

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Artes, Arquitetura e Comunicação

PROJETO
SOU

Tênis personalizado e customizável através das
tecnologias de Prototipagem Rápida

Trabalho de Conclusão de Curso
Bacharelado em Design de Produtos

Paulo Guilherme Simão Kick
Orientação Prof. Dr. Fausto Orsi Medola

2017

AGRADECIMENTOS

Dedico esse projeto a minha família, em especial minha mãe, minha tia Ilda, minha tia Áurea pela educação e apoio que sempre me deram durante esses anos e minha irmã Juliana que também me apoiou com a revisão desse relatório.

Agradeço também ao Professor Fausto pela orientação e pelas dicas que me deu em relação ao atentamento de pontos centrais que deveria seguir. Ao Professor Osmar que também me ajudou muito nesse projeto e também na confiança no período que trabalhamos juntos no CADEP, onde pude aprender muito com ele.

Nesse projeto em específico agradeço primeiramente à minha amiga Amanda que aceitou meu convite de ser a usuária foco do meu trabalho, ao Professor Flávio Ventura por me dar dicas no início da minha pesquisa, à Rosangela da FATEC de Jaú por me ajudar nos exames de baropodometria, ao Aaron pela amizade em todos esses anos e por toda ajuda que me deu em diversas etapas do meu projeto, ao Luiz Fernando por me ajudar com seu conhecimento de moldes e pela amizade, ao Thiago por me auxiliar na criação do cabedal do meu modelo, à Eliane do Link3D pelo interesse no meu modelo e pela contribuição com algumas peças testes impressas e ao Isaac Loureiro do Fab LAB Livre pela ajuda e disposição em imprimir o solado.

Na minha trajetória pela faculdade agradeço a todos que tive o prazer de trabalhar na Design Júnior onde aprendi muito. Agradeço também a todos que trabalhei no CADEP, da tirei inspiração para esse projeto, em especial à última equipe que pudemos realizar juntos projetos muito bons e manter uma amizade que levarei para frente.

Agradeço a Lívia pelo companheirismo e por sempre me apoiar e me ajudar a manter a calma.

Agradeço às repúblicas amigas, em especial a Rep de Base e a Rep da Frente, na qual passei bons momentos morando com os amigos Daniel Bidido, Érico Santana, Lucas Ikeda, Lucas Coutinho e Madruga. Também agradeço aos moradores da Rep Penumbra em especial ao Juras, Juninhos, Cookie, Vini, Primo e Nazira.

Aos amigos de Bauru agradeço a amizade da Mari, Aline, Dani, Marcel, Vitão, Cortina, Letícia, Lívia Ferrari, Minoru, José, Caio, Lucas Yuji, Estelinha, Guma, Marcão, Tales, Guizão, Drink e entre muitos outros que passaram junto comigo nesse período.

SUMÁRIO

RESUMO	3
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
3. IMPORTÂNCIA	12
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4.1 CALÇADOS: HISTÓRICO	15
4.2 CALÇADOS: MERCADO	18
4.3 CALÇADOS: SNEAKERHEADS E CULTURA DO TÊNIS	21
4.4 PROTOTIPAGEM RÁPIDA	24
4.4.1 TECNOLOGIAS SUBTRATIVAS	25
4.4.2 TIPOS DE TECNOLOGIAS SUBTRATIVAS	27
4.4.3 TECNOLOGIAS ADITIVAS	30
4.4.4 TIPOS DE TECNOLOGIAS ADITIVAS	33
4.4.5 MANUFATURA ADITIVA	36
4.4.6 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA	42
4.4.7 ERGONOMIA DO PÉ	44
4.4.8 PROCESSOS USUAIS NA CONFECÇÃO DE CALÇADOS	47
4.4.9 ANÁLISE DE SIMILARES	53

5. DESENVOLVIMENTO	57
5.1 REQUISITOS DO PROJETO	58
5.2 ANÁLISE BARPODOMETRIA	59
5.3 SCANNER 3D	61
5.4 SCRIAÇÃO DA FÔRMA E ESTUDOS DO SOLADO	65
5.5 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA EM MALHA	69
5.6 DESENVOLVIMENTO DO SOLADO FINAL	76
5.7 CONCEITOS E TENDÊNCIAS	80
5.8 CUSTOMIZAÇÃO	84
5.9 MODELO VISUAL	86
6. CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	93
IMAGENS	97

RESUMO

A proposta desse projeto tem como objetivo a criação de um calçado personalizado e customizável para o usuário final através do uso de tecnologias de Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva, que tem sua indústria crescendo cada vez mais. Os conceitos de Prototipagem Rápida (PR) e Manufatura Aditiva (MA) se ampliam em um conjunto de tecnologias para se fabricar peças físicas geradas diretamente a partir de um desenho auxiliado por computador (CAD). Esses processos de fabricação são baseados na adição, conformação ou subtração de materiais.

A Manufatura Aditiva (também popularmente conhecida como Impressão 3D), em especial, ainda traz diversas vantagens em relação aos métodos de fabricação tradicionais, como a possibilidade de se produzir geometrias muito complexas, o uso de diferentes tipos de materiais, o desenvolvimento de projetos que podem facilmente estar aptos para serem fabricados com diferentes configurações, tamanhos, cores e etc.

**PALAVRAS
-CHAVE**

Design, Prototipagem Rápida, Impressão 3D, Manufatura Aditiva, Customização em Massa, Calçados

ABSTRACT

The proposal of this project is the study and creation of a customizable footwear through the processes of Additive Manufacture and Rapid Prototyping. These concepts (AM) and (RP) develop into technologies that generate a 3D product created directly from a CAD program. These processes of production are based on addition, conformation or subtraction of materials.

Additive Manufacture (popularly known as 3D impression), offers a range of advantages comparing to traditional manufacture methods, such as utilization of complex geometrical structures, use of alternative materials and development of products that can be easily customizable and ready to be produced in different sizes, colors, settings, etc.

KEYWORDS

Design, Rapid Prototyping, 3D Printing, Additive Manufacturing, Mass Customization, Footwear

01

INTRODUÇÃO

Calçados, em específico os tênis, representam um produto com uma ligação e identificação muito grande com o usuário. O tênis é um dos poucos bens de consumo que possuem uma comunidade e uma cultura própria, onde seus adeptos acompanham novidades como lançamentos, edições limitadas e raras. Além disso, uma grande vertente é a customização de tênis já existentes, sempre tentando deixar o produto ligado com a personalidade de seu dono.

A criação de novos produtos se baseia em muitas metodologias, ferramentas e tecnologias até se chegar ao resultado final. Esses processos são usualmente tradicionais e trazem produtos seriados como pouquíssimas opções de variedade. Com a ascensão da Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva, esse cenário pode mudar, trazendo também aos bens de consumo diferentes produtos com inúmeras possibilidades de customização e personalização.

Dessa forma esse projeto pretende explorar a possibilidade de desenvolvimento de um calçado com base em informações do usuário final, afim de se criar um produto único e que atenda às suas necessidades de conforto como também sua personalidade e individualidade.

02

OBJETIVOS

Por ser um produto de uso intenso e cotidiano, o tênis carrega questões importantes como conforto e adaptação, que ainda são um problema. Devido aos métodos de fabricação convencionais, ainda não se é possível atingir um produto feito especialmente para o usuário e suas necessidades de maneira a se atingir num futuro breve uma produção industrial através da Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva aliado a ferramentas digitais como escaneamento 3D, metrologia ótica, modelagem CAD e softwares de simulação.

A proposta do trabalho é o desenvolvimento de um tênis voltado para o usuário final com tecnologias de Prototipagem Rápida tanto aditiva como subtrativa, levando em consideração o formato do seu pé, através de processos de inspeção 3D ótica, a pisada do seu pé, através de medições com um Baropodômetro Eletrônico Modular (tanto estática, dinâmica e postural) e também opções de customização do usuário, outro ponto que a tecnologia possibilita.

03

IMPORTÂNCIA

O uso constante de um calçado errado ou mal projetado para uma determinada pessoa, pode trazer muitas dores e incômodos, que normalmente são diagnosticadas após um período longo de uso.

A ideia de se ter um produto personalizado com tecnologias de prototipagem rápida, vem se tornando cada vez mais presentes em diversos setores. No setor calçadista, algumas empresas usam essa tecnologia de forma paliativa no desenvolvimento de palmilhas ortopédicas, por exemplo. Essas palmilhas são feitas com base em apenas um par de calçados.

Ao longo do tempo a preocupação com aspectos de conforto esteve presente na elaboração de calçados. É muito importante o foco na antropometria, biomecânica e usabilidade, para se analisar e o calçado ser bem desenvolvido de maneira adequada e possa atender as necessidades do usuário trazendo conforto e satisfação.

Os aspectos que mais contribuem para o desconforto dos pés nos calçados é geralmente a questão de numeração, do tipo de pisada e formato do pé e a presença de aspectos individuais que causam desconforto como joanete, suor, mau odor assim como doenças (CASTRO, 2007).

Além dos pontos relacionados ao conforto e a saúde, devemos salientar que em um sistema produtivo industrial, a demanda por personalização, por parte dos consumidores, irá em algum momento pressionar as empresas a se adaptarem e criarem alternativas de famílias de produtos, contudo atualmente ainda é muito custoso para se alcançar essa realidade.

A customização em massa (CM) é um conceito emergente na indústria destinado a fornecer produtos customizados através de processos flexíveis em grandes volumes e com custos razoavelmente baixos (FRUTOS & BORENSTEIN, 2004). É um grande desafio que através da PR e MA, podem se tornar realidade de maneira mais proveitosa e fluida.

04

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 CALÇADOS: HISTÓRICO

Os primeiros calçados dos homens primitivos eram feitos de couro animal cru costurado ou folhas amarradas do tamanho do pé do usuário. Os modelos mais antigos encontrados em sítios arqueológicos datam de aproximadamente 5500 anos, porém se estima que há 40000 anos os homens antigos já mantinham os hábitos de usar algum tipo de calçado.



Figura 1 - O modelo da foto acima foi encontrado em uma caverna da Armênia, com aparência de mocassim, com tira de couro e com revestimento interno de feno.

Feitos de materiais que se degradaram com o tempo, poucos exemplares tão antigos quanto esse encontrados tiveram a oportunidade de serem encontrados em por arqueólogos.

Já no Período Antigo, os calçados tinham um prestígio também social do indivíduo, indicando sua classe. No Egito escravos andavam descalços e homens livres caminhavam com sapatos e em Roma com as sandálias estilo militar.



Figura 2 - Sandália egípcia



Figura 3 - Sandália militar romana "Caliga"

calçados tinham significado e importância também na sua ordem social, principalmente representavam os direitos de um indivíduo, sua segurança e prosperidade (McDOWELL, 1989).

Ao início do século XII, em toda a Europa, principalmente na França e na Inglaterra, começaram a se popularizar os modelos conhecidos como "poulaines" ou "crackowes". Esse calçado era característico pelo estreitamento e bico alongado. O comprimento do bico também era proporcional a posição social que o indivíduo estava na sociedade. Isso também indicava uma competição hierárquica, com nobres e senhores feudais disputando quem tinha o sapato mais alongado.

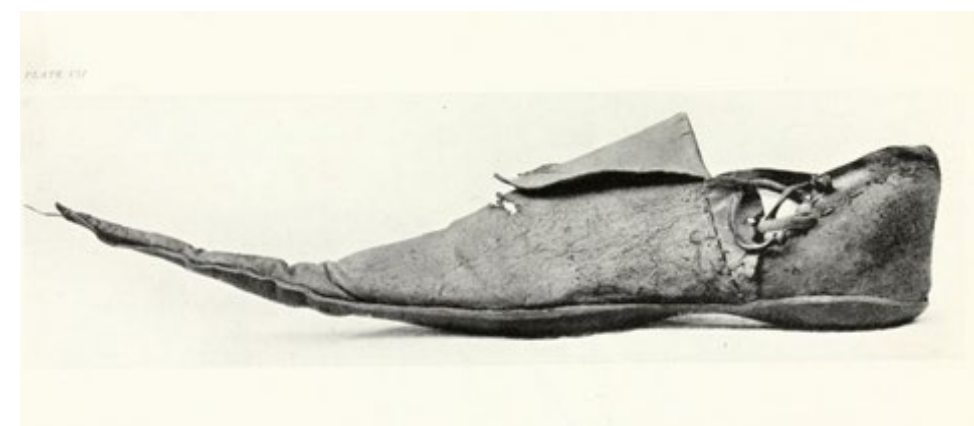


Figura 4 - Modelo antigo "poulaines"

Provavelmente, foram os antigos egípcios os primeiros a desenvolver o ofício de sapateiro, como registra um afresco reconstruído da XVIII dinastia egípcia por volta de 1.500 a.C., encontrado no Museu Metropolitano em Nova York. A arte de fazer calçados continuou na Grécia, assim como data um vaso de 500 a.C., exposto no Museu Ashmolean em Oxford, na Inglaterra. A peça retrata um reparador de calçados em seu ateliê (BOSSAN, 2008).

