

# A MODA TEM CURA? BIOMECÂNICA, DESIGN, CALÇADOS E SALTO ALTO INGREDIENTES QUASE FATAIS

*HAVE FASHION CURE?  
BIOMECHANICAL, DESIGN, AND HIGH HEEL SHOES  
ALMOST FATAL INGREDIENTS*

Marinho, José Augusto; Doutorando; FAU/USP, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, gutomarinho@usp.br<sup>1</sup>

## Resumo

Objetiva-se desenvolver uma nova metodologia para o design de calçados, considerando as exigências das normas vigentes, proporcionando a melhor relação da biomecânica da marcha com os diversos biotipos dos pés para o projeto “sob-medida” com o máximo de conforto, desempenho e durabilidade. *FootScan*, análises virtuais e impressão 3D são as tecnologias utilizadas.

Palavras-Chave: Design de Calçados; *FootScan*; Biomecânica; Elementos finitos; Impressão 3D.

## Abstract

*The objective is to develop a new methodology for the shoes design, considering the applicable rules, providing the best value for biomechanics gait, with different biotypes of the feet for the "tailor-made" project, to the maximum of comfort, performance and durability. FootScan, virtual analysis and 3D printing are the technologic tools used.*

*Keywords: Shoes Design; FootScan; Biomechanic; Finit Elements; 3D Print.*

## Introdução

Quando eleva-se o calcanhar, a curvatura da coluna se modifica. Ao aumentar o arco da coluna, há grandes probabilidades de iniciar alguma dor. A base do corpo é alterada, desequilibrando o quadril e a coluna.

Para Manfio e Avila (2003), o calçado deve ter um foco principal que é a segurança e o conforto, além da prevenção das lesões. Sob o olhar da biomecânica, calçados de alto rendimento para atletas profissionais necessitam adequações específicas onde a relevância do estudo é fundamental. Para o caso de calçados comerciais considerados de moda, principalmente os sociais femininos com salto alto, pela postura intrínseca e consequente aumento de

---

<sup>1</sup> Doutorando pela FAU/USP “(I)Limitado Mundo Virtual para o Design de Calçados”. Mestre em Engenharia Automotiva, POLI/USP. Graduado em Design com habilitação em Projeto de Produto, FAAP, Fundação Álvares Penteado. Professor do curso de Desenho de Moda da FASM, Faculdade Santa Marcelina. Consultor na área de calçados e componentes.

pressão na região dos metatarsos, segundo o engenheiro Tomaz Puga Leivas (chefe do laboratório de biomecânica do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas de São Paulo), o estudo da biomecânica é irrelevante, pois acredita que no máximo somente 5% do desconforto poderá ser amenizado com esse estudo, sugerindo que o foco seja direcionado para a correta adequação de componentes e materiais. Contudo, espera-se provar a eficácia virtual das análises pretendidas para comprovar que é possível obter um maior percentil.

Usuários portadores de necessidades especiais, diabéticos e atletas, sem dúvida são potenciais usuários para aplicações dos estudos da biomecânica, mas o desafio proposto considera inicialmente o caso de calçados comerciais femininos com salto alto, objetivando desenvolver modelos sob-medida.

Na expectativa de melhorar a questão biomecânica do contato entre o pé e o solo em calçados, a metodologia é fundamentada na utilização de *softwares* de análise de materiais, desempenho estático e dinâmico de partes e do produto acabado, pelo método dos elementos finitos, com diversos casos de sucesso na engenharia automotiva e civil conforme aponta Alves (2005).

O estudo biomecânico da marcha humana segundo Perry (2005) e Palhano (2013), considera os picos de pressão na distribuição da pressão plantar, sendo este o suporte para as análises virtuais pretendidas. O objetivo é diminuir os picos de pressão, homogenizando a distribuição das cargas na planta do pé, minimizando assim o desconforto.

Materiais que tenham características de absorção de impactos e que proporcionam impulsão para o caminhar, também são possíveis de serem analisados pelo método virtual utilizado.

As principais vantagens do método estão relacionadas principalmente quanto a redução de custos e prazos pela simulação digital, ao prever possíveis falhas de projetos e a melhor adequação anatômica de componentes e seus materiais, sem a necessidade da elaboração de protótipos físicos. Em relação as normas que estabelecem parâmetros para homologar conforto e analisar resistências de materiais, os ensaios físicos também podem ser substituídos por simulações virtuais, agilizando todo o processo.

