que registram certas intensidades de forças sofridas naturalmente no corpo humano quando submetido a esforços específicos, como no caso do contato do pé com o chão, muito bem registrado e com grande conteúdo científico, servindo para diversos estudos e pesquisas (figura 32).

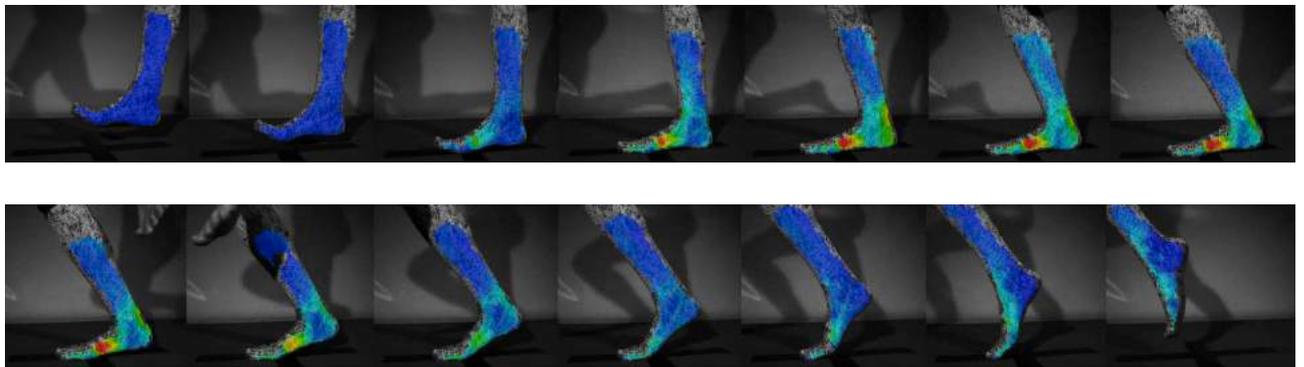


Figura 32 - Sequência de imagens registrando as forças atuantes no pé e na perna em relação ao contato com o chão.

Fonte: Universidade de Loughbourough (2015).

Ao analisar as tensões pertinentes ao próprio sistema do corpo humano, percebe-se que o pé, mesmo sem estar em contato com o solo, sofre cargas específicas nas suas musculaturas, demonstradas nas imagens capturadas. Pode-se identificar o aumento das pressões quando este entra em contato com o solo (figura 33).

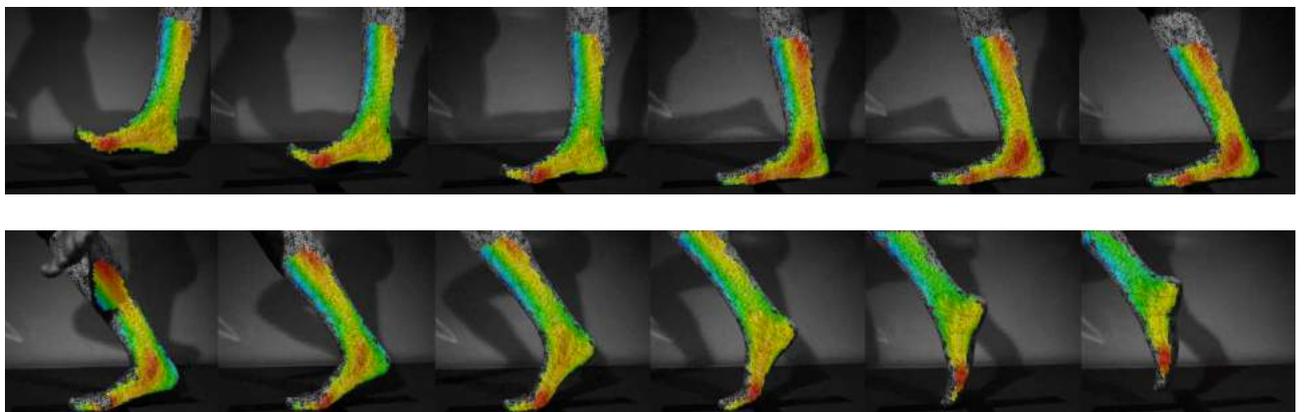


Figura 33 - Sequência de imagens registrando as cargas atuantes no pé e perna antes e depois do contato com o solo, desenvolvidos em estudos científicos. Fonte: Universidade de Loughbourough (2015).

Sem dúvida as imagens geradas pelo equipamento de captura das forças atuantes são registros científicos que ainda devem evoluir, mas que já são excelentes influências para o projeto de novos calçados. A correta interpretação técnica dessas referências pode fornecer pistas valiosas para estimular a criatividade dos designers.

3.5 Criação, projeto e fabricação de calçados

O SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial sempre foi uma ótima referência para o ensino técnico nacional, pela formação e o aprimoramento da mão-de-obra específica para o setor calçadista no Brasil, possuindo Centros Tecnológicos do Calçado. No Rio Grande do Sul, o centro desenvolveu em 2007 um dossiê técnico especificando todas as etapas, os processos e os modos de fabricação. Nesse dossiê apontam que por de trás do produto calçado existe uma demanda e um esforço muito grandes das indústrias em termos de criatividade, habilidade manual e técnica, abraçando várias áreas: medicina, química, física, P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) aliada a engenharia de produto e ao design.

Dividem o calçado em duas partes, compostas por uma série de componentes, aproximadamente 20 a 25 partes, denominadas “cabedal” e “solado”. O cabedal tem a função de cobrir e proteger a parte superior dos pés, proporcionando firmeza e estabilidade ao usuário. Já a inferior é composta pelo solado, também conhecido como sola.

Os componentes que compõem o cabedal e o solado são apresentados a seguir.

1) Cabedal é composto por: Couraça, que tem a finalidade de proporcionar uma cópia fiel do bico da fôrma e mantê-lo inalterado, protegendo os dedos, com aplicação entre o forro e cabedal, além de ajudar a travar o alongamento do couro quando no processo de montagem do bico; Contraforte, dá forma ao traseiro do calçado com a função de manter a estabilidade do pé durante o caminhar, sendo sua aplicação feita entre o cabedal e o forro; Forro, utilizado no lado interno do calçado como revestimento para evitar o contato do pé diretamente com o lado carnal do couro, com finalidade de proporcionar conforto, absorção da umidade ou até mesmo como acabamento do produto, normalmente é feito de materiais têxteis, couro, não-tecidos ou sintéticos; Reforços, que podem utilizar materiais de dublagem em algodão, poliéster, poliamida no caso de tecido e fibra de polipropileno no caso de não-tecido, e podem ser ainda aplicações de fitas nas bordas do calçado para evitar o estiramento do material durante sua montagem e o efeito de “abrir boca” durante o uso; Costuras, que unem e fixam as peças, com prévia aplicação de adesivo, ou que podem ser preparadas e costuradas diretamente, além de também servir como adorno; Componentes metálicos, que são utilizados no cabedal para unir

tiras de fechamento do calçado ou como adorno, podendo ser fivelas, enfeites, argolas, botões, chapas, ilhoses e rebites.

2) Solado: Palmilha de montagem, que é com frequência fabricada com celulose, havendo também palmilha de não-tecido (para calçados ensacados), em plástico injetado, e couro, menos utilizado devido ao custo muito elevado; Reforço da palmilha de montagem, que é um papelão especial, a base de celulose, rígido devido à compactação, e que possui alta resistência e estabilidade, principalmente em saltos altos, boa conformação e não deforma com uso, e também há reforços injetados, que necessitam de padronização de fôrmas, por isso são utilizados apenas em alta escala de fabricação; Alma de reforço: esta peça pode ser de aço, arame, madeira ou plástico, e é fixada entre a palmilha de celulose e o reforço da palmilha, com rebites ou colocadas na matriz de injeção no caso do reforço injetado, e ainda em solados de PU; Entressola, que é a parte colada entre a sola e a palmilha de montagem, com a finalidade de proporcionar conforto, ou aumentar a espessura da sola; Sola, que está diretamente em contato com o solo e para a qual o material utilizado irá determinar o perfil e as propriedades do calçado, podendo ser lisa, com estampa, antiderrapante, entre outras características; Vira, utilizada com maior frequência em calçados masculinos, encontradas em couro, borracha, entre outros materiais, é colada sobre a extremidade da sola ou até mesmo costurada na sola; Salto, que é o responsável por proporcionar altura no calçados, tanto masculinos quanto femininos, ficando em torno de 1 a 2,5cm e entre 1 a 10cm, respectivamente, sendo em geral injetados em material termoplástico ou produzidos em madeira para a confecção dos primeiros pés/pares de protótipos; Tacão, fixado no salto, fica em contato direto com o solo, assim como a sola, e destina-se a proteger o salto, normalmente apresentando-se em um tamanho relativamente pequeno, o que exige em sua injeção um material de qualidade com resistência ao desgaste.

Ao considerar todos os componentes envolvidos e suas particularidades de materiais e fabricação, é possível constatar que há muitas empresas, setores e processos normalmente envolvidos na produção industrial de calçados em larga escala.

Para aprovar a criação de um produto e destiná-lo à fabricação de modelos físicos experimentais, a utilização de desenhos técnicos e ilustrações são os meios de representação gráfica habituais, onde há a valorização de texturas, luz e sombras. Além do desenho manual, *software* gráficos são cada vez mais utilizados para a concepção de fichas técnicas e ilustrações. Mesmo com simples esboços manuais submetidos a retoques digitais, é possível alcançar ótimos resultados de visualização do produto, conforme mostram os desenhos das figuras 34 e 35, da marca de luxo *Prada, italiana*, e da esportiva *New Balance, americana*.



Figura 34 - Registros de ideias para um projeto de sapato italiano. Fonte: Prada (2010).

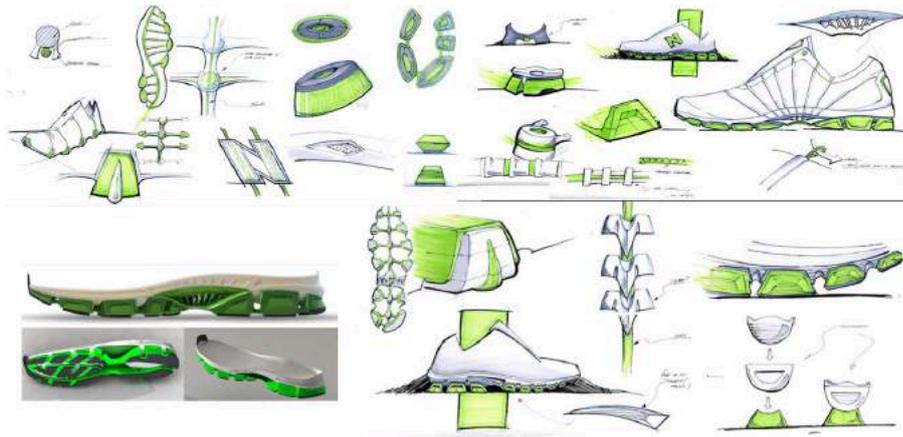
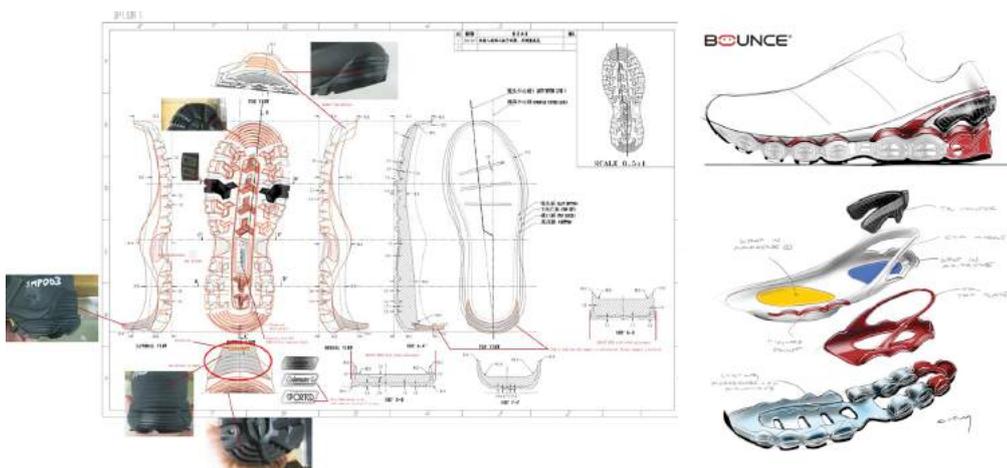


Figura 35 - Desenhos de detalhes do projeto de um tênis, com foco no solado, desenvolvidos em maquete virtual 3D.

Fonte: New Balance (2010).

Desenhos técnicos detalhados são necessários para a fabricação de ferramentas de produção, como moldes e matrizes para injeção de solados, assim como desenhos em perspectiva explodida, apontando e facilitando a visualização de partes, modos de encaixes e sistemas de montagens (figuras 36 e 37).



Figuras 36 e 37 - Vistas ortogonais de um desenho técnico de solado e outro modelo com perspectiva ilustrada em vista explodida, com visualização das partes / componentes. Fonte: Bounce (2010).

Assim como mencionado anteriormente, pela experiência como consultor da ASSINTECAL, o pesquisador verificou que na indústria calçadista brasileira é rara a utilização de *software*

específicos para o desenho de calçados e/ou componentes, nem mesmo programas gráficos convencionais, como CorelDraw e Photoshop²⁶, muito menos a manipulação de modelos em realidade virtual 3D. Esse cenário pode ser atribuído ao fator financeiro, devido os altos custos das tecnologias envolvidas, ao próprio desconhecimento da existência de tais ferramentas ou à falta de profissionais capacitados para operar essas estações de trabalho. *Software* como o RomansCad (figuras 38 e 39) e o ShoeMaster²⁷ (figura 40) facilitam a importação de desenhos manuais, projetando-os sobre uma fôrma 3D para que seja possível desenhar as linhas para recorte e montagem das partes. Ilustrações digitais com cores e texturas fiéis aos materiais naturais, como couros, tecidos e sintéticos, apresentam grande fidelidade de visualização para facilitar críticas e avaliações antes da execução do protótipo físico. Mesmo não sendo possível analisar os aspectos de *performance*, esses arquivos fornecem uma visualização que permite verificar detalhadamente cada parte do produto criado, com extrema facilidade no seu uso e entendimento visual.



Figura 38 - Importação de desenho manual sobre a fôrma, linhas para destacar a modelagem e ilustração digital 3D.

Fonte: Lectra Brasil (2009).

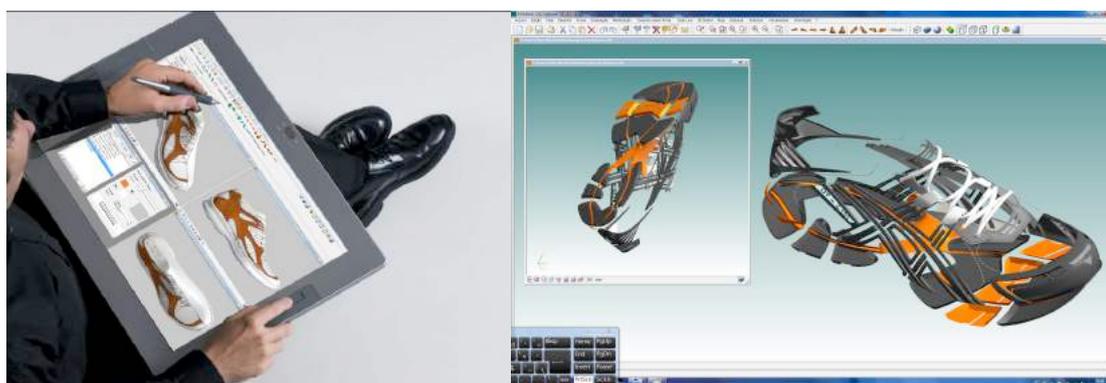


Figura 39 - Designer trabalhando em uma mesa com caneta digitalizadora e imagem no *software* RomansCad. Fonte:

Lectra Brasil (2009).

²⁶ CorelDraw e Photoshop são *software* de computação gráfica destinados a vetorização e tratamento de imagens, respectivamente.

²⁷ RomansCad e ShoeMaster são *software* CAD específicos para o projeto e a criação de calçados.

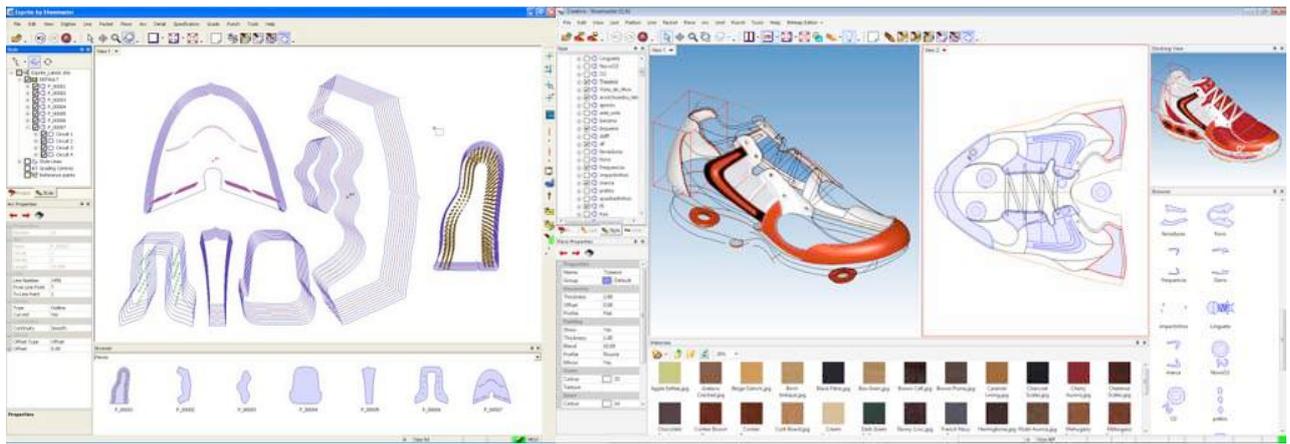


Figura 40 - Escalonamento de um modelo de um tênis e planificação da modelagem com uso do *software*. Fonte: *ShoeMaster* (2009).

Para o melhor aproveitamento dos materiais na etapa de corte, evitando desperdícios, o encaixe das partes é de fundamental importância. Não só na área industrial em grande escala, mas também em peças-piloto ou em pequena quantidade de fabricação, o processo torna-se vantajoso, uma vez que os equipamentos apresentam diversas configurações de tamanho, velocidade e diversidade de calibragem para corte, de fácil adequação a todas as exigências de uso, como ilustrado na figura 41.

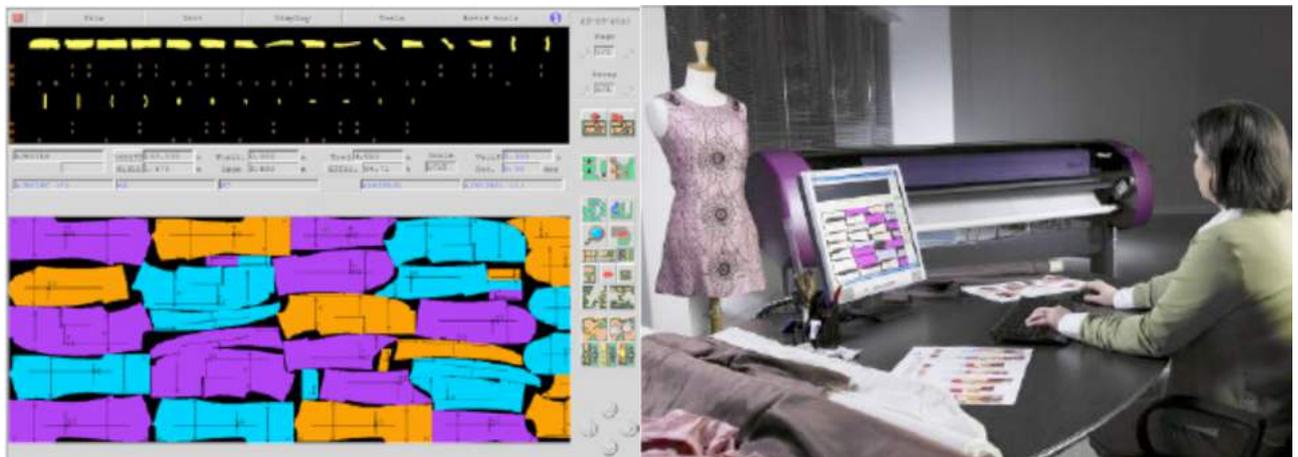


Figura 41 - Encaixe de moldes de vestuário para corte e equipamento de corte digital, *plotter*. Fonte: *Lectra Brasil* (2009).

A utilização de modelos virtuais para o processo de fabricação de pequenos ou grandes exemplares de calçados pode ser adequada a uma realidade comercial já comprovada, com vantagens como melhorias nas peças quanto a design e qualidade, maior produtividade e redução de custo (figuras 42 e 43). Seu uso antes do processo de experimentação e verificação tridimensional em modelos físicos reais possibilita a análise detalhada das partes, dos acabamentos e dos sistemas de construção, além de prever necessidades de desenvolvimento de componentes, como saltos e ferragens, ou de estampas e materiais personalizados.



Figura 42 - Modelos tridimensionais de calçados. Fonte: Via Uno (esq.) e Nike (dir.) (2012).



Figura 43 - Modelo verão 2009, com a participação da arquiteta Zaha Hadid, em que fica nítida a utilização de *software* 3D para a solução da forma, e cuja aparência é uma marca evidente em seus trabalhos. Fonte: Melissa (2009).

Ao analisar criticamente a evolução da indústria de calçados, o pesquisador acredita ter havido pouco desenvolvimento nos projetos de calçados e nas tecnologias empregadas nos processos de fabricação ao longo de toda a sua história. Se tomarmos como exemplo uma comparação com o setor automotivo e considerarmos a evolução do projeto de Henry Ford até os carros fabricados atualmente, a concepção do projeto e todas as suas particularidades evoluíram muito, principalmente pelo implemento da engenharia mecânica, eletrônica embarcada e simulações virtuais para a verificação do desempenho e da segurança, como o *crash-test* virtual. Em relação ao projeto dos calçados de outras décadas e dos que são fabricados hoje em dia, o que exatamente evoluiu? Os materiais, sem dúvida alguma. Mas e a concepção do projeto de construção, como corte e costura, o que mudou!? Salto, solado pregado, parafusado, colado: o sistema é o mesmo. Para intensificar este questionamento e assegurar as possibilidades de melhorias, é preciso fazer constantemente a menção e comparativos com outros setores industriais, principalmente o automotivo e a bioengenharia, até mesmo pelo próprio campo de estudo da tecnologia digital, abordada na pesquisa.

O método tradicional de projeto de um calçado geralmente se inicia com desenhos feitos à mão, utilizando-se recursos de desenho técnico, perspectivas e ilustrações. Equipes analisam e revisam os desenhos quantas vezes forem necessárias até que os gerentes de produto aprovem o conceito (na indústria da cópia essa etapa não existe, mas consideraremos as empresas que

efetivamente criam seus produtos). Durante esse tempo, os materiais do cabedal (parte superior do calçado que reveste o pé) são escolhidos e/ou desenvolvidos, em sua grande maioria terceirizados, incluindo componentes como ferragens, palmilhas e solados. A fábrica vai produzir as amostras e devolvê-los em dias ou até semanas. Designers e gerentes de produto se reúnem para analisar as amostras, quase que inevitavelmente solicitando modificações, ajustes de modelagens, ordenando mais amostras, repetindo o ciclo quantas vezes forem necessárias até que o produto corresponda às exigências e expectativas estabelecidas no *briefing*²⁸ do projeto.

Isso soa demorado (e caro) em uma indústria com grande potencial de produção, pela quantidade e diversidade de modelos, porque realmente é.

O processo tradicional de construção de um calçado (figura 44) pode ser resumidamente descrito como: modelagem, corte e costura. De certo que, dependendo da complexidade de cada modelo, outros processos são envolvidos, como o desenvolvimento de componentes como saltos, solados, ferragens, estampas, curtimentos de peles naturais, entre outros, fabricados por meio de fundição, injeção, gravação, laminação e impressão gráfica, por exemplo.

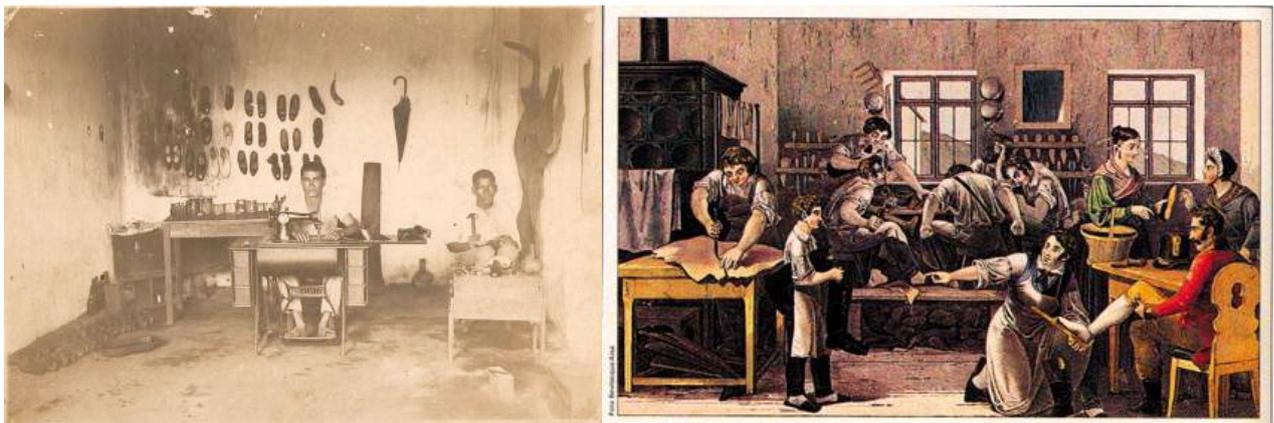


Figura 44 - Processo artesanal de um sapateiro da década de 60, com uso de bancada para cola e prego e máquina de costura. Ao lado, uma cena de um sapateiro do século XVIII, notando-se todo o processo, desde a retirada de medidas, corte, costura, colagem e acabamento. Fonte desconhecida.

Atualmente a técnica de modelagem mais utilizada ainda é a que usa fita-adesiva (fita-crepe) sobre a fôrma (figura 45). Mas, assim como a alfaiataria desenvolveu técnicas de planificação para o desenvolvimento dos modelos, na Itália é possível se encontrar diversos métodos destinados aos calçados tradicionalmente ainda em uso. No Brasil da década de 50, em Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, (onde hoje está o maior polo calçadista do país), *Michele Martucci* foi um dos italianos que trouxe e difundiu o desenho técnico para modelagem plana de calçados (figura 46).

²⁸ *Briefing* são as definições das considerações e expectativas textuais necessárias para a realização de qualquer projeto.



Figura 45 - Modelagem com uso de fita-crepe sobre a fôrma e planificação das partes de um calçado. Fonte: Choklat (2012).

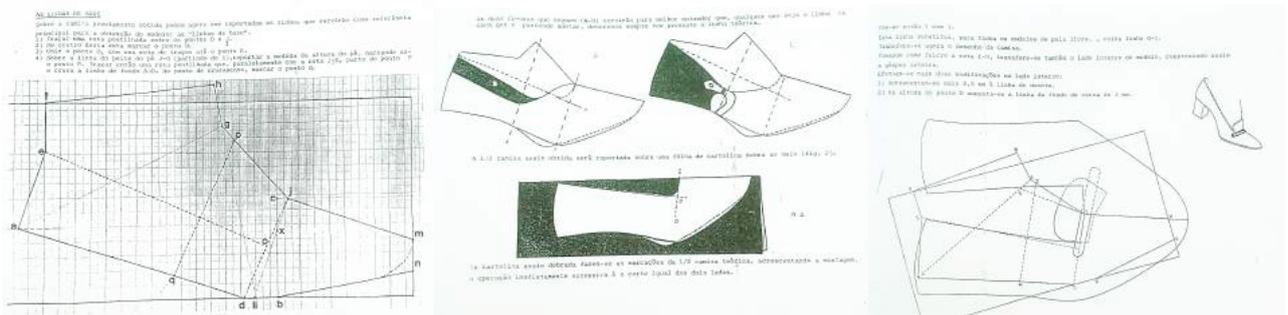


Figura 46 - Esquema de modelagem planificada. Fonte: Michelli Martucci (1975).

As fôrmas, ou moldes dos pés, que representam fielmente as características das medidas de um modelo de calçado a ser fabricado, contêm informações pertinentes a numeração, medidas gerais do pé e características de modelos de bico aliados às diferenças de altura dos saltos. Ou seja, para cada modelo existe a grade que comercialmente, para o público feminino, compreende do número 35 ao 39 (segundo padrão de escala francesa). Multiplicando-se pelos diferentes modelos de bico e alturas de salto, facilmente tem-se algumas centenas de fôrmas necessárias para a fabricação de cada coleção de calçado. Inicialmente se trabalhava com fôrmas feitas em madeira, esculpidas a mão, uma a uma (figura 47). Em razão do grande volume de trabalho, os moldes são fabricados por processo de torno digital. Arquivos 3Ds também são necessários para o processo de usinagem de solados e matrizes para injeção, como os usados nos equipamentos de usinagem CNC - Controle Numérico Computadorizado (figuras 48 e 49).



Figura 47 - Fôrma de madeira ainda utilizada por sapateiros. Fonte: www.novohamburgo.org (2016).

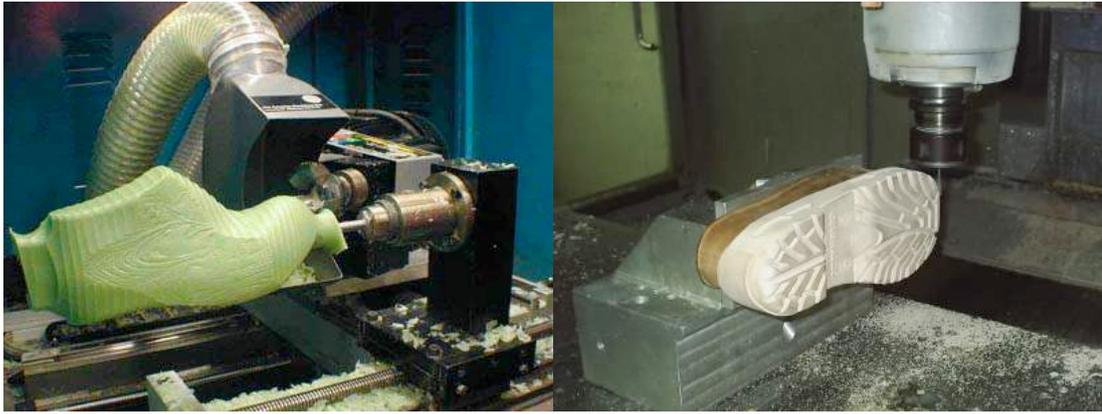


Figura 48 - Fôrma em torno digital e molde de solado usinado em fresa CNC. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 49 - Complexa matriz para injeção de botas de borracha (galochas), usinadas em torno CNC. Fonte: Acervo pessoal.

Na etapa do corte, após a obtenção dos moldes das partes destacadas, ainda são adotados modelos artesanais de fabricação, com o uso de navalha para o corte das peças de couro (figura 50). No parque industrial brasileiro é comum o uso de facas de corte com navalhas feitas de lâminas de serra de metal, esmerilhadas e afiadas, e outras ferramentas de corte e equipamentos com contra-peso (balancins) para agilizar o processo.



Figura 50 - À esquerda, posto de trabalho de corte industrial da década de 60; ao centro, corte artesanal na Itália, em 2010, ambos com uso de navalha para corte. Na imagem da direita tem-se o uso de faca de corte e balancim para corte de palmilhas. Fonte: Choklat (2012).

No processo de costura, praticamente as máquinas sofreram evolução, mas o sistema de construção do calçado e a necessidade de linha para costura pouco mudou. Os materiais

evoluíram e os acabamentos também. As máquinas têm possibilidade de transportes diversos de materiais (transporte simples, duplo ou triplo), conforme sua espessura, além de possuírem coluna e braço para operações específicas. Mas assim como no processo do corte, nota-se pouca evolução, principalmente quanto à abordagem do projeto e nas etapas de manufatura (figura 51).



Figura 51 - Fábrica de costura dos anos 60; processos industriais de grande escala na China, e trabalho ilegal na China.

Fonte: International Press Photo Contest (2006).

Em situações em que o produto recebe uma atenção exclusiva, como no mercado da alta-costura, marcas tradicionais como a Gucci apresentam células de produção onde o artesanal une-se com o industrial (figura 52). O melhor e mais refinado modo artesanal de construção alia-se às mais modernas máquinas e equipamentos de conformação industrial.



Figura 52 - Célula de produção de calçados da marca italiana Gucci. Fonte: International Press Photo Contest (2006).

Considerando a produção em larga escala, é evidente que houve a necessidade de sapateiros ampliarem sua linha de montagem, em alguns casos gerando verdadeiros impérios de produção industrial. Entretanto, verificando-se a história do produto calçado nas últimas décadas, qual a verdadeira evolução: materiais, conforto, design, processos automatizados e mais confiáveis, produtos baratos e ambientalmente corretos? Esse tipo de questionamento faz parte do *briefing* para o projeto conceitual proposto na tese.

Em função da melhoria das questões de segurança e desempenho, o setor automotivo possui diversos centros de pesquisas e tecnologias avançadas. Com a afirmação de que a indústria de calçados também é uma montadora de produtos, assim como a automotiva, acredita-se haver grandes possibilidades de evolução para o setor calçadista inspiradas no setor automotivo e embasadas pela hipótese da transferência de tecnologias (figuras 53 e 54).



Figuras 53 e 54 - Fábrica de calçados em 100 anos de evolução, de 1900 à 2000. Fonte: Joseph Cheaney & Sons (2012).

3.5.1 A indústria calçadista e o meio ambiente

Quando se avaliam os impactos ambientais apresentados pela cadeia produtiva do setor calçadista, pela diversidade dos componentes e seus respectivos materiais e processos, dificilmente podem ser encontradas avaliações significativas ou mesmo exemplos de sucesso que sirvam como referência para um modelo de produção limpa. Com exceção de trabalhos experimentais ou mesmo pontuais em pequena escala de fabricação, a indústria de massa de calçados é responsável por diversas agressões ambientais provocadas em todas as suas etapas, desde a aquisição da matéria-prima, manufatura, uso e descarte. Ferramentas ambientais como a ACV - Análise do Ciclo de Vida surgiram após 1993, quando a ISO - International Organization for Standardization criou um comitê, intitulado Comitê Técnico TC 207, para desenvolver normas relacionadas com o meio ambiente. Subcomitês foram estabelecidos conforme divisões relativas aos sistemas de gestão ambiental, às auditorias na área de meio ambiente, à rotulagem ambiental, a avaliações do desempenho ambiental, à análise durante a existência (análise do ciclo de vida), a definições e conceitos, à integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos, à comunicação ambiental e às mudanças climáticas, surgindo assim a série de normas ISO 14000.

Temos conhecimento quanto à importância e as complexidades envolvidas quando se trata de qualquer processo industrial e sua relação com o meio ambiente, principalmente se consideradas todas as etapas do produto, desde a sua concepção até sua comercialização. Devem ser considerados os meios da extração e aquisição das matérias-primas, sua manipulação na fabricação, a interferência ambiental pelo uso, possibilidades de reutilização das partes em outros componentes ou produtos, necessidades de manutenção, reciclagem, gestão de resíduos, meios de transporte envolvidos, entre outros. Avaliar gastos com energia, água e suas respectivas emissões atmosféricas, resíduos líquidos e sólidos gerados em todas as etapas mencionadas. É de

fato um trabalho gigantesco e de difícil quantificação. Acredita-se que, se ao menos certas normas fossem adotadas e exigidas por decretos de lei a favor do meio ambiente, obviamente com os devidos incentivos fiscais para a aquisição de novas tecnologias que minimizem os impactos ambientais, certamente o cenário não seria o mesmo.

“Menos é Mais”, “3Rs” (Reduzir, Reciclar e Reaproveitar), entre outros tantos jargões utilizados pelo mercado consumidor, não são meros conceitos definidos por pacifistas ou ativistas ambientais, mas deveriam ser pensamentos impostos para o setor industrial de manufatura de qualquer e todos os produtos existentes. Al Gore, que foi vice-presidente dos Estados Unidos, em seu documentário lançado em 2006 *“An Inconvenient Truth”* (Uma Verdade Inconveniente), tinha como objetivo principal alertar o mundo sobre os problemas ambientais já detectados e seus desdobramentos, principalmente o aquecimento global. Mas, desde então, o que realmente o mundo está fazendo a respeito? O cenário pessimista apresentado em 2006 melhorou, piorou ou os problemas continuam os mesmos?

Ao invés de fabricar produtos com diversas partes e materiais em sua composição, envolvendo uma série de processos industriais, como na fabricação dos calçados, seria melhor pensar em reduzir componentes, e fazer um uso racional de materiais e processos para impactar cada vez menos o meio ambiente. Não se trata mais de uma questão política, tampouco pacifista, mas sim algo emergencial. Pensar em um calçado que normalmente apresenta de 20 a 25 partes, e elaborá-lo como uma única peça e em um único processo de fabricação seria uma revolução e uma evolução que transita nos mais amplos pensamentos de ativistas ambientais, em um contexto muitas vezes utópico. Mas a fabricação digital pode ser uma alternativa e também uma solução para reduzir significativamente esse cenário, ao ponto até de voltarmos aos tempos em que se pensava que a natureza era infinita. Mas hoje se tem a certeza de que os recursos ambientais estão cada vez mais escassos e comprometidos, e que infelizmente a natureza é finita.

Nesse contexto, é possível fazer certos questionamentos, como: se o designer pode ser responsável por agregar valores funcionais, estéticos e de conforto, não caberia impor-lhe limitações de acesso aos recursos naturais, fazendo-o também responsável pela melhoria da qualidade de vida em geral? Outra utopia ou possível realidade? Nesse aspecto, acredita-se que o designer pode ter um papel fundamental na criação de novos e revolucionários produtos, e capaz até de criar um novo mundo!

3.6 Tecnologias digitais viáveis para o design de calçados

A viabilidade do uso de uma tecnologia depende de uma série de fatores. O custo muitas vezes é uma barreira para a adoção das tecnologias emergentes, mas em relação ao universo 3D,

acredita-se que esse não seja o principal fator. A quebra de paradigmas que envolvem um sistema amplo e complexo assim como é a indústria de calçados, dificilmente transformará seu modo de projetar e fabricar, uma vez que há a abrangência de um sistema que envolve diversos fatores sociais, políticos e econômicos. Mas para o objetivo da pesquisa se faz necessário um levantamento dos métodos e equipamentos disponíveis no mercado.

3.6.1 Scanner 3D

Para a captação do formato do pé com o uso de *scanner* 3D, diversas situações podem dificultar essa tarefa. A maior dificuldade encontrada para a realização da pesquisa foi relacionada com a obtenção do formato da sola do pé sob o efeito do peso corporal. Nessa posição, pela compressão que o peso do corpo exerce sobre o pé, ocasiona o achatamento e o alargamento da sola do pé. Atualmente é mais comum encontrar *scanner* 3D para a aquisição do pé descalço, tornando a captação complexa para pés em outras posições.

Existem alguns fabricantes de *FScan* (Foot Scanner), mas são equipamentos sofisticados, de acesso restrito, não considerado com preço popular, inviabilizando sua aquisição pela maioria dos pequenos escritórios e profissionais liberais (figura 55).



Figura 55 - Equipamentos de captura digital de informações pertinentes a projeto de calçados, adaptados com sensores piezoelétricos na palmilha para determinação da pressão plantar e *scanner* de pés. Fonte: da esquerda para a direita, LeftShoeCompany, USA e Vroom, Canadá (2015).

Considerando-se a grande evolução digital em relação aos anos 1990, com destaque para as tecnologias móveis, diversos aplicativos foram desenvolvidos para possibilitar que um celular ou um *tablet* tenham a função de *scanner*. A empresa espanhola *SunFeet*, por exemplo, utiliza o próprio celular do cliente para a captura de fotos dos pés especificamente para o desenho de palmilhas. O aplicativo exibe informações passo a passo para o registro dos pés nas fotos e explica como gerar um arquivo 3D para solicitar palmilhas personalizadas.

Como pode ser visto na sequência de imagens (figura 56), o aplicativo recomenda utilizar uma folha A4 para posicionar o pé descalço, estabelecendo assim um modo de padronizar as

imagens e gerar os modelos. Após a captura das imagens do pé direito e do esquerdo, o aplicativo gera um código que deverá ser inserido no site para efetivar a compra da palmilha sob-medida, que é enviada posteriormente pelo correio. Exemplo de teste realizado pelo autor na figura 57.



Figura 56 - Sequência de instruções para utilizar o aplicativo. Fonte: SunFeet (2015).

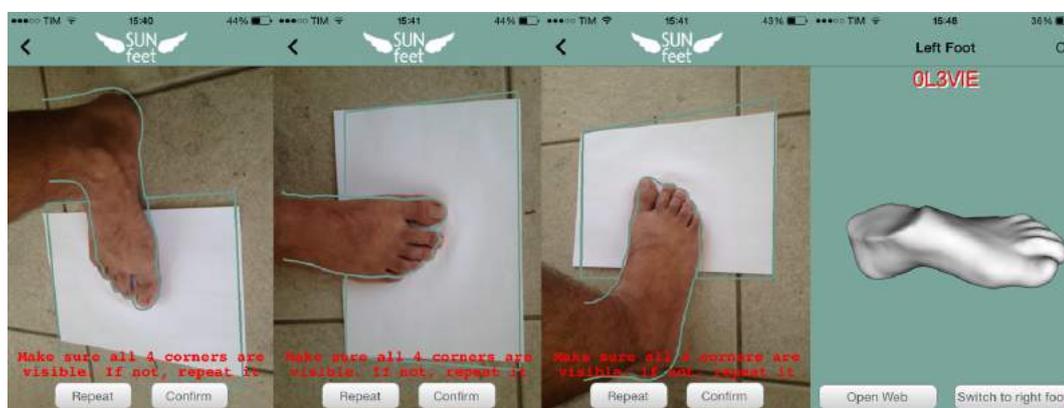


Figura 57 - Utilização do aplicativo desenvolvido pela SunFeet para a captura de imagens do pé para a geração do modelo virtual, com o objetivo de encomendar palmilhas anatômicas sob-medida. Acervo pessoal.