Segundo McDowell (1989), os primeiros sapateiros eram homens e seguiam os padrões da Grécia Antiga, onde os sapateiros passavam solitárias horas de trabalho. Já os sapateiros romanos costumavam se amontoar em uma rua particular, assim como na Londres medieval, onde os sapateiros se encontravam ao redor das áreas do Royal Exchange e St. Martin lê Grand. A habilidade de um sapateiro era equiparada a de um artista, e os sapatos elevados a obras de arte. Muitos sapateiros se tornaram homens ricos

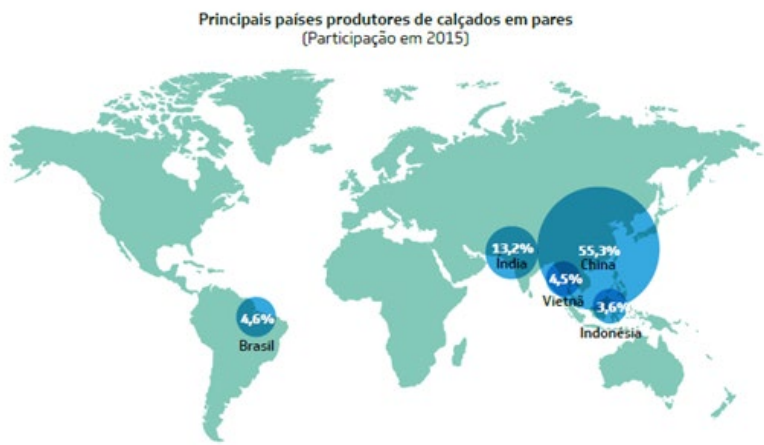
Já na Idade Média, os artesãos calçadistas prosperaram obtendo lucros vendendo seus produtos aos nobres e senhores feudais. Nessa época, entre os homens, os

4.2 CALÇADOS: MERCADO

No ano de 2016, foram comercializados 18,6 bilhões de pares de calçados, o que pode ser considerado positivo mediante um ano turbulento, de incertezas econômicas e políticas na área internacional. A expectativa, no entanto, é de uma recuperação do consumo mundial de calçados, em 2017.



No ano de 2015, os países asiáticos que se localizavam entre os dez maiores produtores de calçados do mundo (China, Índia, Vietnã, Indonésia, Paquistão e Tailândia) representaram 79% desta produção mundial. Além do mais, neste mesmo ano, Brasil e México, os dois únicos países pertencentes à América Latina listados entre os maiores produtores de calçados do mundo, contribuíram com 6% da produção mundial (ABILCALÇADOS, 2017).

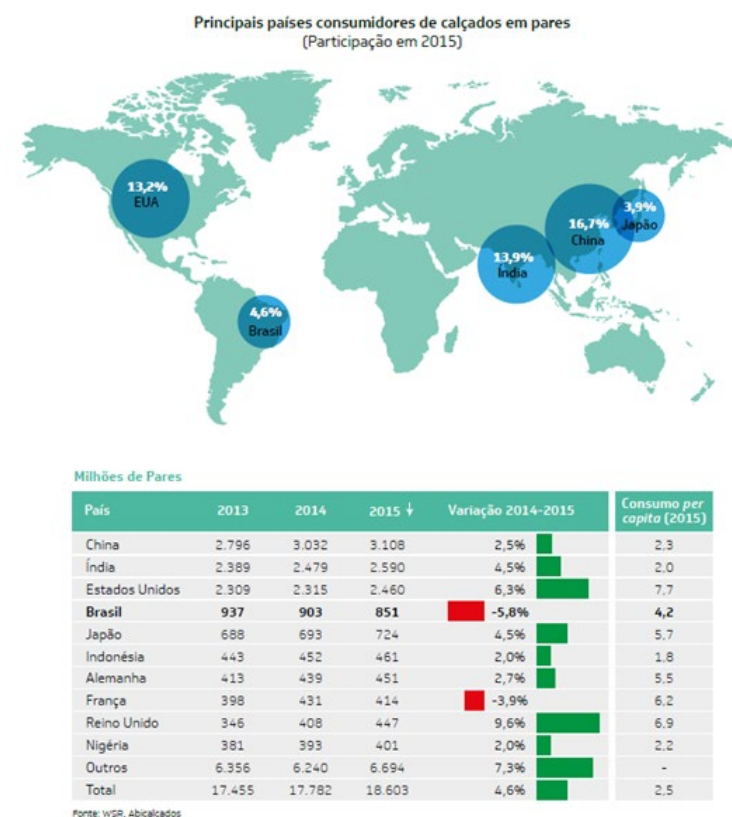


Milhões de Pares

País	2013	2014	2015 ↓	Variação 2014-2015
China	11.353	11.693	11.322	-3,2%
Índia	2.480	2.579	2.698	4,6%
Brasil	1.021	996	942	-5,4%
Vietnã	779	854	927	8,5%
Indonésia	695	715	733	2,5%
Nigéria	384	393	406	3,3%
Paquistão	237	245	251	2,4%
México	266	240	250	4,2%
Tailândia	221	222	226	1,8%
Itália	202	197	191	-3,0%
Outros	2.245	1.987	2.529	27,3%
Total	19.882	20.118	20.477	1,8%

Fonte: WSR

Quando se compara, em 2015, os dez maiores países consumidores de calçados (em pares) do mundo e os dez países mais populosos, verifica-se, nas duas listas, os seguintes países: China, Índia, Estados Unidos, Brasil, Indonésia, Japão e Nigéria. Por consequência, os únicos países que não estão entre as maiores populações do mundo e são grandes consumidores de calçados são aqueles pertencentes ao continente Europeu – Alemanha, França e Reino Unido. Assim, é possível afirmar que esses três países, mais os Estados Unidos, são grandes consumidores de calçados em termos per capita (ABILCALÇADOS, 2017).



Como consequência da capacidade produtiva e da competitividade internacional, a China, em 2015, posiciona-se como o principal exportador mundial, em termos de valor (US\$) e pares. Esse país asiático apresenta 69,2% das exportações mundiais, medidas em pares, tal que, ao se definir as exportações em US\$, a economia chinesa detém 41,2% das exportações mundiais. Com isso, confirma-se a manutenção dos negócios internacionais de calçados das empresas localizadas na China, a partir de um posicionamento competitivo via preços médios baixos (ABILCALÇADOS, 2017).

4.3 CALÇADOS: SNEAKERHEADS E CULTURA DO TÊNIS

Calçados não só estão presente no mundo da moda como também geram um grande entusiasmo guiado por consumidores apaixonados por esses itens. O termo “Sneakers” (do inglês, tênis) se designa para um tipo de calçado mais atlético, que esteja também num contexto do mundo da moda. Nas últimas três décadas, através da propaganda guiada ao comportamento dos consumidores de tênis, uma cultura foi estabelecida seguindo até os dias de hoje.

Pessoas que compram, colecionam, revendem e se interessam muito por tênis, são conhecidas também por “Sneakerheads” (tradução livre do inglês para “Cabeças de tênis”), eles criaram uma cultura própria, apoiada por meios de comunicação e comunidades online focadas nesse assunto.

Um dos maiores ícones que remete ao começo dessa cultura são os tênis Nike Air Jordan, um verdadeiro fenômeno nos EUA e no mundo, que gerou o desejo de toda uma geração que acompanhou a performance, fora do habitual, do jogador de basquete Michael Jordan. A cada nova temporada o jogador surgia com um novo modelo da sua linha de tênis Air Jordan e acompanhado das conquistas de seu time e uma forte campanha publicitária, o produto começou a ser cultuado e até o presente momento novos modelos são lançados.



Figura 5 - Air Jordan I - “Notorious” – Lançado em 1984

Após Michael Jordan, muitos outros jogadores de basquete de destaque começaram a lançar suas versões assinadas de tênis, estabelecendo um setor da indústria que viria a crescer e se desenvolver sobre o nome de grandes marcas como Nike, Adidas, Puma, New Balance, Asics e etc. Mas foi com o surgimento do movimento Hip Hop, trazendo elementos novos de arte, dança e moda, que a cultura do tênis se estabeleceu.

Em 1986 o grupo de Hip Hop Run D.M.C. lança a música “My Adidas”, com a letra enaltecendo seus tênis da marca de mesmo nome, e se gabando do grande número de pares que possui. O sucesso foi instantâneo e outros rappers também tomaram pra si os tênis como uma de suas marcas na cultura Hip Hop, compondo músicas citando seus modelos favoritos, e também trabalhando com grandes marcas aparecendo em público para serem fotografados propositalmente com modelos ainda não lançados, gerando uma grande movimentação de interesse por parte dos seus fãs e de toda a cultura “Sneaker”.

Com uma cultura estabelecida, e também um mercado interno de revendas, cada vez mais surgiram modelos raros, ou seja, edições super limitadas e caras, normalmente assinadas por designers famosos, celebridades e até mesmo artistas renomados das artes plásticas. Um exemplo é o modelo Nike Dunk Low Pro SB ‘Paris’ lançado em 2002, com estampa das obras do pintor francês Bernard Buffet. Foram produzidos apenas 202 pares desse modelo, com preço de venda de U\$3500, tendo suas vendas encerradas em poucos minutos e posteriormente modelos sendo revendidos em sites de leilões virtuais por até U\$1500.



Figura 6 - Nike Dunk Low Pro SB ‘Paris’

Não somente modelos super-raros geram uma animação nos consumidores, os lançamentos que contam com um número maior de produção também se tornam verdadeiros eventos nas portas das lojas.

Não é incomum pessoas esperarem horas, ou até mesmo dias acampadas, para garantir um modelo novo. Algo que é facilmente encontrado nessas filas de lançamentos, são pessoas pagas para esperar e comprar os tênis para outras que estejam dispostas a pagar e não perder tempo nessas longas filas.



Figura 7 - Lançamento do modelo Nike Lebron X Cork, em Londres 2013

Na busca por exclusividade, os “Sneakerheads” não se mantêm apenas na busca dos modelos oficiais lançados pelas grandes marcas, o movimento de customização também é uma grande marca entre os usuários.

Os próprios lançamentos segmentados de designers que criam uma arte diferente de um modelo já renomado, como também existem comunidades online que ensinam técnicas de customização e ministram Workshops, e também empresas prestam esse serviço vendendo modelos com sua própria identidade que variam de técnicas de bordado e pintura. A exclusividade e tentar deixar esse produto com a personalidade de quem está usando é uma das maiores características desse segmento.

4.4 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Prototipagem rápida (PR) é o conjunto de tecnologias utilizadas para fabricar rapidamente modelos, protótipos e produções de baixa escala através de coordenadas guiadas por Comando Numérico Computadorizado, do inglês Computer Numerical Command (CNC). Segundo BEAMAN (1997), essas tecnologias são capazes de produzir objetos sólidos complexos diretamente de um modelo de computador do inglês Computer Aided Design (CAD), sem ferramental e conhecimento específico.

O método que está sendo mais difundindo hoje nas grandes mídias é o das tecnologias aditivas, também conhecido como Impressão 3D, no qual o modelo CAD desenvolvido é criado a partir da sobreposição de camadas bidimensionais (máscaras separando o que é pela e o que não é), ao final do processo a totalização dessas camadas se tem a forma desejada completa. Exemplos aditivos de fabricação: a maioria de formas de impressão 3D como Stereolithography (SLA) e Selective Laser Sintering (SLS).

O método subtrativo é um processo que a partir de um bloco de material, de diferentes tipos, se remove gradativamente o excesso de material, preservando as formas do modelo CAD através de uma ferramenta de corte. Alguns exemplos de fabricação por subtração: CNC, fresagem, torneamento, perfuração, serragem, trituração, corte a laser, corte a jato de água de alta pressão.

4.4.1 TECNOLOGIAS SUBTRATIVAS

O conceito “Comando Numérico”, surgiu inicialmente nos anos de 1949/50, nos Estados Unidos da América, no Massachusetts Institute of Technology (MIT), quando sob a tutela da Parsons Corporation e da Força Aérea dos Estados Unidos da América, desenvolveu-se um projeto específico que tratava do desenvolvimento de um sistema aplicável às máquinas-ferramenta para controlar a posição de seus fusos, de acordo com os dados fornecidos por um computador.

O Massachusetts Institute of Technology apresentou um comando com entrada de dados através de fita magnética. A aplicação ainda não era significativa, pois faltava confiança, os custos eram altos e a experiência muito pequena. Na década de 60, foram desenvolvidos novos sistemas, máquinas foram especialmente projetadas para receberem Comandos Numéricos e aumentou muito a aplicação no campo da metalurgia.

Após este período a Força Aérea Norte americana teve um desenvolvimento extraordinário pois peças complexas e de grande precisão empregadas na fabricação das aeronaves, principalmente os aviões a jato de uso militar, passaram a ser produzidas de forma simples e rápida, reduzindo-se os prazos de entrega do produto desde o projeto até o acabamento final.

A partir de 1957 uma corrida atrás da fabricação de máquinas de comando numérico começa a crescer exponencialmente nos Estados Unidos da América, pois até então a indústria apenas lidava em adaptações do uso do CNC em máquinas convencionais. Surge então novos fabricantes, desenvolvendo também seus próprios comandos, levando ao problema, por exemplo, da falta de uma linguagem única e padronizada pois cada fabricante tinha sua própria linguagem CNC, o que dificultava a rotina de empresas que possuíam diversas máquinas de diferentes fornecedores.