## Biomecânica da Marcha Humana para o Design de Calçados

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 antepé, além de ocasionar o efeito de “esparramar”, aumentando as 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 se toca o calcanhar no solo, temos o primeiro pico de pressão. Em seguida, ao transferir as forças para a região frontal, é produzido o impulso, onde localiza-se o segundo pico de pressão, próximo as cabeças dos metatarsos. A marcha de um pé e as cargas geradas no contato deste com o solo apresenta dois picos de pressão.

figura 1: gráfico típico de um passo de um pé com os picos de pressão.



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 a distância, pode-se alcançar uma pressão de até 10x o peso corpóreo. A maior carga humana conhecida no pé foi medida no salto tripulo, 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 as veias, artérias, ligamentos e ossos, que podem ser causados em uma queda.

## Simulação de Esforços e Materiais

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

O objetivo é baixar as pressões do gráfico. Por exemplo, ao aumentar a área de contato com um componente mais envolvente e um material flexível como um colchão de molas, distribui-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, comumente não se desgasta o solado de calçados homogeneamente.

Se considerarmos a região de contato da sola do pé e melhorarmos a área fazendo que haja um modo de envolver a parte inferior e 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.

Tais teorias e muitas outras análises que se queiram elaborar podem ser analisadas virtualmente, enriquecendo e refinando o trabalho do *designer*.

### **Calçados para Atletas de Alto Desempenho**

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, ao proporcionar equilíbrio e segurança. Segundo Nigg (2010), o universo profissional busca primeiramente desempenho, antes de conforto. Há a necessidade de leveza, dureza, locais para reforçar, saber qual a função do atleta, se necessita de aumento na velocidade, aumento de salto, ou alguma combinação que tenha um pouco de cada. Nesse momento é quando o atleta começa a utilizar materiais mais caros, sob-medida e soluções mais tecnológicas em relação as utilizadas nos produtos de moda.

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

Imagina-se que em breve haverá algum material em spray que será aplicado direto no pé e expandido ao redor desse, retirando o contato com a meia, diminuindo a formação de bolhas. Em competições extremas como o *Iron*

*Man*, a transpiração gera líquido e a meia não consegue absorver, deixando o pé molhado. O atrito entre o calçado e o pé inicia o processo de surgimento de bolhas. Criada a bolha, há incômodo, machuca e perde-se rendimento e performance. A dor faz com que haja a redução da performance do indivíduo.

### **Análise virtual como ferramenta de projeto de design**

Antes de elaborar todo um cenário complexo de modelos e requisitos, assim como apresentado no cenário esportivo, partiu-se de um caso extremo do desconforto comercial, como o caso de calçados femininos de salto alto.

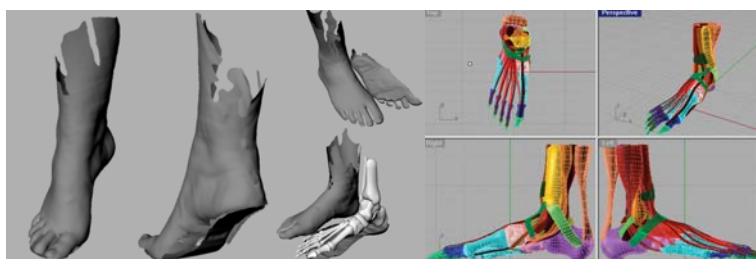
A numeração escolhida como *case* de estudo foi um pé número 36 (sendo a maioria dos pés femininos adultos) e com salto de 9cm de altura. Após a aquisição de uma fôrma (molde) n36, salto 9, foi feito um levantamento de um pé real que tivesse as medidas mais próximas da fôrma padrão de mercado para a captura e mapeamento digital em 3 dimensões. A questão da captura de um pé apoiado no solo e com o efeito “esparramado”, torna uma dificuldade atual para a aquisição da sola do pé.

figura 2 - captura digital do modelo de pé feminino número 36 descalço e na posição com salto de 9cm



Em seguida, criou-se um modelo virtual de esquema ósseo com os principais músculos e ligamentos. O preenchimento dos espaços vazios foram considerados como massa mole.

figura 3 - modelos virtuais iniciais desenvolvidos para as análises biomecânicas pretendidas