3.6.2 Desenho CAD e parametrizado

Desenvolver modelos paramétricos pode significar uma grande economia de tempo na adoção de programas CAD para o projeto de calçados em razão da quantidade de lançamentos por ano. Além dos modelos, a adequação para a variedade de numeração comercial também deve ocorrer, formando-se assim a “grade” de cada modelo. A adoção de modelos parametrizados implica a possibilidade de elaborar diversos modelos a partir de um único conjunto de componentes, desenvolvendo-se assim novas propostas com o mínimo de alterações. Deve-se adotar uma série de aplicações ao projeto, sendo uma delas a redução das variáveis. Quando se encontra a relação usuário x produto, como no caso da bicicleta, as variáveis ficam claramente relacionadas (figura 58).

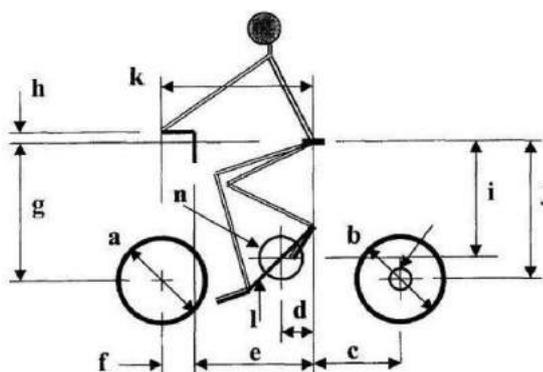


Figura 58 - Modelo parametrizado para a criação de bicicleta. Fonte: Medland e Mullineux (2000).

Projetos experimentais utilizando o conceito da parametrização para o desenho de calçados podem ser analisados, como o desenvolvido em 2015 pelo *Double Studio*, da Itália. Como pode ser visto, é apenas um experimento, sem possibilidade de utilização pela sua fragilidade, mas pode dar indícios de como será o desenvolvimento e o futuro dos calçados (figura 59).



Figura 59 - Projeto do Double Studio, Itália. Fonte: Alessio Spinelli (2015).

Apesar de ter sido desenvolvido um projeto experimental assistido por *software* 3D no desenvolvimento da pesquisa, a parametrização não foi trabalhada por ter sido utilizada apenas uma referência antropométrica para idealizar o modelo.

3.6.3 Método dos elementos finitos: Análise e interpretação de desempenho

Esta seção apresenta a preparação para a formulação da questão fundamental da pesquisa, que é a análise de desempenho. As análises dos comportamentos dinâmicos dos projetos automotivos assistidos pelo uso de *software*, apresentam extrema precisão e confiabilidade nos dados gerados, além de vantagens econômicas, conforme pode ser verificado nos apontamentos de VALERIANO (1998) e ALVES FILHO (2005).

Quando há a necessidade de se verificar algum fenômeno mecânico, recorrer aos números para formular os corretos equacionamentos que configuram os esforços e as deformações de componentes, por exemplo, são fundamentais para se obter parâmetros e dimensões que auxiliem nas análises desejadas.

É bem verdade que Demócrito já o suspeitaria, no entanto somente Planck pôde prová-lo: tudo é quantizável. Eis por que os números convêm ao mundo, mas as letras não. (FLUSSER, 2007).

Na indústria automotiva, a análise virtual de um *crash test* é simulada por ferramentas digitais, evidenciando as complexas tensões e deformações sofridas por um automóvel em um impacto frontal, e as consequências e implicações desse impacto transmitidas aos passageiros. Para VALERIANO (1998), segurança “...é o estado no qual o risco de danos pessoais ou materiais está limitado a um nível aceitável.” GOMES F. (2003) aprofunda a abordagem conceituando a segurança como a utilização segura e confiável de objetos em relação às suas características funcionais, operacionais, perceptíveis, de montagem, de fixação, sustentação, e outras, fundamentalmente, contra riscos e acidentes eventuais que possam envolver o usuário ou grupo de usuários. É fato que critérios de segurança para carros são distintos dos exigidos para os calçados, entretanto, uma vez que a complexidade do automóvel é muito superior a este, presume-se que a adoção de tais técnicas para o projeto de novos calçados sejam possíveis de serem adotadas, sem restrições técnicas ou financeiras, principalmente para os grandes fabricantes.

Quanto à descrição dos diversos modelos de testes existentes, segundo KAMINSKI (2000), “...modelos são representações idealizadas de uma situação real, criados com a finalidade de auxiliar na análise e/ou previsão de determinado fenômeno ou processo. Os modelos podem ser classificados de diversas formas: descritivos / preditivos, estáticos / dinâmicos, determinísticos / probabilísticos, ou ainda icônicos / analógicos / simbólicos.”

Um modelo descritivo permite o entendimento de determinado sistema real ou fenômeno. Já os modelos preditivos, podem, dentro de certas faixas de domínio, prever o comportamento do fenômeno ou do sistema real. A classificação entre estático e dinâmico está ligada à caracterização do modelo por parâmetros em função do tempo (dinâmico) ou não (estático). Um modelo determinístico descreve o comportamento de um fenômeno em que o resultado de um evento ocorre, ou supõe-se que ocorra, com certeza. Entretanto em muitos sistemas reais, senão na maioria, a saída ou resultado para um determinado acontecimento não é conhecida com certeza, sendo então tratada através de modelos probabilísticos. (KAMINSKI, 2000)

Sobre as últimas classificações, descreve esses modelos como:

a) icônicos: são esquemas, fluxogramas, diagramas, desenhos, perspectivas, maquetes físicas ou eletrônicas, protótipos obtidos de sistemas de prototipagem rápida, utilizados para a visualização do produto em seus vários aspectos.

b) analógicos: protótipos ou modelos reduzidos, utilizados para avaliar o funcionamento por meio de medidas experimentais.

c) simbólicos: são relações matemáticas que representam as leis físicas e químicas que regem as várias propriedades do produto, permitindo avaliar, de forma compacta, seu desempenho funcional e construtivo. Simulações numéricas são mais poderosas mas apresentam dificuldade no entendimento do fenômeno.

Criar um modelo matemático de um carro real, com todas as suas características estruturais e de materiais, simulando a análise desse modelo em uma situação dinâmica, assim como o *crash test* (ilustrado pelas figuras 60 e 61), trata-se de uma poderosa tecnologia de análise, mas com grande complexidade de elaboração. Pela confiança nos resultados obtidos e pela complexidade necessária para se determinar todas as partes fixas, móveis e junções de um produto, inserindo as propriedades dos materiais com seus coeficientes e devidas resistências, além do extremo conhecimento necessário do método de análise dinâmica virtual, é nítida a complexidade do tema, porém considera-se como uma grande e promissora ferramenta para a abordagem tecnológica e evolutiva do setor calçadista mundial, principalmente se for difundida na área do design e não ficar restrita ao uso da engenharia.

A análise virtual do calçado, objeto de estudo desta tese de doutoramento, assim como mencionado, baseia-se no método dos elementos finitos. Com a utilização dessa ferramenta, a indústria de automóveis garantiu melhorias nos projetos, prevendo possíveis falhas e danos, erros de projeto, melhorias quanto a segurança, conforto e desempenho, além da redução dos altos custos envolvidos na fabricação de um modelo físico e protótipo de um veículo (ALVES F., 2005).

Um fato questionável surge quando MORRIS (2010) aponta que os modelos matemáticos são utilizados para localizar pontos de articulação, para calcular tamanho e potência ou para prever como os designs se comportarão com a mudança de variáveis como força ou temperatura (exemplo de análise de suspensão automotiva na figura 62). Porém descreve que é importante lembrar que esses modelos são apenas representações simbólicas da realidade, e as respostas devem ser vistas como informativas e não exatas. Esta pode ser uma questão delicada à se discutir, mas ao analisar tal citação, pode-se discordar dessa afirmação, uma vez que se tornam claras as diversas vantagens da aplicação desses modelos de análises, obtendo diversos resultados confiáveis e satisfatórios na indústria automobilística e que podem muito bem ser absorvidos por outros setores industriais, como o calçadista.

A geometria teórica (e a mecânica teórica) é um design ao qual submetemos os fenômenos para poder tê-los sob controle. (FLUSSER, 2007)

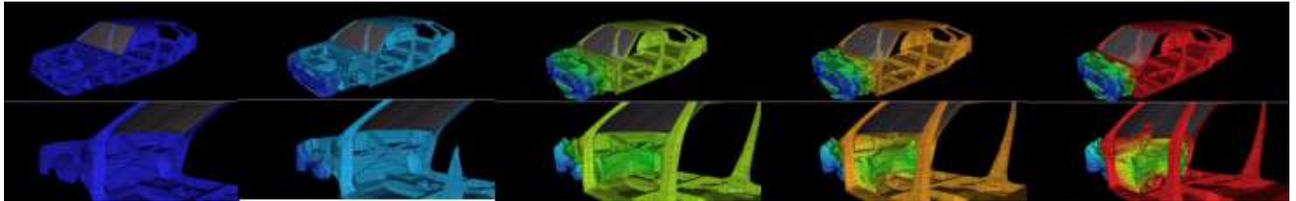


Figura 60 - Simulação virtual de um *crash test* frontal em um chassi de automóvel. Fonte: TSystems (2002).

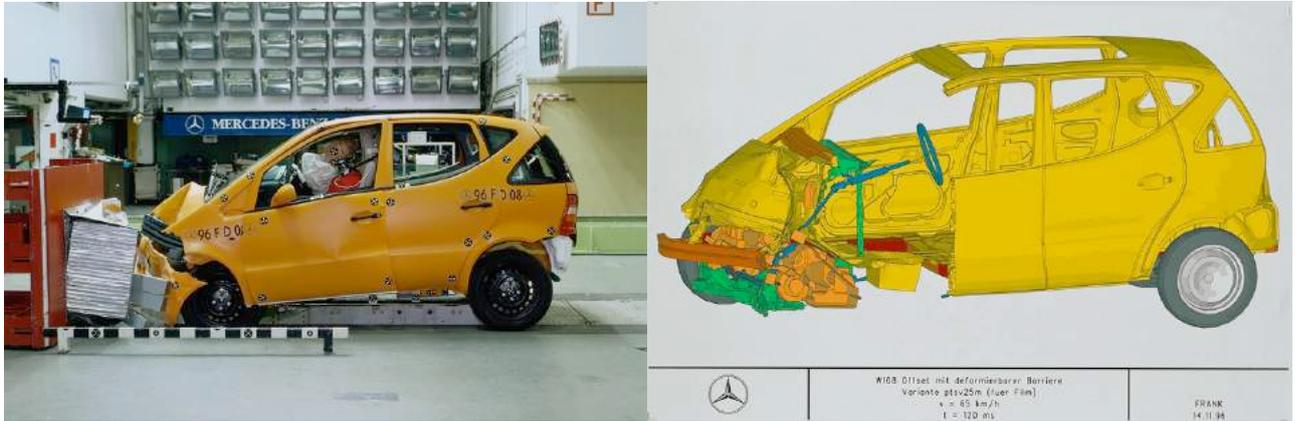


Figura 61 - Protótipos físico e virtual de um *crash test* frontal a 65 km/h. Pode-se notar a veracidade da simulação digital quando comparada com o ensaio real. Fonte: TSystems (2002).

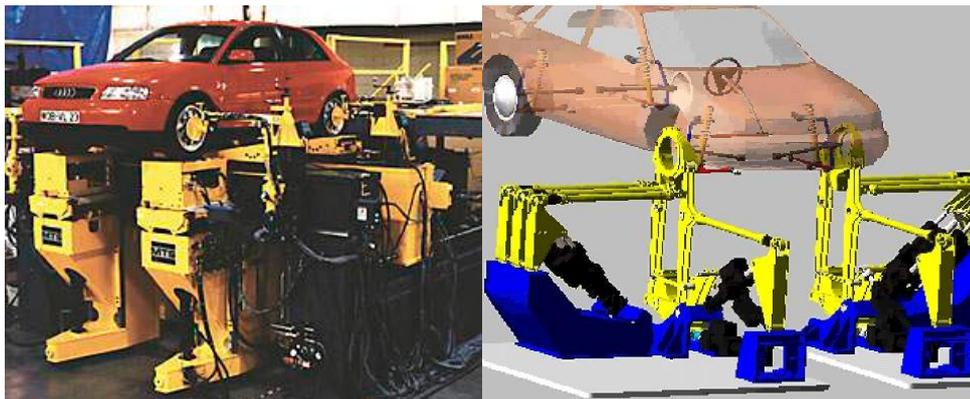


Figura 62 - Análise do comportamento do conjunto de suspensão de um veículo. Fonte: TSystems (2002).

Outro conceito importante para a modelagem matemática é conhecido como *design paramétrico*. Um design e suas características podem ser definidos por diversos parâmetros-chave, como altura ou peso. Se essas características estão conectadas, é possível alterar um *design* inteiro mudando apenas um dos parâmetros. Supondo, por exemplo, que a profundidade de um produto deva ser a metade de sua altura, alterar sua altura irá automaticamente mudar a profundidade. Esse princípio significa considerar *CAD* (*Computer-Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador) uma técnica poderosa de modelagem orientada para características (em vez de geometria). Ou seja, é possível usar bibliotecas de peças com características padrão e economizar tempo no processo de design, o que possibilita a realização de mudanças em desenhos *CAD* de modelos sólidos sem precisar começar novamente no caso de uma forma exigir alterações. Isso também oferece ao designer a chance de produzir rapidamente projetos fora do

padrão do mercado, para atender assim às exigências específicas do cliente, ou gerar *designs* utilizando conexões matemáticas interessantes (MORRIS, 2010).

Outra constatação diz respeito ao fato de que, por mais adiantada que esteja a tecnologia, simular as percepções do usuário definitivamente não é tarefa fácil, visto que, “...os seres humanos têm um sistema sensorial motor incrivelmente rico que permite constante avaliação do estado do mundo e de nossos corpos. Temos dezenas de milhões de células nervosas especializadas para detectar luz e som, tato e sabor, toque e equilíbrio, temperatura, pressão, dor, e sensores internos para nossos músculos e posição corporal” (NORMAN, 2010).

Uma das grandes limitações deste trabalho sem dúvida é a descrição das forças e reações, tanto na definição do modelo de pé na marcha humana quanto na transferência das forças para o calçado e sua relação com o solo. O estudo é essencial, mas adotar certas simplificações no modelo matemático torna-se fundamental e crucial para se obter resultados úteis e satisfatórios.

O custo da colisão entre o pé e o solo, na pesquisa de NIGG (2010), foi assumido como o custo metabólico proporcional muscular do trabalho envolvido no impulso. Dessa forma, durante o contato do pé com o solo, na análise de energia, pode-se incluir: a energia inicial e o impulso do sistema locomotor durante o impacto com o solo; a transição temporal da energia e do impulso e como essa transição é controlada pelos músculos; a energia temporal do retorno no sistema locomotor e a troca de direção do impulso durante a fase de contato.

O termo energia de retorno foi descrito por SHORTEN (1993) como o armazenamento e o retorno da deformação dos materiais viscoelásticos utilizados no amortecimento dos calçados esportivos. Essa característica do calçado pode reduzir o consumo de oxigênio e, conseqüentemente, retardar a fadiga.

Segundo NIGG (2010), a energia armazenada na compressão do solado é retornada durante a segunda metade do movimento, isto é, durante a fase de propulsão. O trabalho realizado no solado pode ser descrito como energia de entrada, e o trabalho feito pelo solado como energia de saída, isto é, energia de retorno.

O trabalho realizado no solado durante a recuperação elástica representa a diferença entre a energia armazenada e a energia dissipada (i. e. na forma de calor) durante a recuperação, ou seja, a energia perdida é a energia que é absorvida pelo material e dissipada em energia térmica, representada pelo carregamento e o descarregamento (histerese) (SHORTEN 1993; BRÜCKNER et al. 2010). A constatação do trabalho realizado no solado foi de 11,5J, sendo 7,9J armazenados e 3,6J foram dissipados na forma de calor, segundo observado por SHORTEN (1993).

PALHANO (2013) considera que dos 10 a 16J da energia dissipados durante o impacto inicial, 10 a 12 J podem ser recuperados, ou seja, como energia de retorno. Durante uma atividade física,

por exemplo, caminhada ou corrida, um atleta tem uma energia de impacto de 3 até 7J, respectivamente (CHIU, 2000; BRÜCKNER *et al.*, 2010).

Durante o movimento, o impacto entre o pé e o solo gera uma onda de choque que é transmitida para o sistema músculo-esquelético. E essa onda de choque tem magnitude entre 5 e 15 vezes a aceleração da gravidade, e é atenuada para 1 e 3 na região da cabeça (SHORTEN, 2000).

O calçado é uma malha dissipadora de energia, e essa alta taxa de energia dissipada (150 W) dos componentes de amortecimento é coincidente com o impacto do calcâneo (SHORTEN, 1993). A relação entre a energia absorvida absoluta e relativa, tempo de deformação e velocidade de deformação é dada pelas equações à seguir²⁹.

$$E_{Abs} = E_{Aplíc} - E_{retorno}$$

$$E_{Abs} = E_{Abs} / E_{Aplíc} \times 100$$

$$V_{def} = def_{max} / tdef_{max}$$

sendo que:

E_{Abs} = energia absorvida

$E_{Aplíc}$ = energia aplicada

$E_{retorno}$ = energia de retorno

E_{rel} = energia relativa

V_{def} = velocidade de deformação

def_{max} = deformação máxima

$tdef_{max}$ = tempo de deformação máxima

A energia absorvida é a somatória da energia de impacto e da energia de recuperação, que são determinadas pela integral da força pela deformação, conforme equações abaixo.

$$E_i = \int_0^{X_m} F dx$$

$$E_r = \int_{X_m}^{X_f} F dx$$

sendo que:

E_i = energia de impacto

E_r = energia de recuperação

X_m = deslocamento máximo

X_f = deslocamento restante da espuma

$F dx$ = força de deformação

²⁹ As formulações apresentadas não foram utilizadas diretamente para elaborar o modelo apresentado no final desta tese, bem como o equacionamento referente aos elementos finitos, sendo esta uma ferramenta à ser utilizada sem a necessidade do raciocínio matemático, mas foram relevantes para compreender os fenômenos relacionados com as forças envolvidas na pisada humana

No trabalho de PALHANO (2013), quando este verificou o estudo de solados, foram consideradas em suas análises: a componente vertical da força de reação do solo, descrita pela taxa de aceitação do peso, primeiro e segundo pico da força vertical; a força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto e propulsão; aceleração do calçado, aceleração tibial e transmissibilidade de aceleração, além das variáveis mecânicas, densidade, dureza, rigidez, energia absorvida e perdida (figuras 63 e 64).

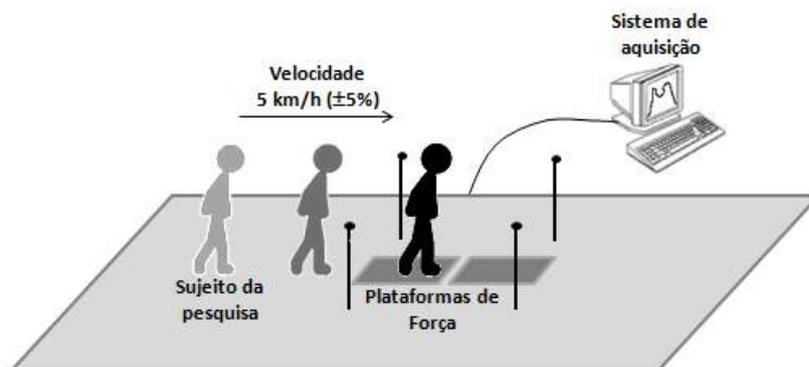


Figura 63 - Desenho esquemático da medição do passo em plataforma de força. Fonte: Palhano (2013).

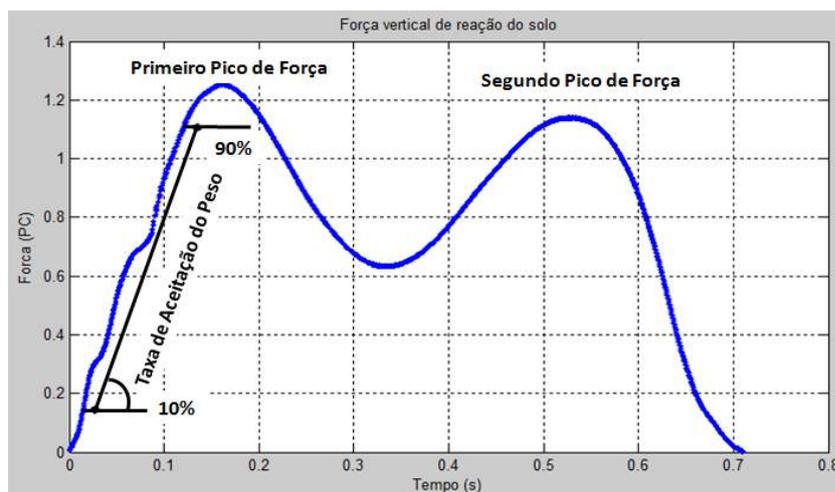


Figura 64 - Gráfico obtido com a taxa de aceitação do peso da componente vertical da força de reação do solo, com primeiro e segundo pico de força. Fonte: Palhano (2013).

Para o experimento de PALHANO (2013), certos termos foram adotados:

1) Força de Reação do Solo (FRS): Para a determinação da força de reação do solo foi utilizada a terceira lei de Newton, referente à força que uma partícula exerce sobre outra, onde esta também irá exercer sobre a primeira uma força na mesma intensidade, porém no sentido oposto. Quando uma pessoa se desloca, o solo produz forças de mesma magnitude as quais podem ser mensuradas por meio de plataformas de força (NIGG & HERZOG, 2007).

2) Primeiro Pico de Força (PPF): É medido pelo valor máximo da componente vertical da força de reação do solo durante a primeira metade do tempo de contato do pé com o solo, localizado na região do calcanhar.

3) Segundo Pico de Força (SPF): São forças geradas pelo movimento que é inteiramente controlado pela atividade muscular (NIGG & HERZOG, 2007). Na curva da marcha é determinado pelo valor máximo da força vertical de reação do solo, depois da segunda metade do tempo de contato do pé com o solo., localizado na região da cabeça dos metatarsos.

4) Taxa de Aceitação do Peso (TAP): É a inclinação da curva (Força vs. Tempo), durante a fase de contato do pé da componente vertical da força de reação do solo (CVFRS). O impacto na locomoção humana são as forças resultantes entre a colisão de dois objetos, compreendendo no máximo 50 milisegundos depois do contato destes objetos (NIGG & HERZOG, 2007, LIEBERMAN et al, 2010).

5) Taxa de Aceitação de Aceleração do Calçado (TAAC): É a inclinação da curva (Aceleração vs. Tempo) de aceleração do calçado durante o primeiro contato do pé com o solo até o pico máximo de aceleração.

A Taxa de Aceitação do Peso (TAP) foi calculada pela seguinte equação:

$$TAP = \frac{\Delta FRS_v}{\Delta t}$$

sendo que: *TAP* é taxa de aceitação de peso em peso corporal; *FRS_v* é a força de reação do solo, componente vertical em peso corporal (PC); *t* é tempo em segundos.

A impulsão foi determinada pela equação:

$$\text{Impulso} = \int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt$$

sendo que: *F* é força de reação do solo - peso corporal (PC); *t* é tempo em s.

As dissertações de SILVEIRA (1997) e TOSO (2012) (figura 18), ambas sobre plataformas de forças para análise da marcha humana, apresentam dados iniciais importantes para o entendimento dos fenômenos físicos envolvidos, conforme as figura 65, 66 e 67.

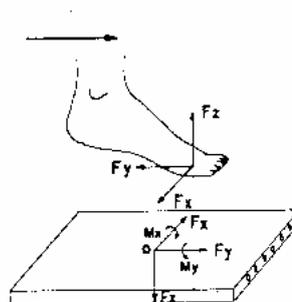


Figura 65 - Plataforma de força e as componentes de força e momento *Fz* (força normal), *Fx* (força médio lateral), *Fy* (força anteroposterior), *Mx* (momento em torno do eixo X) e *My* (momento em torno do eixo Y). Fonte: Cavanagh e Lafortune (1980).

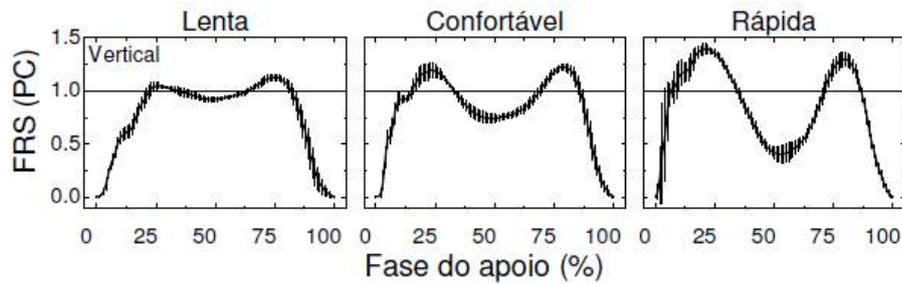


Figura 66 - Força de Reação de Solo para diferentes velocidades de locomoção. Fonte: Barela e Duarte (2010).

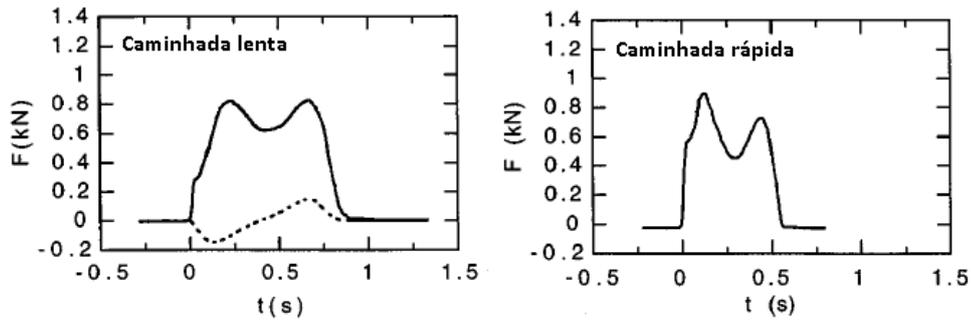


Figura 67 - Força de Reação do Solo para caminhada lenta e rápida. A linha tracejada diz respeito às amplitudes de forças horizontais que representam aproximadamente 15% da amplitude da força vertical em análises da marcha humana. Fonte: Cross (1999).

Durante a marcha, os dois pés ficam em contato com o piso, simultaneamente, em cerca de 1/4 do tempo, e os efeitos no centro de massa do corpo (centro de gravidade do corpo) resultam da soma das forças de reação que atuam em ambos os pés. Durante os 3/4 de tempo restantes, apenas a força de reação de um pé influencia o movimento do centro de massa do corpo (Meglan e Todd, 1998).

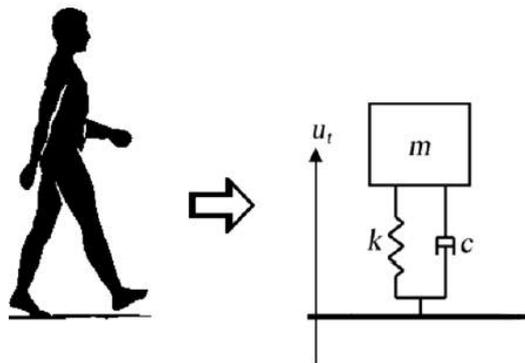


Figura 68 - Modelo biodinâmico de um grau de liberdade. Fonte: Toso et al. (2012).

Os parâmetros dinâmicos massa (m), amortecimento (c) e rigidez (k) do modelo são equivalentes para representar as partes do corpo humano. A equação que representa o movimento para cima e para baixo do centro de gravidade do pedestre é dada por:

$$m\ddot{u}_t + c\dot{u}_t + ku_t = P_{FRS}$$

sendo que: u_t é o deslocamento do grau de liberdade com respeito a um ponto de referência fixo. O termo P_{FFS} é a força de reação do solo, sendo mensurada em conjunto com a aceleração no nível da cintura. Considera-se que o centro de gravidade da pessoa está localizado na região de sua cintura. Os parâmetros biodinâmicos foram obtidos resolvendo um sistema de três equações não-lineares conforme apresentado a seguir:

$$A(\omega_i) = \frac{\omega_i^2 P_{FFS}(\omega_i)}{|k - \omega_i^2 m + j\omega_i c|}$$

Os movimentos do grau de liberdade do sistema, tendo uma massa m , são considerados como os movimentos do centro de gravidade do corpo humano, enquanto a rigidez k representa a impedância mecânica do corpo, e o amortecimento c está relacionado com a dissipação de energia dos movimentos do corpo da pessoa. De acordo com SILVA (2011), esse modelo biodinâmico é utilizado para representar a ação de grupos de pedestres que cruzam um protótipo de passarela, em densidades distintas.

Na simplificação da interpretação das forças para a simulação da pisada estática humana, tem-se o modelo proposto por NIGG (2010), conforme figura 69.

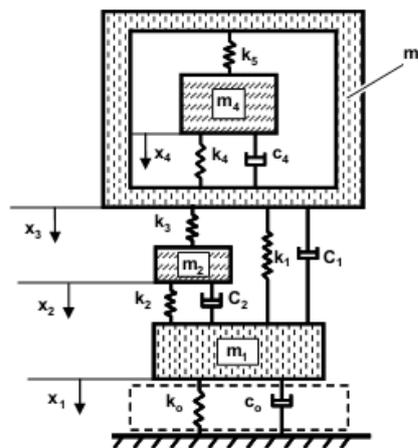


Figura 69 - Modelo matemático da pisada estática humana³⁰. Fonte: Nigg (2010).

Na época do curso de mestrado realizado pelo pesquisador na EPUSP, finalizado em 2007, as disciplinas foram sempre teóricas, sem contato com nenhum tipo de *software*, e o equacionamento dos fenômenos foi sempre o modo de leitura e expressão. Mas atualmente, após cursos realizados pelo pesquisador para a manipulação desses *software*, como FEMAP, NASTRAN e

³⁰ onde K_0 , c_0 = características viscoelásticas da superfície e do calçado; K_1 , c_1 = rigidez da perna; K_2 , K_3 , c_2 = elemento de armazenamento de energia e dissipador de energia para a vibração dos tecidos moles da perna; K_4 , K_5 , c_4 = elemento de armazenamento de energia e dissipador de energia para a vibração dos tecidos moles do tronco; m_1 = massa do pé e parte da perna; m_2 = massa da perna; m_3 = massa rígida do tronco m_4 = massa do tronco.

ANSYS³¹, o crucial foi a criação da condição de contorno, assim como o trabalho na elaboração dos modelos tridimensionais, com o auxílio de *software* como o Rhinoceros³². Evidentemente que o entendimento da teoria torna-se fundamental para a manipulação do software. As definições e o detalhamento das condições de contorno serão apresentadas no capítulo sobre a preparação dos ensaios.

Simulações virtuais numéricas como as desenvolvidas nesta tese de doutorado, podem ser resumidamente definidas como análises das tensões e deformações.

Aplica-se o conceito de análise dos modos e efeitos de falhas denominado *FMEA - Failure Modes and Effects Analysis*. Trata-se essencialmente de uma metodologia de análise sistemática que evidencia, ainda no projeto, as falhas em potencial do produto, procurando identificar todos os possíveis modos e tipos de falha, e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do produto. Esta metodologia pode ser aplicada tanto ao produto propriamente dito (*FMEA* de projeto) quanto ao processo de fabricação (*FMEA* de processo). O objetivo básico é procurar eliminar as causas das falhas que poderão surgir no produto quando utilizado pelo cliente antes da liberação do projeto do produto e do processo de fabricação (KAMINSKY, 2000).

“As FMEAs são válidas tanto como técnicas de análise de problema quanto como ferramentas criativas.” (MORRIS, 2010).

Essencialmente, procura-se detectar para cada componente: como ele pode falhar; que partes do produto são afetadas; quais os efeitos sobre as funções do produto (alteração de desempenho); qual a gravidade dessas alterações de funções e, por fim, como prevenir essas falhas. Deve-se especificar o tipo ou modo de falha, determinando o efeito e a causa dessa falha e as ações a serem tomadas.

Segundo ALVES F. (2005), na área de cálculo estrutural, os subsídios para essa missão são normalmente obtidos a partir do estudo das propriedades dos materiais, que trata da resistência e da rigidez dos elementos das estruturas, apoiando-se nos teoremas da mecânica geral e em particular no estudo da estática e da dinâmica. Utiliza-se o conceito de resistência dos materiais, que é o produto do tratamento matemático clássico baseado no estudo das equações diferenciais, que descrevem o equilíbrio da estrutura. Aplicam-se também conceitos sobre a teoria das vigas, teoria geral de placas e cascas, além da teoria matemática da elasticidade.

Para testar um produto no requisito tempo é necessário analisá-lo durante vários ciclos, entendendo-se que um ciclo seja o período correspondente a uma falha seguida de seu conserto.

³¹ FEMAP, NASTRAN e ANSYS são *software* utilizados pelas engenharias, principalmente a mecânica para simular virtualmente situações de cargas e as deformações sofridas por partes, peças e produtos.

³² Rhinoceros é um *software* do fabricante *McNeel* para a modelagem tridimensional.

Em um teste como esse pode-se avaliar o desgaste do produto. O teste acelerado é uma forma comum de assegurar os dados do teste de confiabilidade a um custo reduzido. Desse modo os produtos são forçados a desempenhar seu papel em níveis excepcionalmente altos de solicitações de uso e ambientais, para que falhem mais depressa. Nesse tipo de teste, deve-se ter o cuidado de não extrapolar determinados limites de solicitações, a fim de não provocar falhas inexistentes na utilização normal. Ou seja, deve-se buscar a relação entre o teste e o uso normal, bem como a relação entre o tempo das duas situações. (KAMINSKY, 2000).

3.6.4 Impressão 3D e os metamateriais

Segundo Kolarevic (2003), a era digital permitiu uma ligação direta entre o que pode ser representado e o que pode ser construído através do que intitula como *file-to-factory*, descrevendo os processos de computador numericamente controlado (CNC) para a fabricação. Conforme aponta, a consequência é que muitos projetistas e arquitetos estão se tornando muito mais diretamente envolvidos na fabricação, podendo criar eficientemente a informação que é traduzida diretamente em dados de controle que fazem o equipamento de fabricação digital funcionar. Um número crescente de projetos, que variam consideravelmente em tamanho e orçamento, demonstram que a fabricação digital pode oferecer oportunidades produtivas no âmbito das estruturas por programação, sem a necessidade de grandes investimentos.

Segundo a classificação de Kolarevic, existem várias tecnologias de fabricação hoje, as quais poderiam ser agrupadas como:

- 1) CNC, corte, subtrativa, aditiva e formativa. A tecnologia CNC de corte, ou fabricação bidimensional, é a mais antiga entre as técnicas de fabricação mais comumente utilizadas, envolvendo simples movimentos de dois eixos da cabeça de corte em relação ao material para o corte. Aponta também outras tecnologias de corte, com base em gases superaquecidos (plasma de arco), corte à laser e com a utilização de fluxo de água altamente pressurizada (jato de água), sendo as técnicas largamente mais utilizadas. A fresagem CNC (fabricação subtrativa), são caracterizadas por serem máquinas de remover o material volumetricamente pela capacidade de mover uma broca ao longo dos três eixos, X, Y e Z.
- 2) Os processos de fabricação aditiva envolvem a fabricação por adição de material, camada por camada, sendo também conhecida como fabricação por camadas, fabricação sólida de forma livre, prototipagem rápida, ou fabricação desktop. Devido ao tamanho limitado dos objetos que poderiam ser produzidos, equipamentos caros e tempos de produção longos, os processos de fabricação aditiva são limitados quanto a sua aplicação em projetos de produção em larga

escala. Na área do design, eles são usados principalmente para a fabricação de modelos de estudo.

3) Para a construção civil são produzidos componentes em série, tal como elementos de aço e estruturas de armação, são criados normalmente padrões que são então fabricados pela fundição do metal. Na fabricação formativa, forças mecânicas pressionam moldes e matrizes de injeção, nos quais o calor ou o vapor são aplicados aos materiais de modo a conformá-lo na forma desejada através de deformação.

Segundo ainda Kolarevic, esta nova capacidade de geração de informações de construção está diretamente ligada ao design de informação, sendo o fator principal para definir o aspecto mais profundo da arquitetura contemporânea. A estreita relação que existia entre a arquitetura e a construção civil (o que antes era a própria natureza da prática arquitetônica) poderia potencialmente ressurgir como um resultado não intencional, mas a sorte dos novos processos digitais de produção. Ao utilizar a fabricação digital como modelo de informação que descreve os processos de construção de uma concepção, agora pode ser mais direta e mais complexa porque a informação pode ser extraída, trocada e utilizada com muito mais facilidade e velocidade. Em resumo, com o uso de tecnologias digitais, as informações de design é são as próprias informações para a construção. E esta convergência baseada nos processos digitais de representação e de produção que caracteriza a oportunidade mais importante para uma profunda transformação da arquitetura e do design como uma profissão que abrange a indústria da construção inteira. Ao integrar design, a análise, a fabricação e a montagem de produtos em torno de tecnologias digitais, designers, arquitetos, engenheiros e construtores têm a oportunidade de redefinir fundamentalmente as relações entre a concepção e a fabricação. Nesse cenário propício à evolução digital, o profissional atualmente separado das áreas do design, da arquitetura, engenharia e fabricação podem ser integrados em um período relativamente curto pela práxis digital.

Alguns equipamentos se destacam atualmente assim como a ZP140 e a ZP15e do fabricante “3D Systems”, que são máquinas de manufatura aditiva utilizadas para modelos rígidos e flexíveis, respectivamente. Os modelos rígidos são utilizados para verificação formal e análise plástica das formas, como a aprovação de um solado de tênis, conforme a figura 70. Neste equipamento os modelos também podem ser realizados com o uso de cores, o que facilita muito sua análise visual.



Figura 70 - Modelo rígido de solado realizado em impressora 3D e minimodelo de calçado em impressão 3D com resina flexível. Fonte: material da disciplina AUP-5902, Estandartização Virtual: da linha de montagem à fabricação digital, Prof. Dr. Paulo Fonseca de Campos e Prof. André Fleury, FAU (2012).

A tecnologia de impressão 3D muito bem consagrada é a Sinterização Seletiva a Laser (SLS). As impressoras SLS 3D podem produzir objetos com uma vasta gama de materiais em pó, desde ceras, poliestireno, *nylon*, vidro, cerâmica, aço inoxidável e titânio.

Quando a tecnologia SLS é utilizada para produzir objetos de metal o processo também é chamado de *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS). Objetos metálicos criados por uma impressora 3D DMLS são cerca de 99,99 por cento densos e, portanto, podem ser usadas no lugar das peças de metal tradicionalmente fundidas.

Outra técnica conhecida é a Fusão Seletiva a Laser (SLM). Ela utiliza um laser para fundir completamente os grânulos de pó que formam o objeto final, ao invés de apenas os aquecer o suficiente para uní-los, assim como alumínio e ligas de cobalto-cromo. Como uma outra variante, uma técnica chamada de sinterização seletiva de calor (SHS) utiliza uma cabeça de impressão térmica - em vez de um laser - para aplicar o calor para as camadas sucessivas de um pó termoplástico.

Outra tecnologia de impressão 3D muito comum é a multi-jato de modelagem (MJM). Nesta técnica constrói-se objetos por sucessivas camadas de pó, com uma cabeça de impressão a jato de tinta usado para pulverizar em uma solução de ligante que, seletivamente, colam apenas os grânulos selecionados para compor a camada desejada. Algumas impressoras MJM - como a ZPrinter 650 da empresa ZCorp - podem pulverizar em quatro cores diferentes de solução de ligante, o que permite criar objetos 3D em cores com até 600x540dpi.

Atualmente encontra-se uma vasta gama de empresas que fabricam impressoras 3Ds a custos comercialmente acessíveis, assim como a *3D Systems* (que trabalha com a maioria das tecnologias e está rapidamente adquirindo outros pequenos fabricantes), a *Stratasys* (que inicialmente desenvolveu a tecnologia FDM), *Fortus* e *Dimension* (que utilizam os processos FDMs da *Stratasys*), *Solid Scape* (que usa seu processo FDM próprio, mas agora é propriedade da

Stratasys), *Objet* do grupo *Stratasys* (que desenvolveu o processo de *Matrix PolyJet*) e *ZCorp* (especializada em MJM e também de propriedade da *3D Systems*).

Os fabricantes de impressoras tradicionais em 2D estão agora também começando a fabricar impressoras 3D como a *Hewlet Packard (HP)*, que agora vende sua FDM baseada na *HP Designjet*, e também uma série de impressoras 3D em parceria com a *Stratasys*.

As opções de impressora 3D para pessoas comuns já são um fato, uma vez que encontram-se empresas e comunidades virtuais que comercializam kits para impressoras 3D baseadas em iniciativas que usam a web para compartilhamento de projetos e outras informações necessárias para a construção de uma impressora (exemplo de *Open Design*).

Em 2012 a empresa *Cube* lançou a primeira impressora 3D pessoal *Cubify*, vendida por US\$ 1.299 e que podia imprimir com cartuchos de plástico ABS, ao custo de US\$ 49,99 o cartucho (10 cores estão disponíveis) (figura 71).



Figura 71 - Impressora 3D Cubify com área de impressão de um cubo com 5 1/2 polegadas de aresta. Fonte: Cubify 3D (2012).

No Brasil podemos encontrar alguns fabricantes como a *Sethi3D* localizada em Campinas, SP e a *3D Cloner*, localizada no Paraná, empresas que disponibilizam seus equipamentos com grande qualidade e preços já bem consideráveis perto dos praticados a poucos anos, demonstrando a rapidez com que o mercado evolui. Um equipamento que imprime na área de 20x20x20cm custava em fevereiro de 2016 cerca de R\$5.000,00.

Um exemplo na área de calçados, já comercialmente em prática, é apresentado pelo estúdio norte-americano de design de moda *Continuum*, que lançou uma gama de atraentes calçados 3Ds “made-to-order”, ou feitos sob encomenda, (alguns modelos são apresentados nas figuras 72 e 73).

Impressoras utilizam *nylon* como matéria prima para fabricar calçados compostos por malhas leves que, embora delicados na aparência, são rígidos, resistentes, usáveis e são revestidos com um interior de couro e uma sola exterior de borracha sintética. O valor praticado para sua comercialização é de US\$900.