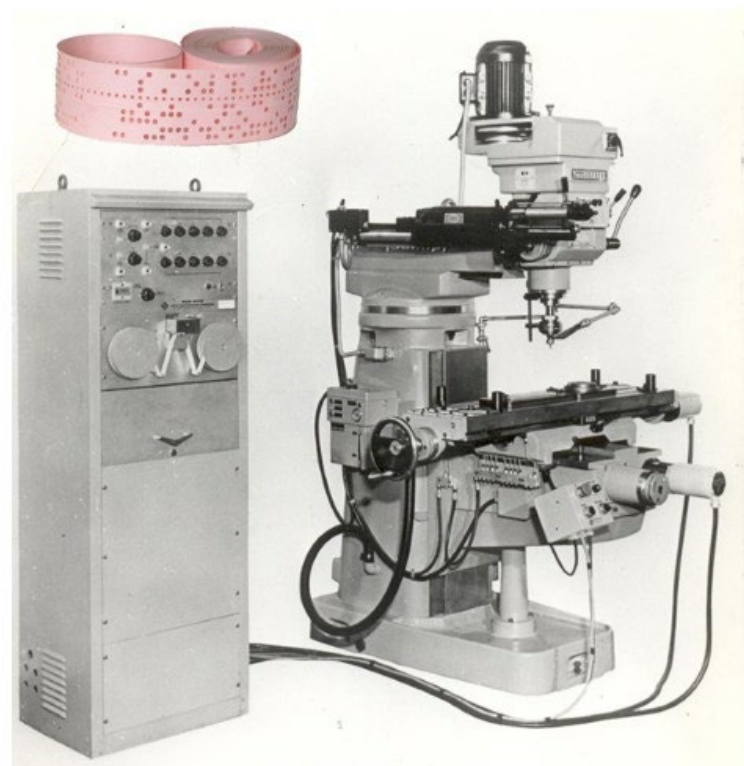


Figura 8 - Máquina Fresadora NC controlado por Fita Perfurada

Em 1958 através da EIA (Eletronic Industries Association), organizou-se estudos para se chegar a uma linguagem padrão. Se criou o padrão RS-244, que depois passou a se chamar EIA244A ou ASCII (SMID, 2000).

Durante os anos novas linguagens foram desenvolvidas, alinhando com o aparecimento do circuito integrado, houve uma redução no tamanho dos comandos, simplificando sua aplicação em relação ao surgimento e desenvolvimento da tecnologia.

A necessidade de se aumentar a eficiência e a precisão na programação CNC tem sido a maior razão que tem levado ao desenvolvimento de uma variedade de métodos que utilizam o computador para preparar programas de usinagem. Desde os anos 70, sistemas CAD tem um importante papel em programação CNC por adicionar o aspecto visual (Preston, 1984). A sigla CAD/CAM significa “desenho auxiliado por computador” e “manufatura auxiliada por computador”. O CAD cobre a área de engenharia de projeto e o CAM a área de manufatura computadorizada.

4.4.2 TIPOS DE TECNOLOGIAS SUBTRATIVAS

São diversos os tipos de tecnologias subtrativas, variando em relação à ferramenta utilizada, técnica, velocidade e avanço. Todas tem em comum a utilização do G-Code, que é a linguagem padrão de programação que faz a máquina CNC trabalhar. O G-Code é gerado por um programa CAM (do inglês Computer Aided Manufacturing), isto é, um software que te dá as opções para escolher por qual caminho a ferramenta deve percorrer através dos eixos X, Y, Z e outros adicionais como eixo rotativo na base ou na ferramenta, o quanto irá penetrar no material bruto e sua velocidade.

Com uma visão ampla, deve-se se preocupar com a velocidade da ferramenta, ou seja, sua velocidade tangencial. É a velocidade do ponto de contato entre o corte da ferramenta e a superfície do material. Essa velocidade é uma relação entre o diâmetro da ferramenta de corte e a rotação do motor (ou Spindle).

Já o avanço é a velocidade de movimento da ferramenta de corte ao se deslocar ao longo dos eixos. Usando tabelas de relações de ferramentas x velocidades x avanço, com base no material, é possível alcançar a velocidade ideal e segura para a execução da usinagem.

Torno CNC:

Os tornos são especialmente usados para peças que possuem simetria em torno de um eixo. No mínimo, os tornos podem ser controlados em 2 eixos, X e Z. Geralmente a ferramenta de corte é fixa, e a peça gira em torno de seu próprio eixo.



Figura 9 - Torno CNC

Fresadora CNC:

Em uma fresadora a ferramenta de corte é rotativa, a fresa. A peça a ser usinada é fixa em uma mesa móvel ao longo do eixos XY. As fresadoras possuem no mínimo a capacidade de usinar em 3 eixos, XYZ. Centros de usinagem avançados podem ter mais que 3 eixos, inclusive desempenham funções de torno e fresadora ao mesmo tempo.



Figura 10 - Fresadora CNC

Corte a Laser:

O corte a laser é uma técnica que usa luz ao invés de energia mecânica. É uma ferramenta que permite o usuário controlar a forma e a quantidade de energia dirigida a um determinado caminho através do G-Code. Devido à sua baixa divergência e muita energia concentrada, o laser mostra-se uma técnica muito boa de corte, pois ao contrário de uma fresadora CNC, por exemplo, que a geometria do desenho depende totalmente dos raios das ferramentas, o laser devido sua concentração em um único ponto de energia, consegue ser muito eficiente para peças de precisão, marcação e gravação.



Figura 11 - Cortadora a laser

4.4.3 TECNOLOGIAS ADITIVAS

No início de 1890, Blanner (Blanner, 1892) sugeriu um método por camadas para a fabricação de molde para mapas topográficos. O método consistia em imprimir contornos topográficos em uma série de discos de cera e cortar os discos no formato dessas linhas. Após empilhar e alisar essas seções de cera, se obtia um modelo tridimensional positivo e negativo do terreno. Então com o devido tratamento dessas superfícies, um mapa impresso de papel era prensado entre os moldes para criar um modelo topográfico com profundidade (BEAMAN, 1997).

Em 1972, Matsubara, da Mitsubishi Motors, propôs um método de construção a partir de uma resina fotopolimerizável. A resina em questão era coberta com partículas refratárias (por exemplo: pó de grafite ou areia) e curada a partir da emissão de uma fonte de luz coerente, no caso específico uma lâmpada de vapor de mercúrio, a qual era seletivamente projetada, provocando o endurecimento de uma determinada região. As finas camadas formadas a partir do método proposto eram sobrepostas sequencialmente, constituindo-se posteriormente em um modelo de fundição (VOLPATO, 2007).

A primeira técnica de se produzir um protótipo a partir de um arquivo virtual foi descoberta por Chuck Hull em 1984. A invenção de Hull foi cunhada de Estereolitografia ou Stereolithography (SLA) e patenteada em 1986. Esta técnica pioneira de prototipagem rápida foi definida pelo próprio inventor como “método e máquina para fazer objetos sólidos através da impressão sucessiva de finas camadas do material UV curável, uma em cima da outra”. (HULL, 1986)

A Estereolitografia usa uma determinada resina que possui característica de se solidificar na exposição de raios ultra violeta, assim a radiação UV é projetada em sucessivas camadas que vão se solidificando de modo que a construção se dá verticalmente à base até o último ponto do eixo.

Ao final dos anos 80 Hull funda a 3D Systems, sendo uma das empresas pioneiras a apresentar ao mundo o desenvolvimento da técnica de fabricação aditiva através da técnica SLA que era totalmente incomum naquela época. A Estereolitografia, e outras técnicas que viriam a surgir, permitiu se fabricar geometrias que não seriam possíveis de serem feitas nos métodos tradicionais, além de apresentar um potencial de fabricação customizada que dispensava moldes pré-fabricados, ferramentas e adaptações ferramentais.

Logo em seguida da invenção da técnica SLA, surge a técnica de Modelagem de

Deposição Fundida, do inglês Fused Deposition Modeling (FDM) patenteada em 1989 por Scott Crump. Nas próximas décadas também surgem a técnica de Sinterização Seletiva por Laser, do inglês Selective Laser Sintering (SLS), Selective Laser Melting (SLM) ou derretimento a laser, Polyjet entre outras.

As técnicas de impressão 3D possuem similaridades e particularidades. Entre as particularidades, destaca-se a característica de produzirem diretamente através de um arquivo digital, fato este que reduz os custos de produção, armazenagem e transporte de ferramentas. (CASEY, 2009)

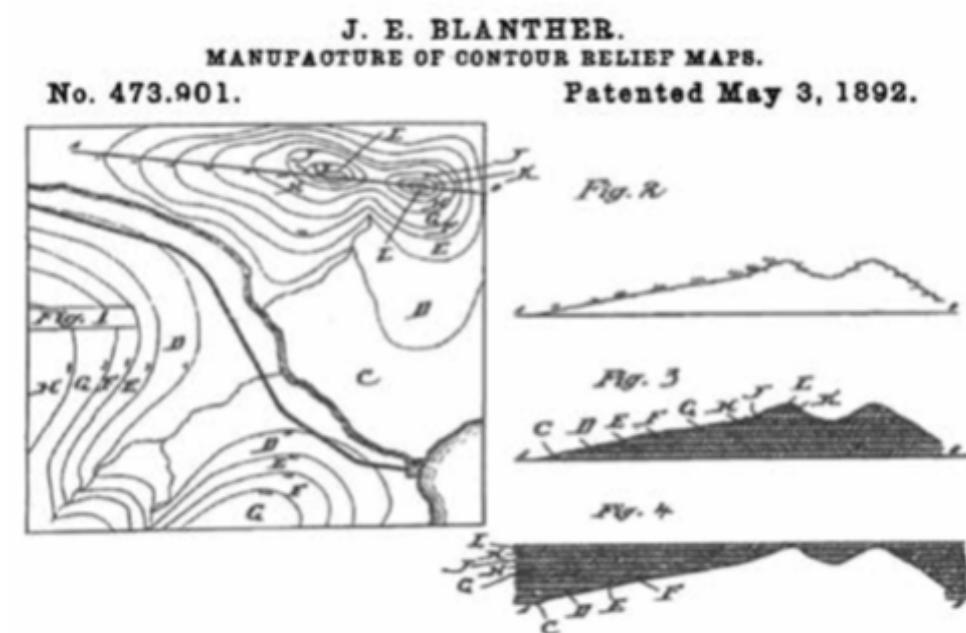


Figura 12 - - Molde em camadas para mapa proposto em 1892

No início de 1890, Blanner (Blanner, 1892) sugeriu um método por camadas para a fabricação de molde para mapas topográficos. O método consistia em imprimir contornos topográficos em uma série de discos de cera e cortar os discos no formato dessas linhas. Após empilhar e alisar essas seções de cera, se obtia um modelo tridimensional positivo e negativo do terreno. Então com o devido tratamento dessas superfícies, um mapa impresso de papel era prensado entre os moldes para criar um modelo topográfico com profundidade (BEAMAN, 1997).

Em 1972, Matsubara, da Mitsubishi Motors, propôs um método de construção a partir de uma resina fotopolimerizável. A resina em questão era coberta com partículas refratárias (por exemplo: pó de grafite ou areia) e curada a partir da emissão de uma fonte de luz coerente, no caso específico uma lâmpada de vapor de mercúrio, a qual era seletivamente projetada, provocando o endurecimento de uma determinada região. As finas camadas formadas a partir do método proposto eram sobrepostas sequencialmente, constituindo-

se posteriormente em um modelo de fundição (VOLPATO, 2007).

A primeira técnica de se produzir um protótipo a partir de um arquivo virtual foi descoberta por Chuck Hull em 1984. A invenção de Hull foi cunhada de Estereolitografia ou Stereolithography (SLA) e patenteada em 1986. Esta técnica pioneira de prototipagem rápida foi definida pelo próprio inventor como “método e máquina para fazer objetos sólidos através da impressão sucessiva de finas camadas do material UV curável, uma em cima da outra”. (HULL, 1986)

A Estereolitografia usa uma determinada resina que possui característica de se solidificar na exposição de raios ultra violeta, assim a radiação UV é projetada em sucessivas camadas que vão se solidificando de modo que a construção se dá verticalmente à base até o último ponto do eixo.

Ao final dos anos 80 Hull funda a 3D Systems, sendo uma das empresas pioneiras a apresentar ao mundo o desenvolvimento da técnica de fabricação aditiva através da técnica SLA que era totalmente incomum naquela época. A Estereolitografia, e outras técnicas que viriam a surgir, permitiu se fabricar geometrias que não seriam possíveis de serem feitas nos métodos tradicionais, além de apresentar um potencial de fabricação customizada que dispensava moldes pré-fabricados, ferramentas e adaptações ferramentais.

Logo em seguida da invenção da técnica SLA, surge a técnica de Modelagem de Deposição Fundida, do inglês Fused Deposition Modeling (FDM) patenteada em 1989 por Scott Crump. Nas próximas décadas também surgem a técnica de Sinterização Seletiva por Laser, do inglês Selective Laser Sintering (SLS), Selective Laser Melting (SLM) ou derretimento a laser, Polyjet entre outras.

As técnicas de impressão 3D possuem similaridades e particularidades. Entre as particularidades, destaca-se a característica de produzirem diretamente através de um arquivo digital, fato este que reduz os custos de produção, armazenagem e transporte de ferramentas. (CASEY, 2009)

4.4.4 TIPOS DE TECNOLOGIAS ADITIVAS

O ciclo de trabalho para se obter uma peça, pode ser simplificados nas seguintes etapas: Criação do modelo CAD através de um software de modelagem > Conversão do arquivo CAD para o atual formato padrão STL (arquivo tridimensional constituído por uma malha triangular) > Fatiamento do arquivo STL em camadas transversais > Construção do modelo através da sobreposição dessas camadas uma sobre a outra > Limpeza e acabamento superficial do modelo.