As medições iniciais de distribuição de pressão plantar foram fornecidas pelo IBTeC (Instituto Brasileiro de Tecnologia do Calçado) para elaborar as primeiras simulações de palmilha com cargas, com um pé descalço e na posição com salto de 9cm. As medições próprias serão coletadas no Laboratório de Biomecânica do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas de São Paulo (junho e julho 2015), servindo como parâmetros para a elaboração virtual de um pé caminhando, desde descalço até salto 9cm, de 1 em 1 cm. Esses modelos de pés servirão como instrumento para calçar virtualmente tipos de calçados distintos e submetê-los às análises dinâmicas similares às exigências das normas, além de possibilitar inúmeras outras análises, dependendo das necessidades e objetivos. Com esse cenário, haverá uma importante ferramenta de análise de design, ajudando na criação e prevenção de defeitos para projetos futuros.

### **Tipos de pisada, Design 3D e Modelo de Negócios “Sob-Medida”**

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, deve-se gerar um plano de negócios onde haverá uma loja que faz toda a parte de medição, para posteriormente fabricar e retirar o produto. Para tanto, pode-se perder assim a venda por impulso. Vale considerar outros benefícios como fazer isso uma só vez ou quando emagreça ou ganhe peso. Após o arquivo de medição estiver 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 sob-medida.

Segundo Danesi (1999), pode-se afirmar que tudo na moda é vendido por impulso: logo, deve ser prático para levar. Se muda-se a forma de vender fazendo com que o consumidor vá tirar as medidas e encomendar para depois buscar, no meio do caminho ele pode desistir e assim perde-se a venda.

A questão surge para estabelecer o modo e método de como capturar essas imagens e 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 se construir?

Este estudo emprega uma das tecnologias de fabricação digital, que é a impressão 3D, sendo utilizada em conjunto aos métodos tradicionais de fabricação de corte e costura, para agregar soluções e características que os materiais rígidos do 3D *print* ainda não apresentam. Acredita-se que o ideal não é ficar preso a uma única tecnologia, não ficando assim refém dela, devendo 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 atualmente ainda não são utilizados em prototipagens rápidas como a 3D *print*. Salienta-se portanto a necessidade de se trabalhar com diversas tecnologias de fabricação.

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. Possuem o meio ponto, que cai para 4,2mm a diferença de tamanho entre as numerações, 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. O Brasil deveria estabelecer por normas (exigidas pelo governo) a referência das medidas típicas da população brasileira, considerando diversas opções de numeração e medidas que se aquedem melhor aos biotipos dos pés, pois o mercado atual oferece produtos que, inclusive, não são equivalentes entre os fabricantes, ou seja, um calçado com numeração 38 não é o mesmo tamanho oferecido por dois fabricantes distintos e isso dificulta ainda mais, principalmente em compras *online*. Pela mistura das raças e etnias distintas que são encontradas na população brasileira, o Brasil sem dúvida necessita de um calçado mais adequado, além do que, somos um dos principais produtores mundiais e temos muita capacidade criativa e produtiva para resolver essa questão.

Considerando tais fatos, podemos ter dois modelos de negócios: um com foco na pronta entrega que considera diversas medidas e outro com características de encomenda que faz sob-medida.

## **A Cura dos Calçados da Moda está na Biomecânica?**

Nos tênis de alta performance normalmente são feitos testes diversos com vários materiais, até conseguir diminuir cada vez mais os pontos de pico de pressão e homogenizar as áreas de distribuição de contato pelo uso de palmilhas acolchoadas e com certo volume, principalmente na região do arco-planar. Mas em um salto alto, como o ponto de contato do calcanhar quase não existe pela elevação do mesmo, há uma consequência da transmissão das cargas para a frente do pé, fazendo massacrar sempre a região do ante-pé. Pela postura intrínseca do salto alto, pode-se afirmar que a utilização de estudos biomecânicos fazem 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... eis que surge o 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 inerentes ao comportamento, trabalho e classes sociais, segundo Danesi (1999). Já este estudo possibilita verificar e estabelecer parâmetros que seriam muito difíceis, caros e até impossíveis de prever em estudos de protótipos em ensaios físicos e químicos reais.

Os materiais disponíveis pela impressão 3D, como o ABS, PLA e *nylon* não são equivalentes visualmente nem similares aos acabamentos possíveis em couros, por exemplo. Sem dúvida que os calçados desenvolvidos atualmente em 3D *print* fogem das formas habituais até então conhecidas e são verdadeiras experimentações de obras de arte, design, arquitetura e engenharia, mas não inovam em padrões de conforto.