A marca Continuum criou sapatos a partir do seu sistema de N12, o mesmo material de *nylon* impermeável que o estúdio anteriormente utilizou para o projeto do biquini 3D.

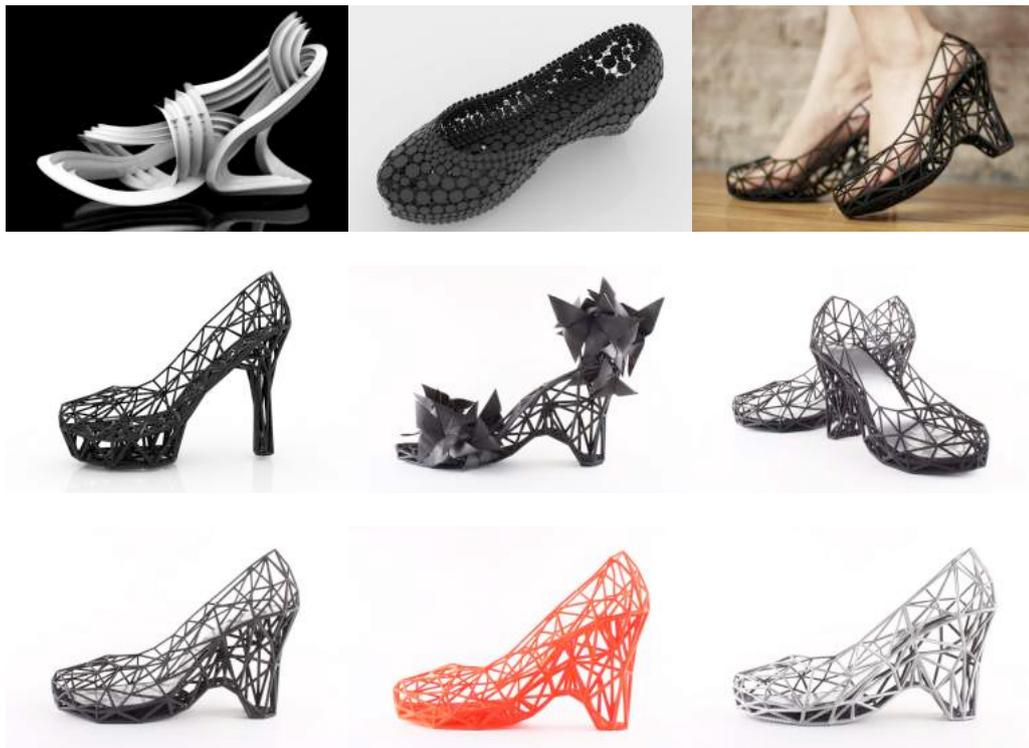


Figura 72 - Modelos de calçados impressos em tecnologia 3D. Fonte: *Continuum* (2012).

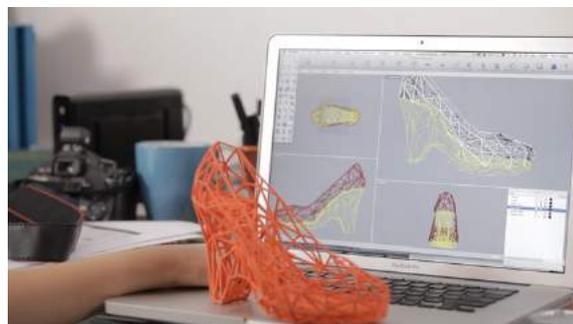


Figura 73 - Modelo de calçado impresso em tecnologia 3D. Fonte: *Continuum* (2012).

O biquini N12 foi anunciado como o "a primeira peça de roupa totalmente em *3D-print*, *prêt-à-porter*". O nome do biquini de alta tecnologia é derivado de "*nylon 12*", o material que é usado no processo de impressão em 3D. O *Nylon 12* é forte, flexível e "3D imprimível" com uma espessura de 0,7mm (0,027in). O material é naturalmente impermeável, sendo ideal para banho e, de acordo com o fabricante, torna-se mais confortável quando está molhado. O processo de fabricação utilizado foi o chamado Sinterização Seletiva a *Laser* (SLS).

Segundo explica Maria Haung da Moda *Continuum*, "...milhares de placas circulares estão ligadas por molas finas, criando um material completamente novo, que mantém a sua forma, bem como ser flexível. A disposição do padrão circular foi realizada por meio de um código escrito

personalizado que estabelece os círculos de acordo com a curvatura da superfície . Dessa forma, o desenho estético é completamente derivado da concepção estrutural “.

O N12 foi feito com o uso de *software* de CAD 3D Rhino, juntamente com um algoritmo escrito por modelagem 3D. Além de proporcionar o mapa para o tamanho dos círculos, formas e conexões, o algoritmo também calcula se as partes precisam de mais força e flexibilidade. Esse pode ser considerado um bom exemplo de sistema paramétrico.

Sistemas paramétricos podem ser definidos como “equações que podem ser prescritas para descrever relações entre os modelos, definindo uma geometria associativa – uma geometria constituinte na qual os objetos estão mutuamente interconectados” (Burry, 2000, cit. Kolarevic)

O N12 (figuras 74 e 75) está à venda por cerca de 200 a 300 dólares cada parte do biquíni, e pode ser encomendado na loja do fabricante.



Figura 74 - Fotos do biquíni N12. Fonte: *Continuum* (2012).



Figura 75 - (Continuação) Fotos do biquíni N12. Fonte: *Continuum* (2012).

Lançado em 2010, *Pauline van Dougen* com seu modelo de calçado *Morphogenesis* (figura 76), explora o universo das impressoras digitais 3Ds, chamando a atenção da mídia mundial com seu inovador calçado, composto apenas por uma única peça impressa em 3D.



Figura 76 - Modelo de calçado em impressão 3D, *Morphogenesis*. Fonte: Pauline van Dougen (2010).

A brasileira Andreia Chaves elaborou um projeto comercial que apresenta modelos de calçados convencionais, como *scarpins*, mas envoltos em um tipo de “gaiola” estrutural, impressa em 3D. Ela os chamou de *Invisible Shoes* (Calçados Invisíveis) (figura 77). A biqueira, salto e estrutura de palmilha (entresola), também são impressas em uma única peça. O desenho gera um modelo de bota com design original que usa acabamento espelhado, mas ainda utilizando materiais e processos convencionais de fabricação.



Figura 77 - *Invisible Shoes*. Fonte: Andreia Chaves (2012).

“*Designed to win*” (Projetado para vencer) é uma exploração de materiais, tecnologias e processos para projetar equipamentos específicos que poderiam melhorar o desempenho do *sprint* (arrancada na largada em corrida de velocistas, como por ex., corridas dos 100m rasos). As investigações científicas têm demonstrado que, ajustar as propriedades mecânicas de um calçado de *sprint* para as habilidades físicas de um atleta, pode melhorar o desempenho em até 3,5%, quando uma melhoria de 0,7% já podem fazer uma diferença significativa em uma chance para vencer em uma corrida de velocistas profissionais.

A pesquisa de *Luc Fusaro*, estudante da Royal College of Art é baseada em trabalhos anteriores do Dr. Daniel Toon de Loughborough Tecnologia Esportes University, onde utiliza processos de fabricação sob medida após a digitalização 3D dos pés dos atletas (figura 78).



Figura 78 - Projeto de um calçado para atletas de corrida para aumento do *sprint*. Fonte: Luc Fusaro (2012).

Segundo Luc Fusaro, o projeto continua a ser ajustado, pois a parte superior do calçado (cabedal) é ainda demasiadamente dura para oferecer a velocidade, a flexibilidade e o conforto necessários. Segundo ele, deve-se utilizar uma combinação de diferentes materiais ou processos de produção de aditivos que possam oferecer flexibilidades diferentes no mesmo produto.

Desde 2012 até início de 2016, época da realização desta tese, inúmeros lançamentos forma realizados como experimentos e outros comercialmente acessíveis. No fim de 2015 a marca Adidas lançou um tênis com solado impresso em 3D (figura 79), utilizando o conceito de porosidade para atribuir flexibilidade aos materiais rígidos, teoria esta denominada metamateriais, aprofundada no capítulo sobre a metodologia proposta.



Figura 79 - Tênis Adidas com solado fabricado em impressora 3D. Fonte: Adidas (2015).

Em razão da versatilidade de manipulação das formas geométricas, a impressão 3D proporciona experimentos diversos, como observado no recente trabalho de graduação de Amelia Agosta da Universidade RMIT, em Melbourne (figura 80). Torna-se marcante e evidente o estilo arquitetônico viabilizado pelo uso de ferramentas digitais, resultando em uma coleção com repetidas geometrias orgânicas que envolvem o corpo.

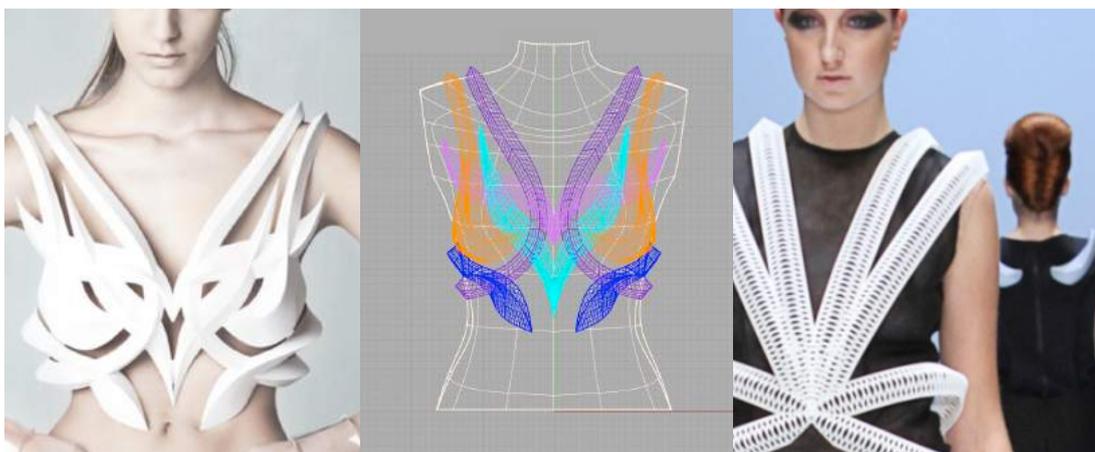


Figura 80 - Trabalho de graduação da Universidade RMIT, Melbourne. Fonte: Amelia Agosta (2012).

Hoon Chung, estudante do London College of Fashion, também criou calçados impressos com uso da tecnologia *3D-printer* (figura 81).



Figura 81 - Modelos de calçados com uso de impressão 3D. Fonte: Hoon Chung (2012).

O calçado *Melonia Shoes* (figura 82), dos estudantes *Naim Josefi* e *Souzan Youssouf*, apresentado durante o *Stockholm Fashion Show 2010*, pode ser considerado um marco nos projetos com uso de impressoras tridimensionais para o projeto de calçados Mérito de premiação.



Figura 82 - *Melonia Shoes*, projeto acadêmico e pioneiro. Fonte: Naim Josefi e Souzan Youssouf (2010).

A designer italiana Giulia Tanini, graduada na Polimoda em Firense, Itália, desenvolveu uma coleção em 2012 denominada 'Blue Ring', onde apresentou seu calçado conceitual.



Figura 83 - Calçado desenvolvido na escola Polimoda, Firenze, Itália. Fonte: Giulia Tanini (2012).

Na coleção Primavera/Verão 2011 de Iris Van Herpen encontra-se um trabalho que pode ser considerado uma “alta costura computacional” no seu melhor estilo, literalmente, conforme visto nas figuras 84 e 85.

As roupas são arquitetadas para abrigar o corpo como uma armadura e criadas a partir de partes de plástico em camadas e *laser sinterizado*. Trata-se de uma moda projetada numa linguagem inteiramente nova, de formas complexas, modulares, com sincronia de encaixes precisos e soluções de fabricação a partir de campos da arquitetura de produto, da prototipagem rápida, do design e da modelagem por computação gráfica.

Em entrevista à revista Dazed Digital, Iris Van Herpen falou sobre sua coleção: "É uma mistura de tudo. É importante trabalhar em volta do corpo, e meu trabalho é sobre fabricação, formas e novas tecnologias. Eu usei diversas estruturas usadas na arquitetura. Gosto de trazer novas técnicas para a moda, porque senão eu não consigo respirar nem continuar criando".



Figura 84 - Fotos da coleção pioneira em 3D print, desenvolvida por nome renomado da alta costura. Fonte: Iris Van Herpen (2011).



Figura 85 - (continuação) Fotos da coleção pioneira em 3D print, desenvolvida por nome renomado da alta costura.

Fonte: Iris Van Herpen (2011).

Em 2014 a atriz, modelo e popular artista burlesca americana Dita Von Teese, apresentou um vestido inteiramente fabricado na impressão 3D desenvolvido exclusivamente pelos designers Michael Schmidt e Francis Bitinti, com o conceito modular, proporcionando um incrível caimento no corpo, simulando o comportamento real dos tecidos (figuras 86 e 87).



Figuras 86 e 87 - Dita Von Teese e seu customizado vestido. Fonte: Michael Schmidt e Francis Bitinti (2014).

Biomimicry Shoe ou Calçado Biomimétrico (figuras 88 e 89), de Marieka Ratsma, Holanda, apresenta em seu projeto a natureza servindo como inspiração para uma nova forma de aplicação de soluções de design para a área de calçados, com o uso de processos também advindos da prototipagem rápida.



Figura 88 - Projeto de calçado em impressão 3D. Fonte: Marieka Ratsma (2012).

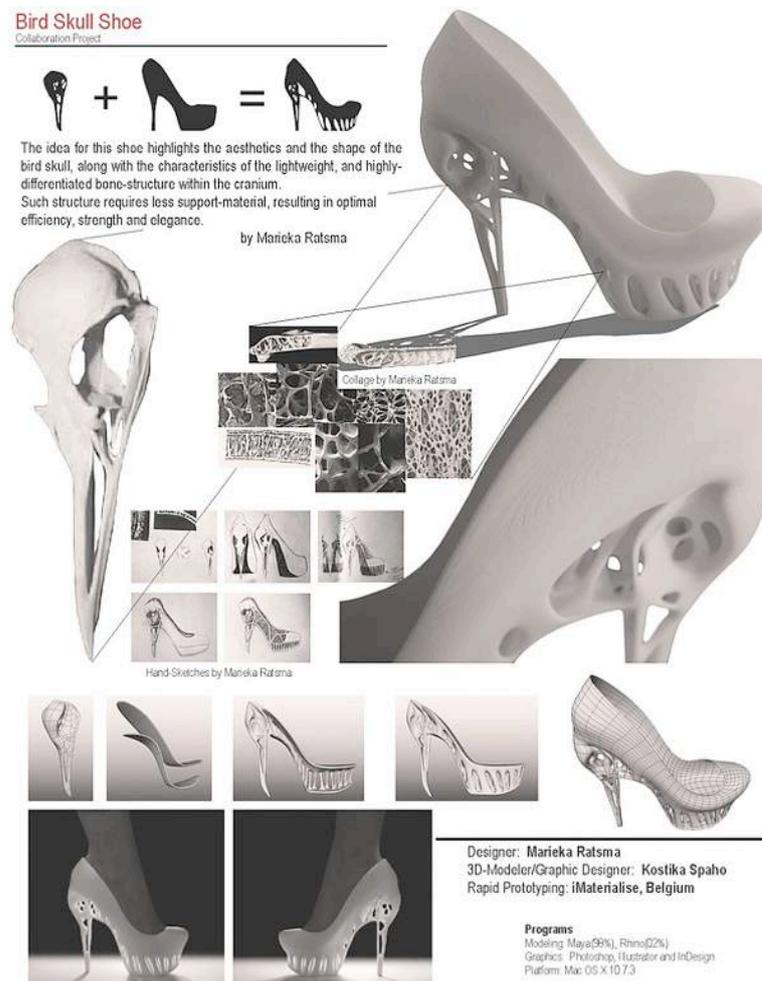


Figura 89 - (continuação) Projeto de calçado em impressão 3D. Fonte: Marieka Ratsma (2012).

Outra aplicação comercial pioneira pode ser encontrada no site da designer *Anastasia Radevich*, conforme os inusitados modelos das figura 90. É fácil perceber que o foco do desenvolvimento abrange as partes rígidas, ou seja, partes do solado como saltos e plataformas, que são facilmente controladas e manipuladas por arquivos digitais e posterior impressão.



Figura 90 - Coleção de calçados com componentes em 3D print. Fonte: Anastasia Radevich (2012).

Já no trabalho de *Janina Allynne*, ela incorpora as partes mais rígidas do solado plataforma com outras mais flexíveis para revestir o pé. *Scorpion Shoes*, *Reptile Shoes* e *Exoskeleton Shoes* (figuras 91, 92 e 93) são aplicações praticamente revolucionárias para a concepção de calçados, rompendo paradigmas com elaborações formais e complexas.



Figura 91 - *Scorpion Shoes*. Fonte: Janina Allynne (2012).



Figura 92 - *Reptile Shoes* e os três modelos juntos da coleção. Fonte: Janina Allynne (2012).



Figura 93 - *Exoskeleton Shoes*. Fonte: Janina Allynne (2012).

Verifica-se no modelo da figura 93 que a configuração estética possui apelo quase de um figurino, sem aparente preocupação com o conforto, pela rigidez apresentada pela sua estrutura.

Já o *iPhone Shoe* (figura 94) foi apresentado como possibilidade de aplicação de impressoras 3D consideradas econômica e comercialmente acessíveis. Foi impresso em uma única peça com um compartimento para acomodação de um celular modelo *iPhone*. Verifica-se que o celular fica acomodado sem a devida proteção a possíveis danos, configurando novamente um modelo sem flexibilidade e de conforto questionável.



Figura 94 - *iPhone Shoe*. Fonte: Cubify 3D (2012).

Em 2009 o renomado arquiteto londrino *Julian Hakes*, desenvolveu o projeto de um modelo com superfície única e moldada, aprimorando-o posteriormente, e em 2012 apresentando o calçado que já recebeu premiação em Londres, conforme figuras 95, 96 e 97.



Figura 95 - Trabalho experimental de calçados. Fonte: Julian Hakes (2009).

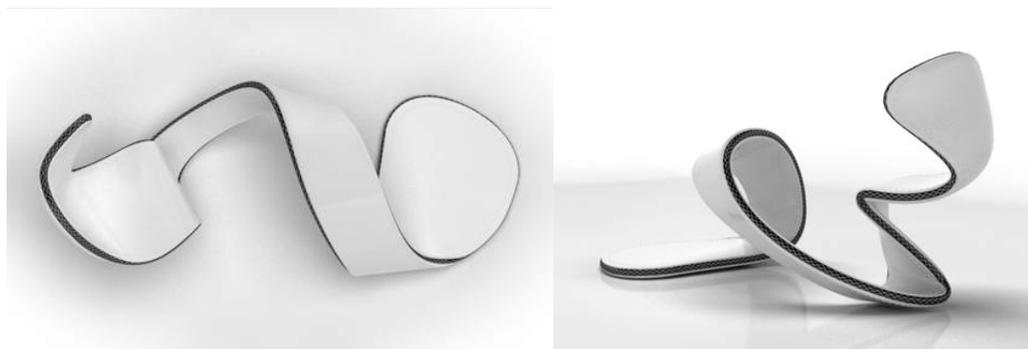


Figura 96 - (Continuação) Trabalho experimental de calçados. Fonte: Julian Hakes (2009).



Figura 97 - Projeto premiado no *Drapers Footwear & Accessories Awards*. Fonte: Julian Hakes (2012).

Outro exemplo é o ‘Heavy Metal Shoes’ (figura 98) desenvolvido pelo designer Bryan Oknyansky em colaboração com *Berlin-Based Haute Couture label Kimberlit*, também projeto de 2015, redefiniu a silhueta e a estrutura do salto alto, assim como nos diversos modelos citados anteriormente.



Figura 98 - Heavy Metal Shoes, fabricado com impressão 3D. Fonte: Bryan Oknyansky (2015).

Acompanhando esse cenário de experimentos tecnológicos, diversos projetos realizados em parcerias com os FabLabs podem ser verificadas. Atualmente existem inúmeros ao redor do mundo, atrelados principalmente às instituições de ensino que visam promover o livre acesso a equipamentos tecnológicos de manipulação de arquivos, potencializando-os em produtos advindos do uso de processos computadorizados mais tradicionais de corte a laser, usinagem ou fresadora (fabricação subtrativa), além da mais nova fabricação por adição de materiais (fabricação aditiva), como a própria impressão 3D.

As práticas atuais que utilizam a fabricação digital são inúmeras e abrangem todas as áreas do conhecimento, desde a saúde, pela criação de próteses e órteses mais anatômicas e resistentes, passando pelo mobiliário urbano e privado, até pequenos e grandes produtos, como chaveiros, brinquedos, objetos de decoração, casas e carros.

O projeto *FabLab House Solar* de 2010 (figuras 99 e 100), idealizado no Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha em Barcelona é um notório exemplo de projetos residências, este com ênfase na captação de energia solar, pela “forma de seguir a energia”.



Figura 99 - *House Solar*. Fonte: FabLab do Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha, Barcelona (2010).



Figura 100 - (Continuação) *House Solar*. Fonte: FabLab do Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha, Barcelona (2010).

Para o design de móveis, Sebastien Wierinck incorpora o corte e encaixe com uso de madeira compensada e projeta mobiliário urbano com o auxílio do projeto virtual em três dimensões (figura 101).



Figura 101 - Cortes (2009) e tubos (2012) idealizados para peças de mobiliário. Fonte: Sebastien Wierinck (2011).

Dirk Vander Kooij, designer holandês, apresentou em 2010 sua coleção de cadeiras fabricadas com ao auxílio de um braço mecânico, adaptado para extrudar diversos tipos de plástico, inclusive os reciclados (figuras 102 e 103).

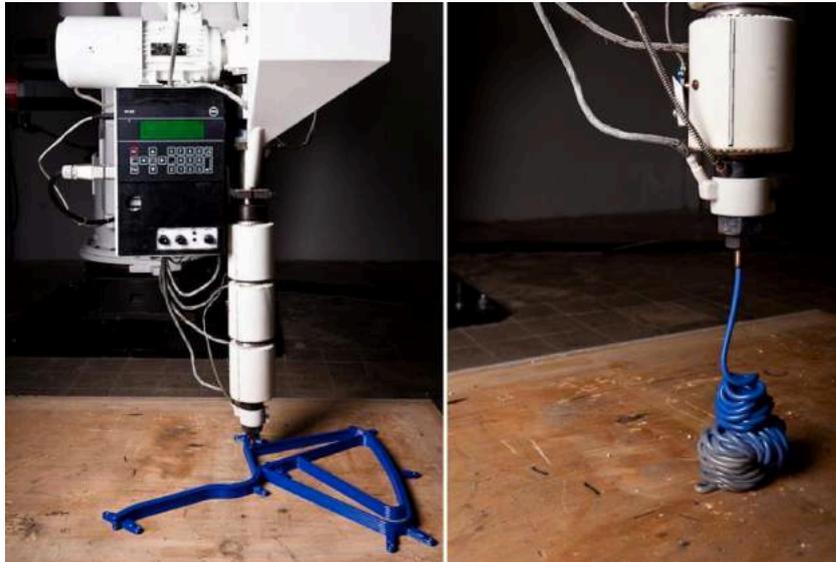


Figura 102 - Esquema de adaptação de extrusor para impressão 3D. Fonte: Dirk Vander Kooij (2010).



Figura 103 - Projetos em 3D print por braço robotizado. Fonte: Dirk Vander Kooij (2010).

Pesquisadores apontam que em breve os usuários domésticos poderão fabricar diversos objetos de uso pessoal e doméstico, utilizando os meios digitais. VOLPATO (2010) cita que empresas encaram com naturalidade a prototipagem rápida, sendo um promissor processo de produção em um futuro próximo, abrindo assim precedentes para as impressoras tridimensionais pessoais.

Foram verificadas outras aplicações como na fabricação de órgãos de recomposição de partes do corpo humano, através da elaboração de próteses conhecido como *bioprinting* (figura 104).



Figura 104 - Reconstituição de mandíbula fabricada por impressão 3D, implantada em uma mulher de 83. Fonte: Biomedical Research Institute da Hasselt University, na Bélgica.

A gama de produtos que adotam impressoras 3D no seu processo de design ou para produzir moldes finais ou matrizes está em constante crescimento. Esses produtos incluem automóveis, jóias, brinquedos de plástico, máquinas de café, todos os tipos de garrafas de plástico, embalagens e recipientes.

É certo que em breve teremos uma ampla gama de impressoras surpreendentes e incomuns, incluindo impressoras de concreto, impressoras de vidro, *bioprinters* e impressoras pessoais, portáteis, ficando cada vez mais acessíveis.

A customização de produtos vem sendo identificada como uma estratégia competitiva promissora por um número crescente de empresas. Associada aos fundamentos da produção em massa, a customização de produtos permite oferecer diversidade aos clientes, por preços similares àqueles atingidos em cenários de produção massificada. Entretanto, a implementação prática da customização requer a flexibilização do sistema produtivo, sendo particularmente problemática em sistemas organizados em *layouts* lineares, já que linhas de montagem de produtos costumam ter a sua eficiência prejudicada pela troca constante dos modelos à serem produzidos.

Exemplos de sucesso devem ser adotados como referência para buscar linhas de montagem mais ágeis, em que à partir da diminuição do tempo ocioso da linha foi possível aumentar sua

produção em 13 refrigeradores por turno de trabalho. Dessa forma, o algoritmo desenvolvido por VILARINHO e SIMARIA (2002) se mostrou eficaz tanto na redução do tempo ocioso da linha, bem como no aumento da produtividade, sendo que esse indicador obteve uma melhora de 31%.

Em relação aos materiais, alterar o plástico para agregar a característica de fungicida para calçados, torna-se muito interessante e de certo modo, necessária. O filamento dos polímeros utilizados nas impressões 3Ds por deposição de material, assim como os equipamentos de modelos mais acessíveis comercialmente, ao agregar certos produtos químicos, podem sugerir inúmeras possibilidades estéticas e relacionadas também com a saúde.

Considerando as propriedades dos materiais industriais, trabalhando-se na sua microestrutura, alterando-se sua característica macroscópica, chega-se ao surgimento dos metamateriais (também chamados de materiais celulares), caracterizados por apresentar porosidades e estruturas que podem ser planejadas a fim de tornar qualquer material rígido em um material com flexibilidade, por exemplo. O conceito é se apoderar da resistência dos materiais modificando suas propriedades mecânicas sem comprometer a estrutura, em escala nanométrica. Com a crescente aplicação da fabricação pela impressão tridimensional, há pela primeira vez na história industrial a possibilidade de colocar em prática a teoria dos metamateriais (iniciada na década de 80), aplicando-se meios de produção para trabalhar com dimensões ínfimas. As tecnologias de impressão digital em três dimensões possibilitam trabalhar com medidas antes idealizadas apenas na teoria. Além de proporcionar novos coeficientes de desempenho mecânico aos materiais, proporcionam a construção de estruturas com menor quantidade de matéria-prima, acarretando menor custo do produto e eliminando uma quantidade de materiais desnecessária na geometria da estrutura, que não sofria grande ou nenhum carregamento.

Isso é um cenário muito novo e poucas aplicações práticas e comerciais foram desenvolvidas, ao menos para o mercado de moda, o que não impede que nos próximos 10 anos crie-se alguma tecnologia e máquinas que trabalhem com múltiplos materiais na mesma estrutura, e isso sim poderia ser denominado “novo”. Seria possível a fabricação de palmilhas e solados em peças únicas, por exemplo, com diversos tipos e propriedades de materiais, com amortecimentos, rigidez e durabilidades distintas.

Além do laboratório de estudos ergonômicos para o projeto de novos calçados, a Universidade de Loughborough desenvolve pesquisas relacionadas aos metamateriais, inclusive aplicados à fabricação de novos solados. As amostras são resultados de teste de estruturas para verificação de resistências mecânicas (figura 105).



Figura 105 - Amostras de materiais fabricados com impressão 3D testando desenhos estruturais diversos para verificação da resistência da peça. Fonte: www.lboro.ac.uk/microsites/enterprise/e2hs/technology/HSS/case-studies/robust-parts.html.

O desenho das estruturas apresenta a aplicação do conceito de materiais celulares, mas em uma escala milimétrica, ao invés de nanométrica. Testes de tração e compressão também são realizados nos laboratórios da universidade de Loughborough (figura 106).

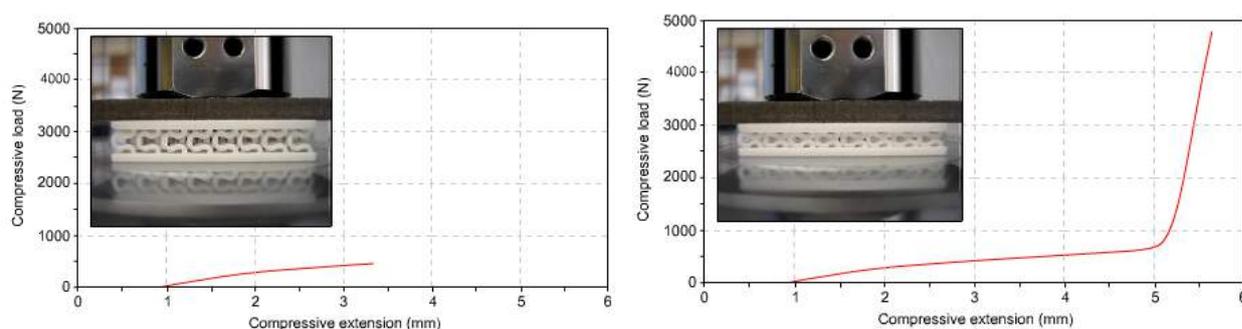


Figura 106 - Representação do ensaio de tração e compressão em amostra fabricada por impressão 3D com conceito de metamateriais em escala nanométrica. Fonte: <http://www.lboro.ac.uk/microsites/enterprise/e2hs/technology/advanced-mechanical-testing.html>.

Dependendo da tecnologia e do equipamento utilizado para a fabricação com impressão 3D, podem-se alcançar medidas mínimas para fabricar detalhes antes praticamente impossíveis, surgindo a definição do termo *microprint* ou *nanoscale 3D printer* (figura 107).

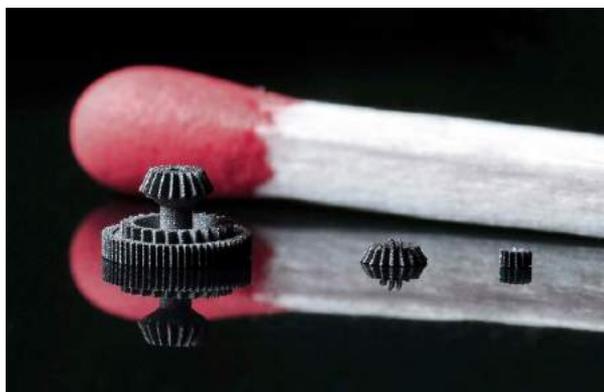
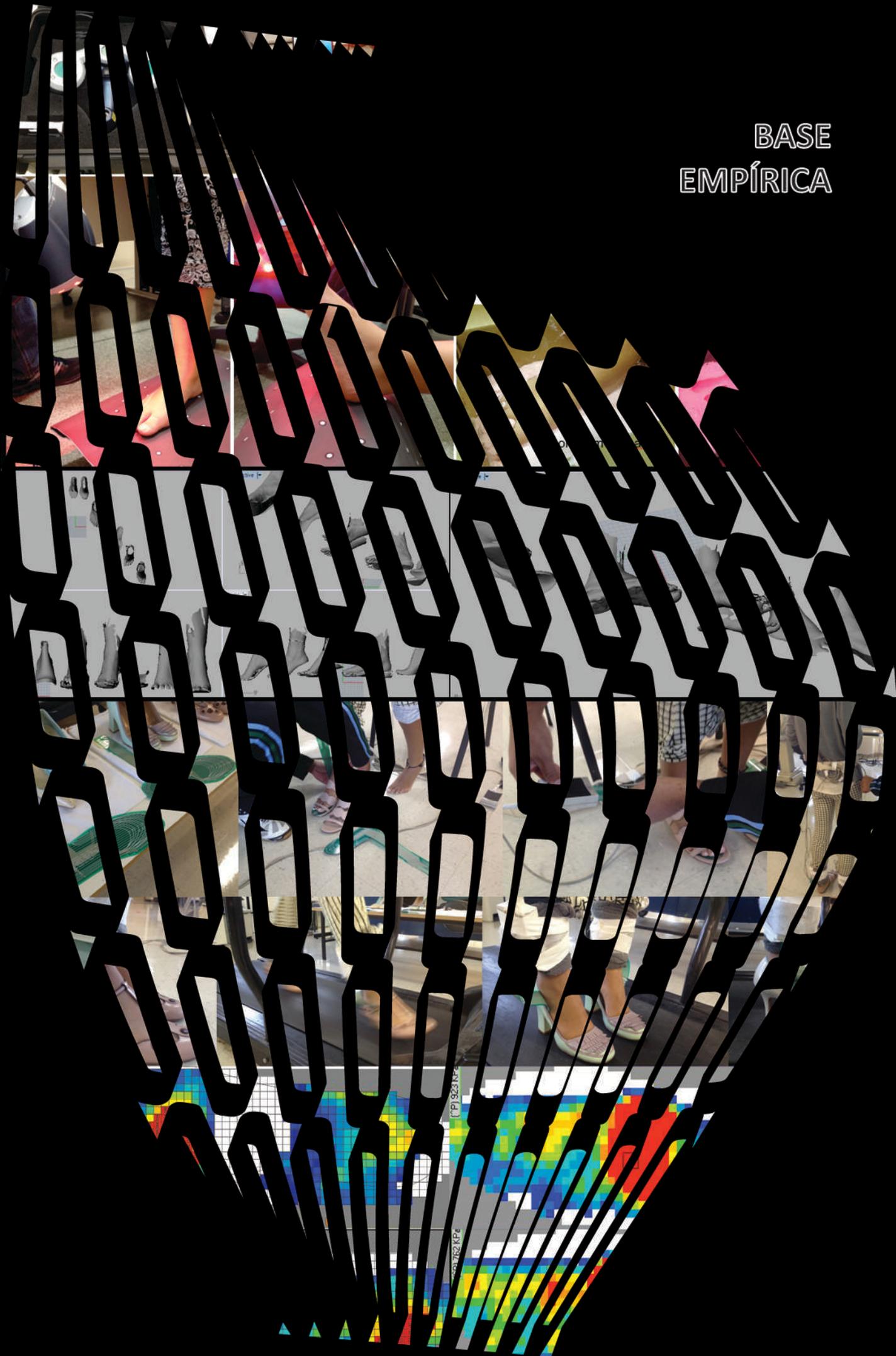


Figura 107 - Peças fabricadas por impressão 3D em tamanho denominado *microprint*. Fonte: <http://www.designboom.com/technology/nano-3d-printed-parts-made-with-micro-laser-sintering-technology-12-18-2013/>.

BASE
EMPÍRICA



(P) 923122

752 KPC

4 . Base empírica

Neste capítulo são apresentados todos os meios práticos adotados para atingir os resultados, baseados nas normas nacionais vigentes, servindo como referência para a preparação dos ensaios de baropodometria. São demonstrados os principais resultados, sendo possível observar diversas vantagens na utilização do teste para a criação de novos calçados, como a verificação da diferença do formato da base do salto e sua influência na estabilidade e na distribuição da pressão plantar.

4.1 Normas ABNT como referência de conforto e antropometria para o design de calçados

A norma ABNT NBR 13377 “Medidas do corpo humano para vestuário - Padrões referenciais”, de 1995, é uma norma com dados coletados no fim dos anos 1980 e início dos 1990 e estabelece a relação de algumas medidas com a classificação de tamanhos. Por exemplo, para vestidos, a medida do busto feminino com 90 cm corresponde ao tamanho médio (M), número 42, enquanto a medida de 86 cm é considerada tamanho pequeno (P) e número 40. Segundo a norma, a medida do busto é uma referência para blusas, blazers, camisetas, vestidos, sutiãs, biquínis, maiôs, *collants* e similares. A outra medida é a da cintura, como referência para a confecção de calças, bermudas, *shorts*, saias, jardineiras, calcinhas e similares. Verifica-se que a adoção maciça dessas referências pelas indústrias de confecção, estabeleceria um padrão de tamanhos, auxiliando, muito, a busca do tamanho ideal de cada marca, pois é muito comum que a medida P em uma marca não represente a mesma medida do tamanho P de outra marca. Para o masculino, tem-se a medida do pescoço, tanto para camisas sociais quanto para camisas esporte e similares, tamanho do tórax para ternos, blazers, paletós, pulôveres, camisas polo, camisetas e similares e medidas da cintura para calças, bermudas, jardineiras, cuecas, sungas e similares. A norma finaliza com as medidas do tórax e da cintura para o público infantil. Ou seja, duas medidas infantis, duas femininas e quatro para as medidas masculinas. Pode-se concluir que a norma abrange grande possibilidade de enquadramento em padrões de medidas para única e exclusivamente classificar em numeração que vai do 33 ao 56, com as nomenclaturas correspondentes do PP, P, M, G e GG para o público masculino e feminino e do tamanho 2 ao 12 com P, M e G para o infantil. Acredita-se que enquanto a norma não tiver caráter de lei, dificilmente as empresas adotarão esses padrões, inclusive por mero desconhecimento, conforme as tabelas 1 a 4.

Público Masculino										
Medidas do Tórax (cm)	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112
Tamanho	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56
	PP		P		M		G		GG	

Tabela 1 - Relação das medidas do tórax do público masculino com a classificação de tamanhos PP, P, M, G e GG.

Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).

Público Masculino										
Medidas da Cintura (cm)	68	72	76	80	84	68	92	96	100	104
Tamanho	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
	PP		P		M		G		GG	

Tabela 2 - Relação das medidas da cintura do público masculino com a classificação de tamanhos PP, P, M, G e GG.

Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).

Público Feminino									
Medidas do Busto(cm)	78	82	86	90	94	98	102	106	108
Medidas da Cintura(cm)	60	64	68	72	76	80	84	88	92
Tamanho	36	38	40	42	44	46	48	50	52
	PP	P		M		G		GG	

Tabela 3 - Relação das medidas do busto e da cintura do público feminino com a classificação de tamanhos PP, P, M, G e GG. Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).

e GG. Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).

Público Infantil						
Medidas do Tórax(cm)	53	57	61	65	69	73
Medidas da Cintura(cm)	52	54	56	59	62	65
Tamanho	2	4	6	8	10	12
	P		M		G	

Tabela 4 - Relação das medidas do tórax e da cintura do público infantil com a classificação de tamanhos PP, P, M, G e GG. Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).

GG. Fonte: Norma ABNT NBR 13377 (1995).

Como aponta Van Der Linden (2004), definir parâmetros de conforto para calçados femininos implica levar em consideração que eles muitas vezes são subjetivos e de difícil quantificação. Como estudo de caso, considera-se a constatação de que há maior desconforto calçados comerciais. É fato que modelos femininos de salto alto são os recordistas em ter seu

tempo de uso reduzido, motivado por inúmeras queixas relativas ao desconforto, ao fato de causar dores intensas e pequenos ferimentos, como bolhas nos pés, que inviabilizam seu uso contínuo por um grande período.

O “Selo Conforto” é uma marca de conformidade concedida ao calçado, uma vez submetido a um conjunto de ensaios específicos. O processo termina com um laudo aprovando ou reprovando o calçado. Caso este atenda os pré-requisitos estabelecidos, o produto é certificado e recebe o selo que garante ao consumidor que ele está adquirindo um produto que atende aos padrões de conforto previstos em normas, além de ser informado de todas as suas características.

Os indicadores de conforto são testados em laboratórios de Biomecânica, com ensaios físicos, biomecânicos e perceptivos, devendo atender as normas técnicas. No Brasil, as normas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas apresentam a seguinte regulamentação para o conforto de calçados:

1) NBR 14839 - Ângulo de pronação do calcâneo (movimento de rotação interna do calcâneo) durante a marcha: Tem como objetivo verificar se o calçado oferece segurança e estabilidade ao pisar no solo, evitando que o sistema músculo-esquelético do usuário sofra com um movimento de pronação excessivo.

2) NBR 14837 - Temperatura interna: Para avaliar as condições microclimáticas do pé, destacam-se os fatores temperatura interna durante o uso do calçado e controle da umidade gerada pelo pé. Uma boa absorção do suor pelos componentes internos do calçado ajuda a eliminar a umidade interna, mantendo assim a temperatura interna classificada como confortável.

3) NBR 14835 - Determinação da massa: A classificação do calçado quanto à massa (peso) por pé deve ser conforme a tabela abaixo, sendo que os calçados classificados como pesados e muito pesados não são considerados confortáveis.

4) NBR 14838 - Absorção de impacto: Para minimizar o impacto sobre os pés com as superfícies de apoio (pisos), é fundamental que os calçados tenham a propriedade de absorver esses impactos. Os calçados que diminuem acima de 2% de impacto no andar possuem um bom sistema de amortecimento, sendo considerados confortáveis.

5) NBR 14836 - Distribuição de pressão plantar: São usadas palmilhas sensorizadas para avaliar as características da distribuição de pressão plantar, que permitem localizar os picos de pressão e qualificar sua intensidade. Normalmente, palmilhas especiais nos calçados contribuem para uma distribuição mais homogênea da pressão, evitando desconforto, dor, calos, bolhas e alterações nos movimentos do caminhar, e o desenvolvimento de sequelas. A classificação segundo critérios de níveis de pressão é apresentada na tabela 5.

Classificação de Conforto segundo ABNT NBR14836	
kPa	Classificação
< 260	Muito Confortável
260 - 290	Confortável
290,01 - 320	Normal
320,01 - 350	Desconfortável
> 350	Muito Desconfortável

Tabela 5 - Níveis de pressão em kPa para classificação de calçados segundo critérios de conforto. Fonte: ABNT NBR14836 (2011).

6) NBR 14840 - Níveis de percepção de calce: Para a avaliação do calce é necessário que o usuário caminhe durante 30 minutos, na velocidade de 5 Km/h para calçados masculinos e na de 4 Km/h para calçados femininos, indicando sua percepção sobre o calçado em relação ao conforto.

Segundo a norma ABNT NBR 14840 - Calçados, Determinação dos Níveis de Percepção do Calce, os parâmetros adotados são quantificados por respostas subjetivas e de difícil aproveitamento para inspirar alguma criação de design. A tabela 6 especifica as referências para avaliar a percepção do conforto em calçados.