As tecnologias aditivas de PR cada vez mais se expandem devido ao avanço em pesquisa e desenvolvimento de hardware e software. Já são os diversos tipos de classificação enquanto a técnica de se prototipar uma peça. Alguns dos principais sistemas de PR estão descritos abaixo:

Estereolitografia (SLA, do inglês Stereolithography):

O modelo tridimensional é construído a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz ultravioleta. É construído sobre uma plataforma situada abaixo da superfície de um banho líquido de resina.

Uma fonte de raio laser ultravioleta, define a primeira camada, solidificando a seção transversal do modelo e deixando as demais áreas líquidas, a plataforma sobe um pouco e em seguida a próxima camada é feita, o processo é repetido sucessivas vezes até o modelo estar completo. Devido ao fato das peças ser construída num tanque de material líquido, dependendo da falta de auto sustentação da geometria, é necessário a construção de um suporte desde a superfície da base, até os pontos necessários de contato do modelo.



Figura 13 - Estereolitografia (SLA)

Sinterização Seletiva a Laser (SLS, do inglês Stereolithography):

Essa técnica usa um raio laser para fundir, de forma seletiva, materiais em pó como por exemplo o nylon, elastômeros e metais em um objeto sólido. As peças são construídas sobre uma plataforma a qual está imediatamente abaixo da superfície de um recipiente preenchido com o pó. O raio laser traça a primeira camada, sinterizando o material. A plataforma é ligeiramente abaixada, reaplica-se o pó e o raio laser traça a segunda camada. O processo continua até que a peça esteja terminada. O pó em excesso que não foi sinterizado ajuda a dar suporte ao componente durante sua construção.



Figura 14 - Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM, do inglês Fused Deposition Modeling):

Filamentos termoplásticos são aquecidos e extrudados em um bico extrusor que se move no plano X-Y. A plataforma é mantida sob uma temperatura inferior à do material, de forma que o filamento termoplástico endureça rapidamente. Após esse endurecimento a plataforma se abaixa ligeiramente e o bico extrusor deposita uma segunda camada sobre a primeira. O processo é repetido até a construção total do modelo. São construídos suportes durante a fabricação para segurar o modelo durante a impressão.

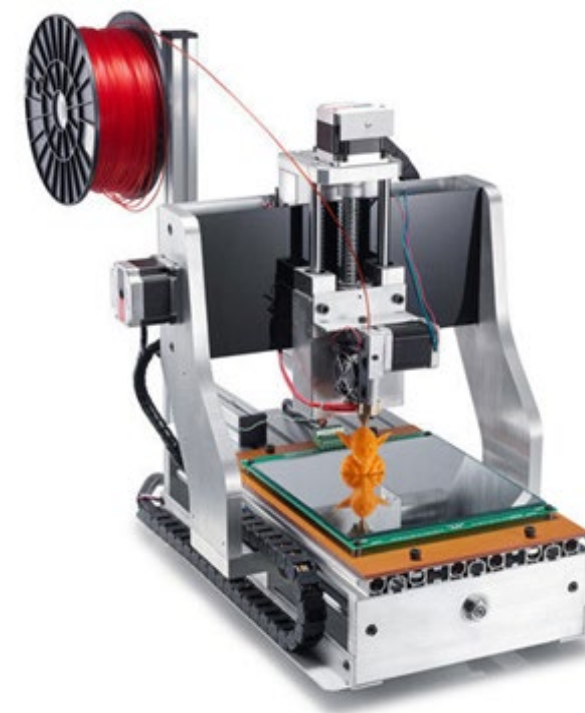


Figura 15 - Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM)

4.4.5 MANUFATURA ADITIVA

O termo Prototipagem Rápida (PR), surgiu para se referir ao processo de criação de um modelo antes de sua versão final. Essa tecnologia através dos anos foi usada amplamente no processo de criação de um novo produto, afim de testar sua geometria, encaixes e funções sem a necessidade de se fazer um protótipo através dos métodos de fabricação tradicionais.

Atualmente o termo Prototipagem Rápida está sendo questionado. Com o aprimoramento de técnicas já existentes, maior desenvolvimento em relação à hardware e software e uma maior rapidez nos processos, se gerou uma melhoria considerável na qualidade de produção. Isso trouxe uma correlação cada vez mais forte com o produto final.

Os meios de fabricação tradicionais têm o foco principalmente na produção em massa. Esses produtos possuem montagem de peças que normalmente não são complexas e sua ordem de produção prioriza a falta de diversidade no que diz respeito a formas, cores, texturas e materiais em detrimento da redução de custos e a capacidade de se produzir em grande quantidade. Um grande investimento antes da finalização de um produto é necessário em ferramentaria, que podem ser muito caros, porém esse custo é levado em consideração para ser recuperado com base na produção alta de determinado produto.

Produtos mais complexos que são produzidos no sistema de fabricação tradicional, estão condicionados no aumento de operações que elevam seu custo. Isso implica num produto que necessite de diversas etapas de processos ou se não no aumento de partes separadas que são juntadas com complicados sistemas de encaixes ou soldagem e outros tipos de junção. Isso traz um aumento considerável de material gasto e planejamento que podem fazer do produto menos durável,

Em um cenário econômico mundial muito diferente das décadas passadas, com o crescimento cada vez maior da preocupação ambiental e do questionamento do uso indiscriminado de recursos naturais, o consumo desenfreado está sendo cada vez mais questionado pelas pessoas. Os consumidores, em especial os mais jovens, exigem cada vez mais produtos ambientalmente corretos, com um ciclo de vida respeitado, que leve em conta um volume menor de produção, e também que se tenha a possibilidade de customização que seja adequado a sua personalidade e individualidade cenário globalizado.

Em comparação com os meios tradicionais de fabricação, o conceito de Manufatura

Aditiva (MA) surge como um antagonista que pode surgir como uma resposta para todos esses questionamentos. Os benefícios da MA são muitos, entre eles: a eliminação de ferramentas e constantes ajustes para o produto final ficar pronto, uma liberdade maior de design e geometria que traz a complexibilidade um pouco mais acessível ao projeto final e a possibilidade de se trabalhar numa variedade maior de um mesmo produto sem comprometer de maneira significativa as técnicas empregadas.

Produtos pensados para MA carregam a característica de ter uma possibilidade alta de customização, um design mais otimizado em relação à diversas propriedades que um produto necessite e a possibilidade de diminuir o volume original de um determinado design, ao contrário dos meios tradicionais de fabricação. Entretanto, a implementação de forma ampla da MA ainda precisa passar pelo completo entendimento da indústria no que diz respeito a um modelo de negócio, produção e estratégia de pesquisa e desenvolvimento.

Outro grande obstáculo para a implementação da MA é o atual ciclo de preparação de dados. Em resumo, o processo se dá pela conversão de um arquivo CAD em dados 2D dessa geometria fatiada, por intermédio do arquivo de formato .stl.

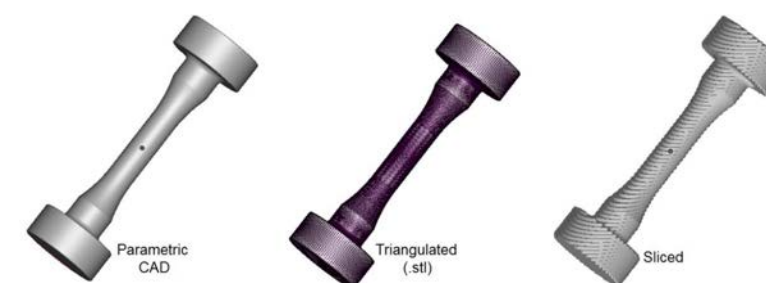


Figura 16 - Arquivo CAD - Triangulação da geometria (.stl) - Fatiamento do arquivo

O formato .stl (STereoLithography) é o padrão para o mundo da PR, foi criado em 1987 por Chuck Hull com o propósito de transferir de maneira simples informações de um modelo CAD para uma peça final prototipada. O STL funciona através de uma malha triangular carregando informações das normais da superfície, que envolve a geometria original, onde quanto mais triângulos existirem, maior será a definição superficial da geometria, como também maior será o peso do arquivo.

Se pensar nesse modelo para geometrias simples e convencionais à PR, não há muito problema, porém ao levarmos em consideração o conceito de MA onde diversas peças ocupariam uma mesma área de impressão e cada vez mais os hardwares alcançam uma fidelidade de impressão maior, chegando ao nível de microns de precisão, o reino do STL sobre essas tecnologias pode acabar. Ao levar em consideração que o STL é um formato de aproximação de uma geometria CAD, em primeiro lugar esse formato precisaria de triângulos minúsculos para alcançar a resolução ideal para peças pequenas elevando o

tamanho de arquivo de peças muito detalhadas, impossibilitando seu processamento como também seu compartilhamento. Em segundo lugar, atualmente as tecnologias já estão alcançando a possibilidade de impressão colorida de alta resolução, atributo que o formato STL não consegue carregar como informação.

Com a MA, no que diz respeito a geometrias complexas, também se pode construir objetos com sua topologia otimizada. Otimização Topológica é a aproximação numérica que identifica onde o material deve se acumular, seguindo parâmetros como furações, encaixes, áreas de pressão etc, afim de manter todas suas funcionalidades e propriedades mecânicas. A otimização Topológica é muito interessante para a indústria aeroespacial e automotiva onde redução de peso pode proporcionar uma economia considerável de energia.

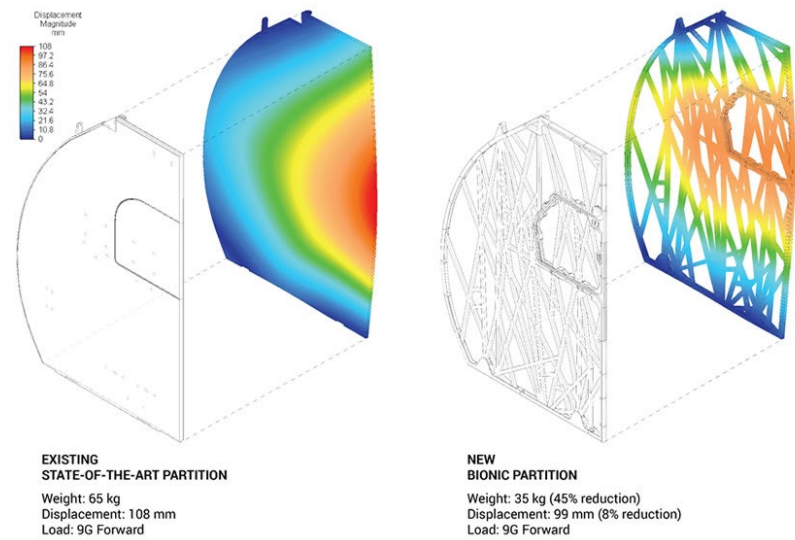


Figura 17 - Partição de cabines - Airbus

Um exemplo do uso de tecnologias de MA, é o case da parceria da empresa desenvolvedora de softwares Autodesk e a empresa fabricante de aviões Airbus. Através de softwares de modelagem, com módulos voltados para Otimização Topológica, a Autodesk desenvolveu uma partição de cabines que conseguiu alcançar a redução de 45% do peso da peça original, mantendo as necessidades iniciais de permanecer forte mesmo ao se acoplar dois assentos de tripulantes na estrutura.

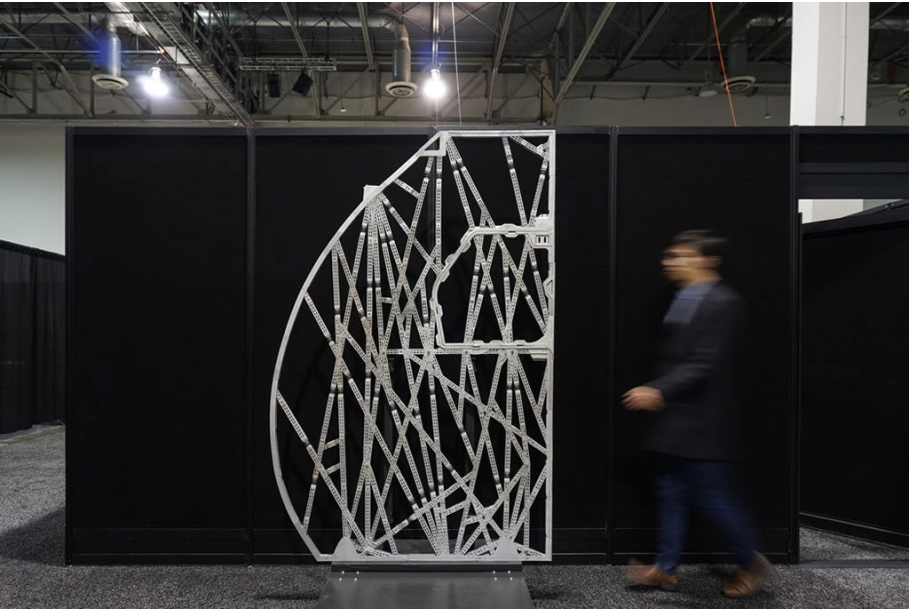


Figura 18 - Partição de cabines finalizada - Airbus

Outra possibilidade alcançada com impressões de alta resolução, é o desenvolvimento de estruturas porosas ou de estruturas tridimensionais em malha. Em relação as estruturas porosas, existe uma grande integração nos implantes médicos, trazendo uma integração maior devido a sua semelhança com o material ósseo original. As estruturas tridimensionais em malha possibilita a criação de modelos com propriedades superiores a materiais sólidos, como por exemplo diferentes níveis de rigidez em uma área usando um mesmo material e com uma diminuição do peso em relação a uma peça correlata maciça.