Um dos objetivos secundários que devem auxiliar na validação da metodologia é atender as normas técnicas em vigor (ABNT NBR 14834 sobre conforto de calçados). Desse modo, diversos ensaios físicos podem ser substituídos pelo método de análise virtual. Essa comprovação já é um fato consumado na indústria automotiva, como no caso do *crash-test*, que inicialmente é feito em simulações virtuais.



Como aponta Van Der Linden (2004), definir parâmetros de conforto para calçados femininos, muitas vezes são subjetivos e de difícil quantificação e eis um outro grande desafio.

### **Atualidades, Críticas e Sugestões sobre Materiais e Processos**

Alterar o plástico para agregar a característica de antifúngica, para calçados é muito interessante. O filamento dos polímeros utilizados nas impressões 3Ds, ao agregar produtos químicos, podem sugerir inúmeras possibilidades estéticas e relacionadas também com a saúde.

Pensando nas propriedades dos materiais, ao invés de fabricar com deposição maciça no 3D *print*, surgem os metamateriais com porosidades e estruturas que podem ser planejadas, afim de tornar qualquer material rígido em um material com flexibilidade.

Isso é um cenário muito novo e pouco se tem aplicações práticas e comerciais, o que não impede que nos próximos 10 anos se tenha desenvolvido alguma tecnologia e máquinas que trabalham com múltiplos materiais na mesma estrutura. Será possível a fabricação de palmilhas e solados, por exemplo, com diversos tipos e propriedades de materiais, com amortecimentos, rigidez e durabilidades distintas.

### **Considerações Finais**

Na medida em que se estabelece um cenário inicial de captação das imagens de medidas dos diversos tipos de pés com seu devido arquivamento e segurança, sugerindo um outro modo de consumo e de produção de calçados, é possível obter inúmeras vantagens quanto ao conforto e performance com a adequação do produto às características anatômicas de cada consumidor, incluindo atletas, diabéticos e portadores de necessidades.

Se tornar o processo sob-medida difícil, impossibilita o sucesso de aplicação desse modelo, principalmente para o consumidor corriqueiro. Já a grande “sacada” da impressão 3D, é que ela proporciona ilimitadas formas, sendo possível escapar de qualquer padrão, dependendo apenas do designer.

A odontologia atual utiliza um sistema de produção que obtém o scanamento 3D do dente, usinando em metal, tudo isso em poucos minutos.

Esse é um serviço de usinagem sob-medida. Esse modelo permite substituir o antigo processo de moldes e agilizar o processo. A captura digital da região inferior do pé, enquanto este estiver apoiado é uma evolução necessária.

Muito mais que uma discussão de engenharia de materiais e processos de fabricação, este trabalho que faz parte de uma tese de doutorado em andamento, defendida no departamento de Design e Arquitetura da FAU/USP, trata-se de uma abordagem transdisciplinar que permeia os saberes da ergonomia, biomecânica, baropodometria, bioengenharia e fabricação digital, ambos em benefício ao design de calçados, oferecendo métodos e ferramentas para a evolução do setor calçadista. Pela melhor adequação aos diversos biotipos dos pés dos consumidores, estes tornam-se os principais beneficiários.

## Referências

ALVES F., Avelino, Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE: Análise Dinâmica, Érica, São Paulo, 2005.

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.

DANESI, Marcel. Of cigarettes, high heels, and other interesting things. New York: St. Martin's Press, 1999.

GOMES F., João, Ergonomia do Objeto: Sistema Técnico de Leitura Ergonômica, Escrituras, São Paulo, 2003.

LACERDA, Delfina Falcão, Medição Antropométrica dos Pés, Mestrado, PUC RIO, 1994.

LIPOVETSKY, Gilles, O Império do Efêmero: A Moda e seu Destino nas Sociedades Modernas, Companhia de Bolso, São Paulo, 2009.

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.

NIGG, B. M., Biomechanics of Sport Shoes. University of Calgary, 2010.

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.

SANCHES, Maria C. F., Projetando Moda: Diretrizes para Concepção de Produtos, Compilação por PIRES, Dorotéia em Design de Moda: Olhares Diversos, Estação das Letras, SP, 2008.

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.

VAN DER LINDEN, Júlio Carlos de Souza, Um Modelo Descritivo da Percepção de Conforto e de Risco em Calçados Femininos, Doutorado em Engenharia de Produção, UFRGS, 2004.