	Classificação da percepção do indivíduo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sensação de bem-estar	← Mal-estar					Bem-estar →				
Prejudica os pés	← Prejudica					Não prejudica →				
Adaptação do calçado com os pés	← Não se adapta					Adapta-se →				
Toque	← Desagradável					Agradável →				
Liberdade de movimento (cabedal flexível)	← Sem liberdade					Com liberdade →				
Harmonia funcional com as medidas do pé (apertado)	← Muito apertado					Excelente calce →				
Segurança durante o andar	← Inseguro					Seguro →				
Sensação de seco	← Umedece o pé					Mantém o pé seco →				

Tabela 6 - Níveis de Percepção do Conforto de Calçados. Fonte: Norma ABNT NBR 14840 (2015).

A norma NBR 15159, de 2013, aponta que a fase de apoio do pé recebe um incremento de em média 4 a 8mm, portanto, a fôrma (conseqüentemente a palmilha) deve representar o pé na sua forma dinâmica, ou seja, deve conter no seu comprimento um valor maior do que o comprimento do pé que ela representa.

Como é proibida a reprodução da Norma, apenas serão apontadas as referências de medidas úteis para esta pesquisa, considerando, portanto, pé feminino de numeração 36 (figura 108):

- 1) Medidas de referência do pé: comprimento = 240 mm e perímetro³³ = 215mm;
- 2) Variáveis do perímetro: pé delgado = <220 mm, pé médio = 220 a 230 mm e pé robusto = > 230 mm;
- 3) Pontos de controle quanto à distância dos pontos a partir do ponto 0: ponto 2 = 97,20; ponto 3 = 144 mm; ponto 4 = 164, 56; ponto 5 = 186, 17 mm;
- 4) Pontos de controle quanto ao perímetro da fôrma média: ponto 2 = 228 mm, ponto 3 = 225 mm, ponto 4 = 215 mm e ponto 5 = 190 mm.

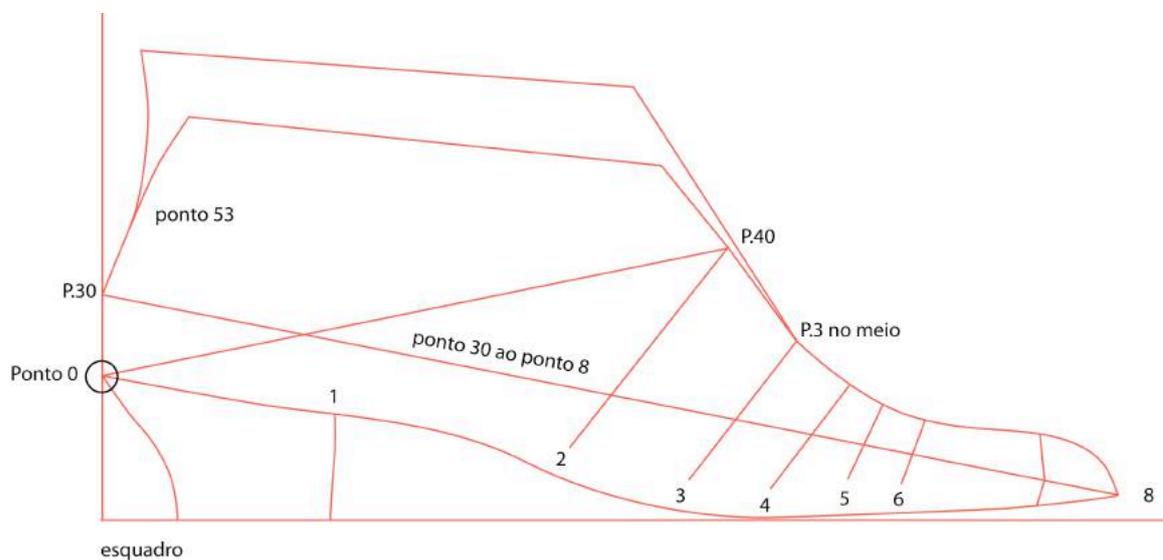


Figura 108 - Pontos de controle da fôrma de calçados. Fonte: ABNT NBR 15159. Reprodução pelo autor.

Já na norma ABNT NBR 15159 - Conforto de calçados e componentes - Determinação dos diferentes perfis para o mesmo número - Fôrmas, estabelece parâmetros de medidas de referência do pé feminino e masculino, apontando os perímetros das fôrmas correspondentes ao feminino e ao masculino, além de apresentar os pontos de controle das medidas das fôrmas, tanto em relação à numeração feminina, quanto masculina. Por meio de tabelas, padroniza a numeração dos calçados com o comprimento e perímetros das fôrmas para cada numeração.

A norma especifica também que, para atender ao calce de uma determinada população, a fôrma deve ser desenvolvida no mínimo com três perfis para cada numeração: fôrma delgada, para atender a pés delgados; fôrma normal, para atender a pés médios; fôrma robusta, para atender a pés robustos. Em uma linguagem mais popular, entende-se que esses três requisitos devem atender pés considerados magros, medianos e gordos. Vale a pena reforçar que o

³³ O perímetro da fôrma de calçados refere-se à região de articulação metatarso falangeana do pé.

pesquisador jamais encontrou no mercado nacional alguma marca de calçado masculino, feminino ou infantil que ofereça os três perfis referenciados pela norma. Seria um avanço enorme para o consumidor se o mercado tivesse a obrigação de fazê-lo. Apesar de sabermos que seria uma vantagem significativa para os consumidores, em contrapartida o custo para a fabricação triplicaria para cada modelo por numeração, fazendo com que essa medida não seja adotada.

Qualquer norma que exista com o objetivo de beneficiar o consumidor pela oferta de tamanhos mais adequados aos diversos biotipos de pés só terá sua real utilidade no momento em que seja obrigação, ou seja, que tenha força de lei. No Brasil, até o fim da década de 1980, não era obrigatório o uso de capacete por motociclistas. Mesmo tendo a noção do quanto esse equipamento é fundamental para a segurança do piloto, a população somente o utilizou regularmente a partir do momento em que as multas foram aplicadas para advertir quem não fazia uso dele. O caso do uso do cinto de segurança foi semelhante, raramente era usado e somente teve seu hábito regularizado quando foi imposto por lei e as multas em 1997. Será que as obrigações de melhorias pensando na segurança e no conforto dos usuários somente ocorrerão após as imposição de leis e multas? Quando alguma empresa, marca de moda ou designer adotará soluções por livre e espontânea vontade? Mesmo não havendo leis, e percebendo que o mercado tem a necessidade de resolver certos problemas corriqueiros, será que alguma marca ou designer entenderá ser essa uma grande oportunidade de negócios? Enfim, essa é uma das apostas consideradas nesta pesquisa.

Além da norma ABNT NBR 15159 (2013) - Conforto de calçados e componentes - Determinação dos diferentes perfis para o mesmo número - Fôrmas, para o público feminino e masculino, há a norma ABNT NBR 16260 (2014) destinada ao público infantil, na qual estão compiladas interessantes informações do tamanho do pé, especificamente para a fabricação dos moldes dos pés, as fôrmas, fundamentais para a modelagem e fabricação de qualquer modelo de calçado.

Para ambas as normas, deve-se considerar que deveriam ser ampliadas, frequentemente atualizadas e segmentadas por regiões que representem as diversas características dos biotipos que constituem a população brasileira. Poderia assim eliminar os grandes investimentos de tempo e custos para desenvolver, de forma quase sempre empírica, a adequação dos moldes para corresponder às medidas de cada grupo de consumidor, otimizando mão de obra e aproveitamento de matéria-prima. As novas gerações demonstram maior determinação para manter a boa forma física, gerando corpos mais fortes, volumosos, de proporções específicas. Além das regiões, classificação por comportamento traria outros importantes públicos que não são considerados, como aqueles que não se enquadram em um “tamanho padrão” como os

magros, obesos e musculosos, por exemplo. As medidas do corpo e suas limitações deveriam ser adotadas em norma específica para o público idoso, que mereceria atenção específica assim como o infantil. Contar com um censo antropométrico nacional, considerando a obrigatoriedade de sua adoção por lei federal, não resolveria, mas significativamente traria benefícios significativos tanto para o empresário quanto para o consumidor final.

Portanto acredita-se que um sistema produtivo que considere trabalhar com um arquivo pessoal com as medidas capturadas em sistemas de *scanners* 3Ds, pode tornar uma produção industrializada com ênfase na personalização em larga escala, que admita as mais distintas variáveis antropométricas dos consumidores, facilitando a obtenção dos diversos arquivos em um banco de dados único para assim ter uma quantidade representativa da população brasileira, seja por região, estilo de vida, forma física, idade ou outro agrupamento que se queira fazer. O censo antropométrico nacional para a indústria de vestuário e calçados é uma utopia ou uma realidade eminente?

Além do foco no personalizado e individual, o uso da tecnologia digital para a captação tridimensional de referências do corpo humano visando sua mensuração e padronização é uma atual e importante ferramenta para a moda e o design.

Das normas citadas apenas uma foi utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, a norma *ABNT NBR 14836 - Calçados: Determinação dinâmica da distribuição da pressão plantar*. A informação utilizada é para estabelecer uma velocidade média da passada para a realização do teste de baropodometria, sendo 5km/h para homens e 4km/h para mulheres.

4.2 Definição da modelo de pé e dos calçados para o ensaio de baropodometria

A partir da constatação informal junto a alguns fabricantes de calçados de que a numeração 36 é o tamanho mais comercial feminino, ou seja, com maior representatividade no volume de vendas, adquiriu-se uma fôrma (molde) de calçado feminino 36 de salto 9cm. Esse molde é adotado como padrão de medida pelo mercado brasileiro atualmente.

Considerando as medidas encontradas na fôrma, buscou-se uma modelo de pé que tivesse as medidas similares ao molde. Uma modelo de 20 anos, apresentando 1,71m de altura e 54 quilos foi escalada para representar o pé real, sendo considerado, portanto, um pé número 36 padrão, segundo as medidas comerciais no Brasil.

O uso das tecnologias disponíveis para a captura de elementos tridimensionais, como o *scanner* 3D, representa uma importante ferramenta para se obter o resultado pretendido na adequação do projeto do produto às características fisiológicas de cada usuário. Considerou-se a

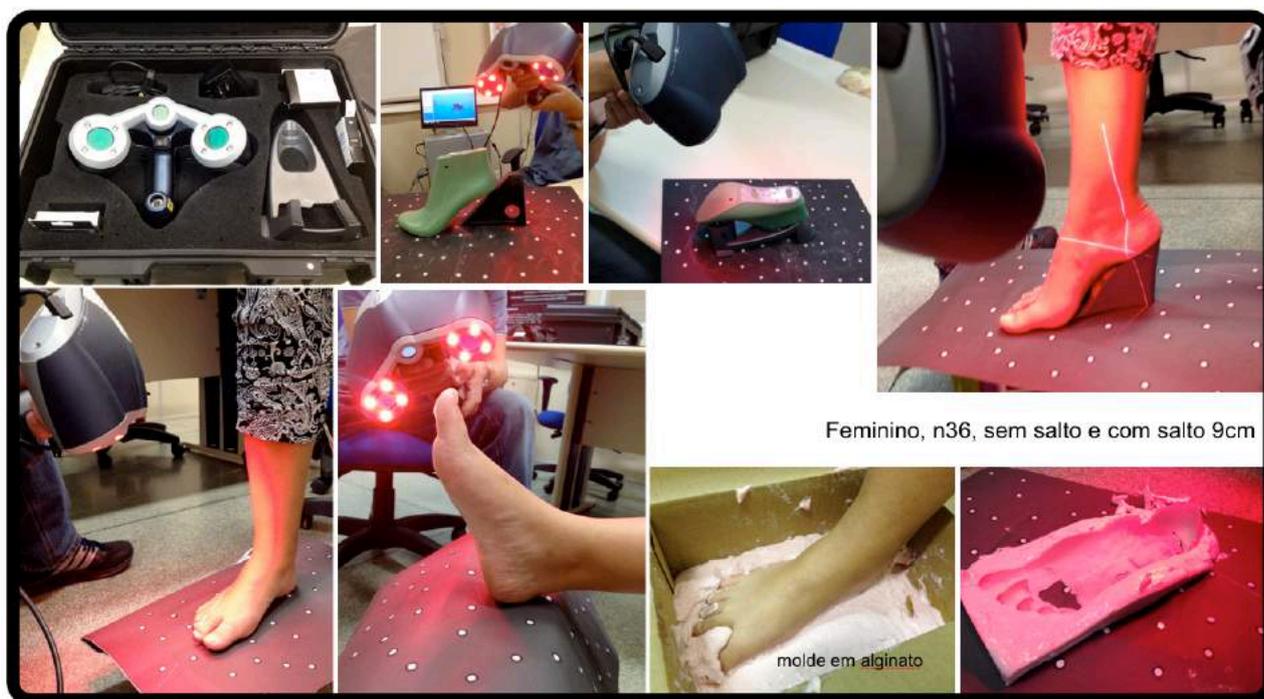
possibilidade de amenizar o desconforto encontrado em calçados femininos com salto alto, que normalmente não apresentam palmilhas anatômicas, nem são adequados às medidas e proporções dos diferentes tipos de pés. Essa consideração faz com que o projeto seja caracterizado com a denominação “sob medida”.

Inicialmente os *scanners* 3Ds não eram equipamentos fáceis de se utilizar como alguns modelos existentes atualmente, como o *Handyscan 3D EXAscan*, da empresa 3DScanCo, de Minneapolis, EUA. O CTI Renato Archer, cuja parceria possibilitou a ajuda para as análises virtuais realizadas, fez uso do equipamento mencionado acima. Esse *scanner* necessita de parâmetros espaciais e trabalha com a aplicação de adesivos no formato de pontos, sendo necessário que o aparelho consiga “enxergar” no mínimo 3 ou 4 pontos para fazer uma varredura da superfície com qualidade, conforme pode ser observado na sequência de fotos da figura 103.

Foram definidas as seguintes capturas tridimensionais:

- 1) da fôrma/molde n36 com salto 9cm adquirida no fabricante de fôrmas (parte superior/cabedal e inferior/palmilha);
- 2) pés direito e esquerdo da modelo de prova nas posições: descalço relaxada (com os pés suspensos, parte superior e inferior), descalço com o corpo ereto (para verificar o efeito “esparramado”/parte superior) e descalço sobre um salto de 9cm de altura com o corpo ereto (para verificar também o efeito “esparramado”/parte superior).

Nesse processo encontrou-se um problema relacionado à captura da parte inferior do pé com o corpo ereto. A solução adotada foi preencher uma caixa de papelão com material de modelagem, nesse caso alginato, normalmente utilizado por dentistas para fazer moldes de dentes, fazendo com que a modelo pisasse na caixa, imprimindo assim sua pegada para posterior digitalização. O mesmo não foi feito para a captura do pé com salto alto, pela complexidade apresentada em fazê-lo no momento.



Feminino, n36, sem salto e com salto 9cm

Figura 109 - Sequência de fotos demonstrando a utilização do *scanner* 3D portátil *Handyscan 3D EXAscan*, disponibilizado pelo CTI Renato Archer, para a captura das fôrmas do molde de calçado adquirido e da modelo de pé.

Fonte: Acervo pessoal.

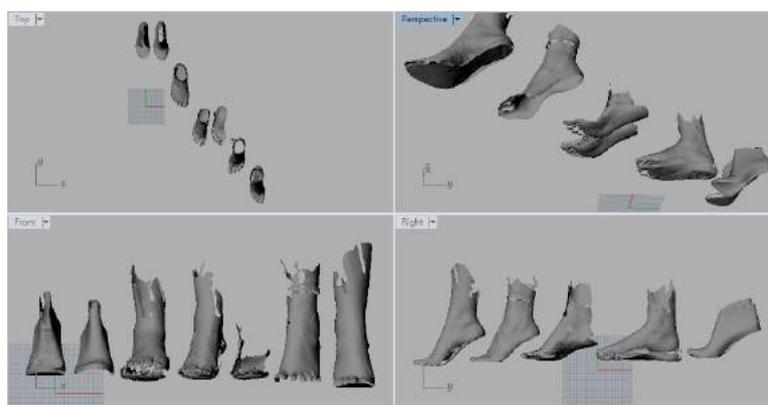


Figura 110 - Vistas dos arquivos digitais gerados pelo *scanner* 3D do molde/fôrma 36 com salto 9cm e captura dos pés na posição descalço, relaxado e sob pressão do peso do corpo na posição do salto 9cm. Fonte: Acervo pessoal.

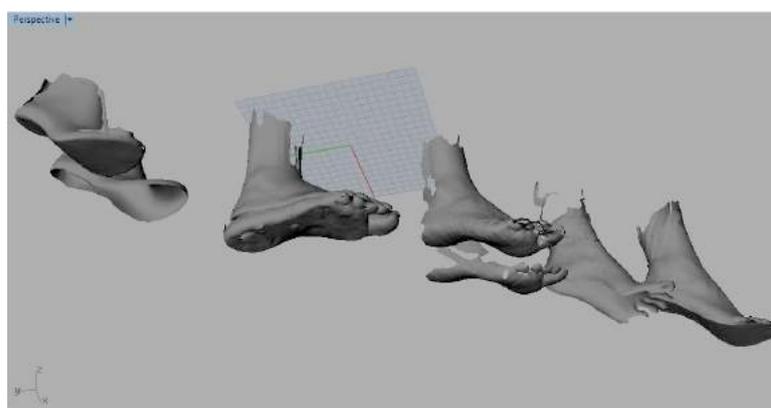


Figura 111 - Visualização dos modelos tridimensionais dos pés e fôrma digitalizados no CTI Renato Archer. Observa-se que o arquivo da direita é a união da superfície do pé descalço sob um salto 9cm e a superfície inferior da fôrma.

Fonte: Acervo pessoal.



Figura 113 - Ensaios de baropodometria para obtenção da distribuição das pressões plantares em calçados femininos, realizados no Laboratório de Estudos dos Movimentos do Hospital das Clínicas de São Paulo. Fonte: Acervo pessoal.

Os calçados selecionados para os testes não deveriam comprometer o caminhar da modelo de prova na esteira, proporcionando o máximo de estabilidade e conforto. É uma marca paulista renomada e atuante no mercado brasileiro há mais de 30 anos, com qualidade reconhecida como referência de produto de luxo, atendendo perfeitamente as necessidades e expectativas dos ensaios. Os modelos escolhidos apresentam características sociais, tipo sandálias e *scarpins*. Para estudos comparativos e abrangência do campo de pesquisa, três alturas de salto foram usadas nas medições: 9, 4,5 e 1cm. Para a medição do salto 9cm foram utilizados dois modelos, sendo um estilo “salto agulha” e outro com base retangular e larga.

Essas medições são os dados de entrada para o *software* de análise virtual. No caso dos calçados, a proposta de análise é trabalhar com as pressões identificadas na baropodometria, inserindo-as em uma palmilha virtual com as mesmas geometrias do calçado real, estabelecendo uma similaridade com as regiões dos picos de pressão obtidos na leitura da distribuição da pressão plantar. Esse cenário inicial serviu para identificar o comportamento da distribuição das cargas e tensões, objetivando avaliar como ocorre a propagação pelas estruturas e materiais, com suas consequentes deformações. Os resultados obtidos pela leitura das análises desenvolvidas foram considerados como sendo o fator principal para a definição do aspecto formal do calçado conceitual criado, estando sua criação condicionada às imagens geradas enquanto buscavam-se indícios que pudessem apontar para a diminuição dos picos de pressão pretendida.

4.4 Avaliação e análise dos resultados

Da baropodometria obteve-se a leitura de 7 ou 8 passadas em cada modelo de calçado, em que a média dos picos serviram para selecionar o passo para o modelo de estudo, que representasse as médias das pressões obtidas, conforme demonstra o gráfico 2. No ensaio realizado, o intervalo de leitura foi de 0,02 segundos

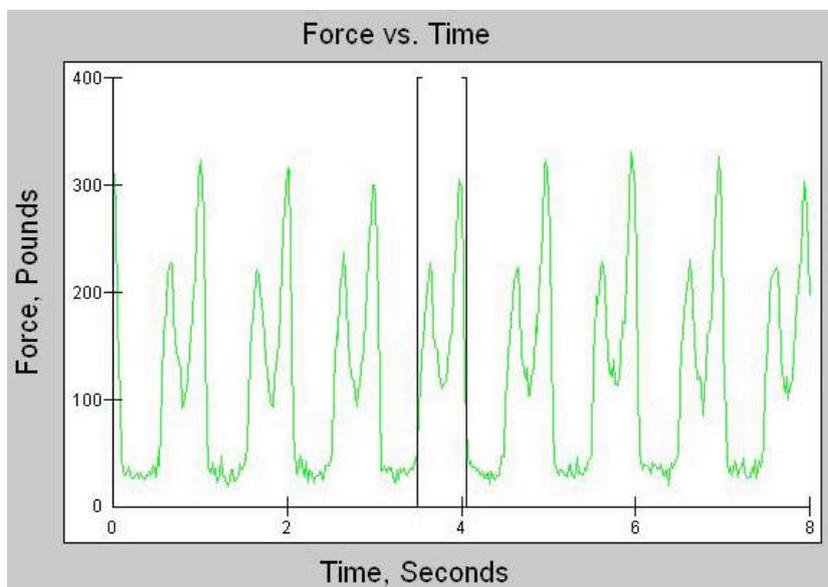


Gráfico 2 - Gráfico obtido pelo ensaio de baropodometria, com o auxílio do Laboratório de Estudos dos Movimentos do HCSP, com o passo escolhido que representa as médias obtidas pelo *software* utilizado, F-Scan Clinical. Acervo pessoal.

Com esse modelo de passo considerado como referência da média dos ensaios, gerou-se uma imagem com ambos os picos de pressão, localizados na região do calcanhar e dos metatarsos, conforme as figuras 114 e 115. Mesmo ocorrendo em momentos distintos, os picos são considerados na mesma imagem para efeito de análise da situação de maior desconforto provocada pelas forças atuantes na palmilha dos calçados, independentemente do momento em que isso ocorreu. Pode ser aferido nos ensaios que o intervalo entre os picos com o uso do modelo de salto baixo é de 0,348seg, e com o modelo de salto alto o valor diminui para 0,34seg, o que caracteriza a pisada com salto alto mais “chapada”, com menor amortecimento pelo calcanhar em relação à pisada com salto baixo. Outra ressalva deve ser feita em relação à opção de se trabalhar exclusivamente com o arquivo que representa o salto 9cm, por ser esta a referência de maior desconforto aferida.

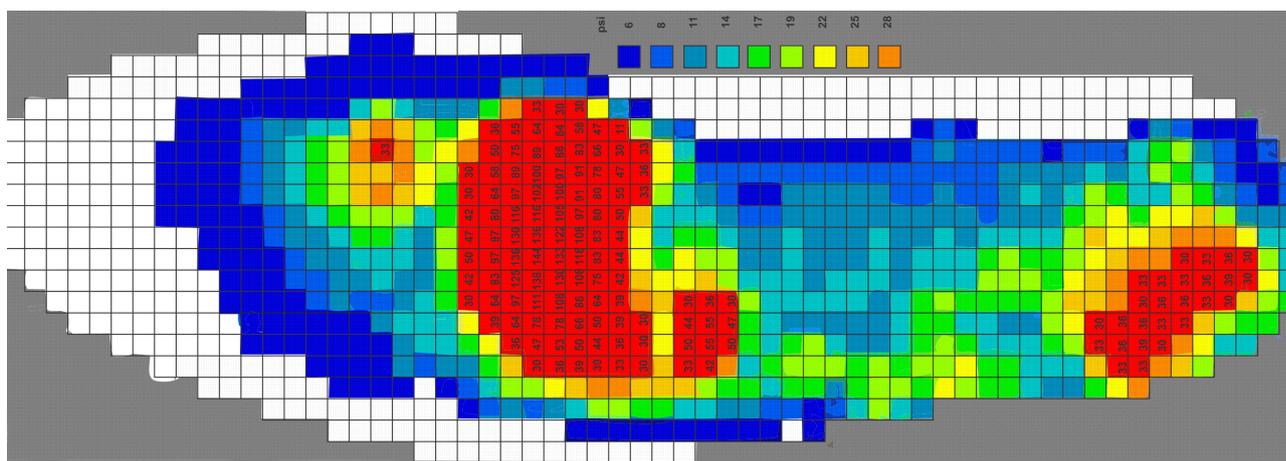


Figura 114 - Pressões máximas aferidas nos ensaios de baropodometria, utilizando o calçado com salto de 9cm, de modelo “salto fino”. Fonte: Acervo pessoal.

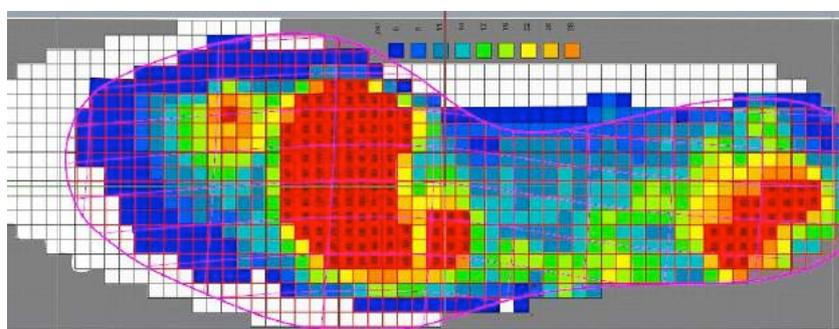


Figura 115 - Localização do contorno da palmilha com o posicionamento dos sensores de pressão, simulando a palmilha utilizada nos ensaios de baropodometria. Fonte: Acervo pessoal.

Outro critério de escolha para a definição do modelo foi em relação ao uso no pé direito e no esquerdo. Na avaliação de uma pisada, quando se observa se há alguma propensão das cargas estarem concentradas mais na parte interna do pé, caracterizando assim uma pisada pronada, ou na parte externa, característica de uma pisada supinada, tem-se que em uma pisada considerada normal a distribuição das pressões plantares ocorre normalmente de forma uniforme ao longo do eixo da palmilha, com concentrações de cargas verificadas no centro da região do calcanhar bem como no centro da região dos metatarsos. É comum apresentar também certa carga no dedo. A mesma figura 114 ilustra uma típica pisada considerada “normal” pela literatura, em que os picos de pressão estão localizados e medidos em psi, sendo esses os valores utilizados para as simulações iniciais.

Por convenção, inicialmente escolheu-se usar o pé direito como referência para o estudo, mas após as pressões de ambos os pés terem sido analisadas, pode-se verificar que o tipo de pisada do pé direito da modelo de prova não caracterizava uma pisada considerada normal, pois apresentava um registro de pressões inferior ao previsto (no calcanhar) e elevada marcação na

região dos metatarsos, inclusive no dedão (figura 116), sendo este o fator decisivo para a escolha do pé esquerdo como a referência principal da pesquisa.

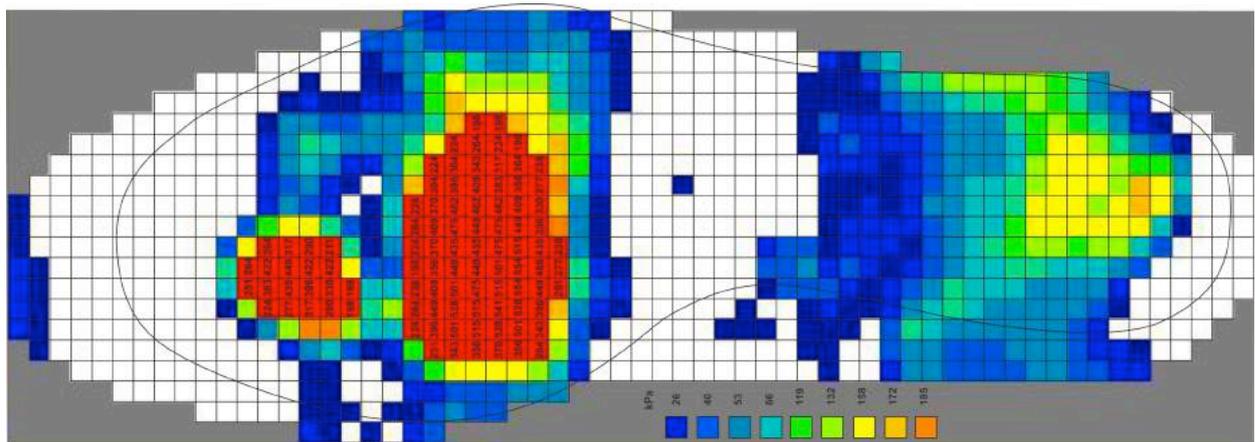


Figura 116 - Pressões máximas obtidas no pé direito da modelo de prova, pelo ensaio de baropodometria realizado no HCSP, com medidas em kPa. Fonte: Acervo pessoal.

4.5 Conclusões parciais

Para facilitar a compreensão dos fenômenos, foi adotada uma média das pressões máximas para inserir nas regiões demarcadas na cor vermelha, e assim realizar as análises, são elas: 480kPa para a região dos metatarsos e 290kPa para a região do calcanhar. Conforme apresentado anteriormente, segundo a norma ABNT NBR 14836 para a classificação de conforto, a pressão aferida no calçado deve estar entre 260 e 290kPa para serem considerado confortável, logo, a região do calcanhar está no limite, mas ainda assim o local pode ser considerado confortável. Entretanto, as pressões acima de 350kPa já são consideradas muito desconfortáveis, e no caso do calçado de salto alto com o modelo de salto agulha utilizado como a principal referência na pesquisa, superou muito o limite estabelecido pelo registro de 480kPa.

O teste de baropodometria serviu principalmente como base para a obtenção das informações referentes as pressões plantares. Mas como ferramenta de análise também pode ser muito útil, inclusive para o design de calçados.

Quando foram escolhidos os modelos de calçados para o teste, além da altura dos saltos, optou-se em selecionar dois tipos de saltos, ambos com 9cm de altura. Um possuía salto fino, tipo salto agulha, e o outro calçado apresentava salto com base retangular, possuindo uma área de contato com o solo muito mais ampla em relação ao salto fino. Ambos calçados são modelos fechados, tipo *scarpin*, escolhidos para proporcionar o melhor calce à modelo de prova e não influenciar na instabilidade da sua caminhada. Com isso, foi possível concentrar as atenções

especificamente na análise do comportamento de cada salto, pois toda a estrutura dos calçados praticamente eram as mesmas.



Figura 117 - Calçados de salto alto de 9cm utilizados nos ensaios de baropodometria, apresentando dois modelos distintos de salto, sendo um tipo salto agulha e o outro com base retangular larga. Fonte: Acervo pessoal.

As medições comprovaram que o design do salto influencia significativamente na distribuição do peso corporal, mesmo em calçados com a mesma altura de salto. Na análise das médias dos picos de pressão, no modelo com salto fino o pico registrado foi de 923kPa, contra 762kPa aferido no modelo com base retangular, ambos localizados na região dos metatarsos. Pode ser observado também que o local de maior pico se desloca para o lado externo do pé com o uso do salto fino, ao invés de manter no eixo da palmilha, conforme registrado no modelo de calçado com salto largo, propiciando uma pisada caracterizada como supinada.

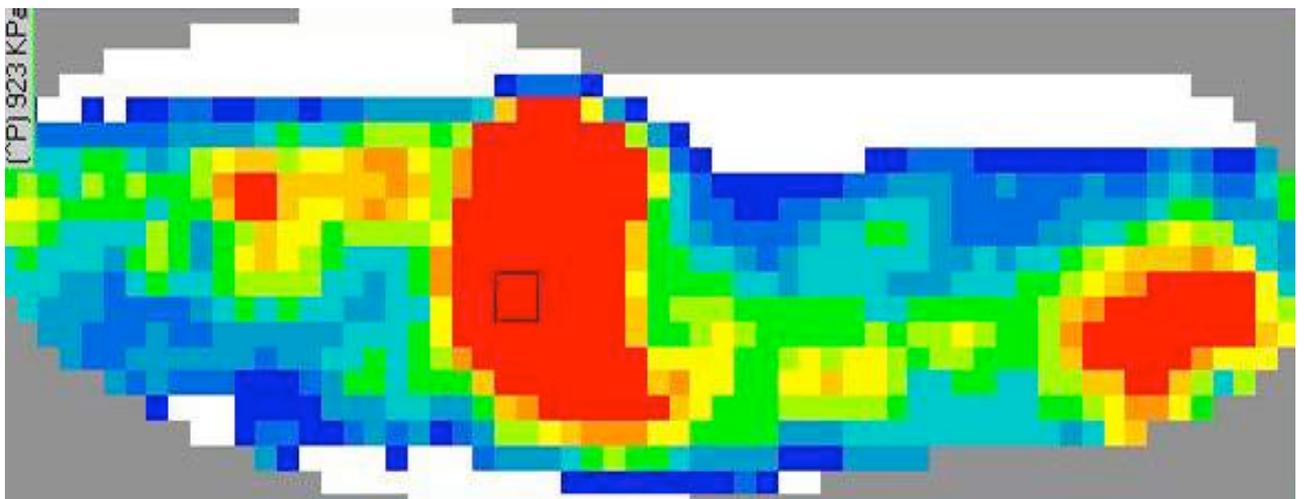


Figura 118 - Imagem das médias dos picos de pressão obtidas no modelo de calçado com salto fino, tipo salto agulha, localizando o pico máximo de 923kPa. Fonte: Acervo pessoal.

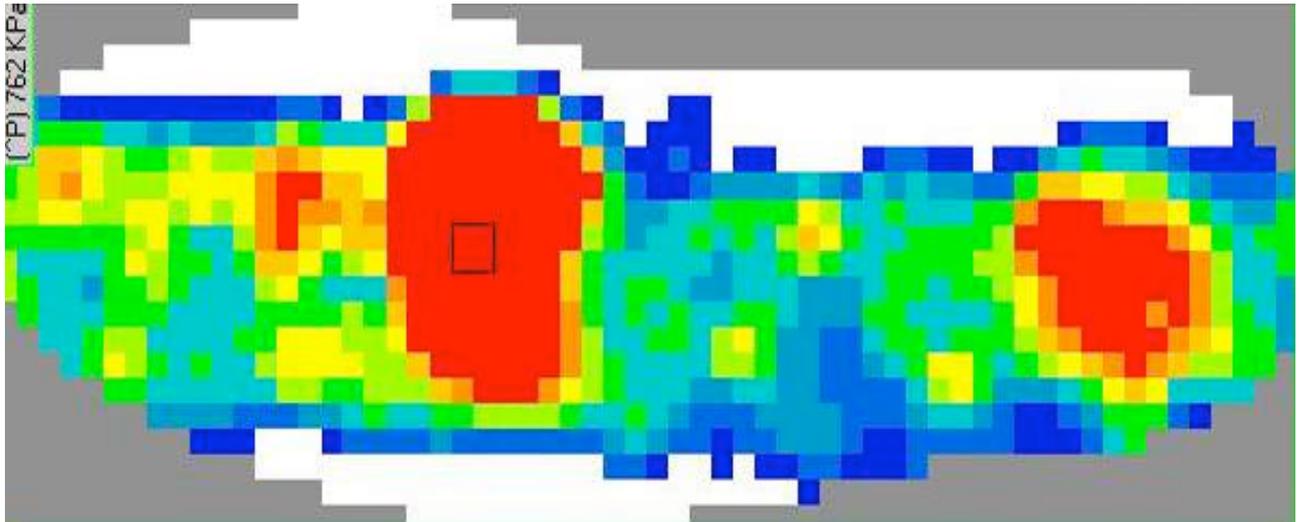


Figura 119 - Imagem das médias dos picos de pressão obtidas no modelo de calçado com salto de base retangular e larga, localizando o pico máximo de 762kPa. Fonte: Acervo pessoal.

O comportamento da caminhada com salto fino pode ser observado no gráfico 3, verificando que não há alteração significativa entre cada passo, mantendo uma certa constância no seu registro, não interferindo assim na obtenção das médias aferidas na imagem.

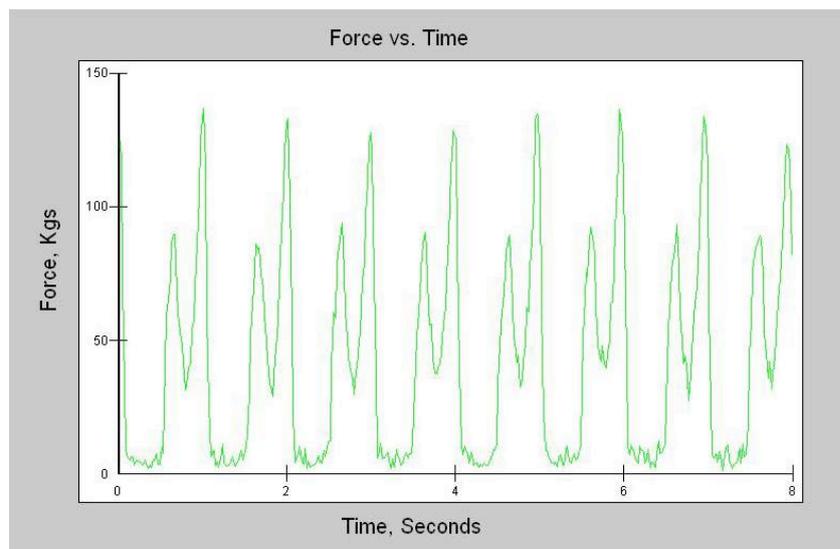


Gráfico 3 - Gráfico correspondente a cada passo e os picos de pressão obtidos no modelo de calçado com salto fino, tipo salto agulha. Fonte: Acervo pessoal.

Já na análise do comportamento da caminhada com o modelo de salto retangular e largo, pode ser observado no gráfico que houve um pico excessivo no registro do terceiro passo, em relação aos demais. Mesmo assim foi considerada a sua aferição para comparar com a medição do salto fino. Sendo 923kPa a medição conferida no calçado de salto fino, correspondente ao pico de pressão contra 762kPa registrado no pico com o modelo de salto largo, pode-se concluir que o design do salto influencia na distribuição do peso corpóreo mesmo em modelos de calçados com a mesma altura de salto alto. Modelos de salto com uma maior base de apoio e contato com o solo

tendem a ser mais estáveis do que os saltos finos. O modelo retangular utilizado no teste proporcionou uma redução de significativos 17,4% aferidos no pico de pressão. Além disso, como mostram as imagens, percebe-se que na região do calcanhar o peso fica mais localizado mais no eixo da palmilha, assim como deve ser para estabilizar o passo, evitando a torção do pé. Com o uso do salto fino pela modelo de prova que não apresenta propensão de pisada para fora ou para dentro, ou seja, pé supinado ou pronado, respectivamente, as pressões máximas observadas na região do calcanhar estão localizadas mais para o lado externo do calçado, ao invés de estar no centro da palmilha. Essa percepção se intensifica pelo fato do pico de pressão se deslocar na região dos metatarsos, movendo do eixo, como o uso do salto largo, para o lado externo, com o uso do salto fino.

A análise dos resultados da baropodometria mostrou que:

- 1) Segundo a literatura, a modelo de prova tem uma pisada considerada normal no pé esquerdo sendo essa a referência considerada para os ensaios virtuais de desempenho. No registro das pressões do pé direito foi possível verificar que há certa anormalidade na distribuição da pressão plantar, localizando certo excesso na região dos metatarsos, próximo e debaixo do dedão do pé.
- 2) Calçados com modelos de saltos altos com base larga, tendem a estabilizar melhor o peso do corpo na palmilha, proporcionando maior estabilidade e menor registro do pico de pressão em relação aos modelos de salto fino, beneficiando assim a saúde da mulher.
- 3) Calçados com modelos de saltos finos, tipo salto agulha, por serem instáveis, podem propiciar uma pisada errada, mesmo em indivíduos que possuem um tipo de pisada normal. É provável que durante a exposição por um longo tempo de uso desse tipo de salto o indivíduo possa sofrer uma alteração na sua pisada, passando de normal para uma pisada supinada ou pronada, prejudicando assim a saúde da mulher.

PREMISSAS PARA O
DESIGN DE CALÇADOS
FEMININOS DE SALTO ALTO,
CONFORTÁVEIS
E SOB MEDIDA



5 . Premissas para o design de calçados femininos de salto alto, confortáveis e sob medida

Pode-se dizer que um projeto centrado no usuário é a essência do próprio design, ao menos deveria ser.

Como visto anteriormente na definição de ergonomia, o estudo do relacionamento do produto com o usuário é um fator intrínseco à própria atividade dos ergonomistas. Existe a norma ISO 13407 - Processo de Projeto Centrado no Usuário para Sistemas Interativos que estabelece referências para o desenvolvimento de *software* e aplicativos que especificam as principais considerações para o melhor relacionamento entre o homem e o computador. Mas se os programas computacionais são especialmente elaborados para a manipulação por humanos, não seria óbvio que também deveriam ser centrados no usuário? É possível desenvolver programas que não são pensados para manipulação pelo homem?

Para o projeto de produtos, deve-se considerar o manuseio e o relacionamento com o usuário. Normalmente, o design de produto difere das artes plásticas pelo modo como se dá o relacionamento entre o usuário e o produto criado. Se considerarmos o clássico da produção das artes plásticas, como quadros, esculturas, gravuras, obras em geral, estes costumam ser apreciados pelos usuários mas sem que sejam manipulados, servindo quase sempre como artigos de decoração e valorização de espaços públicos e privados. E no design, que produto é criado para não interagir com o homem? Nesse contexto, pressupõe-se que a expressão “design ou projeto centrado no usuário” seja algo mais do que óbvio, fazendo parte, como mencionado, da própria essência do projeto de produtos. Mas esse apontamento não significa vontade de polemizar sobre o assunto, e sim salientar que certas definições básicas de premissas do design deveriam se adequar à complexa fase atual do mundo em que vivemos. Sabemos que “forma x função” é um parâmetro inicial, importante para conceituar a aplicação do design de um modo geral, mas está longe de estabelecer todos os parâmetros necessários para abordar o início de um projeto.

Por questões consideradas óbvias pelo pesquisador, deveria ser inserida, em todos os cursos de design, uma disciplina relacionada com os problemas do meio ambiente atual, passado e futuro, além da disciplina de ergonomia. Pode ser observado que nem todos os cursos de design e moda do Brasil contemplam na sua grade curricular tais disciplinas. Desse mesmo modo, o projeto com foco no usuário deveria receber a devida atenção em todas as criações, sendo, assim, uma das premissas do design desta pesquisa.