Figura 19 - Implante de titânio impresso em 3D com estrutura porosa

Estruturas em malha são criadas usando como base uma forma e volume inicial, então se escolhe uma unidade de célula (ou mais de uma) e a regra de padrão (espessura, distância entre uma e outra, ângulo de inclinação e etc) a se repetir baseado na geometria inicial. Então essa unidade de célula irá se repetir no padrão dado preenchendo a forma inicial.



Figura 20 - Exemplos de unidade de célula

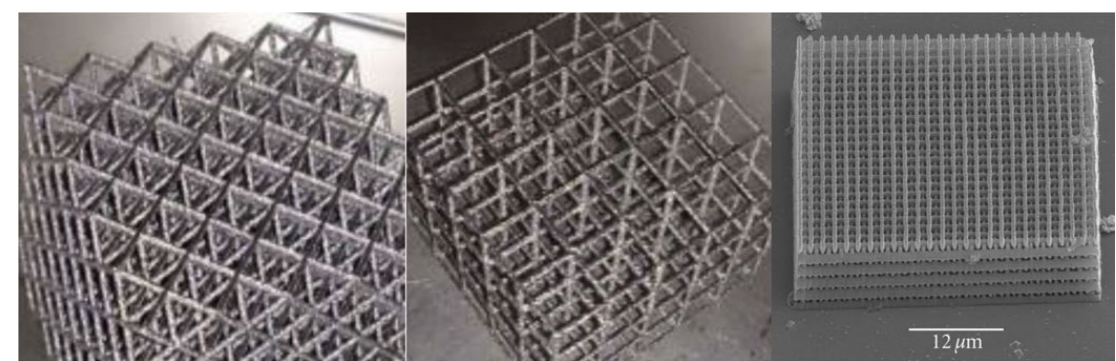


Figura 21 - Exemplos de unidade de célula aplicada em uma geometria

Um exemplo dessa técnica aplicada ao design, é o sofá “Sofa So Good” projetado pelo designer Janne Kyttanen. O modelo foi impresso numa impressora 3D de metal em cobre e cromo e através da técnica de modelagem com estruturas em malha, foi possível criar esse sofá com 1,5m de comprimento, pesando apenas 2,5 kg mantendo todas as especificações técnicas do projeto além de apresentar uma estética diferenciada.



Figura 22 - Janne Kyttanen segurando o “Sofa So Good”

4.4.6 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

A customização em massa é uma produção de bens e serviços que atendam aos anseios específicos de cada cliente individualmente, a custos comparáveis aos dos produtos não customizados (PINE, 1994). Essa ideia não está baseada na criação de uma grande variedade de produtos, mas sim trazer a possibilidade que usuários possam satisfazer suas necessidades pessoais.

A customização em massa tem como objetivo o incentivo ao consumo, proporcionando ao usuário configurar produtos mais próximo do que desejam ou do seu estilo pessoal. Mas é possível pensar a estratégia, seguindo o ponto de vista de Fletcher e Grose (2011), como uma forma de levar o usuário a entender melhor como as coisas são produzidas, conhecendo mais suas matérias primas e processos. Além de fazer com que este tenha uma maior relação de responsabilidade pelo que consome, fazendo com que o usuário queira permanecer mais tempo com seus produtos e enxergue neles novas formas de uso ou que possa alterá-lo de forma eficiente sem causar mais impacto ao ambiente.

Na indústria do tênis, mais especificamente, a Nike já atua em um seguimento chamado “Nike ID”, em que o usuário pode personalizar seu tênis escolhendo cores, logos e textos. As formas e quantidade de cores são determinadas pela empresa, que após o design ser fechado, é esperado um tempo para a confecção do modelo criado.

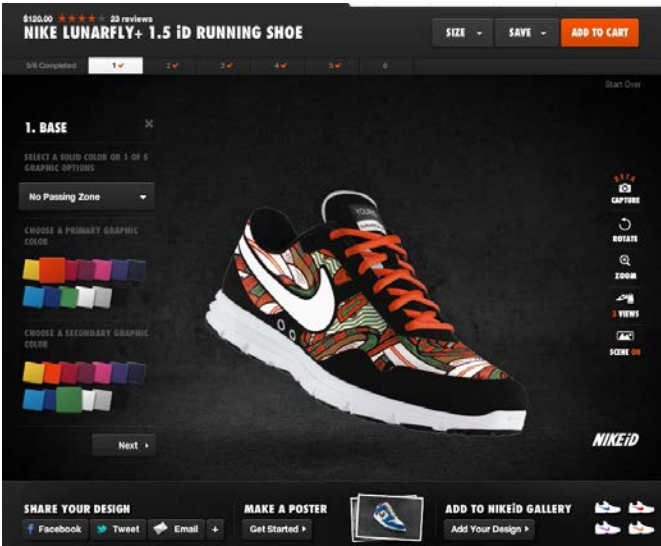


Figura 23 - Site do sistema Nike ID

Entretanto, muitos desses serviços, como o Nike Id, ainda produzem os elementos de customização na etapa pós-produção do produto, sem levar em conta também questões físicas ou que tragam uma maior interferência do usuário na etapa anterior da produção.

Com relação ao desenvolvimento de produtos, Pine (1994) indica que na produção em massa os produtos são desenvolvidos primeiro, para então serem criados os processos de fabricação, com cada processo sendo atrelado a cada produto. Já na customização em massa, os processos são criados primeiro, e o desenvolvimento de produtos é que se adapta aos processos, flexibilizando a produção. A customização em massa deve então ter o foco na variedade de personalização através de sistemas de fabricação flexíveis e dinâmicos.

Um exemplo que segue essa tendência da customização em massa é da empresa inglesa Unmade, que através da tecnologia de máquinas de costura que integram desenho digital ao sistema de fabricação de malhas, conseguiu dar a possibilidade do usuário final criar um desenho único e totalmente customizável.

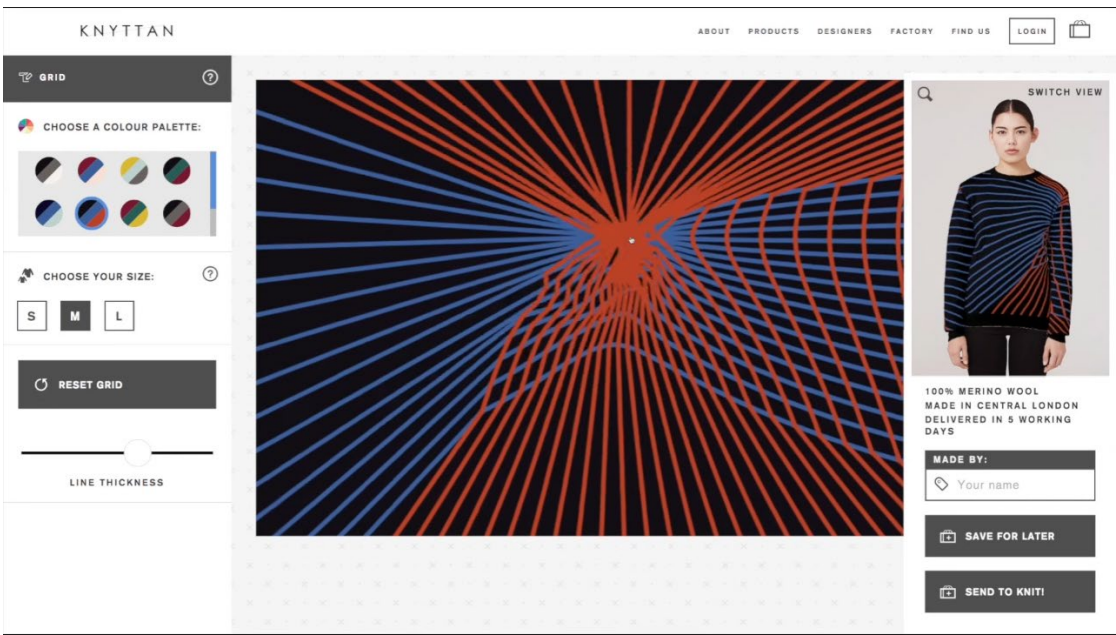


Figura 24 - Site da empresa Unmade

O sistema criado, trazia diversas opções de padrões de desenhos interativos, onde por gestos de mouse, mudanças nas espessuras de linhas e uma paleta de cor interativa, podia se alcançar diversos tipos de desenhos seguindo uma ideia inicial. Com o resultado final escolhido totalmente pelo usuário, era possível já partir para a confecção da peça final.

4.4.7 ERGONOMIA DO PÉ

No estudo da anatomia, o pé humano é descrito como a parte terminal do membro inferior que forma um ângulo reto com a perna em relação ao solo. O pé possui uma estrutura complexa constituída por 26 ossos curtos 33 articulações, 19 músculos e 107 ligamentos. Também é composto pelo sistema circulatório, derme e epiderme, esse dois últimos se encontram as unhas, pelos, glândulas sudoríparas e sebáceas (BERWANGER , 2011).

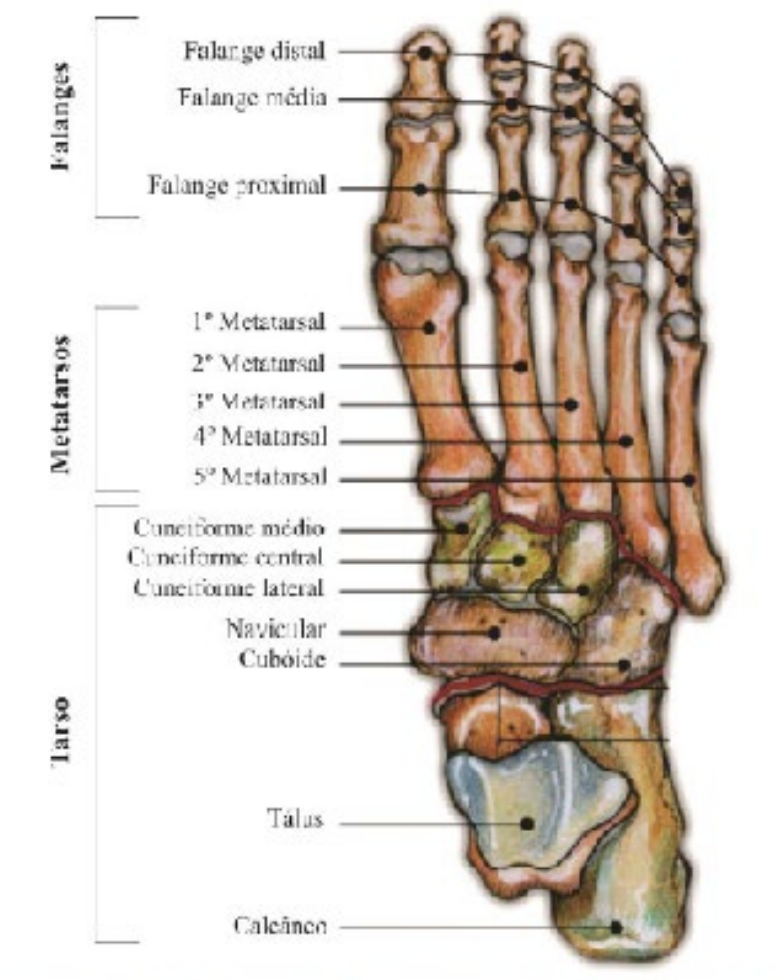


Figura 25 - Vista superior do pé direito

A parte superior recebe o nome de dorso e sua parte inferior é chamada de planta. O dorso é a parte mais delicada do pé com uma fina camada de pele, onde se concentram os tendões. Em oposição a planta do pé, que apresenta uma camada mais grossa e resistente (DANGELO; FATTINI, 2004).

Os pés podem ser classificados em dois tipos básico: em relação à formação dos arcos plantares e o tipo de pisada. No primeiro tipo, a variações dos arcos plantares são, normalmente, hereditárias e estão ligadas à área da sola do pé que o indivíduo usa como apoio. Os três diferentes tipos de pés relacionados aos arcos plantares são o pé normal, pé plano e o pé cavo.

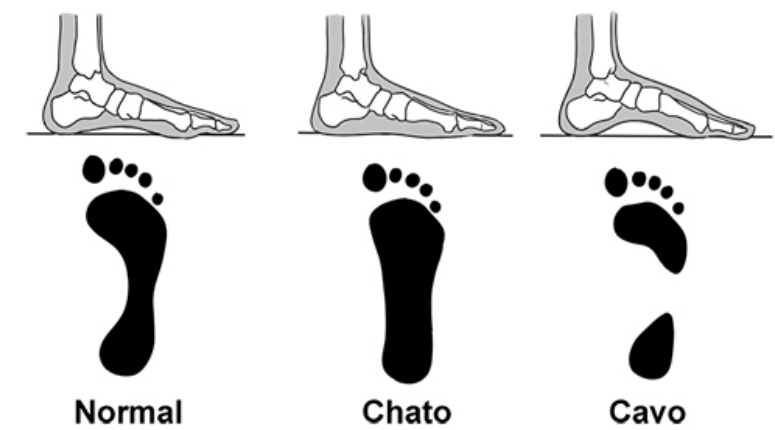


Figura 26 - Impressões plantares

O arco de pé normal é o mais comum e mais eficiente em relação a distribuição de peso e amortecimento da pisada. Ocorrendo variação acentuada na altura do arco, há uma perda de eficiência do amortecimento e absorção de impacto no andar.

O pé chato, possui o arco mais baixo, com grande área de apoio, onde quase toda a sola do pé está em contato com o solo. Durante o caminhar por ter uma pressão maior na parte de dentro do pé, esse tipo de formação pode causar dores no meio do pé, principalmente ao ficar em pé por um longo período de tempo.

Por último, o pé cavo têm o arco mais alto, com uma área de pressão concentrada no calcanhar e no metatarso. Esse tipo de pé normalmente é mais rígido e não absorve bem o impacto.

O tipo de pisada da pessoa é determinado pela maneira de como o seu pé toca o solo ao caminhar. Os três tipos de pisada são conhecidas como neutra, pronada ou supinada. O tipo de pisada normalmente estão relacionadas ao tipo de pé da pessoa, em outros casos podem existir a pisada alterada por outros fatores como por exemplo fraqueza e inativação muscular, alinhamento do joelho e etc.

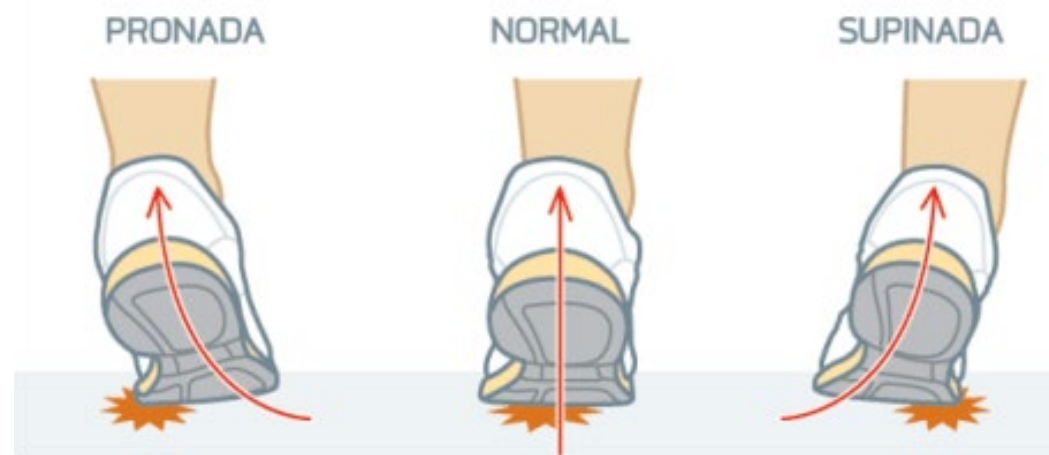


Figura 27 - Tipos de pisada

A pisada pronada começa com o lado esquerdo do calcanhar e finaliza nas regiões próximas do dedão. Nessa pisada quando a parte de fora do calcanhar toca no chão, o pé inicia uma rotação excessiva para dentro, ou algumas vezes um pouco mais para a parte interna, para então ocorrer uma rotação acentuada do pé para dentro, terminando a passada perto das pontas dos dedos.

A pisada supinada é aquela em que a pessoa utiliza a parte externa do pé e principalmente a área do dedo mínimo para se impulsionar. Essa passada inicia o esforço no calcanhar e mantém o contato do pé com o solo do lado externo, terminando a pisada na base do dedinho.

Já a pisada neutra, ou normal, tem por característica impulsionar a passada com toda a parte frontal do pé. O impulso começa com a parte externa do calcanhar e o pé rotaciona ligeiramente para dentro, acontecendo o contato com o solo do lado externo do calcanhar e então ocorre uma rotação moderada para dentro, terminando a passada no centro da planta do pé.

4.4.8 PROCESSOS USUAIS NA CONFECÇÃO DE CALÇADOS

Tudo se inicia em um briefing, onde o designer ou a equipe desenvolvedora pesquisam e procuram saber quais informações necessárias melhor se encaixam na sua proposta tais como: público alvo, estilo, materiais e etc. Com essas informações levantadas, o primeiro passo é a elaboração de esboços de conceitos. Com a direção acertada se parte para desenhos mais elaborados e então para o processo de construção. O fluxograma abaixo demonstra os passos básicos da elaboração de um novo calçado, com foco na produção de tênis:

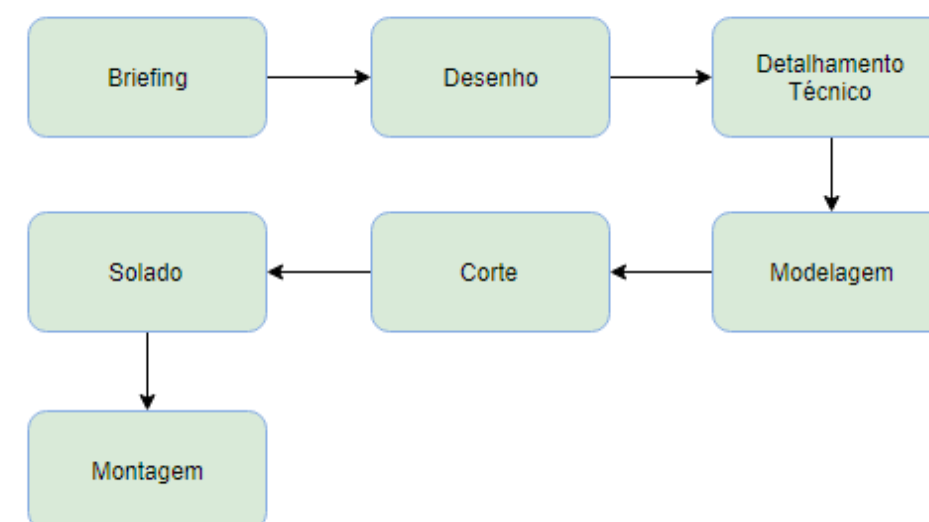


Figura 28 - Fluxograma de processos

Desenho:

A ideia central do desenho é comunicar de forma geral como o calçado irá parecer ou funcionar. A vista lateral é mais indicada para se começar uma representação bidimensional de um calçado, mantendo uma proporção mais fiel possível da silhueta do design almejado. Através da silhueta lateral é possível variar nas gerações de alternativas, refinando os traços até se alcançar a ideia final.



Figura 29 - Desenho feito a lápis, depois digitalizado e então renderizado com cores e texturas próximas do briefing

Detalhamento técnico:

Após o conceito final ser selecionado e refinado, o projeto é detalhado minuciosamente para se dar sequência à fabricação do modelo. O desenvolvedor irá transformar os desenhos em instruções para a fábrica. Será criado um pacote com especificações e documentações detalhando o material exato a ser usado, espessuras de tecido, posicionamento das artes gráficas a serem aplicadas assim como demais vistas e cortes do desenho técnico final.

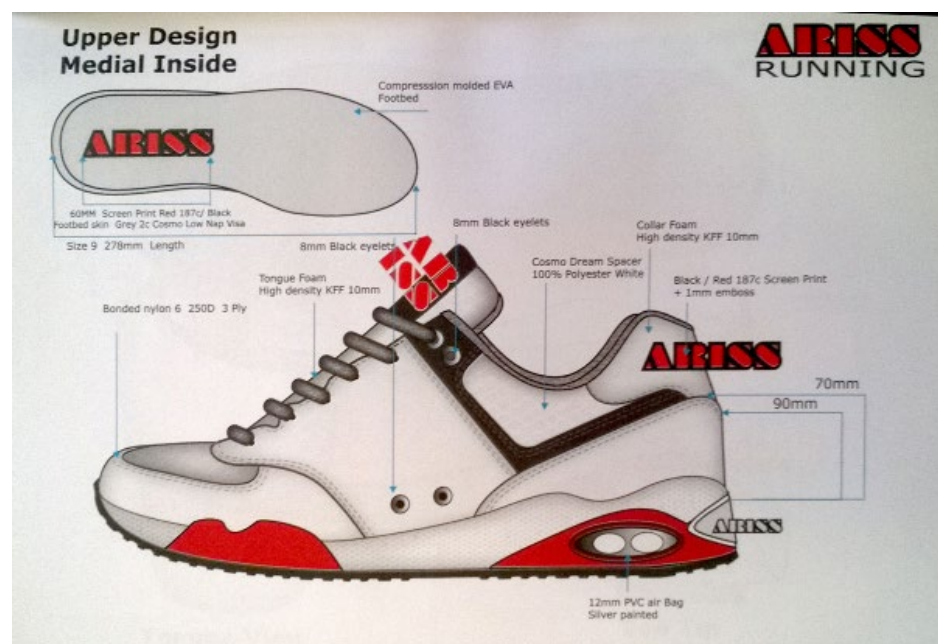


Figura 30 - Desenho técnico detalhando informações específicas

Modelagem:

Nessa etapa é necessário inicialmente o uso de uma fôrma, que é uma ferramenta que auxilia a determinar o formato, ergonomia e estilo de um calçado. Existem diversos modelos que variam de tamanho e material, são normalmente feitas de madeira, resina ou alumínio.



Figura 31 - Diferentes tipos de fôrmas

Esse processo se inicia com o revestimento da fôrma com fita adesiva branca, seguindo técnicas que evitem a formação de “rugas” ou imperfeições no envelopamento, que podem prejudicar o processo de modelagem. Com a fôrma revestida, algumas linhas básicas são traçadas, como a linha de flexão dos dedos e de altura do calcanhar, que garantem um calce bom e confortável. Após a definição dessas linhas o desenho é feito seguindo as formas.



Figura 32 - Fôrma revestida com formas desenhadas

A função da etapa de modelagem é transformar um desenho tridimensional em um molde bidimensional se obtendo o desenho planificado para as etapas posteriores.



Figura 33 - Molde criado com todas as partes diferentes do calçado

Corte:

Após a modelagem segue o processo de corte. Nesse processo pode se fazer um modelo com material qualquer e mais simplificado para testes, chamado de “camisa” ou executar o modelo final com forros e demais características definidas, chamado “cabedal”.

O processo de corte pode ser executado tanto mais artesanalmente com gabaritos e ferramentas de cortes manuais, como também contar com o auxílio de máquinas precisas que conseguem executar diversos cortes diferentes em um tempo menor.



Figura 34 - Etapa de corte auxiliada por gabaritos

Solado:

Projetado paralelamente com o conjunto do cabedal do design do calçado, o solado é a parte que fecha a montagem final. São diversos os tipos de solado existentes, feitos com diversos tipos de materiais como borracha, plástico, espuma e etc. São essenciais no que se diz respeito conforto, performance e preço. Alguns exemplos mais comuns estão listados abaixo:

Solado de PU: Esse solado é feito com espuma de PU injetada. Nesse processo a parte superior de encaixe é presa ao molde então a parte do interior do amotecimento esfria rapidamente colando na parte superior.

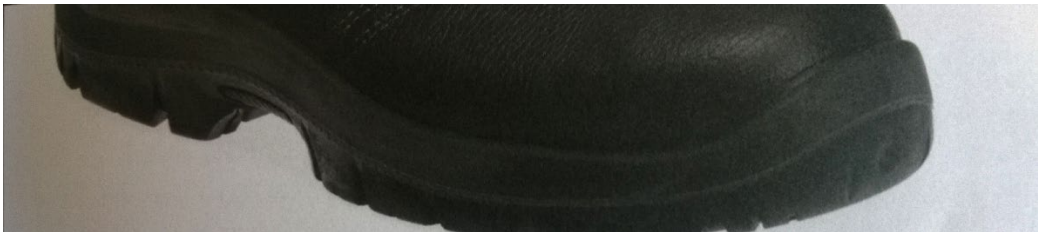


Figura 35 - Solado de PU

Solado de EVA: Esse solado é feito com um corte de perfil de um bloco de EVA. A parte superior e inferior da sola então são colados com compressão. Não requer um grande investimento em ferramentas.

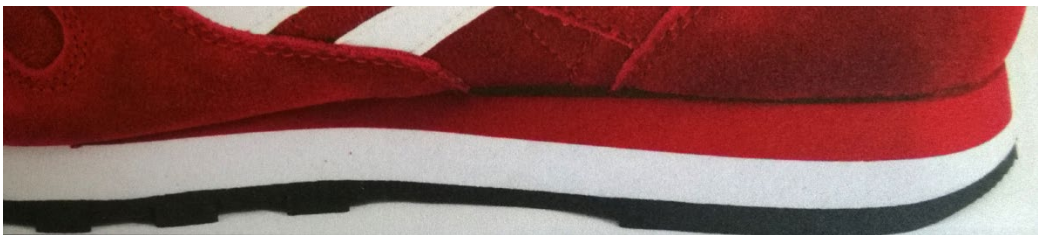


Figura 36 - Solado de EVA

Solado de borracha: Esse solado é moldado numa única operação tanto a parte superior quanto da sola. O molde tem uma placa no meio permitindo que as peças sejam formadas separadamente. Antes que a borracha seja completamente curada, a placa do meio é removida para que as cores de borracha possam se fundir.