Hoje em dia podem ser encontradas certas “ferramentas” para estimular a criatividade, como o recentemente difundido *Design Thinking*, que é, segundo os autores do livro “*Design*

Thinking Brasil”, menos uma metodologia e mais uma “abordagem”. Segundo a empresa americana de design e inovação IDEO, responsável por popularizar esse contexto mundialmente, como definição, DT é um novo jeito de pensar e abordar problemas ou, dito de outra forma, um modelo de pensamento centrado nas pessoas. O *human-centered design* (design centrado no ser humano) começa por examinar os desejos dos consumidores a fim de propor soluções que sejam práticas e viáveis. Com definição clara e objetiva, tem início um processo estratégico com um desafio específico e que continua por três fases principais: ouvir, criar e implementar. Durante esse processo, o trabalho é desenvolvido alternando o pensamento concreto e o abstrato, identificando temas e oportunidades e, mais tarde, voltando ao concreto com soluções e protótipos. Mas esse tema também não será aprofundado nesta pesquisa, apesar de bastante difundido e com resultados que demonstram sua eficaz utilização.

Retornando aos dados disponíveis para as simulações virtuais, vale a pena ressaltar que os valores das pressões medidas na palmilha são as únicas informações para criar alguma análise que se relacione com uma situação real e que seja quantificável. O objetivo sempre foi evidenciar a importância do design de produto adotar ferramentas tecnológicas de análise de desempenho em seu processo para verificar a viabilidade das soluções. Neste estudo de caso relacionado com o setor calçadista, devido à complexidade de se considerar outras variáveis que sejam possíveis de ser quantificadas, assim como as medições realizadas na baropodometria, define-se que a abordagem do problema do conforto é unicamente representada pelos valores obtidos pela análise da pressão plantar conferidos pela palmilha. Entretanto, para demonstrar a eficácia do método proposto, são informações suficientes para se criar um cenário de projeto de design que sirva para exemplificar na prática a aplicação da teoria e dos conceitos estudados.

Para não limitar o trabalho às análises mecânicas feitas pelo *software*, outra preocupação apontada inicialmente está relacionada com o desejo do consumidor, e como se dá a transformação desse desejo em critérios de design e estéticos para a definição das marcas que mais representem sua personalidade, especificamente para o público feminino.

Pela revisão bibliográfica, observa-se que a compilação das informações na intenção de apresentar referências que se relacionem com as percepções do conforto é uma tarefa que depende de fatores subjetivos e muitas vezes difíceis de quantificar. Os trabalhos de levantamento antropométrico apresentados consideram uma amostragem que pode não ser significativa para alguns pesquisadores, mas sem dúvida é uma importante referência a ser considerada e utilizada. O trabalho de DRESCH e CAMPOS (2012) foi adotado pelo pesquisador como principal referencial estatístico para defender a importância e relevância da estética incorporada como objetivo intrínseco ao processo da pesquisa. Compartilha-se a ideia de que o design e o conforto são

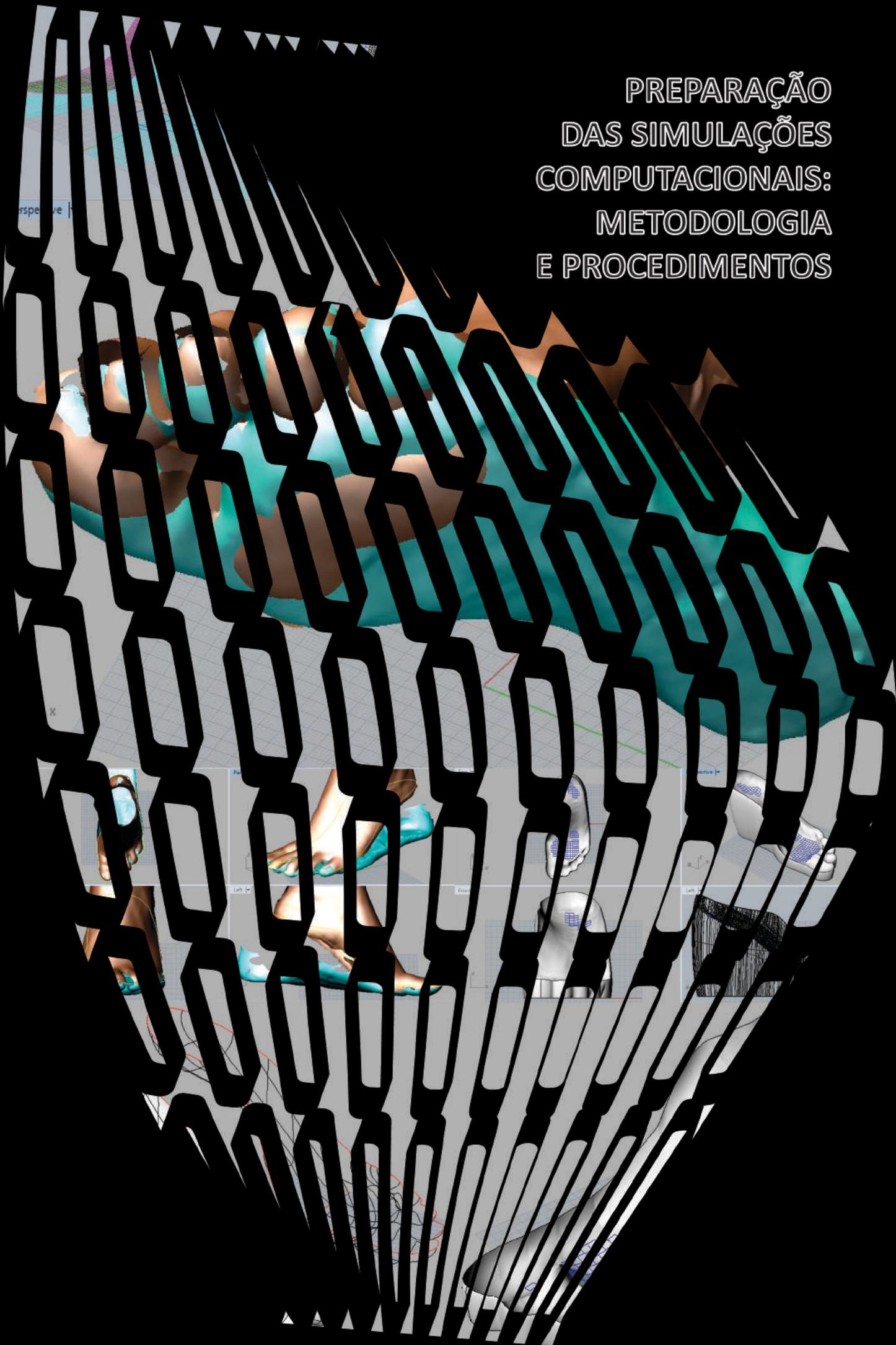
atributos indissociáveis, assim como apontado na pesquisa na qual o calce/conforto e o design fazem parte dos três itens mais citados para o consumo de um calçado.

Ao longo do tempo, o comportamento do consumidor nos mostra que na década de 1970 o foco da indústria de calçados era a produção em massa, determinante de todas as etapas da cadeia produtiva. Foi uma época em que a qualidade era a principal preocupação, na busca por produtos duráveis. Dificilmente se falava em marca, *marketing* ou design, sendo esse o foco principal entre os anos 1990 e 2010. A partir de 2010 a indústria passa a valorizar custo, processos, canais e logística de distribuição, adotam a tecnologia da informação para integrar o segmento, e envolvido nesse cenário, surge um atual atributo imposto pelo consumidor: o conforto.

Para um consumidor cada vez mais exigente, em um tempo em que temos diversas mudanças no comportamento feminino, o qual influencia diretamente o significativo mercado de calçados, fica mais do que evidente que todas as ações devem sempre considerar o usuário como foco principal do projeto de design, relevando todos os quesitos de conforto.

Conforme definido na colocação do problema, o conforto é considerada como a segunda premissa desta pesquisa. Como visto, conforto também é considerado como um sinônimo de projeto centrado no usuário e, desse modo, tem-se apenas uma premissa: o projeto centrado na mulher usuária de salto alto com foco no conforto como critério de saúde e de bem estar.

PREPARAÇÃO
DAS SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS:
METODOLOGIA
E PROCEDIMENTOS



6 . Preparação das simulações computacionais: Metodologia e procedimentos

A adoção de um método experimental com as características do método dos elementos finitos explica-se em boa parte pelos objetivos a serem alcançados por este trabalho, no que se refere ao desenvolvimento de parâmetros virtuais para análise de desempenho de calçados com o foco no conforto. Seguindo este critério, os modelos matemáticos foram elaborados com o auxílio de *software* CAD e de elementos finitos, conforme detalhamento a seguir.

6.1 Desenho 3D - CAD e CAE

A modelagem iniciou-se com a elaboração de um modelo similar ao formato da palmilha de um calçado de salto alto, utilizando-se a superfície inferior da fôrma como a principal referência para essa reprodução (figura 120). Para a realização de qualquer análise virtual, deve-se atribuir alguma espessura aos planos em que a análise será efetuada, transformando-os assim em um sólido, que deverá receber especificações de materiais. Para o objetivo da tese, estipulou-se, ao dar início às análises, verificar o comportamento das pressões aferidas na baropodometria e os efeitos causados em suas reações com o solo. Definiu-se para esse estudo a utilização da linha de contorno da palmilha reproduzida, extrudando-a verticalmente, criando o efeito de um bloco, similar a um modelo de calçado conhecido como “anabela”. Como espessura mínima para a parte frontal, referente à região dos metatarsos, estipulou-se a medida de 1cm, possibilitando, assim, observar o comportamento das forças e a respectiva propagação das cargas na estrutura definida como modelo (figura 121).

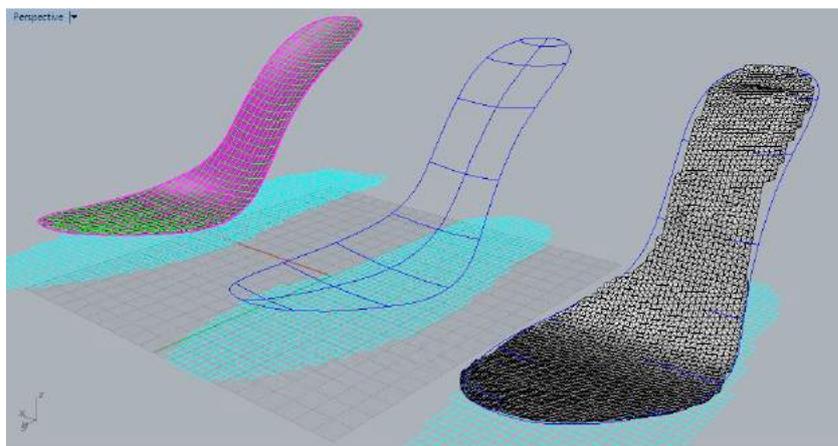


Figura 120 - Reprodução virtual de uma palmilha de um calçado feminino comercial com salto 9cm. À direita, superfície inferior da fôrma digitalizada como base para a criação da palmilha para os ensaios iniciais (linhas demonstradas no centro) e superfície com a projeção das centenas de sensores contidos na palmilha do ensaio de baropodometria, representada pela imagem à esquerda. Fonte: Acervo pessoal.

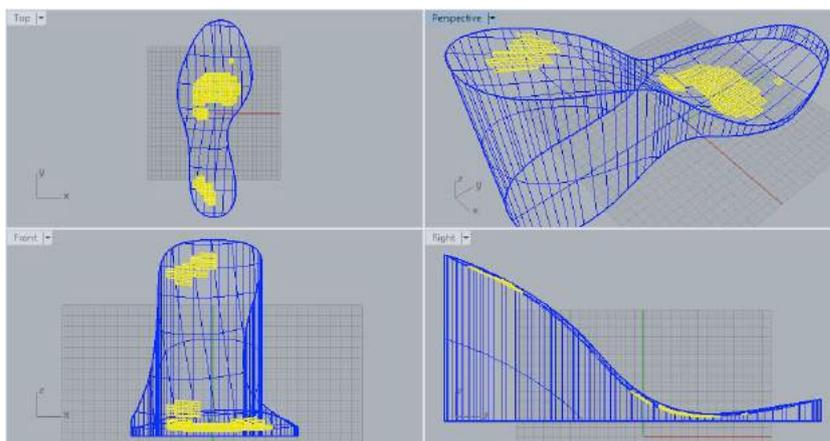


Figura 121 - Volume de modelo plataforma, tipo anabela, criado a partir da extrusão das linhas de contorno da palmilha, com a localização das áreas correspondentes aos principais picos de pressão aferidos na baropodometria.

Fonte: Acervo pessoal.

Já para a modelagem tridimensional da palmilha com as características anatômicas do pé do modelo de referência utilizada na tese, foram selecionados três arquivos que correspondem a:

- 1) Parte superior do pé descalço sobre um salto 9cm (como referência para o cabedal);
- 2) Parte inferior do pé descalço, relaxado, simulando a posição do salto alto (como primeira referência para a palmilha);
- 3) Parte inferior do pé descalço, sem salto, obtido em molde de alginato, registrando a pegada e o formato do pé “esparramado” sob o efeito das cargas exercidas pelo próprio peso corpóreo da modelo.

O arquivo da parte superior foi utilizado para a confecção do cabedal e a união das duas partes inferiores do pé foram fundamentais para a elaboração da palmilha anatômica, conforme mostra a figura 122.

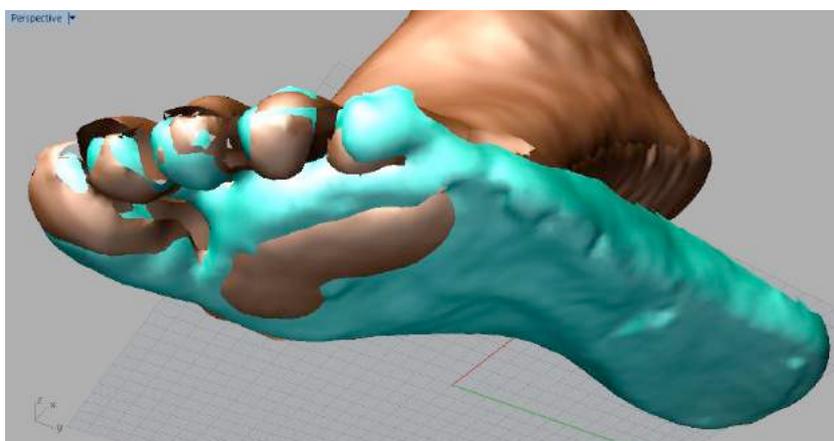


Figura 122 - Visualização da unificação dos arquivos escaneados para a criação da palmilha anatômica. Fonte: Acervo Pessoal.

Na união dos dois arquivos da parte inferior do pé, pode ser notada a saliência apresentada pelo pé relaxado (representado pela cor bege) em relação ao pé com efeito “esparramado” (representado pela cor azulada). Como o pé apoiado estava pisando sobre uma caixa de papelão preenchida com alginato, logo em uma superfície horizontal, o modelo obtido pelo escaneamento representa a referência da largura que o pé assume sob a pressão do peso do corpo. Para definir o formato anatômico da palmilha, utilizou-se o arquivo do pé relaxado como principal referência para a região do calcanhar, do arco plantar e dos metatarsos. Já para os dedos, ambos os arquivos foram utilizados.

Duas suposições foram consideradas para elaborar a palmilha:

- 1) Aumentar a área de contato com a parte inferior do pé deve proporcionar uma melhor distribuição das cargas, uma vez que as pressões deverão ter mais pontos para se dissipar, diminuindo assim os picos de pressão, sendo este o objetivo principal da tese.
- 2) Apoiar totalmente a área inferior do pé em uma palmilha com o formato anatômico sob-medida deve proporcionar maior estabilidade e melhorar a percepção do calce pelo usuário, principalmente em relação às palmilhas convencionais de calçados femininos de salto alto, cujas superfícies das palmilhas não proporcionam total apoio ao pé, principalmente na região do arco plantar.

Com essas considerações estipuladas, houve a preocupação de definir a altura da lateral da palmilha e como ocorreria a acomodação do pé (figura 123). Acredita-se que essa característica influencia diretamente na qualidade da percepção do calce, sendo um ponto praticamente inicial do projeto, mas deve ter a sua merecida atenção objetivando o sucesso do protótipo.

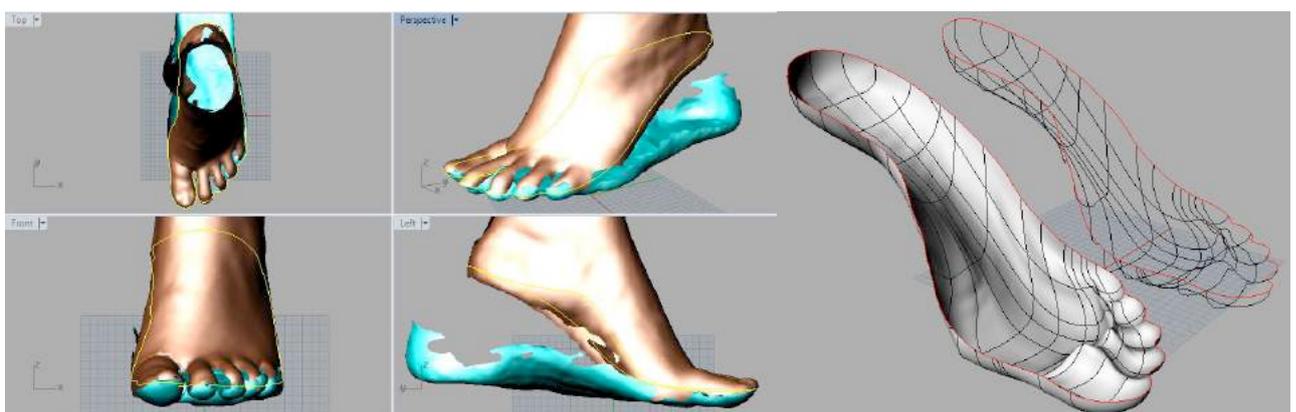


Figura 123 - Definição da linha referente à altura da lateral da palmilha e construção geométrica da palmilha anatômica. Fonte: Acervo pessoal.

Do mesmo modo que foram realizadas as primeiras simulações, foi adotado o mesmo parâmetro geométrico para elaborar o sólido que auxiliaria na avaliação da nova palmilha; pelo formato orgânico, considerando a linha de contorno da palmilha para extrudá-la na vertical (assim

como realizado anteriormente), ocorre sobreposição de partes, inviabilizando a realização. Manteve-se a espessura mínima de 1cm na região dos metatarsos, e ainda no bloco tipo anabela criaram-se perfis com leve curvatura para obter-se a superfície lateral do bloco maciço por varredura e não por extrusão (figura 124).

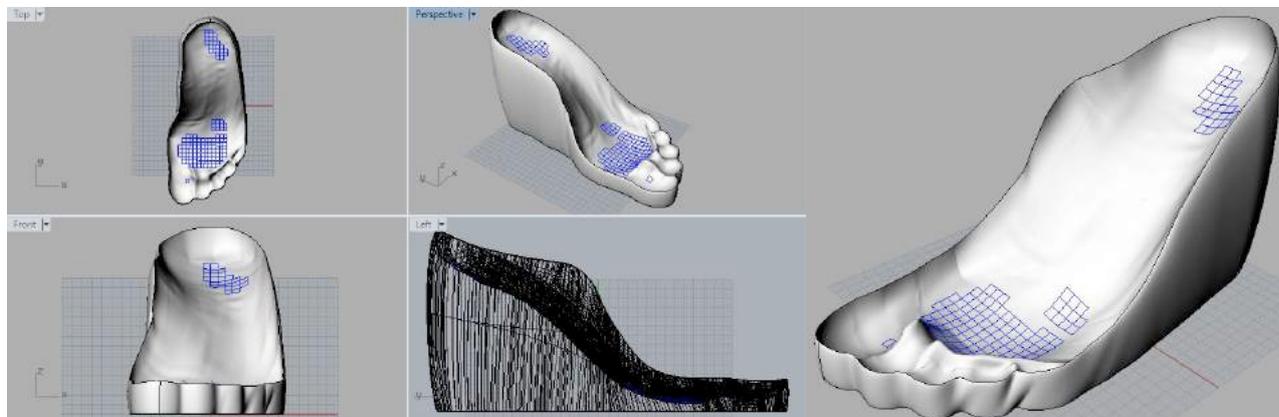


Figura 124 - Modelo da palmilha anatômica com volume e localização das áreas das maiores pressões nas análises iniciais, mas servindo agora como local para restrições. Fonte: Acervo pessoal.

6.2 Situação de contorno

As principais vantagens das simulações virtuais, já apresentadas anteriormente, estão relacionadas principalmente com a redução de custos e prazos. Com a utilização correta dessa ferramenta, tem-se a oportunidade de prever possíveis falhas do produto. Para o setor calçadista, há diversas vantagens na adoção desse tipo de *software*, como analisar a melhor adequação anatômica de componentes aos diversos biotipos de pés dos usuários, e definir quais são os melhores materiais para a sua fabricação, sem a necessidade da elaboração de protótipos físicos, gerando uma grande economia de tempo e redução no custo de novos desenvolvimentos de produtos. Em relação às normas que estabelecem parâmetros para homologar conforto e analisar resistências de materiais, os ensaios físicos também podem ser substituídos pelas simulações virtuais, agilizando todo o processo de criação.

Materiais que tenham a característica de absorção de impactos e que proporcionem impulsão para o caminhar também são possíveis de se analisar pelo uso do método virtual proposto. Portanto, as análises realizadas são baseadas na aplicação da teoria do método dos elementos finitos, sendo esta a ferramenta/*software* de análise utilizada para a simulação dos testes virtuais pretendidos. Com a recém e significativa parceria firmada com o CTI Renato Archer (Centro de Tecnologia da Informação), obteve-se a qualidade esperada nas análises realizadas, contando com a valiosa contribuição do *know-how* e extremo profissionalismo apresentado pelo CTI.

Como são especializados em projetos biomecânicos, realizando próteses humanas e também para animais, a transferência desse conhecimento para ajudar na idealização dos modelos digitais dos pés submetidos às análises teve grande importância, sendo a principal fonte para o estudo da bioengenharia necessária para a realização da pesquisa.

Codificando as informações coletadas para abastecer as análises virtuais, adota-se que, apesar dos picos (calcanhar e metatarsos) não ocorrerem ao mesmo tempo, para a simplificação convencional da engenharia mecânica consideram-se as cargas e os esforços extremos ao mesmo tempo, configurando, assim, um estudo com análise estática considerando dados dinâmicos.

SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS REALIZADAS E ANÁLISE DOS RESULTADOS



7 . Simulações computacionais realizadas e análise dos resultados

A realização das análises virtuais de desempenho permitiram uma validação mais aprofundada das hipóteses iniciais da pesquisa no que tange a obtenção de melhores condições de conforto para calçados femininos de salto alto, expostas no capítulo 4 deste trabalho, o qual trata da sua base empírica.

7.1 Simulações iniciais

As etapas relacionadas com as análises virtuais tiveram início com a criação de modelos geométricos que reproduzem certas características físicas de partes de um calçado feminino com salto alto, representando principalmente a interface que proporciona o contato entre o pé e o calçado, denominada palmilha. Foram elaborados modelos conforme os calçados selecionados, com salto alto, médio e baixo, ou 9, 4,5 e 1cm, respectivamente, criados em sistema CAD com o uso do *software Rhinoceros*.

A análise pelo método dos elementos finitos fundamentou-se na simulação virtual para caracterizar os fenômenos mecânicos que representassem as solicitações reais dos esforços sofridos pela palmilha aferidos na baropodometria, objetivando dar suporte para as análises pretendidas. Por sua vez, o modelo deveria apresentar diversas informações quanto aos aspectos design (principalmente quanto a geometria e definição da estrutura) e engenharia (por considerar a ciência dos materiais, submetendo-se a aplicação de cargas a fim de obter a leitura das possíveis deformações). Para o desenvolvimento dos estudos idealizados para o trabalho, as etapas deveriam seguir as seguintes especificações:

- 1) Após a criação da geometria em 3D do produto a ser analisado, deve-se definir uma malha de superfície, normalmente especificada em formas triangulares ou retangulares, onde o encontro das arestas, os vértices, representam um nó. Cada nó pode fornecer informações para a análise de deformações, por exemplo, em que as tensões aplicadas e os deslocamentos aferidos são os principais resultados gerados pelo *software* (a tese considerou a utilização do Femap + Nastran, inclusive para a geração das malhas).
- 2) Definir a propriedade do material a ser aplicada na estrutura de análise (normalmente pode ser encontrada na biblioteca do próprio programa). Para o desenvolvimento da tese, a palmilha foi transformada geometricamente em um bloco maciço, extrudado verticalmente, possibilitando a verificação das propagações das forças e suas reações no solo. Com esse objetivo, o material dessa plataforma não deveria influenciar na leitura dos esforços. Nesse contexto, torna-se

necessário escolher algum material que apresente características isotrópicas³⁴, assim como o metal/ferro escolhido³⁵.

3) A situação para a análise (denominada também “situação de contorno”) é definida pelas aplicações dos carregamentos e suas restrições. A configuração definida para iniciar os ensaios virtuais é assim caracterizada: apesar de utilizar os dados dinâmicos coletados na baropodometria, a análise é considerada estática, por não apresentar variações de cargas ao longo do tempo. Os resultados foram obtidos pela interpretação das imagens geradas pelo *software*, adotando-se alguns critérios de avaliação sob a ótica da engenharia mecânica, tais como deformações em todos os graus de liberdade (*Total Translation*); tensões na vertical (*Normal Z*), e em relação à falha que indica o escoamento de sólidos antes de atingir a deformação plástica (*Von Mises*). Os resultados obtidos são ilustrados nas figuras a seguir.



Figura 125 - Resultados dos ensaios virtuais para a verificação do deslocamento total para os saltos 1, 4,5 e 9cm de altura (da esquerda para a direita, respectivamente) - *Total Translation*. Fonte: Acervo pessoal.

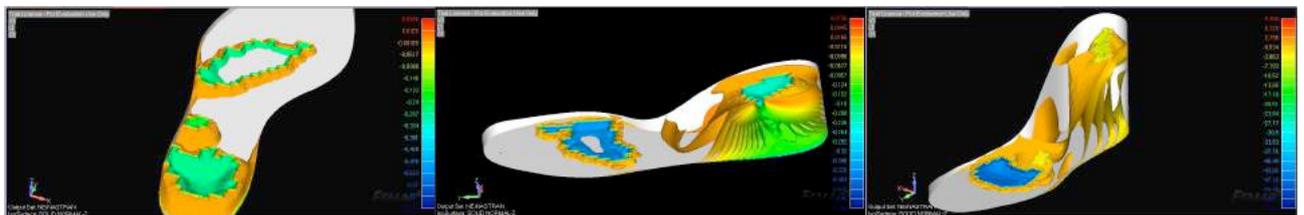


Figura 126 - Resultados dos ensaios virtuais para a verificação das forças atuantes na vertical para os saltos 1, 4,5 e 9cm de altura (da esquerda para a direita, respectivamente) - *Normal Z*. Fonte: Acervo pessoal.

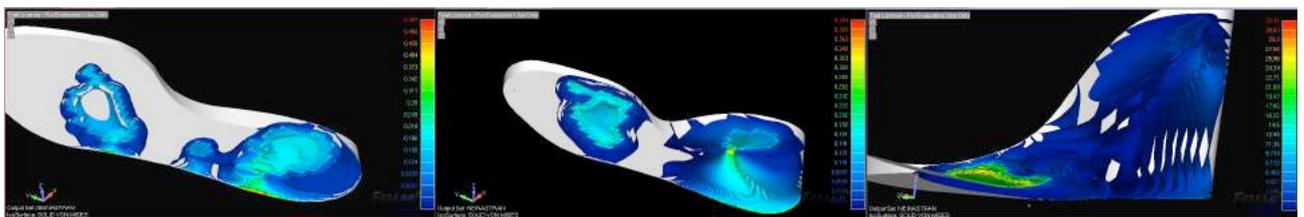


Figura 127 - Resultados dos ensaios virtuais para a verificação do critério de falha de *Von Mises* para os saltos 1, 4,5 e 9 cm de altura (da esquerda para a direita, respectivamente). Fonte: Acervo pessoal.

³⁴ Materiais isotrópicos são definidos por apresentar as mesmas propriedades mecânicas em todas as direções (VAN VLACK, 1984).

³⁵ O metal/ferro escolhido tem as seguintes propriedades: a classificação pelo *software* utilizado FEMAP é *A286HRES IronAlloy*, sendo um material isotrópico, apresentando índice de densidade $7,43508E-4$, coeficiente de expansão térmica $1,1E-5$ e condutividade térmica $1,66656E-4$, módulo de elasticidade 291000 e coeficiente de *Poisson* com o valor de 0,399039.

7.2 Principais resultados e conclusões iniciais

Duas imagens se destacaram na verificação dos resultados obtidos pela propagação das tensões na estrutura com o formato tipo anabela, servindo posteriormente como principal inspiração para o design conceitual desenvolvido, ambas obtidas pelos arquivos de salto 9cm. Pela imagem relativa à deformação total (*Total Translation*), observa-se que ela apresenta superfícies que representam as propagações das cargas referentes aos diferentes níveis de tensão, que neste caso ocorrem perpendiculares ao sentido das pressões aplicadas. Em uma determinada faixa de tensão, obteve-se o formato de uma superfície similar a uma palmilha ortopédica, mas com saliências específicas e distintas das oferecidas pelo mercado atual, verificada na figura 128. É fato que o enchimento na região do arco plantar é fundamental para melhorar o apoio dos pés e assim distribuir melhor as pressões exercidas, atualmente presentes nas palmilhas denominadas ortopédicas. Mas a imagem salienta a importância da verificação de outras regiões pouco exploradas, como por exemplo o calcanhar, induzindo ao que poderia ser uma correção para tipos de pisadas com características de supinação ou pronação. Acredita-se na utilização desse tipo de imagem para inspirar a criação de calçados mais adaptáveis aos biotipos, sustentada pela comprovação da eficácia da análise virtual sob a ótica da biomecânica e engenharia mecânica.

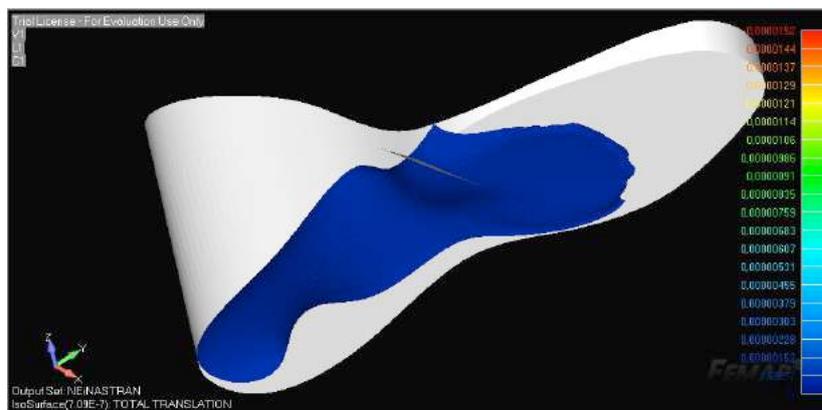


Figura 128 - Superfície gerada no ensaio de *Total Translation* no calçado com salto 9cm, em uma determinada faixa de tensão. Fonte: Acervo pessoal.

É nesse momento que esse tipo de ferramenta de análise virtual pode torna-se um grande aliado do designer de produtos, uma vez que lhe dá a capacidade de transformar a informação técnica antes dominada somente pelos engenheiros em importantíssimos referenciais de cunho científico, auxiliando assim na criação de produtos cada vez mais adequados ao usuário. A análise virtual pode garantir a qualidade estrutural e dos materiais necessários para suportar todas as solicitações dos esforços (proporcionando aumento de desempenho), além de ser um facilitador para colocar em prova qualquer proposta que apresente características fora do padrão convencional estabelecido pelo mercado, ao explorar novos conceitos formais sob os critérios

rigorosos da estética, podendo ainda inovar ao estabelecer referências para novos padrões. Para alguns especialistas, esse contexto é suficiente para formatar um conteúdo que se enquadraria como um “lançamento de tendências”.

A segunda imagem, que acabou por inspirar o desenvolvimento de um modelo de salto pouco visto ainda no mercado, principalmente pelo formato assimétrico, foi obtida pela análise dos campos de tensões das pressões verticais, denominada *Normal Z* (figura 129). Esse formato ilustra a propagação das tensões, propiciando informações/indícios úteis para a elaboração simplificada do formato do bloco/plataforma em um outro formato correspondente que também suporte as mesmas cargas inicialmente aplicadas. Esse tipo de análise é conhecida como “design otimizado” (ALVES, 2008). Não se trata da análise executada, mas pode ser interpretada como tal. Em relação ainda ao bloco maciço, isso significa que a forma apresentada tem a mesma função da forma inicial, demonstrando a redução de material necessário para a fabricação de um componente que exerça o mesmo desempenho da peça original, podendo resultar em uma redução significativa na quantidade de material, consequentemente, com menor custo para a sua fabricação.

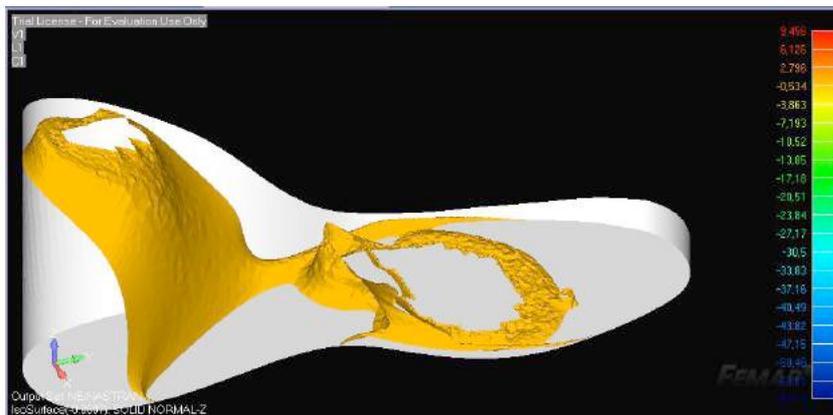


Figura 129 - Superfície gerada no ensaio *Normal Z* no calçado com salto 9cm em uma determinada faixa de tensão.

Fonte: Acervo pessoal.

7.3 Simulações e resultados finais

Assim como desenvolvido com o modelo inicial, neste novo formato mais anatômico da palmilha deve-se verificar os mesmos fenômenos físicos: Deformação Total; Von Mises; Força em Z.

Nesse momento de simulação foi preciso cuidado para elaborar o modo ideal em que as condições, as restrições e os carregamentos iriam ocorrer, a fim de se obter a melhor análise, principalmente para que fosse similar ao elaborado anteriormente. Mas deve-se recordar que para os modelos iniciais houve o carregamento aplicado na superfície superior do bloco, ou seja,

na palmilha, com a média das pressões obtidas no teste de baropodometria. A carga foi aplicada na vertical, de cima para baixo, ocasionando um efeito de compressão do bloco, uma vez que a superfície de baixo, referente ao solado, estava com restrição de movimento, efetuando uma compressão constante em todo o bloco analisado.

Nesse caso, como se pretendia obter as pressões exercidas na superfície da palmilha, considerou-se aplicar as forças na superfície de baixo/solado e restringir a superfície da palmilha, ocasionando o mesmo efeito de compressão, só que desta vez de baixo para cima, mas também no sentido vertical, no eixo Z. Se imaginarmos o bloco de ponta-cabeça, e as forças sendo aplicadas na superfície plana correspondente ao solado, restringindo os movimentos, ou melhor, travando a superfície toda referente à palmilha anatômica, desse modo, define-se a situação de contorno necessária para as análises.

Quando foram medidas as cargas na palmilha no teste de baropodometria, considerando o maior pico registrado, pontualmente na região da cabeça do segundo com o terceiro metatarso, foi aferido um valor proporcional a 3 vezes o peso corpóreo da modelo, totalizando 159kg. Para analisar em certas condições extremas, perante o universo da análise, como parâmetro de força foi utilizado especificamente o peso da modelo na pressão máxima exercida sobre a palmilha, sendo esse o valor adotado para os ensaios subsequentes. Vale a pena comentar que, independentemente dos valores, seja das cargas aplicadas ou das deformações sofridas, o modo com que as tensões se propagam ao longo da estrutura sempre serão correspondentes, servindo perfeitamente como referência para certas interpretações. Mas como o objetivo é também ter um parâmetro quantitativo que possa ser comparado com as pressões iniciais, a busca em simular alguma situação correspondente ao teste de baropodometria levou-nos a aplicar as cargas com a referência do peso. Por mais que o fenômeno possa ser simples, o de aplicar uma força de baixo para cima e restringir a superfície da palmilha, o *software* ainda apresenta certas limitações. As análises iniciais foram realizadas no *FEMAP*, mas para estas o módulo de deslocamento necessário para efetuar o desejado foi encontrado com maior facilidade em outro *software*, *ANSYS*, escolhido então como a ferramenta a ser utilizada nesse momento.

Como última condição, sobre as restrições: nas áreas anteriormente demarcadas correspondentes às maiores pressões imaginava-se aplicar as restrições. Desse modo, o movimento da estrutura seria afetado, uma vez que esse tipo de restrição foi considerado muito “severo”, ou seja, limitaria o efeito na estrutura, dificultando na análise. Logo, ao invés de área, limitou-se a restringir um ponto, deixando assim a estrutura mais livre para se movimentar, facilitando a leitura da propagação das tensões e verificação das deformações. As imagens geradas pela deformação total e critérios de *Von Mises* são apresentadas a seguir (figuras 130 e 131).

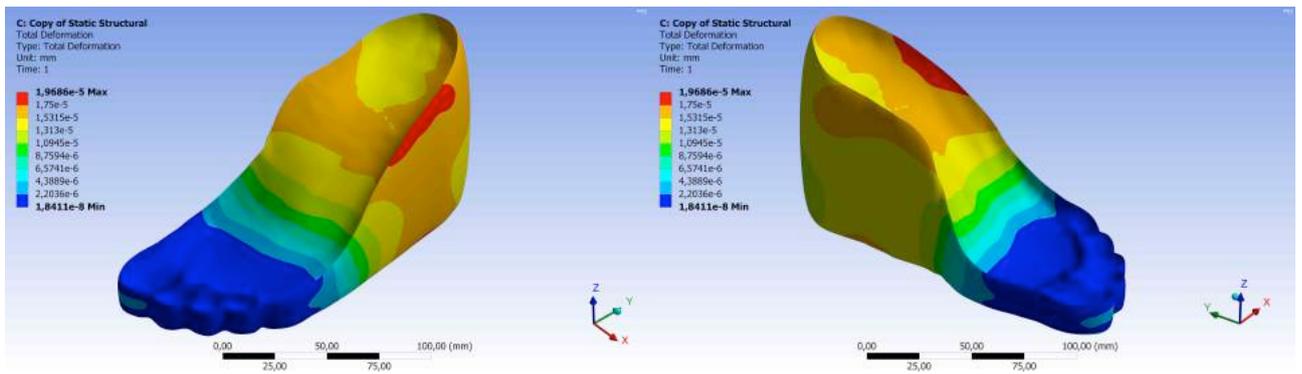


Figura 130 - Resultado referente à deformação total (*Total Translation* no FEMAP). Fonte: Acervo pessoal.

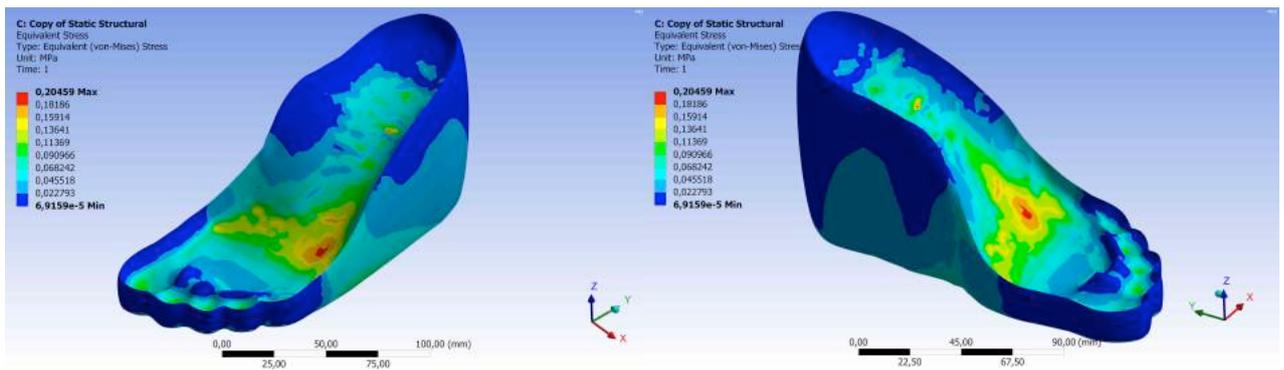


Figura 131 - Resultado referente ao coeficiente de Von Mises. Fonte: Acervo pessoal.

A análise mais importante considerada é a verificação do comportamento sob o efeito de compressão, uma vez que essa leitura dará informações sobre as tensões resultantes na superfície da palmilha. Após a análise foi verificada uma área que indicava uma pressão inesperada, mas que corresponde a um problema gerado especificamente em um único nó da malha, considerado como um erro, logo, desprezado (figuras 132, 133 e 134).

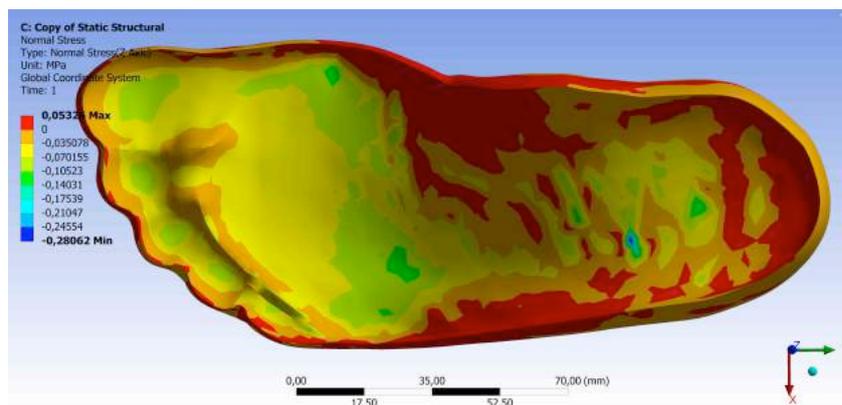


Figura 132 - Distribuição das tensões na estrutura com palmilha anatômica - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.