Figura 37 - Solado de borracha

Montagem:

O último processo se dá com a preparação final do cabedal, com adesivo de contato ou costura nas diferentes partes (dependendo do modelo), e também normalmente se reforça a parte traseira (calcanhar) e dianteira (bico) com alguma material mais rígido e moldável ao formato da fôrma estabelecida. Com o cabedal final costurado e preparado na fôrma, é aplicado na parte inferior da base uma palmilha de montagem colada, nessa etapa é importante manter uma uniformidade do modelo completo, sem gerar imperfeições. Por fim, após estabelecer o formato correto, o solado é colado no cabedal, onde algumas colas necessitam de ativação por pressão e calor normalmente.

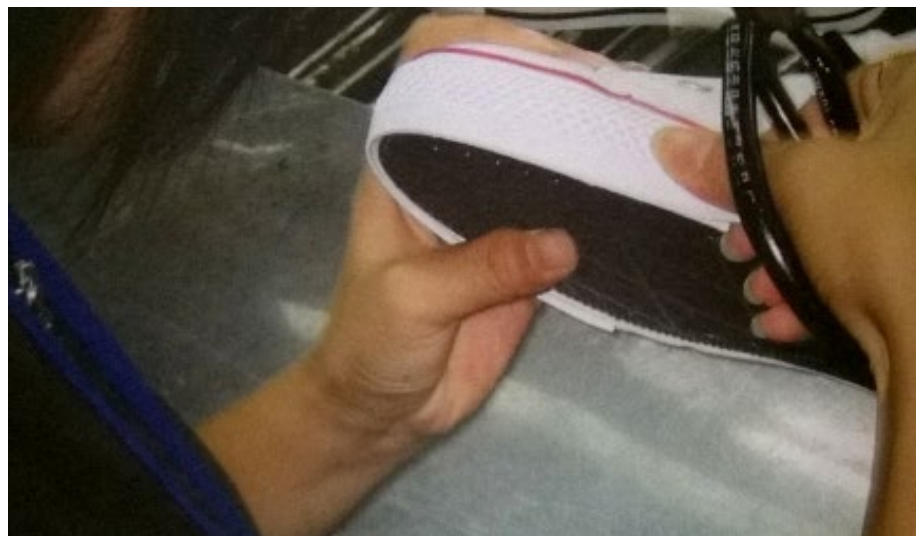


Figura 38 - Solado aplicado ao cabedal

4.4.9 SIMILARES

Nos últimos anos a Manufatura Aditiva influenciou a maioria das indústrias, ainda que efetivamente está sendo aplicada em peças mais técnicas de mercados gigantes como o automotivo e aeroespacial, aos poucos essa tecnologia se mostra presente na indústria de bens de consumo. Embora exista uma lacuna entre produção em massa e produtos personalizados feitos através de tecnologias de Manufatura Aditiva, conceitos para a utilização dessas técnicas vem surgindo cada vez mais na indústria de calçados.

Grandes empresas como Nike, Adidas e New Balance já mostraram projetos com aplicação direta de tecnologias aditivas, apontando para o futuro como mais uma opção aos consumidores em busca de um produto único e de alta performance e conforto. Além dessas grandes empresas, no mundo da moda conceitos que exploram essas técnicas surgem para se posicionar como uma tendência. Alguns modelos que foram apresentados nos últimos três anos estão listados abaixo:

Adidas e Carbon - Futurecraft 4D

A Adidas no começo de 2017 apresentou uma parceria com a startup americana Carbon, o conceito do tênis chamado "Futurecraft 4D", onde pretendem lançar até o fim de 2018 100000 pares desse modelo, que conta com uma estrutura em malha no amortecimento do tênis. A Adidas foi uma das pioneiras em apresentar um projeto como esse, projetando para o futuro o desenvolvimento e a expansão do uso desse tipo de tecnologia nos seus modelos.



Figura 39 - Adidas "Futurecraft 4D"

Nike e Proways

Em cooperação com a empresa francesa de impressoras 3D Proways, a Nike desenvolveu um protótipo de um tênis com a sola impressa em 3D em TPU, focado para a utilização de alto desempenho no futebol. Já foram feitos 5000 pares desse modelo.



Figura 40 - Nike e Proways

Kathrien Herdewyn

A artista belga Kathrien Herdewyn em parceria com a empresa prestadore de serviços de impressão 3D i.materialize, criou a empresa de calçados Elegnano, que combina a a tradicional confecção artesanal com as modernas tecnicas de tecnologia aditiva para se criar calçados únicos.



Figura 41 - Um dos modelos feitos por Kathrien Herdewyn

CONTINUUM

O estúdio americano Continuum, é o único encontrado até o momento da finalização dessa pesquisa, que realmente já está investindo em peças de calçados feitas com tecnologias aditivas que são individuais e únicas. O modelo de salto chamado “Strvct” é feito de nylon com uma estrutura delicada porém estável e leve. Esse modelo é desenvolvido completamente com o auxílio de design generativo, isso é, seguindo parâmetros gerados por algoritimos o próprio software cria milhares de alternativas de geometrias, todas únicas e exclusivas.



Figura 42 - Modelo “Strvct”

Palmilhas Phits

Embora seja um nicho dentro da indústria do calçado, tecnologias de Manufatura Aditiva já são utilizadas para a confecção de palmilhas ortopédicas personalizadas. Um exemplo é a empresa Phits com parceria com a empresa desenvolvedora de softwares Materialise, que desenvolveram um fluxo de trabalho através da criação de um software que faz a ligação da dados da pressão planar, através de equipamentos de baropodometria, e também o escaneamento tridimensional da geometria do pé, para se gerar o contorno de encaixe da palmilha e o pé, com a finalidade de tornar um calçado mais confortável e eliminar danos na saúde do usuário

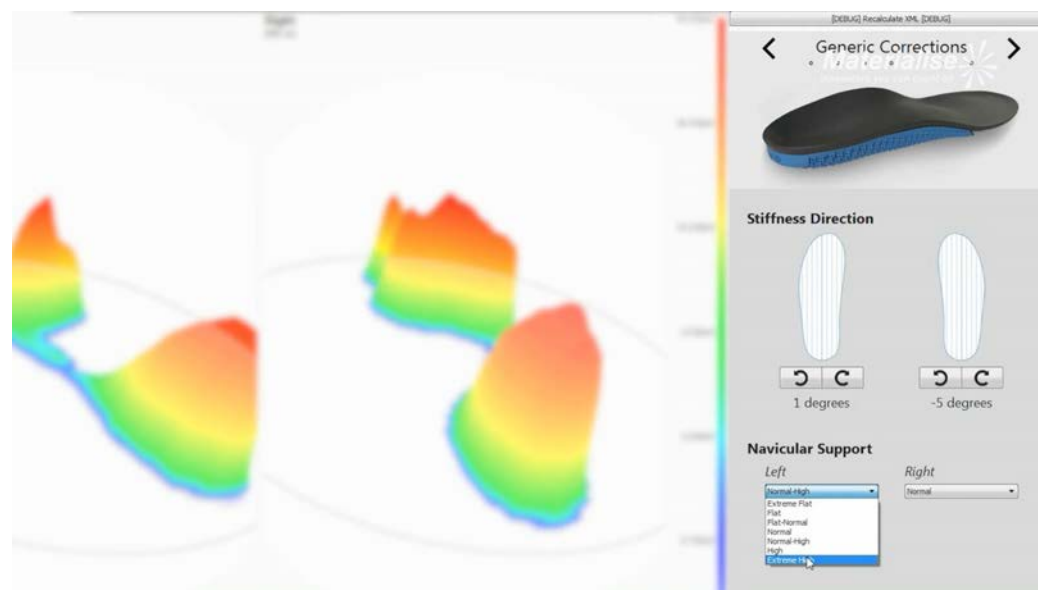


Figura 43 - Tela do software da empresa Phits

05

PROJETO

5.1 REQUISITOS DO PROJETO

Aliando aos tópicos de Manufatura Aditiva e Customização em Massa, esse projeto tem como foco o desenvolvimento de um conceito de calçado único e exclusivo, que consiga atender ao usuário final suas necessidades ergonômicas, de conforto e de saúde, como também que o satisfaça na estética e individualidade com possibilidades de customização de cores e formas seguindo um design base.

Em relação à ergonomia, o foco se dá no desenvolvimento de um conceito de sola com a técnica de estrutura em malha, levando em consideração a análise de equipamentos de alta precisão de pressão planar para adequar a estrutura de acordo com as particularidades de cada pé. A fôrma base do modelo também foi criada numa geometria que segue o volume do pé, no intuito do calce ser exato e confortável.

Na parte de customização, o foco foi o desenvolvimento de um conceito de ferramentas que disponibilizam a interferência do usuário em alguns elementos estéticos e visuais do tênis. Entretanto, a linha de estética seguida, deverá ter como base uma identidade visual, estabelecida pelo designer, que se mantenha sem a possibilidade de uma total e irrestrita customização por parte do usuário. Com esse objetivo, as formas e patterns desenvolvidas poderão ter a interferência do usuário para se alcançar uma forma mais exclusiva possível, mas que tenham como identidade uma estética base. A mesma ideia se manterá nas cores, que deverão seguir uma paleta estabelecida com um determinado número de combinações limitado.

A estudante Amanda Coelho Figliolia foi convidada para ser a usuária teste desse projeto, foi com base nas informações do pé dela recolhidas nas análises de equipamentos, e escolhas na parte de customização que levaram ao desenvolvido do modelo visual final que demonstra os requisitos citados acima. Devido ao custo elevado na criação do modelo, e o alto grau de processamento computacional demandado para a criação das estruturas em malha da sola para o computador doméstico utilizado, o foco no desenvolvimento se concentrou apenas no pé direito da usuária.

5.2 ANÁLISE DE BAROPODOMETRIA

A baropodometria tem por finalidade medir as pressões desenvolvidas nos diferentes pontos da região plantar dos pés, com o auxílio de um instrumento de medida chamado baropodômetro, que apresenta sensores de pressão distribuídos por toda a sua superfície (INSTRUCOM, 2013). Ao paciente se posicionar estaticamente, ou ao caminhar sobre a plataforma, o equipamento gera uma imagem em gradiente de cores, da distribuição de pontos de pressão.

Esse exame foi realizado na FATEC de Jaú, com o acompanhamento da fisioterapeuta Rosangela Monteiro. O equipamento utilizado foi o baropodômetro Arquipelago com o software de análise Footwork 3.5.4.0. As especificações do equipamento são as seguintes:

- Superfície ativa: 400mm. x 400mm.
- Dimensões: 575 x 450 x 25 mm.
- Pressão máxima por captador: 100N/cm2



Figura 44 - Baropodômetro Arquipelago

De acordo com a análise das silhuetas formadas pela distribuição plantar, também é possível identificar os tipos de arco do pé e seu alinhamento.

A análise levada em consideração do projeto foi apenas a estática, pois o equipamento não era otimizado para a análise dinâmica de movimento que seria a mais indicada para o desenvolvimento do conceito da sola.



Figura 45 - Amanda posicionada na plataforma

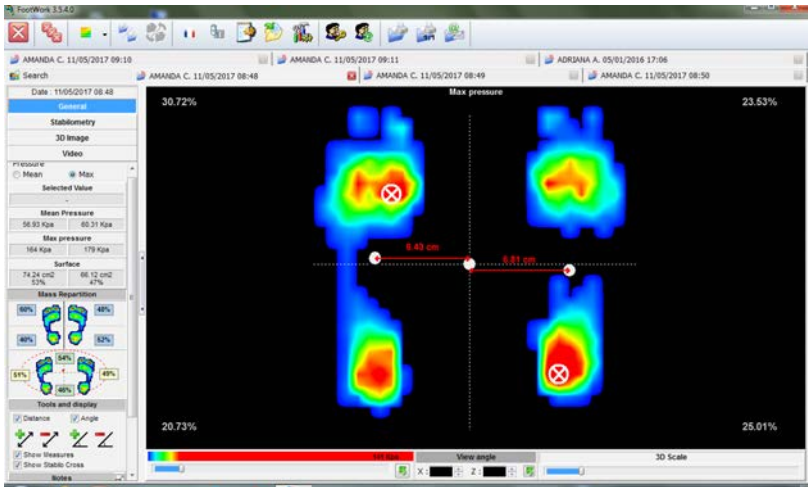


Figura 46 - Resultado gerado da distribuição de pressão no software FootWork

Na análise dos resultados é possível verificar no gradiente de cores os maiores pontos de pressão indicados pelo vermelho e os menores pontos indicados pela cor azul. Também se verificou que o tipo de arco do pé da usuária é o arco normal, com uma distribuição plantar mais uniforme e que sua pisada é neutra, que ao caminhar a pressão é bem distribuída no pé. Com base nessas informações foi possível dar sequência no desenvolvimento da estrutura da sola.

5.3 SCANNER 3D

Para conseguir uma geometria base para o desenvolvimento no ambiente virtual, etapa necessária para a criação da fôrma, palmilha e sola nas medidas corretas, foi utilizado o processo de digitalização ótica tridimensional. O equipamento utilizado foi o Scanner GOM modelo ATOS I 2M do CADEP na UNESP Bauru. O equipamento consegue gerar uma malha precisa e de alta resolução. A cada tomada são gerados até dois milhões de pontos que vão se interligando para formar a malha tridimensional final.