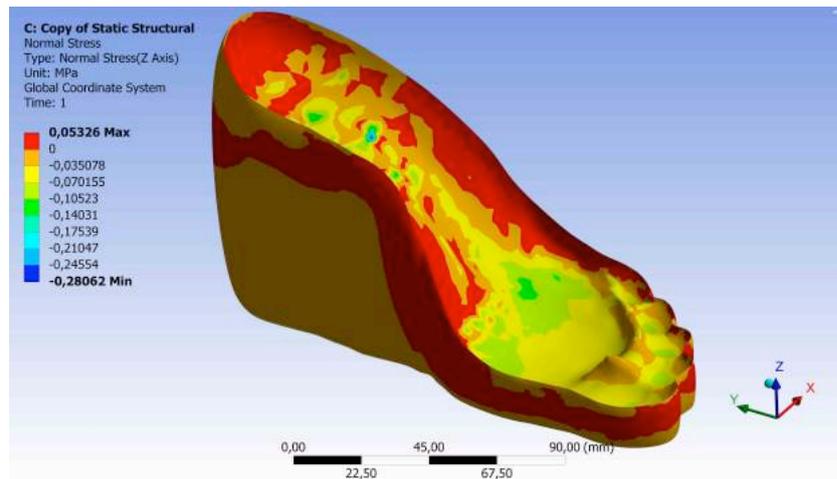


Figura 133 - Distribuição das tensões na estrutura com palmilha anatômica - Vista isométrica interna. Fonte: Acervo pessoal.

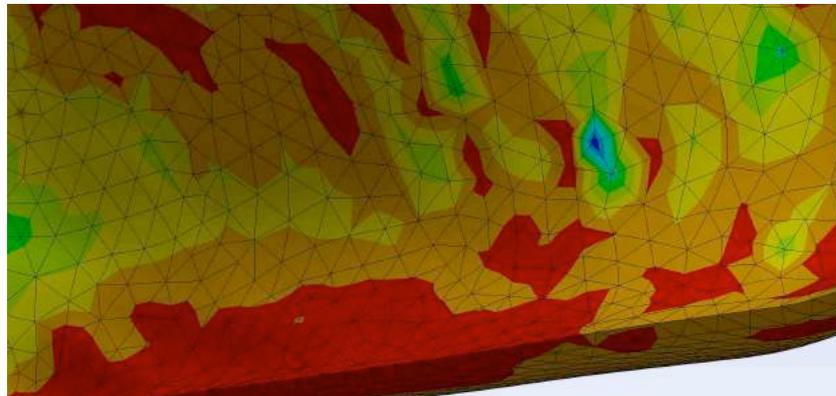


Figura 134 - Indicação de um ponto na malha com tensão inesperada, verificado e assumido como erro de leitura, desprezando-se o resultado do ponto - Zoom da vista superior. Fonte: Acervo pessoal.

Na avaliação da imagem pela força em *Normal Z*, foi observado que há uma considerável distribuição das cargas na superfície superior referente à palmilha, confirmando a hipótese inicial de que quanto maior o contato do pé, maior a distribuição das cargas. Analisando de outro modo: as superfícies paralelas ao plano onde a carga for aplicada sofrem a tensão denominada normal, pelo ângulo de 90 graus formado pelo sentido da carga no plano, que é o mesmo sentido da compressão. Quando o plano não está paralelo e sim inclinado em relação à superfície com a carga aplicada, tende a ocasionar um efeito de escorregamento, consequentemente, com movimento de tração ao invés de compressão. Desse modo, as áreas em vermelho indicam as tendências a sofrer tração e as restantes, compressão. Se eliminarmos as áreas vermelhas, tem-se a referência de onde realmente ocorrem as pressões (figuras 135, 136 e 137).

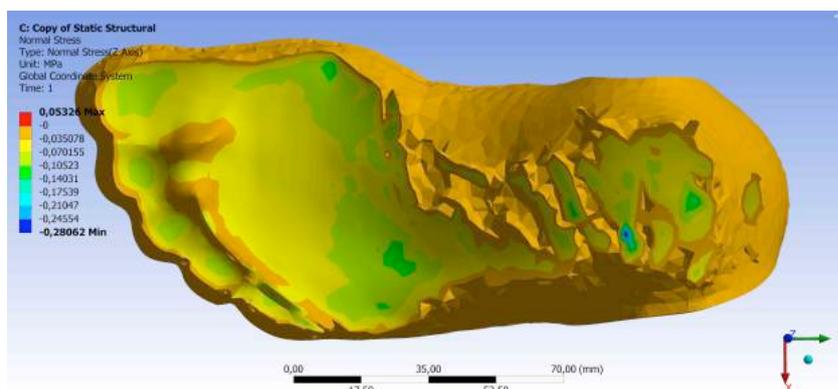


Figura 135 - *Isosurface* referente às tensões em Normal Z que sofrem algum efeito de compressão - Vista superior.

Fonte: Acervo pessoal.

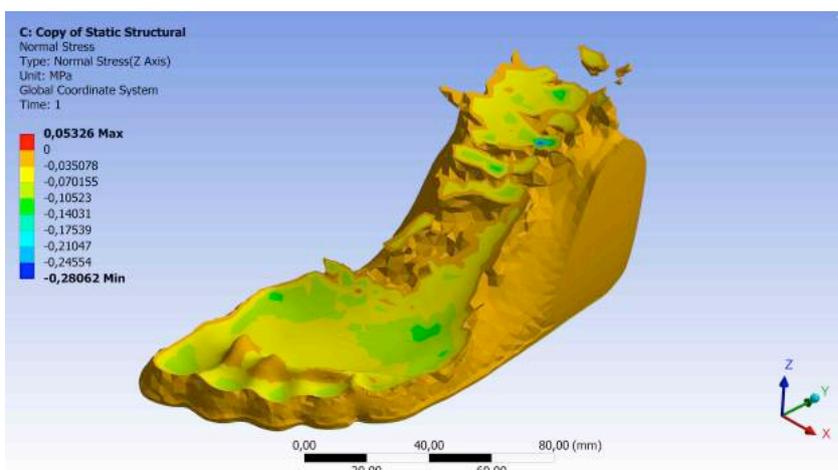


Figura 136 - *Isosurface* referente às tensões em Normal Z que sofrem algum efeito de compressão - Vista isométrica externa. Fonte: Acervo pessoal.

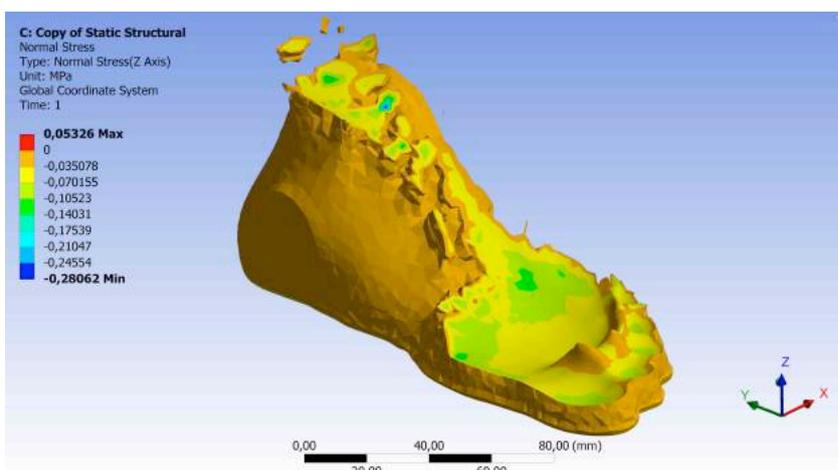


Figura 137 - *Isosurface* referente às tensões em Normal Z que sofrem algum efeito de compressão - Vista isométrica interna. Fonte: Acervo pessoal.

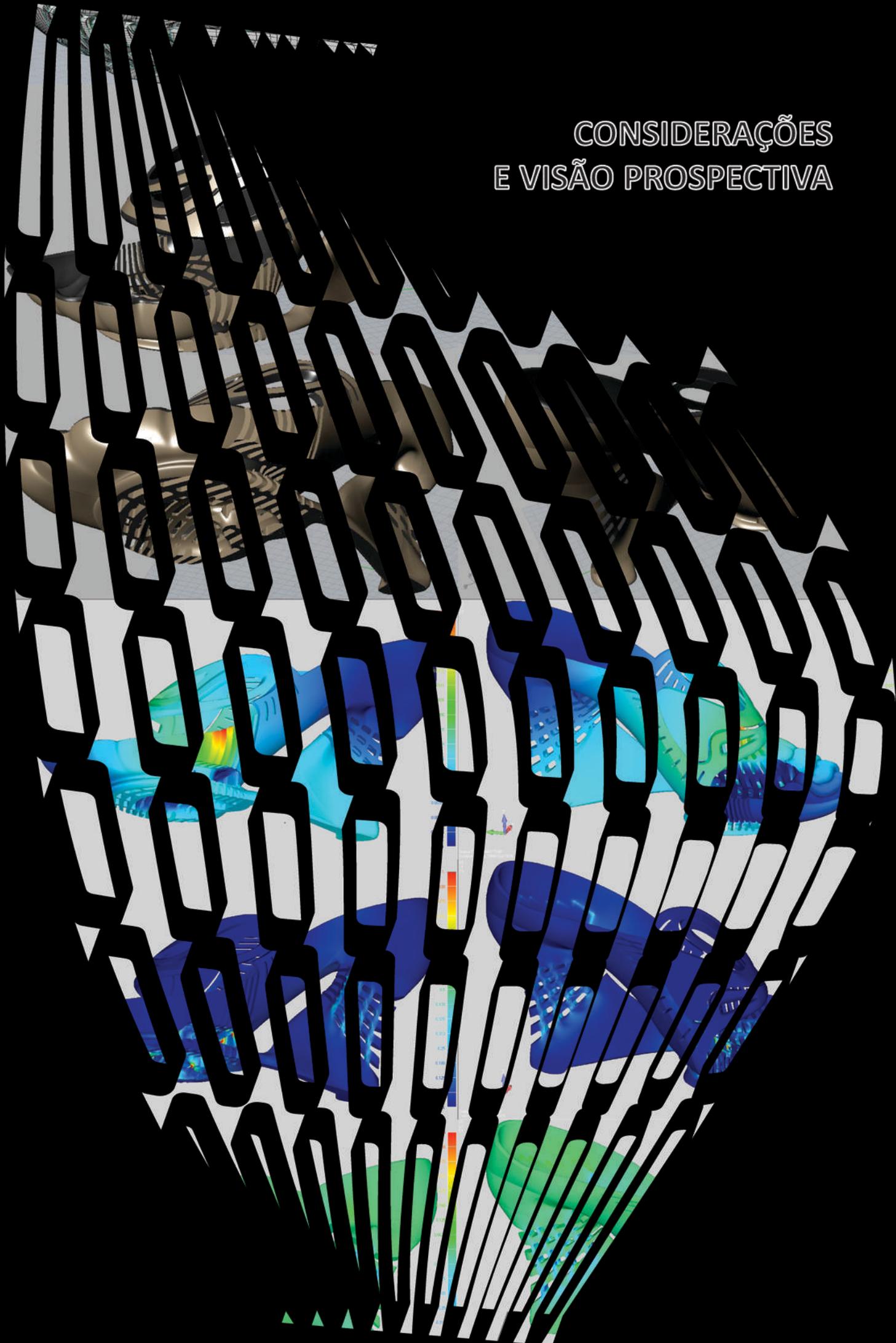
Comparando os resultados obtidos nessa simulação em relação à anterior, ambas nas condições de Normal Z, pode-se concluir que: as pressões aferidas na região referente aos metatarsos é muito similar às aferidas na baropodometria. Além disso, as pressões foram melhor

distribuídas, dando a entender que a percepção do calce pode ter sido melhorada, se esse parâmetro for considerado.

Outras confirmações sobre a melhora da segunda forma da palmilha, com o formato anatômico, em relação ao modelo comercial deverão ser realizadas após a fabricação do protótipo e submetidas a um novo teste de baropodometria, analisando-se assim os novos valores obtidos.

Para aferir a importância das análises realizadas, tanto as preliminares quanto as avançadas, consideram-se os requisitos necessários para comprovar a eficácia da utilização da ferramenta de análise de desempenho, atingindo o principal resultado da pesquisa quanto à proposta desse método, destinado ao auxílio para a criação de novos calçados com foco no conforto. O olhar de outros engenheiros e designers deverá assumir outras condições, que resultarão em diversas outras informações que influenciarão novas percepções e, conseqüentemente, as mais variadas soluções. Basta agora o designer se aliar à engenharia, ou mesmo assumir um compromisso de utilizar esse modo de raciocínio estrutural para idealizar novas e ergonômicas criações.

CONSIDERAÇÕES
E VISÃO PROSPECTIVA



8 . Considerações e visão prospectiva

Apesar do *software* de análise pelo método dos elementos finitos ter sido concebido pela engenharia e para a engenharia, quando o pesquisador teve conhecimento da existência dessa ferramenta virtual, ao realizar o mestrado em 2007, logo de início questionou: é sabido que um dos grandes exercícios do designer está centrado na criação de produtos, e estes, por sua vez, devem ser testados para garantir a qualidade e o desempenho esperados, normalmente com a realização de ensaios físicos, simulando as exigências de cargas, pressões e esforços que o uso vai requerer, quantificados em ciclos, ou vezes que o produto aguenta até romper, por exemplo. Desse modo, questiona-se a falta de adoção, no processo do design de produto, de meios de verificação virtual para análise de desempenho, similares a este posto em questão, sem depender exclusivamente da elaboração de modelos e protótipos físicos. Esse assunto poderia ser adotado também como disciplina nos cursos de graduação em design de produto, apesar da complexidade do estudo, acreditando que seria possível a sua absorção pelo plano pedagógico dos cursos existentes, uma vez que apresentam diversas disciplinas relacionadas com materiais e processos de fabricação. Propõe-se, portanto, adotar métodos virtuais embasados em ferramentas/*software* capazes de reproduzir os fenômenos científicos relacionados ao comportamento dos materiais, auxiliando e aprimorando o trabalho de criação dos designers de produtos em geral, neste caso, exemplificando com a aplicação dos conceitos para o design de calçados femininos com salto alto.

Após a abordagem de importantes temas como *Design Thinking* e *Metamateriais*, a discussão sobre *Fabricação Digital* e *Customização em Massa* torna-se relevante para o desenvolvimento do protótipo experimental. As informações apresentadas têm a finalidade de dar suporte teórico e prático para situar todo o contexto necessário para se alcançar os resultados pretendidos, não tendo a intenção de aprofundar o enfoque ao ponto em que possa ser considerado algum critério ou parâmetro científico.

O modelo desenvolvido como protótipo na impressão 3D utilizou a tecnologia denominada Sinterização Seletiva a *Laser* (SLS) com o material *nylon*³⁶. Pelos equipamentos disponíveis no CTI Renato Archer, foi definido que esse seria o melhor meio de fabricação. Como a sinterização³⁷ é um processo que visa condensar o material, e aumentando-se a densidade do pó consegue-se maior rigidez, considerando que as propriedades do material utilizado satisfaz as solicitações das cargas previstas, assume-se que o processo escolhido atende as necessidades do projeto.

³⁶ O *nylon* selecionado apresenta as seguintes propriedades: nome técnico - *Duraform PA*; módulo de elasticidade = 1682 MPa; coeficiente de *Poisson* = 0,39; tensão de escoamento = não se aplica.

³⁷ Sinterização a *laser* é um processo que se baseia na ligação atômica entre a superfície de partículas vizinhas.

Para a fabricação de alguns calçados, como tênis, por exemplo, já é possível encontrar no mercado sites que permitem que o cliente escolha diversas variáveis: cores, texturas, estampas, acabamentos, ferragens, aviamentos, bordados e outros, tudo isso *online* e com a encomenda entregue na casa do comprador. Esse tipo de serviço tende a crescer, sendo uma realidade cada vez mais vista, considerada e utilizada por uma boa parte da população conectada à Internet. Mas, diferentemente da troca de uma cor ou um tecido, objetiva-se ter um calçado em que partes sejam fixas e bases personalizáveis possam ser removidas, como, por exemplo, a superfície correspondente à palmilha anatômica. Seja por aplicativo no celular, seja por *scanner* 3D, após a captura do formato do pé do cliente na posição correspondente ao tamanho do salto desejado, deve ser elaborada a superfície da palmilha para “encaixar” no modelo escolhido. A troca somente da palmilha já é um modo de otimizar e agilizar a personalização, e o processo sob-medida torna-se mais viável. A manipulação do arquivo do pé digitalizado também pode ser realizada em tempo satisfatório, uma vez que o arquivo seja parametrizado com as bases de cada modelo que possa ser escolhido. Se considerado o tempo gasto entre o *scanner* do pé, a parametrização e a fabricação da palmilha para encaixar no modelo do calçado já pré-fabricado, pré-impresso, pode-se conseguir atingir uma faixa de consumidor considerado por muitos como um alvo muito importante, o “consumidor por impulso”.

Caso seja desenvolvido um aplicativo confiável ao ponto de fabricar a palmilha sem o cliente ir à loja, pode ser caracterizado, portanto, um modo de se trabalhar com a customização em massa, mas muito mais abrangente do que oferecer a possibilidade da troca de cor, estampa ou a gravação de um nome, fazendo com que um dos critérios fundamentais para a aceitação ergonômica de um calçado, que é a sua adaptação anatômica, seja resolvida ou muito amenizada. Além do que, há a possibilidade da aquisição de modelos de outros segmentos além do esportivo, onde hoje se encontram a maioria dos serviços disponíveis para a personalização de detalhes, como na marca *Nike*, e a limitação na utilização das palmilhas ortopédicas, que normalmente só servem em calçados fechados. Essas considerações soam promissoras para se entender que há informações e indícios suficientes para acreditarmos no sucesso de um serviço ou na criação de um produto, abrindo a possibilidade de elaboração de um plano de negócios que vislumbre a viabilização econômica e a aplicação efetiva do método proposto, seja pelo interesse de alguma marca, seja pela aplicação do método em uma marca própria.

Ao criar um calçado para a população média, pode-se utilizar a referência de uma pisada convencional. Mas se formos criar um produto sob medida, o plano de negócios deverá considerar uma loja onde seria feita toda a parte de medição, para posterior fabricação e retirada do produto. Nesse caso, perde-se a venda por impulso. Vale considerar que não haveria a

necessidade de fazer a digitalização dos pés constantemente, podendo ser feita uma só vez, e refeita em casos em que o pé emagreça ou ganhe peso. Após o arquivo de medição estar pronto, podemos ter bancos de dados que sirvam para futuras compras, sem o consumidor necessitar ir até a loja, bastando escolher o modelo pela Internet, ou levar o arquivo em outras lojas para encomendar modelos também sob-medida.

Segundo DANESI (1999), pode-se afirmar que tudo na moda é vendido por impulso, logo, deve ser prático para levar. Se mudar a forma de vender, e o consumidor tiver que dispor das medidas do seu corpo, encomendando o produto para depois buscar, no meio desse processo ele pode desistir, e assim perde-se a venda.

A questão surge e é necessário pensar sobre ela para se estabelecer o modo e o método de captura dessas imagens e de como disponibilizá-las para a fabricação. Como o manipulador do 3D utilizará essas imagens para adaptar o produto ao sob-medida, e com quais tecnologias irá construí-lo? E quem são as pessoas envolvidas e qual a formação necessária? Vendedores comuns farão o serviço, ou técnicos, designers, engenheiros devem assumir novos cargos?

Este estudo emprega uma das tecnologias de fabricação digital, que é a impressão 3D, sem desconsiderar a possibilidade de utilizar os métodos tradicionais de fabricação de corte e costura, para agregar soluções e características que os materiais rígidos do *3D print* ainda não apresentam, como por exemplo inserir uma borracha como solado para dar aderência e eventual forro para a palmilha e suavizar o contato do pé com o *nylon*, amenizando ainda mais as pressões e a percepção do desconforto. Acredita-se que o ideal não é ficar preso a uma única tecnologia, para não ser refém dela, sendo melhor explorar as possibilidades que o mercado oferece.

Para uma melhor adequação biomecânica, a palmilha do calçado deve ser adaptada e, logo, personalizada. A maioria dos materiais que possuem essas propriedades são os materiais viscoelásticos, e esses ainda não são utilizados em prototipagens rápidas como *3D print*. Salienta-se portanto a necessidade de se trabalhar com diversas tecnologias de fabricação para a concepção de novas palmilhas. Porém, é preciso considerar a possibilidade da incorporação da teoria dos metamateriais.

As medidas de calçados utilizadas no Brasil dificultam a escolha do usuário, principalmente porque outros países, como Europa e EUA, possuem mais opções de tamanhos. Um ponto francês (tabela usada no Brasil, porém apenas para o comprimento) equivale a 2/3 de cm ou 6,7mm. O ponto inglês (medida usada na Europa) equivale a 1/3 de polegada ou 8,4mm. Por possuir o meio ponto, no ponto inglês a diferença diminui para 4,2mm entre as numerações fornecidas pelo mercado de calçados, facilitando assim a adequação aos pés dos consumidores. Nos EUA, além do meio ponto encontra-se também três alternativas de medidas de largura na região do antepé,

facilitando ainda mais a adequação. Não basta o Brasil ter algumas normas que não são impostas por leis, dificultando a adoção pelo mercado das medidas típicas da população brasileira e outros critérios de conforto, antropometria e anatomia. O mercado atual oferece produtos que nem mesmo são equivalentes entre os fabricantes, ou seja, um calçado com numeração 38 não tem o mesmo tamanho em dois fabricantes distintos, e isso dificulta ainda mais, principalmente em compras *online*. Pela mistura das raças e etnias na população brasileira, o Brasil sem dúvida necessita de um calçado mais adequado, além de que somos um dos principais produtores mundiais e temos muita capacidade criativa e produtiva para resolver essa questão, tendo em vista a tradição e a qualidade do design nacional.

Considerando tais fatos, podemos ter dois modelos de negócio: um com foco na pronta-entrega, que apresenta diversas medidas, e outro com características do sob-medida, podendo ter seu tempo resumido em poucas horas ou até minutos. A concepção do produto com característica sob-medida é o foco do próximo capítulo, finalizando o experimento da pesquisa.

Centrado nas necessidades das pessoas, MORRIS (2010) explica que “...se por um lado os designers são capazes de gerar conceitos criativos para novos produtos, por outro há cerca de 6 bilhões de pessoas no mundo que têm suas próprias ideias sobre o que gostariam. Assim, outra forma de gerar ideias para produtos é descobrir quais são as necessidades e os desejos do público.” Parece meio óbvia a conclusão apresentada, mas é fato que atender as necessidades individuais gera uma logística para uma produção personalizada, dificultando grande parte do processo industrial envolvido. Mas a customização em massa³⁸ já é uma prática que pode ser considerada para fabricar produtos personalizados e sob medida.

8.1 Projeto conceitual *Ergo.Cyber.Shoes*

A criação de um novo calçado feminino com salto alto para a pesquisa não representa um exercício estético, mas unicamente o compromisso com a elaboração de um produto confortável. Sem dúvida que o compromisso estético é um dos problemas a ser considerado pelo designer, intrínseco à própria atividade profissional, dificilmente desassociado dos outros requisitos do projeto. Mas se tentou interpretar “apenas” as informações obtidas pelo *software* de análise de desempenho, seguindo certos caminhos inspirados pelas imagens e dados gerados. É bem verdade que, no instante em que ocorre a interpretação das imagens e dos dados, bem como as tomadas de decisão para identificar caminhos a percorrer, nesse momento o profissionalismo é

³⁸ Customização em massa: segundo The Economist Newspaper Limited, traduzido por Carta Capital, edição 634, pág. 72 e 73, 23 de fevereiro de 2011, no lugar da produção de milhares de cópias de um produto as peças únicas ou em pequena quantidade a customização em massa introduzirá uma tecnologia tão profunda que vai dar um novo início à economia manufatureira.

posto em questão, ficando evidente que é necessário possuir conhecimento multidisciplinar para saber trabalhar com todo o contexto que o assunto envolve. Não se pode deixar de lembrar que a complexidade é dada pelo envolvimento de áreas específicas relacionadas a ciência, tecnologia, comportamento, estudos sociais e econômicos, engenharia mecânica e dos materiais, processos de fabricação, computação gráfica e tridimensional, ergonomia, biomecânica, CAD/CAE/CAM e impressão 3D, análise pelo método dos elementos finitos, metamateriais e, claro, design de produto.

É muito difícil, e representa uma tarefa delicada, quantificar e classificar o valor e a importância de cada área para o projeto, entre a engenharia ou o design. Sem denominar como o “mais difícil” ou o “mais fácil”, o conhecimento mais técnico se faz necessário para o entendimento e a manipulação do *software* de análise pelo método dos elementos finitos, com base na engenharia mecânica e dos materiais. Por outro lado, se a ferramenta de qualidade existe e o profissional não é habilitado para utilizar e explorar todo potencial de uso dessa ferramenta, de certo que a evolução não acontece. Pela própria formação, o olhar de um engenheiro mecânico a respeito de um problema será provavelmente bem distinto da percepção de um designer de produto, apesar de algumas disciplinas se correlacionarem. De fato, os conhecimentos devem se correlacionar para que o trabalho possa ser desenvolvido concomitantemente, sendo esse o meio mais promissor para se obter o maior benefício na utilização das tecnologias. Pode-se concluir que o conhecimento técnico do engenheiro se faz necessário tanto quanto a sensibilidade da percepção do designer.

Se a pesquisa estivesse sendo desenvolvida na Engenharia, de certo que seria pensado um produto de design para aplicar o método e verificar na prática a sua funcionalidade com algum projeto experimental. Como o trabalho foi desenvolvido no departamento de Design e Arquitetura dentro da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, ao invés de se verificar a eficácia do método proposto com referência a algum produto comercial, sentiu-se a “quase obrigação” de criar algum produto para submeter aos testes. E já que houve a intenção de projeto, que fosse um laboratório experimental para por à prova os conceitos possíveis sem comprometer os objetivos principais.

É preciso deixar claro que não há compromisso em se obter resultados estéticos satisfatórios para nenhum tipo de público-alvo, e que a preocupação é amenizar os picos de pressão e a percepção do calce, ou seja, sempre itens referentes ao conforto.

Conforme mencionado anteriormente, a principal e praticamente única fonte de inspiração formal para a criação do calçado conceitual foi a imagem a seguir (figura 138):

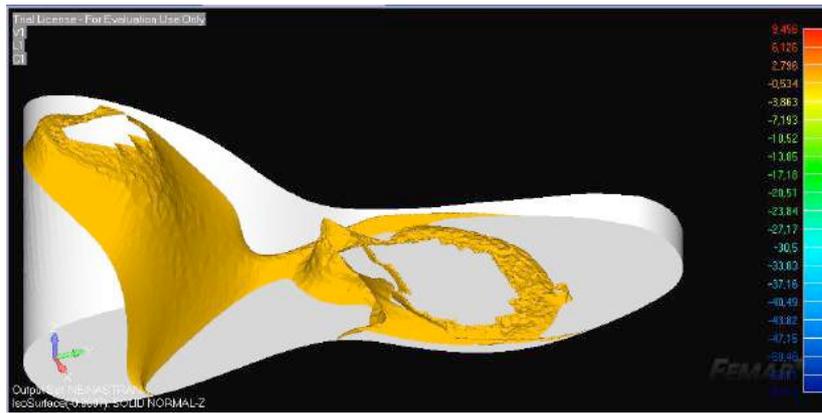


Figura 138 - Inspiração principal para a criação do calçado conceitual. Fonte: Acervo pessoal.

A superfície em destaque é uma *isosurface* relacionada a uma faixa de tensão específica, demonstrando a propagação das tensões pela estrutura, indicando como se dá a propagação das forças. Tomada essa faixa de tensão e agregando-se espessura estrutural, teve início a modelagem 3D (figuras 139, 140 e 141).

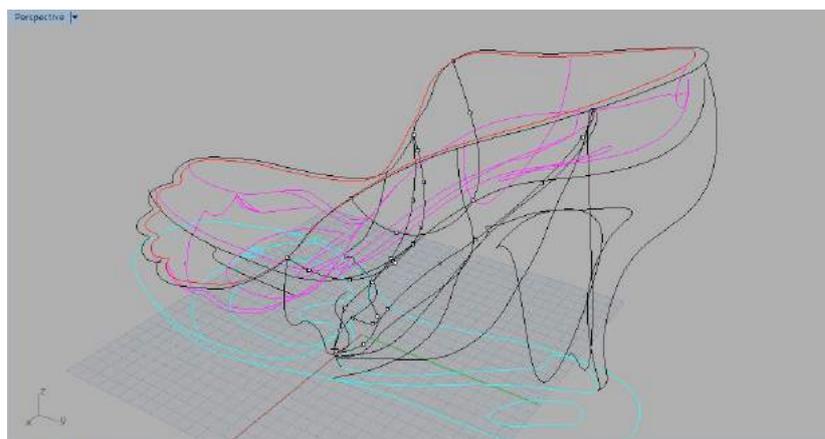


Figura 139 - Elaboração das linhas para a construção das superfícies inspiradas na imagem da *isosurface* selecionada.

Fonte: Acervo pessoal.



Figura 140 - Criação da parte inferior do calçado conceitual vistas com e sem a referência do pé. Fonte: Acervo pessoal.

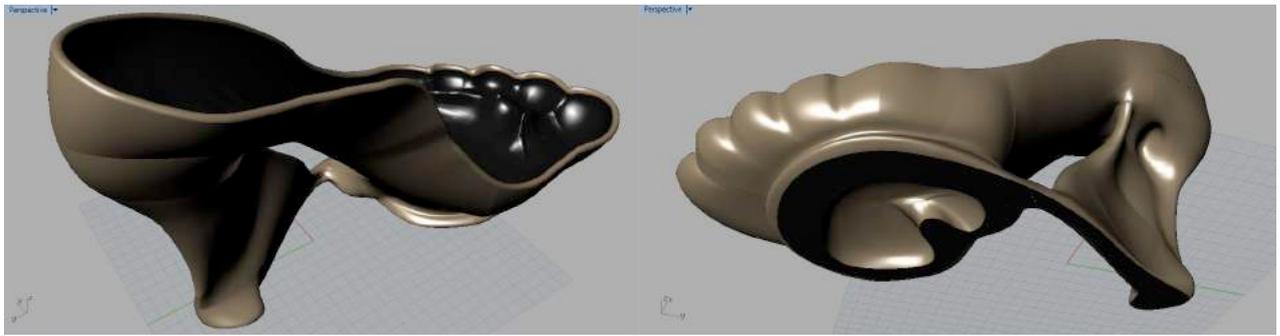


Figura 141 - Criação da parte inferior do calçado conceitual perspectiva inferior externa e superior interna. Fonte: Acervo pessoal.

Como o projeto conceitual do calçado elaborado considera uma única referência de usuário, o desenvolvimento do modelo CAD se deu especificamente para o modelo de pé escaneado. A forma elaborada apresenta um formato orgânico, pelo fato de ter sido inspirada nas imagens geradas pelo *software* de análise, notando-se que são bem distintas das formas geométricas convencionais utilizadas pelo mercado. Sua caracterização se dá pelo formato orgânico do próprio pé e pelas superfícies relacionadas com a distribuição das tensões em um bloco maciço, similar a um modelo anabela.

Ao longo da modelagem 3D, não houve a união de superfícies que deveriam se juntar, apesar da preocupação para que esse problema não ocorresse. Deve-se destacar que na modelagem em CAD, e especificamente na criação de duas superfícies, normalmente se inicia pela construção e seleção das linhas de contorno/arestas, para posteriormente gerar a construção do primeiro plano. Para criar um segundo plano com 4 arestas, 3 arestas devem ser selecionadas por suas linhas e a quarta linha/aresta é coincidente com o primeiro plano criado. O *software* normalmente dará duas opções: selecionar a linha existente ou a própria aresta do primeiro plano. Para evitar vãos indesejáveis, o ideal é sempre selecionar a(s) aresta(s) do(s) plano(s) já existente(s), fazendo com que os planos subsequentes estejam relacionados com os inicialmente criados e, o mais importante, unidos! Mesmo assim, pode ser que existam espaços, como no exemplo da figura 142, apesar de serem quase imperceptíveis, na razão de medidas mínimas, como 0,04mm. Para a posterior fabricação desse produto com a impressão 3D, é bem provável que esse vão não seja um problema para a manufatura, pois existem *software* de certa simplicidade para “arrumar” a malha da superfície, especificamente para a fabricação com a impressão tridimensional. Entretanto, para a exportação do arquivo com a finalidade de importá-lo no *software* de análise pelo método dos elementos finitos, mesmo apresentando medidas ínfimas, as uniões das superfícies devem estar perfeitas, pois a existência de vãos influencia as análises, ou até mesmo impede que a análise seja realizada. Portanto, deve-se ter uma criteriosa preocupação para a elaboração de qualquer modelagem tridimensional que se destine a análises

pelo método dos elementos finitos. O modelo não pode apresentar nenhum espaço entre as superfícies geradas, mesmo que imperceptíveis, devendo apresentar a união perfeita dos planos criados pelas suas arestas correspondentes (figura 142).

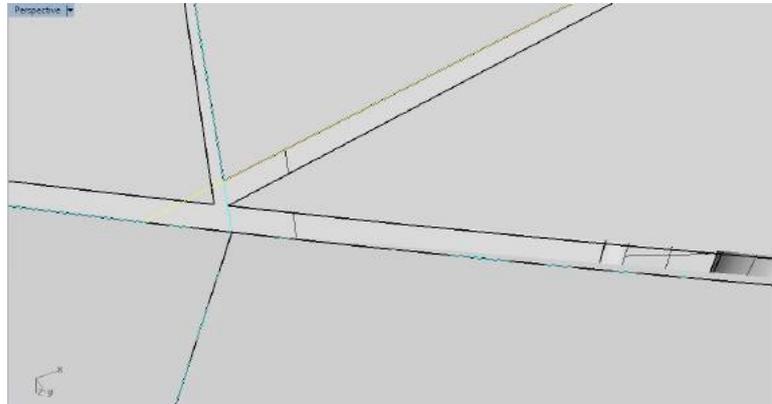


Figura 142 - Modelagem 3D com defeitos na elaboração dos planos. Além de espaços entre as superfícies criadas, a linha selecionada (amarela) não estava na posição ideal, devendo estar na intersecção das linhas azuis. O defeito foi percebido ao ser observado com zoom máximo. O vão maior representa uma medida desprezível de 0,04 mm, mas que pode comprometer análises posteriores. Fonte: Acervo pessoal.

Foi estabelecido o propósito de proporcionar certa flexibilidade ao *nylon* utilizado na fabricação do protótipo por impressão 3D, sendo um material rígido, com pouquíssima flexibilidade, e como o objetivo é diminuir os picos de pressão, acredita-se na possibilidade de agregar desenho estrutural nas partes mais propícias à concentração das pressões para tornar o calçado mais flexível, atribuindo-lhe maior valor ergonômico em função do amortecimento das forças, absorvidas pela estrutura do produto. A etapa de criação geométrica é demonstrada pelas figuras a seguir (figura 143):

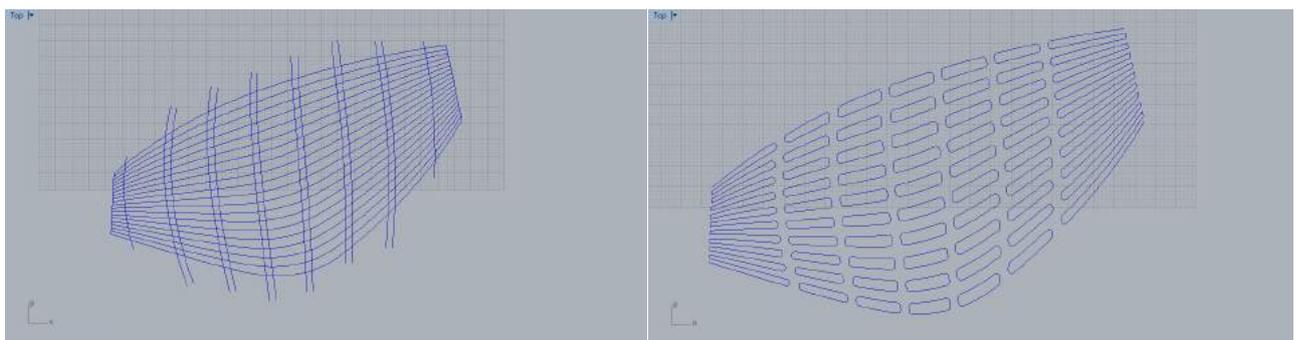


Figura 143 - Criação geométrica do formato celular utilizado pelo conceito dos metamateriais. Fonte: Acervo pessoal.

O desenho foi utilizado para gerar planos extrudados na vertical, gerados pelas linhas da geometria celular, interseccionando e recortando o volume do calçado-conceito na região dos metatarsos. Empregou-se o conceito de células fechadas e abertas. Se a célula for fechada, isso significa que os vãos irão ocorrer dentro da estrutura, tornando-a oca, sem perfurar as superfícies externas do sólido. Já as células abertas vazam o sólido, sendo esse o raciocínio adotado para

solucionar a intervenção, uma vez que isso poderá garantir movimento à peça, sendo improvável de ocorrer se o produto fosse maciço (figura 144).

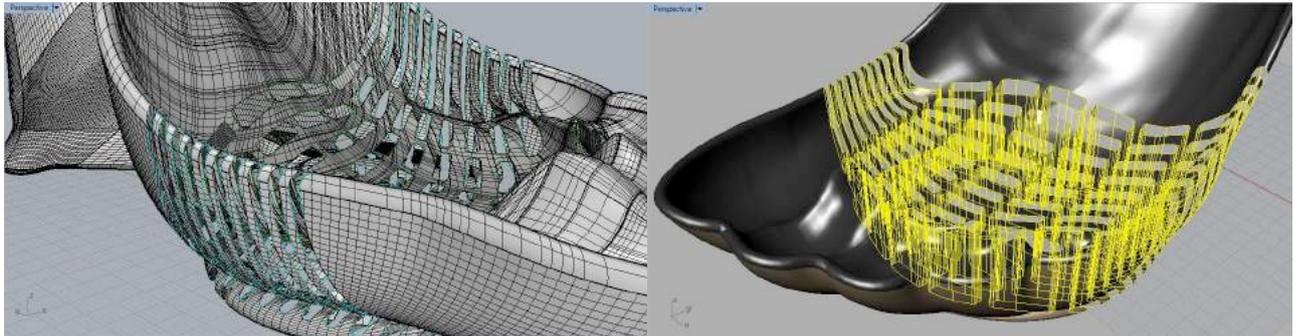


Figura 144 - Intersecção das células geradas com o volume do calçado aplicando-se o conceito dos metamateriais.

Fonte: Acervo pessoal.

Assim como apontado anteriormente, o preciosismo necessário para a geração dos modelos numéricos deve ser levado ao extremo, principalmente quando se apresentam formas complexas que geram diversas intersecções de planos. Salienta-se a importância da união das superfícies.

No calçado conceitual criado, pelo fato de ter sido considerado trabalhar com a teoria dos metamateriais, foi desenvolvido um modelo de estrutura vazada em escala milimétrica, com a finalidade de proporcionar maior flexibilidade ao protótipo fabricado com a tecnologia de impressão 3D. Essa estrutura aplicada no modelo orgânico concebido resultou em uma complexa geometria, que apresenta centenas de intersecções de planos. Portanto, vale a pena ressaltar que, ao longo da criação do modelo do calçado conceitual, houve uma série de problemas relacionados com a união pela intersecção dos planos gerados, mas foi necessário solucionar esses problemas, pois representavam uma característica que influenciaria diretamente no sucesso das análises (figuras 145 e 146).

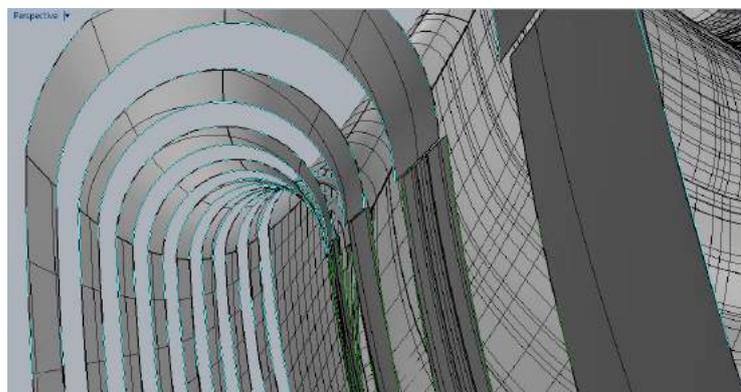


Figura 145 - Exemplo de construção geométrica em 3 dimensões, apresentando desencontro de planos, impossibilitando a utilização do modelo nas análises pelo método dos elementos finitos. Esse tipo de defeito deve ser corrigido para essa finalidade, mesmo que o vão represente valores semelhantes a 0,06 mm, como visto na imagem.

Fonte: Acervo pessoal.

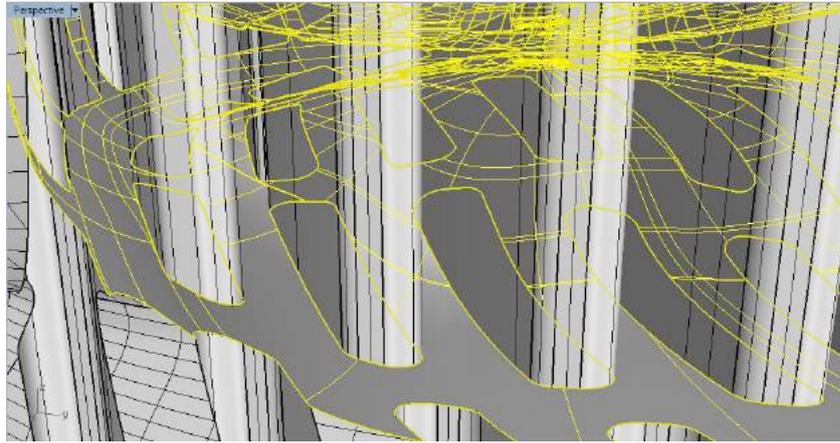


Figura 146 - Exemplo de um modelo 3D (calçado conceitual) com complexidade em sua estrutura geométrica, a qual deve apresentar as intersecções de todos os planos devidamente unidas, sem vãos, antes de se exportar o arquivo para as análises de desempenho. Fonte: Acervo pessoal.

Já se sabia que o resultado obtido não iria satisfazer o objetivo de proporcionar flexibilidade, uma vez que o movimento deve ocorrer no sentido vertical. Com o recorte inicial foi possível flexibilizar a peça, em um movimento similar a um efeito sanfona, no sentido “de frente para trás e de trás para a frente”, ou seja, no sentido horizontal e não no vertical, como desejado. Para proporcionar o efeito desejado, incorporou-se à estrutura um recorte em formato de bolha, surgindo um vão que o deixa livre para se movimentar em outros sentidos. Mas o vão acabou ficando grande demais e foi descartado (figura 147), devendo ter seu desenho aprimorado, resultando em um recorte geometricamente similar aos sistemas de amortecimento de alguns tênis (figura 148). Detalhes do resultado estrutural podem ser observados na figura 149.

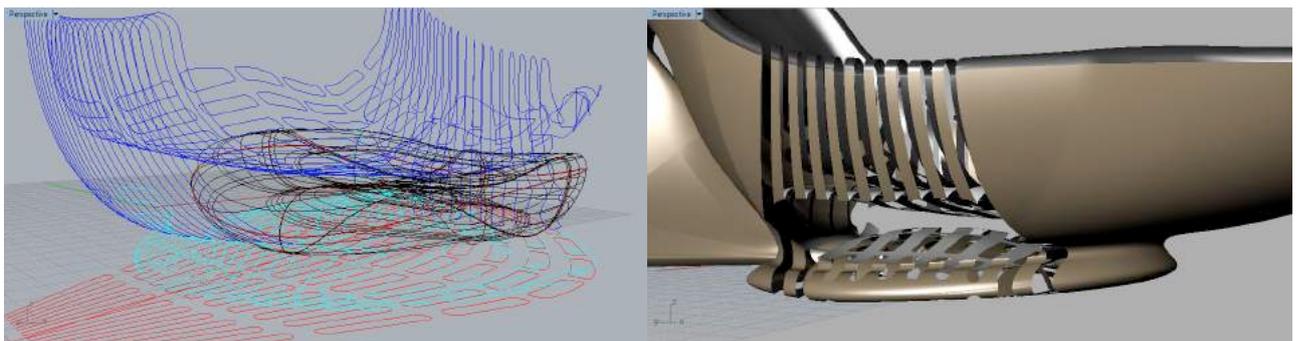


Figura 147 - Tentativa inicial para proporcionar flexibilidade vertical à estrutura do calçado conceitual, mas descartada por apresentar fragilidade. Fonte: Acervo pessoal.

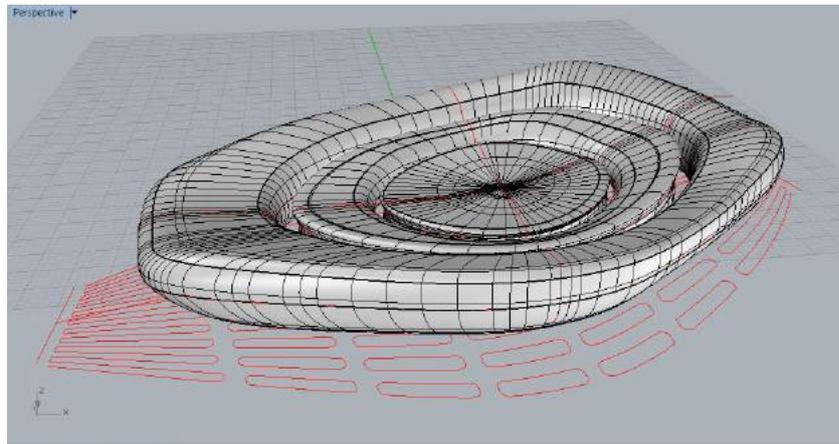


Figura 148 - Volume para recorte final na região dos metatarsos, interseccionando com os recortes iniciais pela extrusão das células. Fonte: Acervo pessoal.

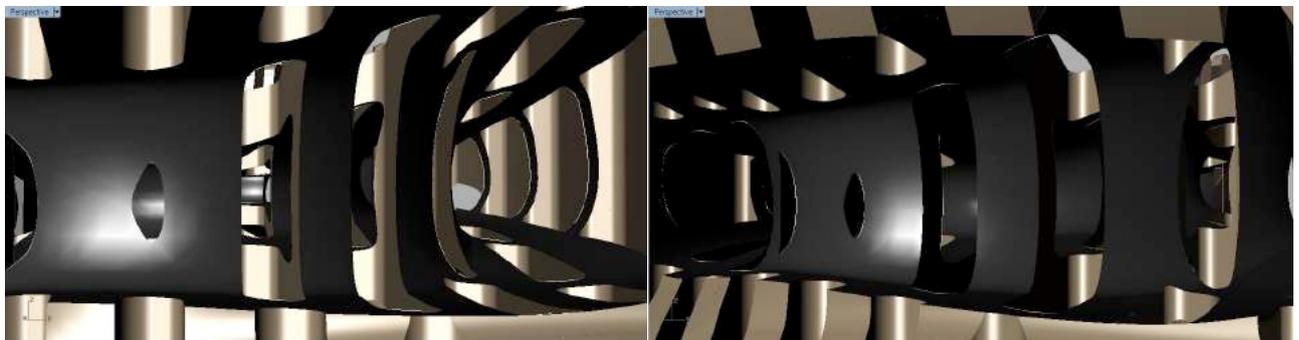


Figura 149 - Imagem renderizada do detalhe do recorte obtido pela intersecção entre a extrusão das células e vãos referente a proposta de flexibilidade, conforme apresentado na figura 148. Fonte: Acervo pessoal.

Do mesmo modo foi trabalhada a região do salto, com o intuito de proporcionar certa flexibilidade sem comprometer a estabilidade do calçado (figura 150).

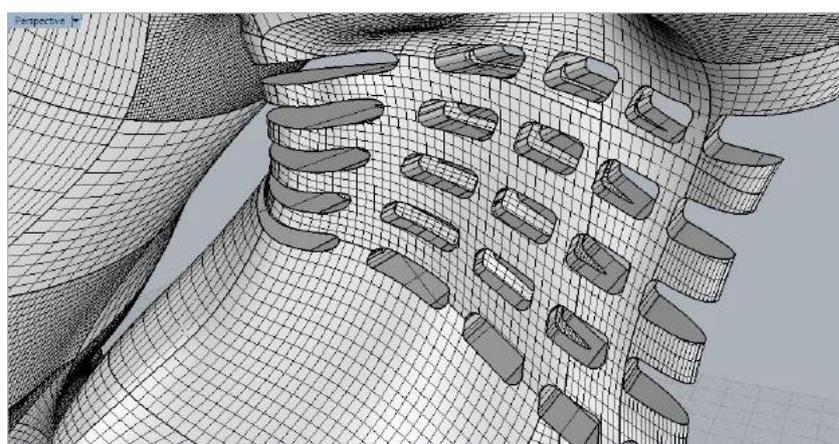


Figura 150 - Detalhe da aplicação do conceito de metamateriais na região do salto para proporcionar flexibilidade.

Fonte: Acervo pessoal.

Em um último momento, dever-se-ia considerar a fixação da peça no pé, ou seja, faltava alguma solução referente ao cabedal para envolver a parte superior do pé. Em uma proposta

mínima de intervenção visual, a fim de valorizar a parte inferior, foi definido o uso de uma tira (figura 151). Mas para propor certo experimento também referente à resistência do material, além do estético, a proposta foi utilizar uma tira larga e dividi-la em duas partes, sem que essas se interseccionassem, além de ambas serem fixadas apenas em um dos lados do calçado (figura 152).

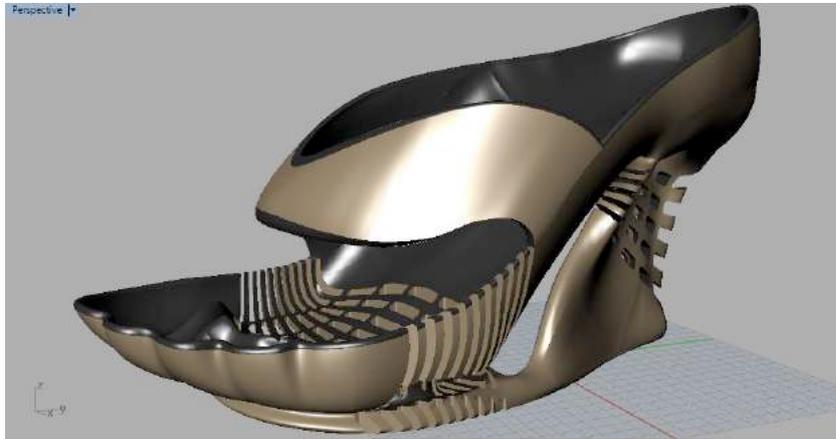


Figura 151 - Modelo de tira única para idealização do cabedal. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 152 - Modelo final da divisão da tira em duas partes que não se interseccionam e estão fixadas apenas por um dos lados do calçado. Fonte: Acervo pessoal.

O resultado final obtido é apresentado nas imagens a seguir (figuras 153 e 154):

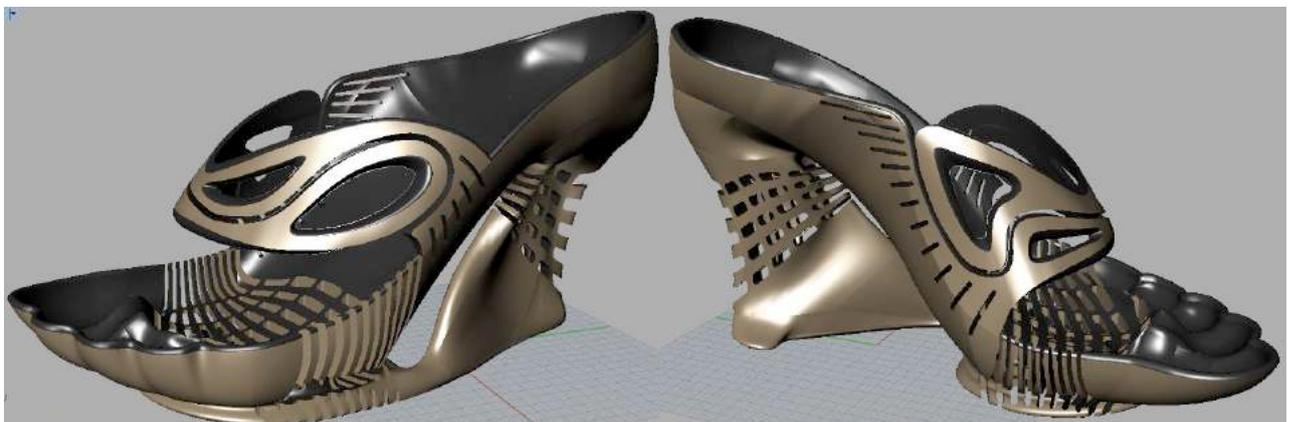


Figura 153 - Resultado final do calçado conceitual *Ergo.Cyber.Shoes*. Fonte: Acervo pessoal.

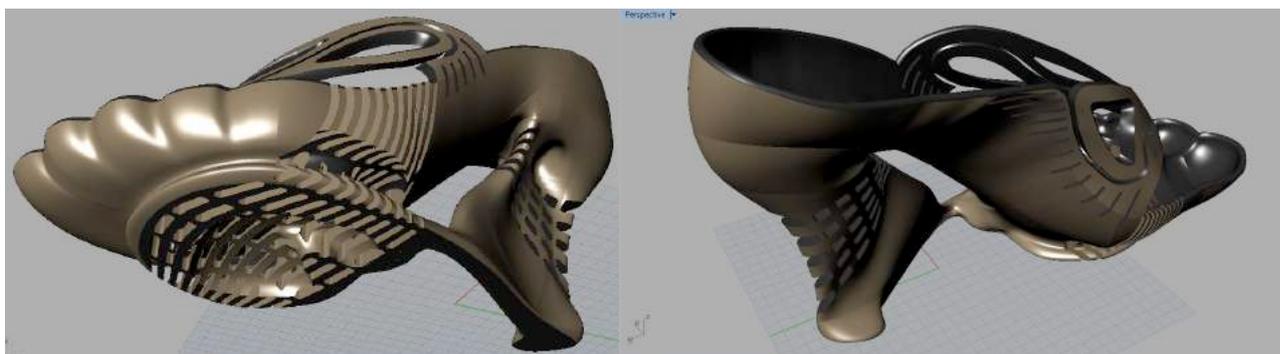


Figura 154 - (continuação) Resultado final do calçado conceitual *Ergo.Cyber.Shoes*. Fonte: Acervo pessoal.

A visão prospectiva desta pesquisa relaciona a fabricação de calçados com a tecnologia de fabricação digital em impressão 3D, também considerando a utilização dos metamateriais. Como resultado final chegou-se à proposta de criação de calçado feminino com salto 9cm, denominado *Ergo.Cyber.Shoes*, obtendo-se uma redução significativa nos picos de pressão pelas análises realizadas em relação aos registrados nos ensaios de baropodometria com os calçados comerciais. Fabricado em impressão 3D e considerando a teoria dos metamateriais em escala milimétrica, utiliza o material *nylon*, configurando uma tentativa em que o sucesso foi verificado anteriormente à fabricação em decorrência da análise virtual. Portanto, o experimento de design auxiliou na comprovação da eficácia da metodologia proposta na pesquisa.

A solução estética foi diretamente inspirada nas imagens geradas pelas análises de distribuição dos esforços, resultando em um formato inusitado, mais orgânico em relação aos calçados comerciais apresentados pelo mercado atual. O valor estético alcançado fornece características de um produto inovador, sob medida, com a expectativa de ter o potencial de satisfazer tanto os aspectos de conforto físico, segurança e resistência, quanto os anseios psicológicos e desejos de consumo pertinentes ao universo feminino.

8.2 Simulações computacionais realizadas com o *Ergo.Cyber.Shoes*

Apontando como registro, para a elaboração do arquivo CAD no Rhinoceros foram necessárias cerca de 130 horas de trabalho de modelagem e, pela complexidade matemática, principalmente pelos recortes efetuados no modelo, houve a dedicação de dois engenheiros para a elaboração da malha, a qual apresenta cerca de 1.500.000 nós em 800.000 elementos geométricos. Mesmo para a Engenharia esse tamanho é considerado complexo. Prova disso foi o tempo gasto para gerar todos os testes de malhas, perfazendo o total de cerca de 150 horas.

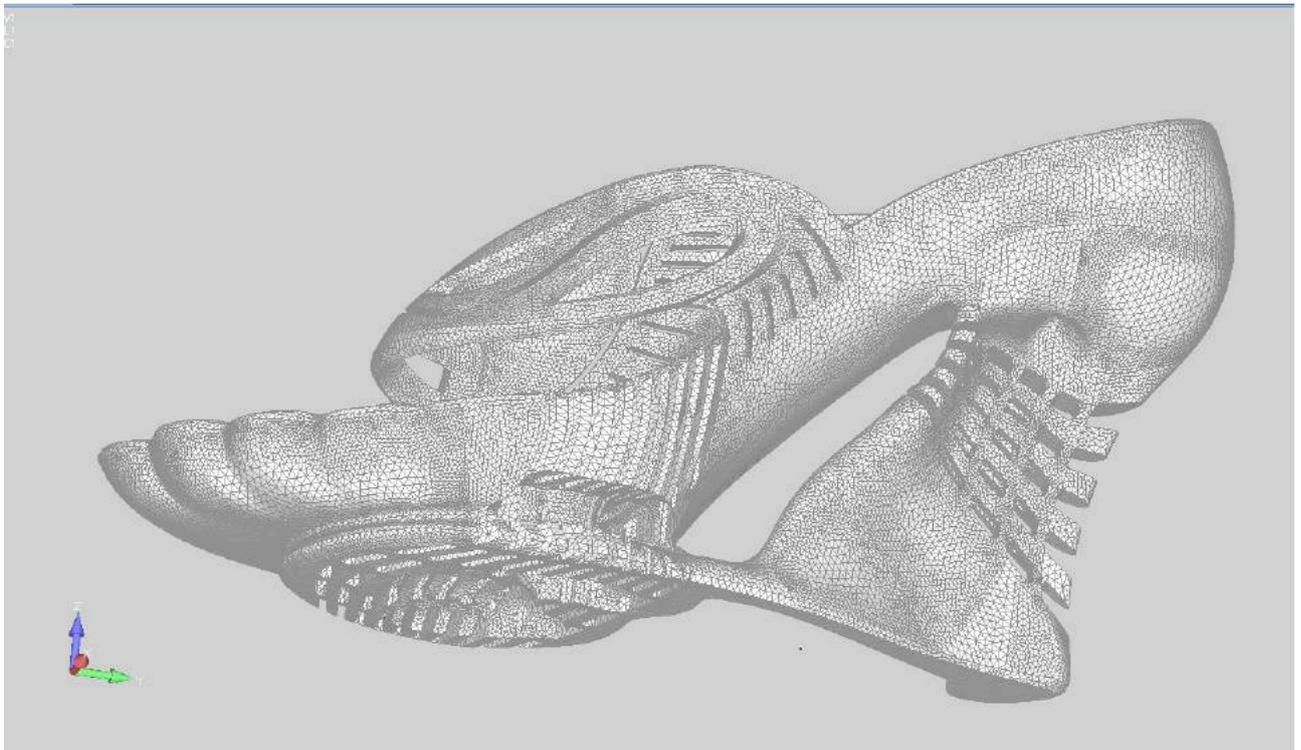


Figura 155 - Malha gerada para o modelo de calçado conceitual. Fonte: Acervo pessoal.

As considerações para a realização das simulações com o calçado conceitual foram as mesmas para as análises anteriores com os outros modelos. Foi utilizada a mesma área de aplicação dos picos de pressão, localizados no calcanhar e metatarsos, bem como as mesmas características de carregamentos e restrições. Quanto ao material, como anteriormente pretendia-se analisar a propagação das tensões na estrutura do calçado, optou-se por utilizar uma liga de metal que não influenciasse nas propagações e, conseqüentemente, nos resultados. Já o objetivo da análise do calçado conceito é verificar o comportamento real da peça fabricada pela tecnologia de impressão 3D, atribuindo assim o coeficiente do *nylon*, que possui o módulo de elasticidade igual a 1682MPa e coeficiente de Poisson igual a 0,39.

Para equivaler as simulações e poder realizar alguma comparação com as outras análises virtuais, foram adotados os mesmos critérios de avaliação, tais como deformações em todos os graus de liberdade (*Total Translation*); tensões na vertical (*Normal Z*), e em relação à falha que indica o escoamento de sólidos antes de atingir a deformação plástica (*von Mises*).

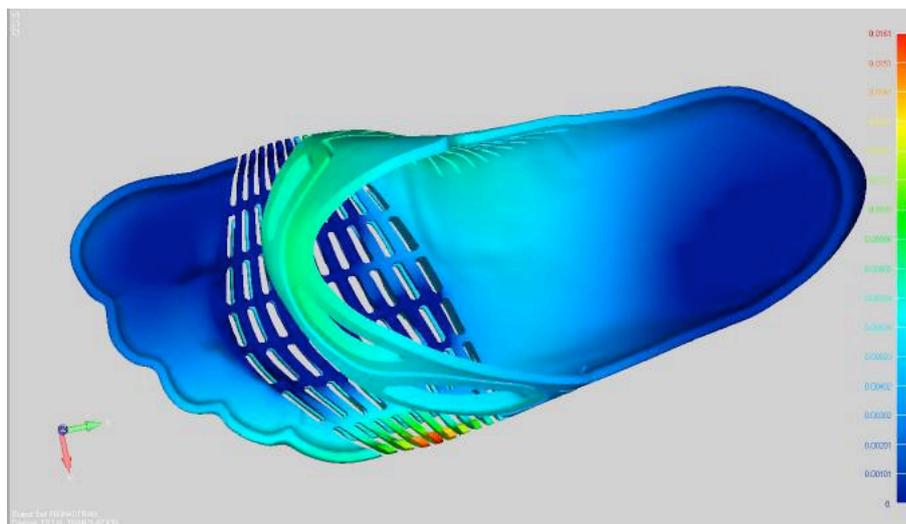


Figura 156 - Resultado da análise de Total translation do calçado conceitual - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.

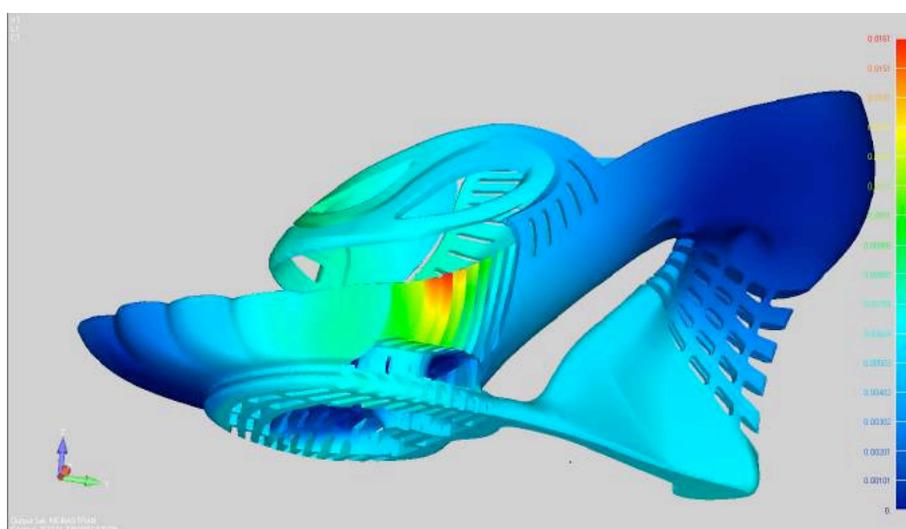


Figura 157 - Resultado da análise de Total translation do calçado conceitual - Vista em perspectiva da lateral externa.
Fonte: Acervo pessoal.

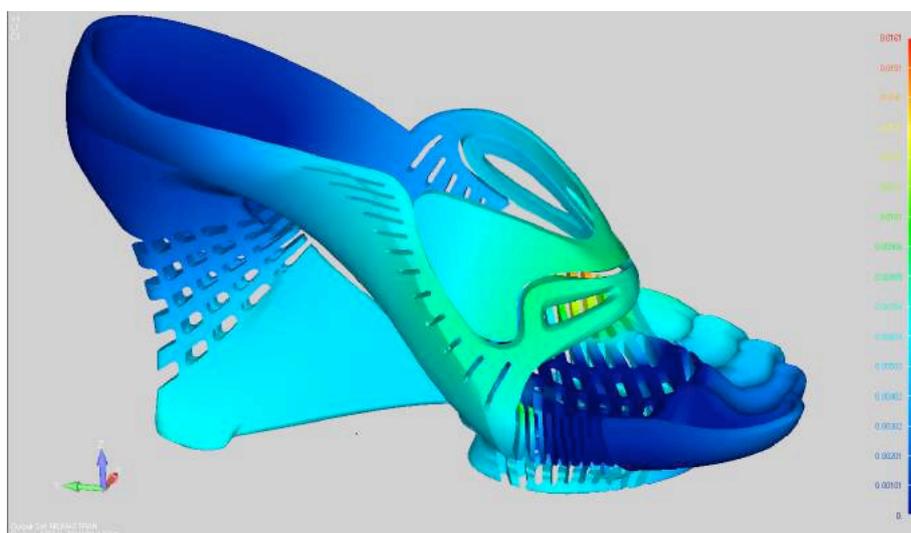


Figura 158 - Resultado da análise de Total translation do calçado conceitual - Vista em perspectiva da lateral interna.
Fonte: Acervo pessoal.

A região destacada na cor vermelha não representa nenhum problema evidente, uma vez que demonstra uma pequena deformação nas extremidades de duas pontas da estrutura, ocasionadas pelos recortes, mas sem correr o risco de comprometer o desempenho e a percepção de conforto do calçado.

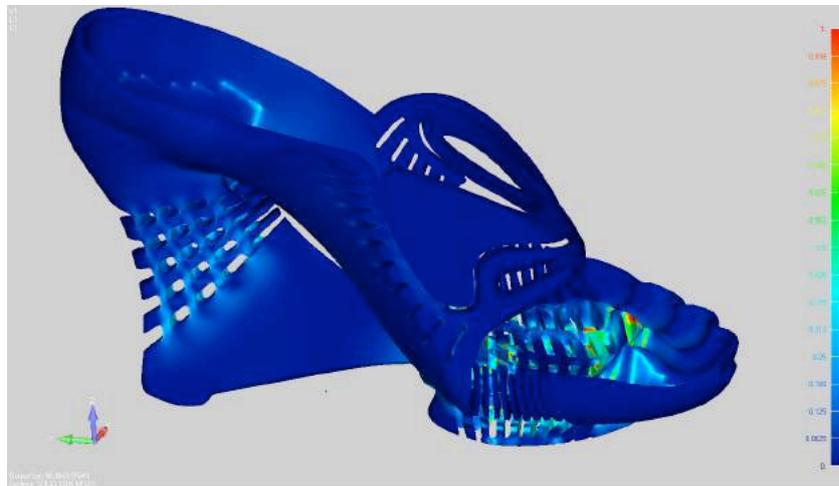


Figura 159 - Resultado obtido na análise de Von Mises do calçado conceitual - Vista em perspectiva do lado externo.

Fonte: Acervo pessoal.

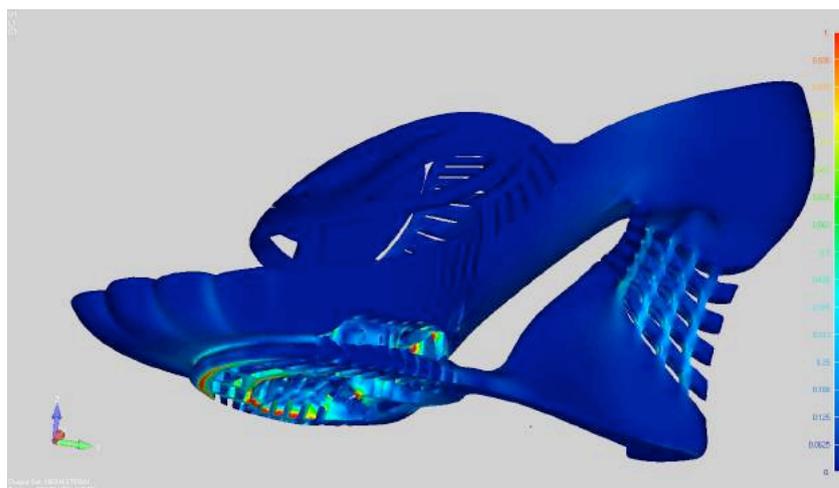


Figura 160 - Resultado obtido na análise de Von Mises do calçado conceitual - Vista em perspectiva do lado interno.

Fonte: Acervo pessoal.

A análise com o resultado de Von Mises também não demonstrou nenhuma situação preocupante quanto às tensões que possam comprometer o uso do calçado.

A análise principal referente ao desempenho do calçado elaborado foi realizada com os resultados obtidos pelas tensões verticais (*Normal Z*), apresentando informações satisfatórias quanto à previsão do seu comportamento. Os principais resultados dizem respeito à distribuição das tensões no calçado desenvolvido, mostrando que as cargas se dissipam sem sobrecarregar nenhum ponto da sua estrutura, sendo o primeiro indício de que não haverá nenhum

rompimento, quebra ou outro tipo de falha na estrutura, podendo ser esse o fator que atribui confiança, qualidade e confiabilidade ao experimento.

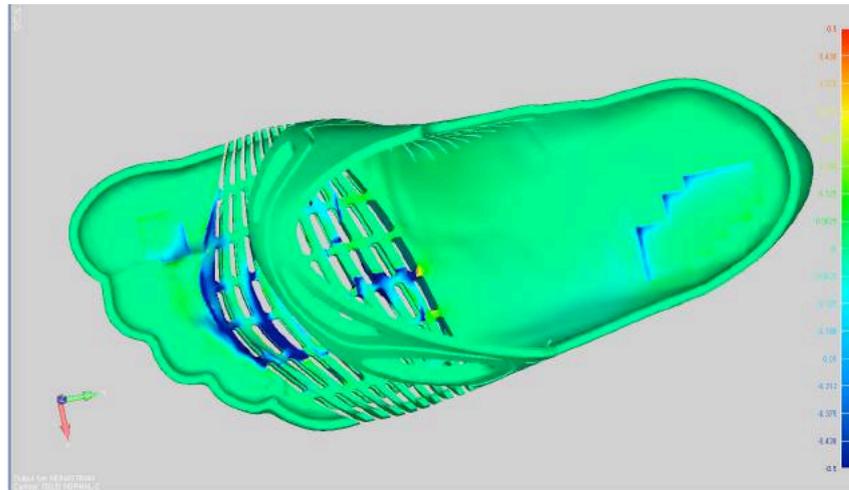


Figura 161 - Resultado da análise na Normal Z do calçado conceito - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.

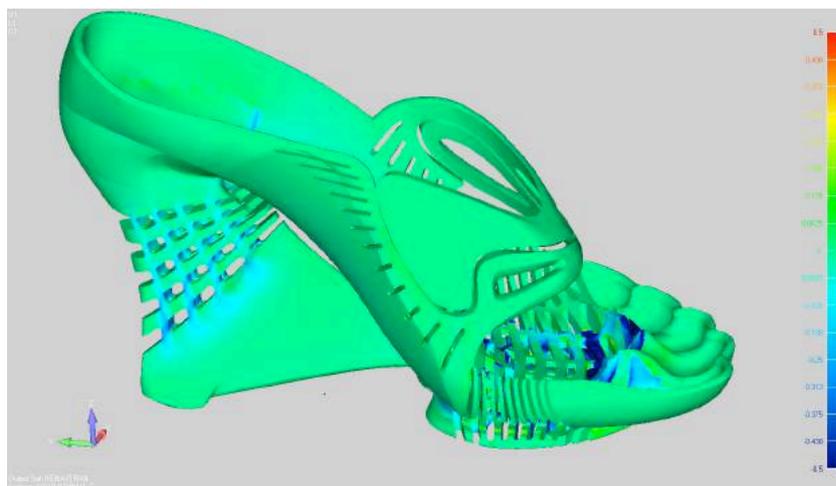


Figura 162 - Resultado da análise na Normal Z do calçado conceito - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.

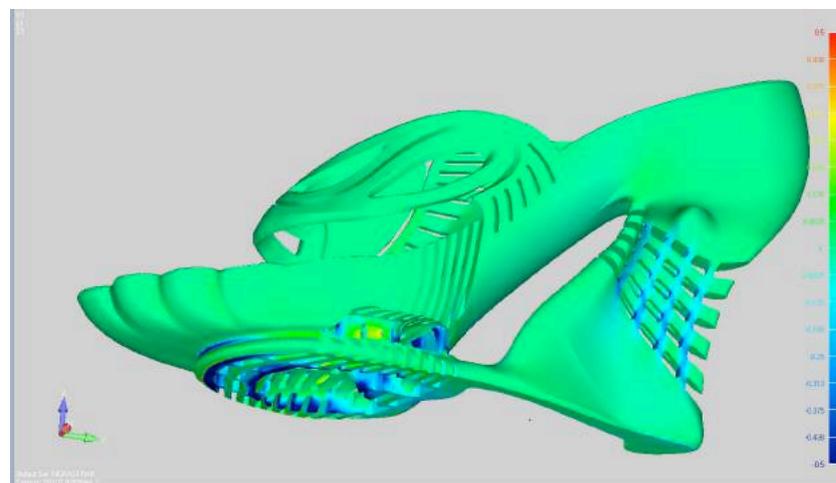


Figura 163 - Resultado da análise na Normal Z do calçado conceito - Vista superior. Fonte: Acervo pessoal.

Observando as reações no corte longitudinal do calçado, pode-se observar que, além do deslocamento máximo não comprometer a estrutura, faz a função de um sistema de amortecimento, minimizando ainda mais o desconforto. Deve-se ressaltar que as cargas aplicadas são as mesmas obtidas no calçado comercial de salto alto e fino. Durante a pesquisa, houve a tentativa de avaliar as reações no solo para rebater as energias geradas pela pressão exercida do modelo plataforma, tipo anabela. Desse modo, deveria-se inverter os carregamentos e as restrições, ou seja, a carga seria aplicada no solado e a restrição seria aplicada na palmilha, configurando assim um fenômeno “de baixo para cima”. Esse poderia ser um modo para se prever as forças resultantes na palmilha, substituindo assim a necessidade de verificar as pressões pelo teste de baropodometria. Mas o modelo não se comportou como o esperado e a ideia foi descartada. Ou seja, os resultados indicam que a carga aplicada não afeta a estrutura do calçado, mesmo esta estando superestimada, pois a previsão é que seja possível obter uma melhor acomodação do pé na superfície da palmilha anatômica, proporcionando a redução dos picos e das pressões médias.

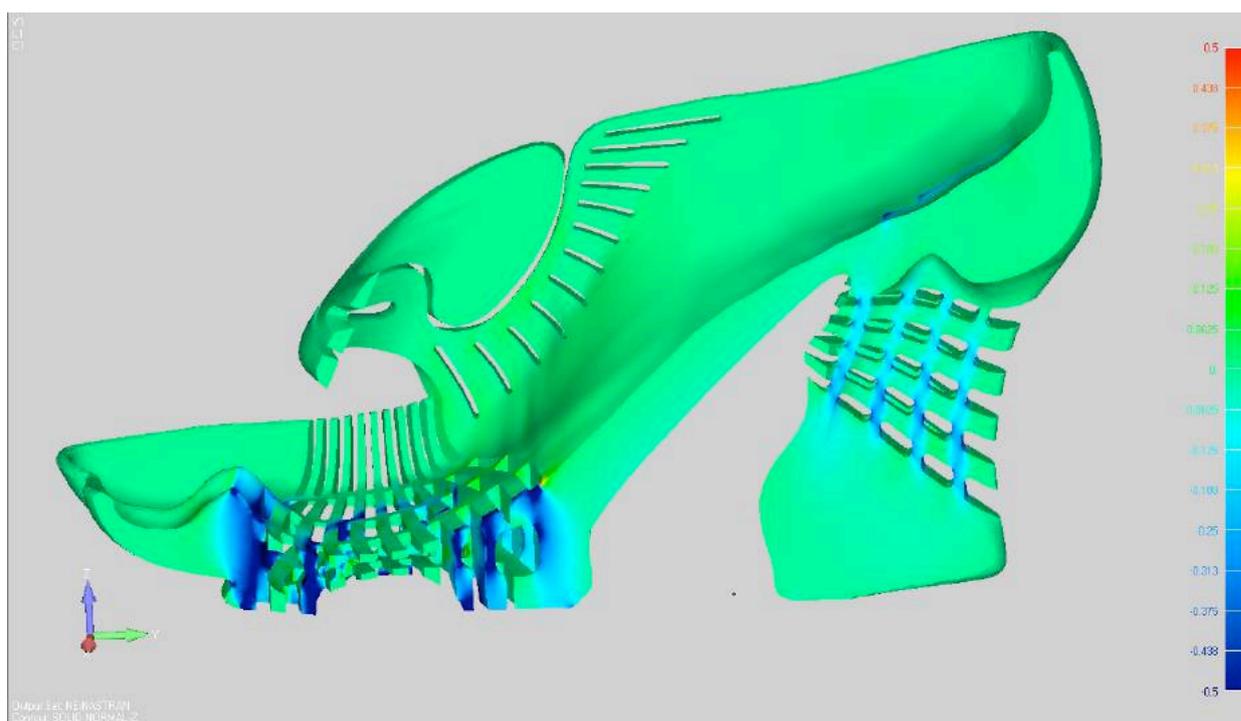


Figura 164 - Corte. Fonte: Acervo pessoal.

Pelos parâmetros adotados para as análises dos resultados, foi possível concluir que o calçado criado e testado virtualmente comprovou ser mais eficiente no quesito conforto, considerando como principais referências comparativas as distribuição das pressões e seus picos, apresentando, portanto, grande possibilidade de obter pressões menores no teste de baropodometria em relação aos modelos comerciais testados inicialmente.

8.3 Recomendações futuras

Esta pesquisa de doutorado teve seu início em 2012 inspirada na discussão proposta pelo tema do *World Economic Forum*³⁹, em Davos, *“The Great Transformation: Shaping New Models”*⁴⁰, em que se buscou definir novos modelos de responsabilidades para as gerações futuras. Em 2013, o tema *“Dinamismo Resiliente” (“Resilient Dynamism”)* lembrou aos líderes mundiais que nem resistência nem dinamismo é suficiente de forma independente, e que liderança exige ambos os atributos. O ano de 2014 foi marcado por temas em torno da mulher, com críticas para a adoção de um crescimento que deveria ser inclusivo, mas que esbarra em problemas tanto no setor privado quanto público: *“Gender driven Growth”*⁴¹. Já em 2015, foram abordadas as preocupações com o desemprego desde a crise mundial iniciada em 2008 e que poderia levar a economia a ficar presa em uma época denominada *“new mediocre”* (termo definido no encontro), um período prolongado de crescimento lento sem a criação de novos empregos. As políticas e economias foram desafiadas a confrontar três fundamentações: esforçar-se para o crescimento econômico ou aceitar a estagnação; trabalhar para melhorar a estabilidade ou correr o risco de sucumbir à fragilidade, e cooperar ou ir sozinho. O tema adotado para o encontro foi *“The Global Economic Outlook: What should be at the top of the schedule for the global economy in the year ahead?”*⁴².

O ano de 2016 se inicia com a discussão sobre uma quarta revolução industrial, que está diretamente ligada à possibilidade de se trabalhar em escala nanométrica com os materiais, desejo este sempre presente na história moderna, conforme visto nas referências aos metamateriais.

“We stand on the brink of a technological revolution that will fundamentally alter the way we live, work, and relate to one another. In its scale, scope, and complexity, the transformation will be unlike anything humankind has experienced before. We do not yet know just how it will unfold, but one thing is clear: the response to it must be integrated and comprehensive, involving all stakeholders of the global polity, from the public and private sectors to academia and civil society. The First Industrial Revolution used water and steam power to mechanize production. The Second used electric power to create mass production. The Third used electronics and information technology to automate production. Now a Fourth Industrial Revolution is building on the Third, the digital revolution that has been occurring since the middle of the last century. It is

³⁹ WEF - *World Economic Forum*, ou Fórum Econômico Mundial, é realizado anualmente em Davos na Suíça contando com a presença dos principais líderes mundiais políticos e econômicos.

⁴⁰ *The Great Transformation: Shaping New Models* - A Grande transformação: Criando Novos Modelos. Tradução livre do autor.

⁴¹ *Gender driven Growth* - Crescimento Impulsionado pelo Sexo. Tradução livre do autor.

⁴² *The Global Economic Outlook: What should be at the top of the schedule for the global economy in the year ahead* - A Expectativa Econômica Global: O que deve estar no topo da agenda para a economia global no próximo ano?. Tradução livre do autor.

characterized by a fusion of technologies that is blurring the lines between the physical, digital, and biological spheres.”⁴³ World Economic Forum (2016)

Interessante perceber que em 2014 não foram discutidas ações imediatistas para o ano corrente, mas as preocupações se voltaram para o tempo futuro. Conforme as épocas em que as revoluções ocorreram, a 1ª no fim do século XVIII (considera-se o ano de 1780), a 2ª ocorrendo no meio do século XIX (1850), a 3ª ocorrendo na década de 80 (1980), e agora a 4ª em 2016, tem-se a seguinte relação de tempo: considerando os anos apontados, percebe-se que 70 anos separam cada revolução industrial. A evolução da indústria de massa acontece com evidência nos 35 anos entre a 3ª e a 4ª revolução, o que nos faz indagar em relação ao tempo em que ocorrerá a próxima, e qual o motivo da nova evolução industrial. Alguns dizem que a condução para uma produção de baixo carbono, focando a indústria limpa, é iminente, enquanto outros preferem admitir que tudo sempre estará interligado aos meios da tecnologia digital, em que o desaparecimento do computador será o novo cenário, em que a evolução das *tablets* e dos equipamentos portáteis farão a vez da necessidade virtual, aposentando de vez os computadores em estações de trabalho.

Em uma época em que o presente deixa de existir, representado por um rápido instante em que o que era futuro vira passado, pensar no hoje significa estar no passado. As empresas devem se atentar aos indícios do avanço tecnológico, na velocidade necessária para acompanhar as mudanças que afetam diretamente os hábitos de consumo e a relação com os produtos industrializados.

Atletas e portadores de necessidades especiais fazem parte do grupo de usuários que podem ser beneficiados pela elaboração de projetos específicos, sob medida, que estabeleçam parâmetros de medidas do corpo, vislumbrando a melhor adequação do produto às diversas características anatômicas, e que proporcionem o máximo de desempenho no seu uso, assim como o modelo aqui proposto pelo método apresentado.

Desde os primórdios, a concepção e a fabricação de calçados pelo sistema convencional, como já mencionado, envolve diversos componentes de variados materiais, dezenas de operações industriais e um grande número de fabricantes e fornecedores. Desse modo, a montadora de

⁴³ Estamos à beira de uma revolução tecnológica que irá alterar fundamentalmente a maneira como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em sua escala, escopo e complexidade, a transformação será diferente de tudo que a humanidade tem experimentado. Nós ainda não sabemos exatamente como isso vai se desdobrar, mas uma coisa é clara: a resposta a ela deve ser integrada e abrangente, envolvendo todas as partes interessadas da comunidade política mundial, desde os setores público e privado até a academia e sociedade civil.

A Primeira Revolução Industrial usou o poder do vapor da água para mecanizar a produção. A Segunda usou a energia elétrica para criar a produção em massa. A Terceira utilizou eletrônicos e a tecnologia da informação para automatizar a produção. Agora a Quarta Revolução Industrial está se construindo sobre a terceira, a revolução digital que vem ocorrendo desde meados do século passado. É caracterizada por uma fusão de tecnologias que está envolvendo os conhecimentos entre as ciências da física, digitais e biológicas. Tradução livre do pesquisador.

automóveis pode emprestar o título para a “montadora de calçados”. Em tempo de crises e alertas ambientais, os curtumes e a indústria do couro, presentes na construção de boa parte dos calçados femininos de salto alto, são responsáveis por significativas contribuições para o aumento dos índices de poluição no planeta Terra. Salienta-se, portanto, a necessidade de sintetizar os produtos que apresentam diversos componentes na sua construção, assim como os calçados, em um número mínimo de partes com o objetivo de reduzir os processos produtivos, valorizando as necessidades ambientais vigentes, emergentes e urgentes. Nesse aspecto, é certo afirmar que o método pode contribuir significativamente para a diminuição da poluição mundial, uma vez que o setor calçadista é um dos atores principais nesse cenário.

O design centrado no usuário é fator preponderante para a criação de calçados que visem maior adequação aos biotipos e às diversas necessidades de utilização. Melhorar a relação ergonômica com os pés, melhorar o desempenho no auxílio da passada ideal, apoiando-se nas técnicas da engenharia automotiva e com as devidas adequações biomecânicas da marcha humana, são os pontos motivadores para realizar estudos que apresentem informações significativas para influenciar a criação de novos calçados centrados no conforto, assim como realizado durante todo o percurso do trabalho apresentado.

Deixando o universo industrial e entrando na área da saúde, analisemos a problemática dos diversos e sucessivos danos causados à humanidade pelo câncer, e vemos motivos suficientes para justificar anos de pesquisas incessantes, elaboradas ao redor do mundo por incontáveis estudiosos, ao longo de toda história da ciência moderna. Recentemente, após estudos avançados do Projeto Genoma, que é o mapeamento e a manipulação do código genético dos organismos, segundo o Centro de Pesquisa sobre o Genoma Humano e Células-Tronco da USP, anunciou-se a proximidade da cura de várias doenças, pois a técnica de manipulação do DNA humano alcançou possibilidades de remapear o código genético a fim de eliminar a possibilidade da existência de um câncer, por exemplo. Mas a discussão vai além da cura, pois abre a expectativa de poder alterar a sequência do DNA de um embrião humano, podendo-se criar um “super-humano”, que não terá doenças, de beleza invejável, corpo e *performance* atléticos, com extrema inteligência e que viverá além da expectativa atual. As questões éticas esbarram nas tecnológicas, uma vez que essas são as barreiras atuais encontradas para a implantação do projeto Genoma em “larga escala”. Nesse cenário, não fica difícil imaginarmos homens-robôs criados com toda a liberdade comercial caracterizada pelo mercado atual de consumo... É a reinvenção do ser humano!

A evolução tecnológica recente da história humana é notável, principalmente em relação às tecnologias digitais. Os *software* de Engenharia, como os de elementos finitos, podem avaliar materiais e construções convencionais utilizados na fabricação dos calçados atuais, como couros,

sintéticos, espumas, metais, injetados, pregos, parafusos, cola, costura, entre outros. Mas todas essas informações aumentariam significativamente a complexidade para a geração de modelos, sendo este o motivo principal para se estabelecerem grupos de trabalho capacitados e equipados com computadores capazes de realizar rápidos e complexos processamentos, assim como encontrados na indústria automotiva. Para uma empresa de calçados popular, que produz uma vasta quantidade de modelos por ano, investir em um processo digital pode abrir diversas outras frentes de mercado ainda não exploradas, até mesmo criar novos mercados. Se for considerado o volume de produção, de certo a fabricação digital não substitui as técnicas utilizadas pela produção industrial atual, mas não se sabe ao certo “se” e “quando” isso pode ocorrer. O que se pode afirmar é que a tecnologia de impressão digital e os meios virtuais agregados ao projeto de produtos personalizados é um mercado emergente, promissor e com grande potencialidade de expansão em um tempo curto, comparada ao ritmo das revoluções industriais. Além disso, esta pesquisa pode ser considerada como embasamento para a engenharia de produção em relação a fabricação industrializada e personalizada.

A proposta deste trabalho vislumbra a fabricação de calçados com a tecnologia de fabricação digital, com ênfase na impressão 3D, que pode proporcionar a eliminação e a redução de componentes, além da redução dos materiais e processos empregados, trazendo vantagens ambientais, se comparadas aos processos convencionais. A impressão 3D é uma tecnologia já estabelecida e com grande potencial de aplicações comprovadas, que consegue fabricar produtos que apresentem geometrias e estruturas altamente complexas.

Quanto aos materiais utilizados para a manufatura, estudos mais recentes apontam na direção dos metamateriais, que são materiais cuja estrutura é estudada em escala nanométrica. Mesmo aplicando em escala milimétrica, como no caso do calçado conceitual desenvolvido, essa técnica pode atribuir maleabilidade e outras propriedades aos materiais considerados duros, tornando-os mais flexíveis, podendo ser a solução para definir o conceito para a busca de novos materiais à serem utilizados nas impressoras 3Ds.

Quando foi resolvido fabricar o protótipo, a expectativa inicial era conseguir criar um modelo de calçado com salto de 9cm, em que os picos de pressão fossem reduzidos ao menos em 30%. Apesar de, no primeiro modelo virtual, somente com a utilização do formato anatômico ter havido uma diminuição de cerca de 20%, deve-se considerar como principal referência os dados coletados pela baropodometria para se comparar com a classificação das pressões para medição de conforto que constam na norma NBR ABNT 14836.

Segundo a norma, as médias dos picos de pressão do calçado devem ficar entre 260 e 290kPa para ser classificado como “confortável”, e de 290 a 320kPa para ser classificado como

“normal”. Abaixo de 260 torna-se muito confortável, contra a faixa de 320 até 350, desconfortável, e muito desconfortável acima de 350kPa (tabela 2).

Admitindo o máximo de pressão para um calçado ser considerado “confortável” (290kPa) e o máximo para a classificação “normal” (320kPa), confrontando com os picos registrados na baropodometria, conclui-se que:

- 1) Assumindo as pressões extremas e pontuais na palmilha, aferidas na região considerada a mais desconfortável em calçados femininos de salto, que é a dos metatarsos, registrou-se 690kPa no calçado com salto 1cm e 1000kPa no calçado com salto 9cm. O peso da modelo de prova era de 54kg, o que representou uma pressão no calçado com salto 9cm relativa a 3,12x o peso corpóreo. Sabe-se que a referência seria pela média, mas escolheu-se adotar os picos extremos.
- 2) Para atender a norma NBR ABNT14836 e classificar o calçado de salto 1cm como normal, os picos de pressão devem diminuir 54%, e 58% para classificá-lo como confortável. Já o calçado com salto 9cm deve diminuir de 68 a 71%, para se classificar como normal ou confortável.

Classificação de Conforto segundo ABNT NBR14836	
kPa	Classificação
< 260	Muito Confortável
260 - 290	Confortável
290,01 - 320	Normal
320,01 - 350	Desconfortável
> 350	Muito Desconfortável

Tabela 7 - Níveis de pressão em kPa para classificação de calçados segundo critérios de conforto. Fonte: ABNT NBR14836 (2011).

Lembrando do depoimento do Eng. Tomaz Puga Leivas (chefe do laboratório de biomecânica do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas de São Paulo), que acredita que qualquer trabalho de design que vise diminuir as tensões em calçados femininos com salto alto só deve trazer um benefício de no máximo 5%, presume-se que havia uma estimativa inicial super-otimista de reduzir 30%, o que seria um avanço quase milagroso, segundo a expectativa da biomecânica. Apesar de obter algum sucesso em um produto, com certeza este é apenas o início de outras experimentações como ferramenta de design (tabela 8).

altura salto cm	int. picos* seg.	pressão no calcanhar				pressão nos metatarsos				redução picos**	
		1º pico kPa kg		2º pico kPa kg		1º pico kPa kg		2º pico kPa kg		Conf. 290kPa	Norm. 320kPa
9	0,34	260	44	110	18,5	550	93,2	1000	168,5	71%	68%
1	0,348	190	32	60	10,1	134	21,5	690	116,3	58%	54%

*intervalo entre os picos de pressão, registrados na região do calcanhar e dos metatarsos
**meta para a redução dos picos de pressão, segundo a classificação pela norma ABNT NBR14836

Tabela 8 - Análise dos resultados obtidos nas simulações virtuais em relação aos dados obtidos na baropodometria.

Fonte: Norma ABNT NBR14836 (2011).

Em relação a evolução do trabalho, como a abrangência científica considerada nesta tese envolve diversas áreas, dentre os diversos aspectos considerados, recomenda-se o aprofundamento nas questões apontadas a seguir:

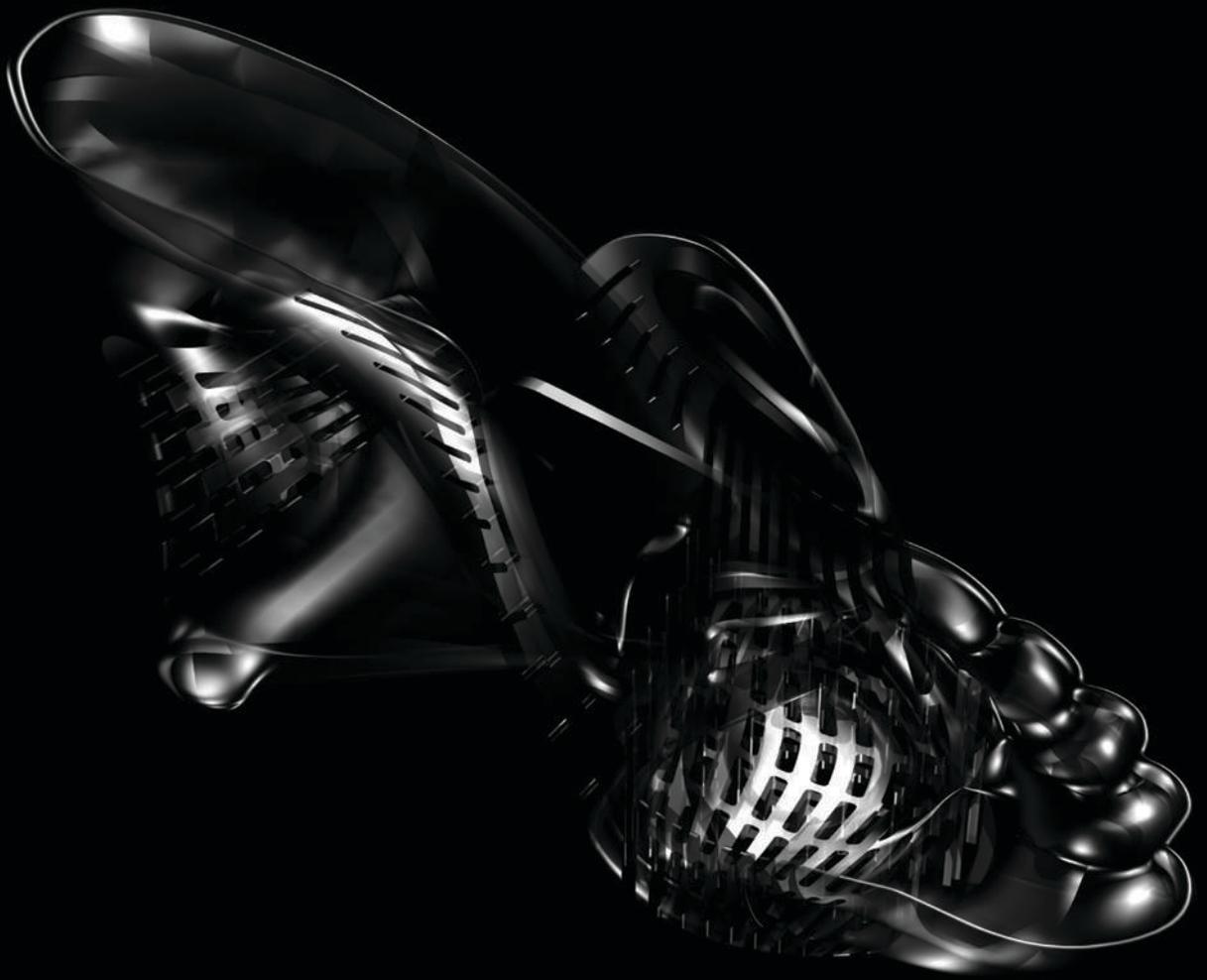
- 1) Investigar novos meios para a captação das variáveis antropométricas do biotipo de populações determinadas, ajudando a estabelecer parâmetros ergonômicos mais eficientes em relação aos existentes e que podem se transformar em normas e projetos de lei que ajudem a indústria do vestuário e calçadista brasileiro na melhor adaptação do produto ao usuário, com a devida eficiência para atender as diversas necessidades e específicas vontades por personalizações estéticas de consumidores de todas as regiões do Brasil. Para estipular uma interpolação entre algum banco de dados e medidas coletadas de um pé específico, com o objetivo de identificar um tamanho padrão que sirva para esse novo usuário, deve-se tomar o cuidado quanto à relação entre a variabilidade dos biotipos dos pés coletados e seu nível de correlação entre as próprias partes do pé, evitando uma errônea interpolação e resultados insatisfatórios.
- 2) Criar modelos tridimensionais mais refinados para as análises, a fim de proporcionar estudos dinâmicos. Para isso os modelos devem conter as principais estruturas ósseas, músculos e ligamentos, além do preenchimento dos vãos com algum material que simule a “massa mole” do pé. Esse estudo pode ser mais abrangente e extremamente mais complexo, ao se considerar os fenômenos que ocorrem ao caminhar e sua relação com o tornozelo, joelho e cabeça do fêmur, ao longo de anos de uso de um salto alto.
- 3) Se for considerado um calçado semelhante aos modelos comerciais, elaborar o modelo assumindo toda a complexidade necessária para representar as características geométricas de cada componente, como entressola (especificando cada parte, como a alma de aço, o rebite de fixação e todas as partes de cada papelão estrutural), solado, salto, cabedal, costura, ferragens, couro, entre outros. Também uma tarefa árdua para os *experts* em modelagem 3D. Mas, ao final da geração de modelos padronizados e parametrizados, pode ser criado um sistema

baseado em um poderoso banco de dados que estará totalmente interligado com as necessidades e características anatômicas do consumidor em uma produção comandada pela qualidade computacional, atendendo qualquer solicitação de personalização.

- 4) Além do refinamento das partes do modelo do calçado, o trabalho da usuária de salto alto deve ser descrito, apontando as tarefas realizadas em relação ao tipo de piso (carpete, concreto, macio, duro...), se há fendas, desníveis, aclives, declives, irregularidades ou mesmo obstáculos, assim como poeira, cigarro ou chiclete no piso. Considerar e identificar qual a sequência da pisada (se inicia com a frente do pé ou com o calcanhar, analisando cada instante do passo), afim de entender como isso tudo interage com a dinâmica da utilização do calçado de salto alto.
- 5) Acompanhar a evolução dos modelos matemáticos em conjunto com as tecnologias de fabricação digital é uma necessidade constante. A evolução da qualidade e da diversidade de materiais apresentada pela indústria de impressoras digitais é um fato considerado típico dos “tempos fluidos” e deve ser acompanhado de perto pelos designers. Os indícios apontam que novos materiais serão possíveis de serem trabalhados em escala reduzida e com custo mais acessível, como metais, cerâmicas e materiais reciclados, por exemplo, oferecendo a possibilidade de o designer contribuir com essa evolução a partir do momento em que se torna um ator contínuo na evolução do meio.
- 6) As máquinas evoluem, os materiais evoluem e o raciocínio para se trabalhar com as máquinas e os materiais também deve evoluir: aplicar o conceito dos metamateriais para produtos que utilizem a impressão 3D em sua fabricação pode ser um dos caminhos para a evolução do modo com que se utiliza o material, à partir da sua manipulação estrutural em escala nanométrica. Mas não podemos esquecer que se deve entender o “saber fazer” segundo os princípios de cada área e técnica, para poder sugerir atualizações segundo os critérios das novas tecnologias.
- 7) Considerar o paradigma quanto ao uso das tecnologias, exacerbado pela implantação da impressão 3D, com um modo de fabricação rápido, fácil e preciso. Uma vez que traz diretamente o uso da tecnologia para a vida real como um senso de arte digital, como a sociedade em geral vai resolver esse novo paradigma de fabricar as coisas? Qual o débito existente entre a tecnologia que se consegue desenvolver e a possibilidade de sua utilização pelo mercado?
- 8) Projetar para atender ao desejo é um caminho tão pequeno e intrínseco às características de cada ser humano, tornando a ação de “criação para adaptação” uma tarefa extremamente complexa. O trabalho é um enorme desafio, pela efemeridade do mercado e da própria vida, abrangendo diversos outros aspectos que vão muito além de um empreendedorismo.

Mais do que apresentar soluções, deve-se deixar nítida a complexidade envolvida e as áreas estudadas para a realização desta pesquisa, tornando evidente o quanto difícil é a execução da proposta individualmente. Como situação ideal de trabalho, deve-se constituir uma equipe multidisciplinar, com profissionais nas áreas da engenharia, design, medicina, sociologia, entre outras, objetivando abordar os problemas com um olhar transdisciplinar, não correndo o risco de abordagens conceituais equivocadas, pelo fato de proporcionar discussões entre especialistas de áreas afins e complementares.

CONCLUSÕES
FINAIS



9 . Conclusões finais

A viabilidade tecnológica considerada foi comprovada eficaz para atender o objetivo de estudar o calçado de salto alto. Através da elaboração de análises por simulações computacionais, foi possível estabelecer parâmetros para o projeto de palmilhas anatômicas e estruturas de calçados que possam proporcionar maior conforto ao diversos biotipos de usuárias.

Os resultados relevantes obtidos no desenvolvimento desta pesquisa apontam para diversas considerações, uma vez que abrange diversas áreas da ciência. Algumas informações aqui apresentadas já surgiram ao longo do texto, tornando importante uma compilação concisa sobre as principais conclusões.

No estudo da área da saúde, as pesquisas apontaram que:

- 1) O salto alto diminui a função de bomba muscular da panturrilha e que seu uso contínuo pode provocar situação de hipertensão venosa nos membros inferiores;
- 2) O uso de calçados de salto alto por mais de quatro horas diárias pode promover alterações de equilíbrio em mulheres jovens, além de retração muscular;
- 3) O uso excessivo de salto alto pode ocasionar ou agravar as varizes, as calosidades, os joanetes e proporcionar alterações posturais na coluna, levando muitas vezes a dores crônicas de difícil tratamento;
- 4) O arco plantar em mulheres que utilizam com frequência calçados de salto alto apresenta curvatura elevada, podendo ocasionar processos degenerativos e/ou alterações posturais.

Analisando dados do consumidor, pode-se observar que ainda existem poucas marcas que conseguem atender os anseios da mulher contemporânea, que as mulheres apresentam espontaneidade ao efetuar a compra, identificando a compra como “desejo de consumo”. É possível concluir que ainda é difícil encontrar um calçado que apresente o melhor conforto e o melhor design, suprimindo todas as necessidades e anseios da consumidora atual. O design oferecido por essa indústria e esse comércio não pode ser considerado como um design de soluções, e sim um design de estética, pura e simplesmente de *status*, em que o ato de criar é guiado por um ambiente definido, construído pelos meios, pelas marcas e pelos ícones de desejo.

O design de calçados confortáveis em escala industrial é uma tarefa que se torna inviável quando há necessidade de se obterem medidas específicas de cada consumidor, por isso é preciso que existam certos padrões.

Para ambas as normas estudadas, deve-se considerar que deveriam ser ampliadas, frequentemente atualizadas e segmentadas por regiões que representem as diversas características dos biotipos que constituem a população brasileira. Poderia assim eliminar os

grandes investimentos de tempo e custos para desenvolver, de forma quase sempre empírica, a adequação dos moldes para corresponder às medidas de cada grupo de consumidor, otimizando mão de obra e aproveitamento de matéria-prima. Contar com um censo antropométrico nacional, considerando a obrigatoriedade de sua adoção por lei federal, não resolveria, mas traria benefícios para o empresário e para o consumidor final. A variabilidade da população brasileira é absurdamente alta em relação a povos com biotipos mais próximos. Deve-se ter a atenção quanto ao perigo da adaptação de um produto mediano para um usuário que apresente características fora do desvio padrão. Contudo, atualmente já é possível a personalização em massa, uma vez que seu custo tende a diminuir a médio e longo prazo, conforme sua evolução e adaptação tecnológica.

Em relação às normas que estabelecem parâmetros para homologar conforto e analisar resistências de materiais, os ensaios físicos também podem ser substituídos pelas simulações virtuais, agilizando todo o processo de criação.

Portanto, acredita-se que um sistema produtivo que considere trabalhar com um arquivo pessoal com as medidas capturadas em sistemas de *scanners* 3Ds pode viabilizar uma produção industrializada com ênfase na personalização em larga escala, que admita as mais distintas variáveis antropométricas dos consumidores, facilitando a obtenção dos diversos arquivos em um banco de dados único para assim ter uma quantidade representativa da população brasileira, seja por região, estilo de vida, forma física, idade ou outro agrupamento que se queira fazer.

Para o setor calçadista, à medida que se estabelece um cenário de captação das imagens em três dimensões, possibilitando um levantamento antropométrico dos diversos biotipos de pés dos usuários, com seu devido arquivamento e segurança, sugere-se um outro modo de consumo e de produção de calçados, em que a expectativa é proporcionar maior conforto e *performance* considerando uma melhor adequação do produto às características anatômicas de cada consumidor, incluindo todo tipo de agrupamento que se possa fazer da população: atletas, idosos, crianças, diabéticos, pessoas portadoras de necessidades específicas, etc.

Além do foco no personalizado e individual, o uso da tecnologia digital para a captação tridimensional de referências do corpo humano visando sua mensuração e padronização é uma atual e importante ferramenta para a moda e o design.

Principalmente para o público feminino usuário de salto alto, pode-se dizer que há a necessidade da abordagem das duas escolas da ergonomia, a americana e francesa, tanto para projetar produtos que atendam ao desempenho de segurança e conforto físico, quanto para idealizar soluções que agradem aos anseios peculiares e aos aspectos de desejo e sua relação com poder e sexualidade, em geral ligados ao uso do salto alto. Ao invés da situação ser definida como

“suffer for fashion”, talvez o ideal fosse buscar algo como *“comfort by fashion”*. Desse modo, pode-se dizer que o design de calçados femininos de salto alto tem características de projeto com foco no *styling* mais do que centrado no usuário, uma vez que a estética prevalece aos problemas do conforto.

Compartilha-se a ideia de que o design e o conforto são atributos indissociáveis, assim como apontado na pesquisa na qual o calce/conforto e o design fazem parte dos três itens mais citados para o consumo de um calçado.

O teste de baropodometria serviu principalmente como base para a obtenção das informações referentes às pressões plantares. Mas como ferramenta de análise também pode ser muito útil, inclusive para o design de calçados. As medições comprovaram que o design do salto influencia significativamente na distribuição do peso corporal, mesmo em calçados com a mesma altura de salto, observando uma redução de 17% no pico de pressão registrado no modelo de calçado com salto largo em comparação ao modelo de salto fino.

Com a afirmação de que a indústria de calçados também é uma montadora de produtos, assim como a automotiva, acredita-se haver grandes possibilidades de evolução para o setor calçadista inspiradas no setor automotivo e embasadas pela hipótese da transferência de tecnologias. A percepção que se tem é que poderia haver uma utilização maior das ferramentas da engenharia pelos designers, uma vez que o processo do projeto do produto de engenharia é muito similar.

A realização das análises virtuais de desempenho permitiram uma validação mais aprofundada das hipóteses iniciais da pesquisa no que tange a obtenção de melhores condições de conforto para calçados femininos de salto alto.

Analisando a propagação das cargas nos planos da estruturas idealizadas, é possível efetuar estudos com o objetivo de fornecer opções que realizem a mesma função da forma inicial, demonstrando a redução de material necessário para a fabricação de um componente que exerça o mesmo desempenho da peça original, podendo resultar em uma redução significativa na quantidade de material, conseqüentemente, com menor custo para a sua fabricação.

Acredita-se na utilização desse tipo de imagem para inspirar a criação de calçados mais adaptáveis aos biotipos, sustentada pela comprovação da eficácia da análise virtual sob a ótica da biomecânica e engenharia mecânica.

Quando houver um banco de dados com centenas ou milhares de características antropométricas de pés de usuários digitalizados, correlacionados com as simulações computacionais sugeridas nesta pesquisa, será possível interpolar com novos pés de usuários, afim

de obter resultados para a criação de calçados personalizados, sem a necessidade de elaborar as análises por elementos finitos para cada novo usuário.

Fica evidente a necessidade de preparação que um designer, engenheiro e/ou equipe devem ter para poder absorver as inúmeras referências tecnológicas disponíveis atualmente e acompanhar o avanço da realidade virtual, já que o mundo é cada vez mais dinâmico e transdisciplinar. Ao integrar o design, a análise, a fabricação e a montagem de produtos em torno de tecnologias digitais, designers, arquitetos, engenheiros e construtores têm a oportunidade de redefinir fundamentalmente as relações entre a concepção e a fabricação.

É nesse momento que esse tipo de ferramenta de análise virtual pode torna-se um grande aliado do designer de produtos, uma vez que lhe dá a capacidade de transformar a informação técnica antes dominada somente pelos engenheiros em importantíssimos referenciais de cunho científico, auxiliando assim na criação de produtos cada vez mais adequados ao usuário. A análise virtual pode garantir a qualidade estrutural e dos materiais necessários para suportar todas as solicitações dos esforços (proporcionando aumento de desempenho), além de ser um facilitador para colocar em prova qualquer proposta que apresente características fora do padrão convencional estabelecido pelo mercado, ao explorar novos conceitos formais sob os critérios rigorosos da estética, podendo ainda inovar ao estabelecer referências para novos padrões. Para alguns especialistas, esse contexto é suficiente para formatar um conteúdo que se enquadraria como um “lançamento de tendências”.

A impressão 3D proporciona diversas experimentações para novas concepções de calçados, mas acredita-se que as soluções de conforto devem evoluir na mesma proporção do avanço estético. A manufatura aditiva é um promissor processo de produção em um futuro próximo, abrindo assim precedentes para as impressoras tridimensionais pessoais. É certo que em breve teremos uma ampla gama de impressoras surpreendentes e incomuns, incluindo impressoras de concreto, impressoras de vidro, *bioprinters* e impressoras portáteis, ficando cada vez mais acessíveis, facilitando e implantando o ato de customização pessoal.

Com os resultados obtidos é possível confirmar que os objetivos da pesquisa foram alcançados, comprovando a eficácia da metodologia proposta para a criação de calçados, com o foco no projeto centrado na usuária de calçados femininos de salto alto, considerando características de calçados feitos sob medida, na busca de soluções para a obtenção de conforto. As análises demonstraram meios para baixar os picos de pressão pela adoção de palmilhas anatômicas, promovendo assim a melhoria da qualidade de vida das mulheres usuárias de salto alto.

Diminuir os picos de pressão, adequar a superfície de contato da palmilha com os biotipos dos pés dos usuários melhorando a estabilidade ao caminhar, além de prolongar seu tempo de uso sem restrições de conforto são as principais contribuições obtidas momentaneamente por este estudo, constatando-se a potencialidade de diversas outras aplicações para a melhoria de novos calçados, mais anatômicos, confortáveis, com melhor desempenho, de menor custo e ambientalmente amigáveis.

Muito mais do que uma discussão de engenharia de materiais e processos de fabricação, esta tese de doutorado, defendida no departamento de Design e Arquitetura da FAUUSP, Faculdade de Urbanismo e Arquitetura da Universidade de São Paulo, trata de uma abordagem transdisciplinar que permeia os saberes da ergonomia, biomecânica, baropodometria, bioengenharia e fabricação digital, em benefício do design de calçados, oferecendo métodos e ferramentas para a evolução do setor calçadista pela melhor adequação aos diversos biotipos dos pés dos consumidores, os principais beneficiários.

O modelo de calçado desenvolvido ao término da pesquisa não tem intenção de ser um objeto de desejo, mas uma tentativa de estabelecer um parâmetro inicial para promissoras evoluções do calçado, considerando-o como um produto de extrema utilidade para o ser humano, seja pela função básica da proteção, seja pelo relacionamento com outras necessidades físicas, sociais, psicológicas, e com as questões sobre o conforto, necessário para o bem-estar físico e mental, para a manutenção do equilíbrio da marcha, para uma melhor relação com a biomecânica do pé e todos os aspectos primordiais da saúde.

Não é um início, mas a confirmação de que há a constante necessidade de um acompanhamento da (re)evolução industrial por processos metódicos para uma produção industrial inteligente, que beneficie sempre o usuário, antes das questões comerciais. O método aqui proposto para o design de calçados apresenta e especifica particularidades que permitirão a adoção de novos modelos baseados na tecnologia digital, apresentando diversas vantagens em relação aos meios habitualmente utilizados: o calçado como um benefício à própria vida humana!

O estudo de caso apresentado pode ser explorado para outras aplicações e em outros produtos, pela quantidade de conceitos e ideias consideradas. O trabalho não finaliza uma pesquisa, mas considera novas oportunidades para desenvolver soluções para a área calçadista, apresentando uma série de ferramentas essenciais para o novo paradigma quanto ao uso de tecnologias digitais para o projeto do produto, indicando um modo eficaz de como utilizá-las.

10 . Referências bibliográficas

- ABNT NBR 14836. **Calçados, Determinação dinâmica da distribuição da pressão plantar**. 2004.
- ABNT NBR 13377. **Medidas do corpo humano para vestuário - Padrões referenciais**. 1995.
- ALVES F., Avelino. **Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE**. Érica, São Paulo, 2000.
- ALVES F., Avelino. **Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE: Análise Dinâmica**, Érica, São Paulo, 2005. Arte, Ciência e Tecnologia: Passado, Presente e Desafios, Diana Domingues, organizadora, UNESP, São Paulo, 2009.
- BARELA A. M. F.; DUARTE M. **Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana**. In: Brazilian Journal of Motor Behavior, 2010, v. 6, No. 1, p. 56-61, 2010.
- BAUDRILLARD, Jean. **O sistema dos objetos**. São Paulo: Perspectiva, 1973.
- BAUMAN, Zygmund. **Modernidade Líquida**. Rio de Janeiro, 2001.
- BAXTER, Mike R. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos**, Blucher, São Paulo, 2000.
- BEDFORD, A., **Engineering Mechanics Dynamics**, Addison Wesley, USA, 1999.
- BERTONCELLO, D. et al. **Equilíbrio e retração muscular em jovens estudantes usuárias de calçados de salto alto**. Fisioterapia e Pesquisa, vol. 16, n. 2, São Paulo, abr./jun. 2009.
- BERWANGER, Elenilton Gerson. **Antropometria do pé feminino em diferentes alturas de salto como fundamento para conforto de calçados**, Dissertação de Mestrado em Design e Tecnologia, UFRGS, 2011.
- BONSIEPE, G. **Design: do material ao digital**. Florianópolis: FIESC/IEL, 1997.
- BUENO, Fabrício. **Métodos Heurísticos: Teoria e Implementações**. Instituto Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2009.
- CANALE, Antônio Carlos. **Automobilística: Dinâmica, Desempenho**, Érica, São Paulo, 1989.
- CAVANAGH, P. R.; Lafortune, M. A, 1980. **Ground Reaction Forces in Distance Running**. Journal of Biomechanics, v. 13, p. 397, 406.
- CHOKLAT, Aki. **Design de Sapatos**. Ed. Senac, São Paulo, 2012.
- CROSS, R. **Standing, walking, running, and jumping on a force plate**. American Journal of Physics v.67 No. 4 p. 304-309, 1999.
- DANESI, Marcel. **Of cigarettes, high heels, and other interesting things**. New York: St. Martin's Press, 1999.
- DRESCH, Bárbara; CAMPOS, G. Ferreira. **A importância do conforto e do design no consumo de calçados femininos**. VI ENEC 6o Encontro Nacional de Estudos do Consumo, Rio de Janeiro, 12 a 14 set. 2012.
- DREYFUSS, Henry. **The Measure of Man: Human factors in design**. Hardcover, 1967.
- FAQUIN, A. **O calçado esportivo destinado a pratica de futsal: avaliações mecânicas, biomecânicas e de percepção**. Tese de doutorado do departamento de Educação Física. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- FLUSSER, Vilém. **O mundo codificado: por uma Filosofia de Design e da Comunicação**, Cosac Naify, São Paulo, 2007.
- GIL, A. Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. Atlas, São Paulo, 1999.
- GODINHO F., Moacir, FERNADES, Flavio C. F. **Manufatura em Massa Atual: Evidências Empíricas na Indústria Brasileira de Calçados**, Revista Tecnicouro n. 208, Rio Grande do Sul, 2005.

- GOMES F., João. **Ergonomia do Objeto: Sistema Técnico de Leitura Ergonômica**, Escrituras, São Paulo, 2003. GOMES F., João, **Gestalt do Objeto: Sistema Visual de Leitura da Forma**, Escrituras, São Paulo, 2000.
- GOMES F., João. **Gestalt do Objeto: Sistema Visual de Leitura da Forma**, Escrituras, São Paulo, 2000.
- GOONETILLEKE, Ravindra S. **The science of footwear**. CRC Press, USA, 2015.
- IUNES D. H. et al. **A influência postural do salto alto em mulheres adultas: análise biofotogrametria computadorizada**. Revista Brasileira de Fisioterapia, vol. 12, n. 6, São Carlos, dez. 2008.
- JORDAN, Patrick W. **Designing Pleasurable Products: an introduction to the new human factors**. London: Taylor and Francis, 2000.
- JUNQUEIRA E.B; BARBOSA E.C.; BONFIM T.R. **Avaliação da conformação do arco plantar em indivíduos que utilizam calçados de salto alto**. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, São Paulo, vol II, out. 2007, p.174.
- KAMINSKI, Paulo Carlos. **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade**, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2000.
- KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the digital age: design and manufacturing**. Spon Press, USA, 2003.
- KOTLER, Philip. **Administração de Marketing**. São Paulo: Prentice Hall, 2000, 10 ed.
- KRIPPENDORFF, K. **Product Semantics; A Brief Sketch**. Anais P&D DESIGN 2000, Novo Hamburgo: Associação de Ensino de Design do Brasil, 2000.
- KRIPPENDORFF, K. **A Trajectory of Artificiality and New Principles of Design for the Informational Age**. In Design in the Age of Information, A Report to the National Science Foundation (NSF), edited by Klaus Krippendorff. Raleigh, NC: Design Research Laboratory, North Carolina State University, 1997.
- LACERDA, Delfina Falcão. **Medição Antropométrica dos Pés**, Tese de Mestrado, PUC RIO, 1994.
- LEAL, A. L. **A Moda que vale bilhões**. Revista Exame, São Paulo, n1, p. 34-45, 22 jan 2014.
- IIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção**, Blucher, São Paulo, 2005.
- LIPOVETSKY, Gilles. **O Império do Efêmero: A Moda e seu Destino nas Sociedades Modernas**, Companhia de Bolso, São Paulo, 2009.
- LÖBACH, B. **Diseño Industrial: Bases para la configuración de los productos industriales**. Barcelona: Gustavo Gili, 1981.
- MANFIO, Eliane Fátima. **Estudo de parâmetros antropométricos e biomecânicos do pé humano para a fabricação de calçados segundo critérios de conforto, segurança e saúde**. Dissertação de Mestrado em Ciência do Movimento Humano - Educação Física, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 1995.
- MANFIO, Eliane Fátima; ÁVILA, Aluísio Otávio Vargas. **Um estudo de Parâmetros Antropométricos do Pé Feminino Brasileiro**, Revista Brasileira de Biomecânica, a. 4, s.1, 2003, p.39-48.
- MASLOW, Abraham H. **Motivation and Personality**. New York: Harper & Row, 1970, 2.ed.
- McCORMICK, Ernest J. **Ergonomia: Factores humanos en Ingenieria e Diseño**. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.
- MEGLAN, D.; TODD. **Kinetics of human locomotion**. In: J. Rose; e J. G. Gamble (Ed) Human walking. Baltimore: Willims & Wilkins. Kinetics of human locomotion, p. 73-99, 1994.

- MELO, M. F.; CAMPOS, G. T.; BONFIM, T. R. **Influência do uso do calçado de salto alto no arco plantar e na extensibilidade do músculo tríceps sural**. XI Congresso Brasileiro de Biomecânica. ANAIS... João Pessoa, 2005.
- MOLES, Abraham A.; BAUDRILLARD, Jean; BOUDON, Pierre; VAN LIER, Henri. **Semiologia dos objetos**. Rio de Janeiro: Vozes, 1972. 196 p.
- MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia: conceitos e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2AB, 2000.
- MORALES, Luis Rodríguez. **Los discursos contemporáneos del diseño**. *Estudios em Design*, v. 4., n. 1, 1996.
- MORGAN, Andrew. **The true cost**. Untold creative, LLC, 2015.
- MORRIS, Richard. **Fundamentos de Design de Produto**, Bookman, São Paulo, 2010.
- MUNARI, Bruno. **Das Coisas Nascem Coisas**, Martins Fontes, São Paulo, 2008.
- MUNDSTOCK, D. C. **Uma metodologia de projeto e análise de solados hiperelásticos utilizando simulação numérica e otimização de forma**. Tese de doutorado em engenharia, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- NICOLESCU, Basarab. **O Manifesto da Transdisciplinaridade**. Triom, São Paulo, 1999.
- NIGG, B. M. **Biomechanics of Sport Shoes**. University of Calgary, 2010.
- NORMAN, Donald A. **O Design do Futuro**, Rocco, Rio de Janeiro, 2010.
- O' KEEFFE, Linda. **Sapatos: Uma festa de sapatos de salto, sandálias, chinelos...** Könemann do Brasil, 1996.
- PALHANO, Rudnei. **Análise Mecânica e Biomecânica de solados para calçados**. Tese de doutorado em engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2013.
- PERRY, J. **Análise de Marcha**. Barueri, SP: Manole, v.1, 2005.
- PETER L., Phillips. **Briefing: A gestão do Projeto de Design**, Blucher, São Paulo, 2008.
- RONCOLETTA, Mariana Rachel. **Design de calçados para pessoas com deficiência física: os prazeres do belo e do conforto**. Tese de doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2014.
- ROSSI, William A. **Footwear: The primary cause of foot disorders**. Podiatry Management Magazine, USA, february 2001, p. 129-138.
- RUBIN, Edward S. **Introduction to Engineering and the Environment**, McGraw-Hill, USA, 2001.
- SAMMARCO, G. J.; HOCKENBURY, R. T. **Biomecânica básica do sistema músculo-esquelético**. Guanabara Koogan S. A., 2003.
- SANCHES, Maria C. F. **Projetando Moda: Diretrizes para Concepção de Produtos**, Compilação por PIRES, Dorotéia em Design de Moda: Olhares Diversos, Estação das Letras, São Paulo, 2008.
- SHORTEN, M. R. **The Energetics of Running and Running Shoes**. Journal Biomechanics. v. 26. p. 41-51, 1993.
- SHEN, W., PARSONS, K. C. **Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort**. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 20, p. 441-461, 1997.
- SHORTEN, M. R. **Running Shoe Design: Protection and Performance**. In: Maratathon Medicine (Ed. D. Tunstall Pedoe). London, Royal Society of Medicine. p.159-69, 2000.
- SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. – 4. ed. rev. atual. – Florianópolis, UFSC, 2005.
- SILVEIRA F., Elmo Souza Dutra da. **Plataforma de Força Montadas em Esteira Ergométrica para Análise de Impactos na Marcha Humana**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, UFRGS, 1997.

- SLATER, Keith. **Human Comfort**. Springfield (Illinois): Charles C. Thomas, 1985.
- STRACKER, L. M. **Body Discomfort Assessment Tools**. In: KARWOWSKI, W., MARRAS, W.S. (ed) *The Occupational Ergonomics Handbook*. London: CRC, 2000, p. 1239-1252.
- TOSO, Marcelo André. **Desenvolvimento de uma Plataforma de Forças para Medição e Análise dos Esforços Verticais para Modelamento Biodinâmico da Caminhada Humana**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, UFRGS, 2012.
- VALERIANO, Dalton L. **Gerência em Projetos: Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia**, Makron Books, São Paulo, 1998.
- VAN DER LINDEN, Julio Carlos de Souza. **Avaliação do conforto e desconforto**. In: GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo (Org.). *Ergonomia Cognitiva*. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2004, 2a Ed.
- VAN DER LINDEN, Júlio Carlos de Souza, **Um Modelo Descritivo da Percepção de Conforto e de Risco em Calçados Femininos**, Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, UFRGS, 2004.
- VAN VLACK, Lawrence Hall. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1984.
- VAUGHAN, C. L. **Theories of bipedal Walking**. *Journal of Biomechanics*. v.36, p.513-23, 2003.
- VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. Edgard Blucher: São Paulo, 2007.
- WAGNER T. F. et al. **Influência da altura do salto de sapatos na função venosa da mulher jovem**. *Jornal Vascular Brasileiro*, vol. 6, n. 4, Porto Alegre, dez. 2007.
- ZEITHAML, Valarie A. **Consumer perceptions of price, quality, and value: a means- end model and synthesis of evidence**. *Journal of Marketing*, v. 52, p. 2-22, July 1988.
- ZIMMER, G. C; PRZYSIEZNY, W. L. **O uso da baropodometria na avaliação postural**. Monografia de conclusão de curso de Fisioterapia, Universidade Regional de Blumenau, 2005.

Sites acessados no período correspondente ao segundo semestre de 2012

- <http://goteo.org/project/zapatos-open-source?lang=en>
- <http://fablab.waag.org/project/laser-cut-shoes>
- <http://fablabbcn.org/2012/06/wired-fabbed-barcelona-shoes/>
- <http://www.fablabeledp.edp.pt/en/node/1630>
- <http://fablabeledp.edp.pt/en/node/8880>
- <http://fablabeledp.edp.pt/en/node/10204>
- <http://www.scoop.it/t/fab-lab-1/p/2516345161/well-it-s-not-payless-900-3d-printed-shoes>
- <http://www.scoop.it/t/fab-lab-1/p/2525159225/bikinis-shoes-this-duo-will-3d-print-your-wardrobe>
- <http://www.fashioningtech.com/profiles/blog/list?tag=Fab+Lab+Fashion>
- <http://www.merelyanode.com/category/fablab-2/>
- <http://www.metaholic-musings.com/2012/05/23/making-the-future-now-one-step-at-a-time/#more-988>
- <http://fablab.waag.org/taxonomy/term/1303>
- <http://www.theverge.com/2012/8/20/3255745/continuum-strvct-3d-printed-shoe>
- <http://www.upperstreet.com/>
- <http://www.toxel.com/inspiration/2012/08/30/3d-printed-shoes/>
- <http://earthtechling.com/2012/07/will-future-olympic-athletes-wear-3d-printed-shoes/>
- <http://www.explainingthefuture.com/3dprinting.html>
- <http://www.youtube.com/watch?v=CP1oBwccARY&feature=related>