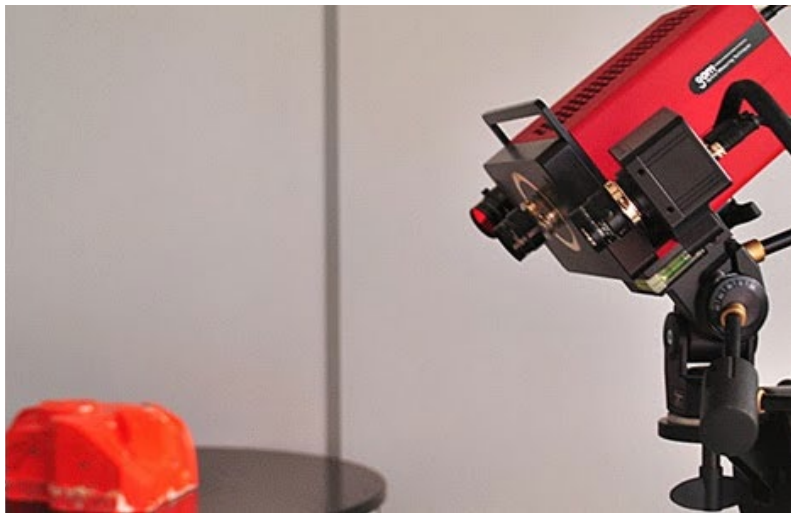


Figura 47 - Scanner GOM ATOS I 2M

Embora o equipamento seja muito preciso, por trabalhar com tomadas individuais ele é muito sensível a cada captura. Por isso seria muito difícil conseguir uma malha precisa e em alta definição se fosse digitalizar o pé da usuária diretamente, pois por mais que se tente manter estático, o corpo humano sempre tem algum pequeno movimento involuntário. Para contornar essa dificuldade foi necessário tirar um molde do pé da usuária, para então se conseguir uma peça em gesso com a geometria estática para se obter uma digitalização mais fiel.

Para se obter a peça em gesso foi criado um molde utilizando o material odontológico alginato da marca Avagel, que tem um custo baixo e uma qualidade de molde muito boa. E para tirar a peça foi utilizado o gesso convencional de construção Juntalider, também de custo baixo e boa qualidade. Também foi utilizado um pote um pouco maior que o pé direito da usuária e uma colher de madeira grande para misturar o alginato.

Seguindo as instruções do fabricante, o material foi preparado e depositado no pote, seu endurecimento é rápido e logo após misturar bem no tempo indicado o pé da usuária foi pressionado contra o material para pegar sua totalidade até a altura do calcanhar. O material se espalhou um pouco mais que o esperado, então foi improvisada uma barreira com papelão para o material preencher o pé da maneira desejada. Após o molde enrijecer foi depositado o gesso preparado.



Figura 48 - Distribuição do molde



Figura 49 - Pé posicionando



Figura 50 - Barreira improvisada para concentrar material



Figura 51 - Molde pronto



Figura 52 - Gesso aplicado

Após a secagem de um dia para o outro, o molde foi retirado e preparado para o escaneamento. Algumas bolhas de ar acabaram se formando, em algumas regiões que não afetariam a superfície almejada, mas para se gerar uma digitalização mais fiel esses buracos foram preenchidos com pequena quantidade de massa plástica. Para o Scanner GOM ATOS I 2M compreender a geometria, é necessário aplicar sobre a superfície pequenos adesivos de pontos, onde o software irá nomear e triangular a cada tomada, para dessa maneira conseguir encaixar a geometria criada com a da tomada anterior.



Figura 53 - Peça preparada para digitalização

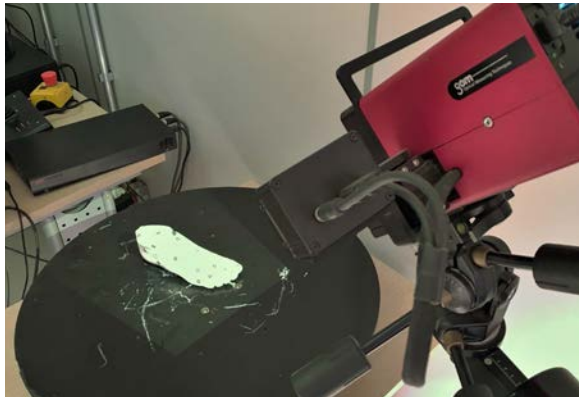


Figura 54 - Digitalização em andamento

Ao fechar as tomadas, uma malha de alta densidade foi gerada e tratada através do software ATOS Professional V7.5 e alguns reparos foram executados, como o fechamento de pequenos buracos na malha de áreas muito estreitas.

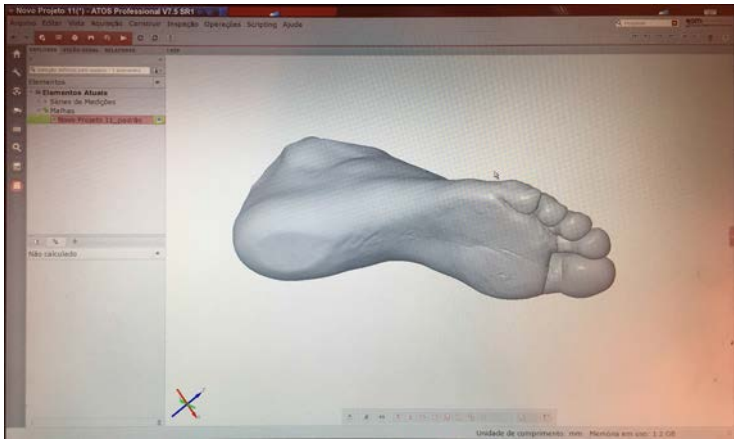


Figura 55 - Modelo 3D gerado

Os últimos ajustes foram feitos com os softwares Magics v20 e Meshmixer, respectivamente para o corte da parte superior do calcanhar que não seria necessária e ajudaria na redução do peso do arquivo e para suavização da malha na sola do pé, em uma região que acabou planificando devido ao pé da usuária estar tocando levemente o fundo do pote.

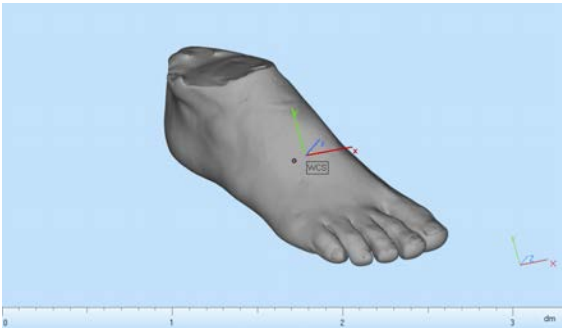


Figura 56 - Modelo 3D antes do corte

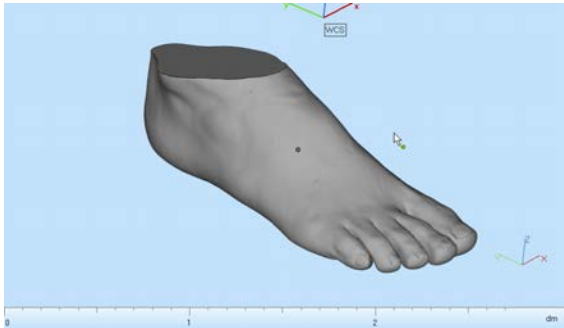


Figura 57 - Modelo 3D depois do corte

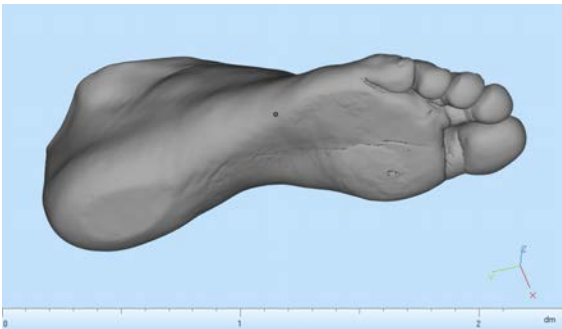


Figura 58 - Modelo 3D antes da suavização

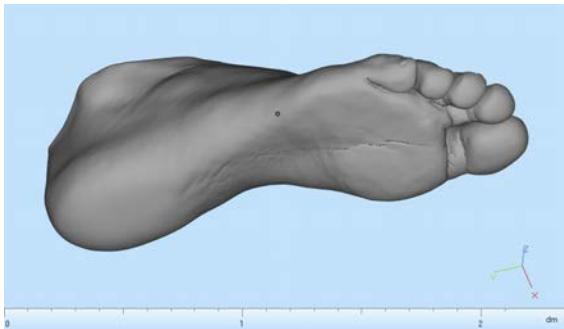


Figura 59 - Modelo 3D depois da suavização

5.4 CRIAÇÃO DA FÔRMA E ESTUDOS DO SOLADO

Com o modelo tridimensional do pé da usuária feito e otimizado, foi modelado uma fôrma, que irá servir tanto para a criação da sola final e da palmilha, como também será uma peça essencial para a modelagem em tecido do modelo visual. A modelagem foi feita com o software Rhinoceros versão 5, começando pelo posicionamento das coordenadas do modelo tridimensional com as coordenadas do software de modelagem. Em seguida as linhas principais da vista lateral foram feitas, respeitando o formato do pé da usuária com uma ligeira folga.

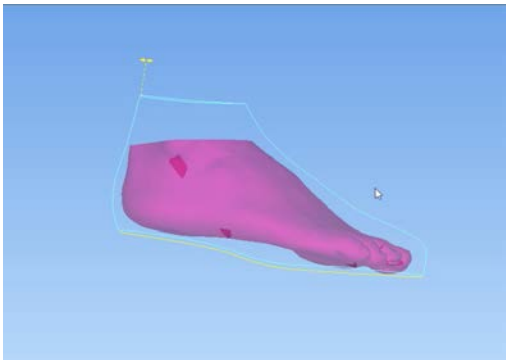


Figura 60 - Linhas base para modelagem - vista lateral

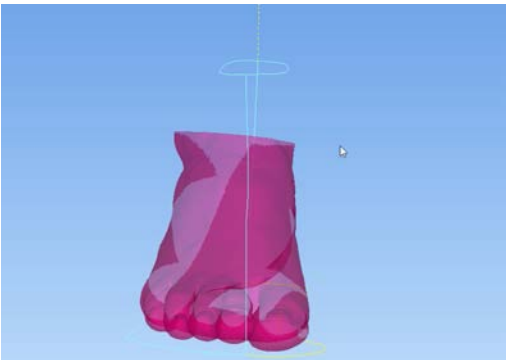


Figura 61 - Linhas base para modelagem - vista frontal

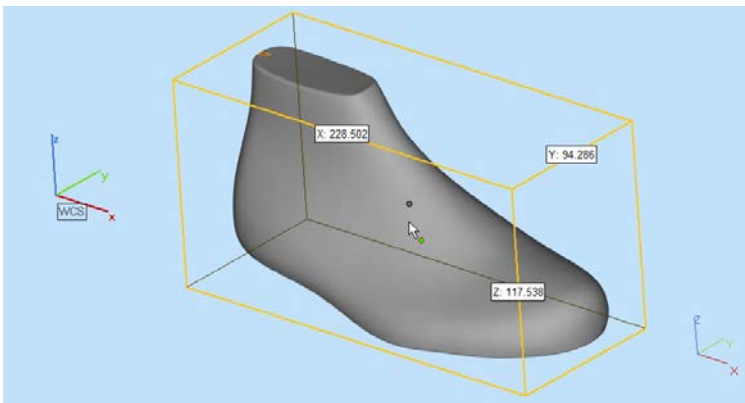


Figura 62 - Modelagem da fôrma finalizada

Seguindo a base da fôrma, dois modelos para estudo do solado foram modelados no software Rhinoceros versão 5, um com menos espessura (Versão 1) e o outro com mais (Versão 2), para analisar qual se comporta melhor para aplicação de estruturas.

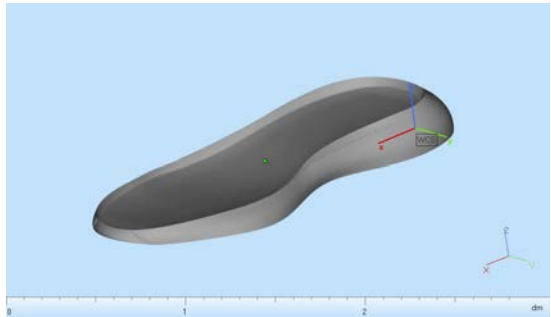


Figura 63 - Modelagem da Versão 1 do solado para estudos

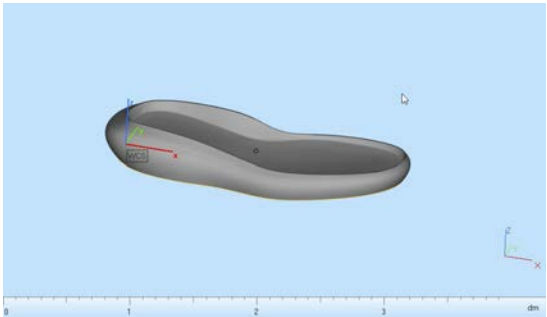


Figura 64 - Modelagem da Versão 2 do solado para estudos

Após a finalização da modelagem, o modelo final da fôrma foi preparado para ser usinado, a máquina utilizada foi uma Fresadora CNC Roland MDX 540, do CADEP na UNESP Bauru. Essa fresadora conta com um 4º eixo rotacional que atua como um torno, que facilita a usinagem de objetos por revolução e automatiza a rotação de objetos com mais de um ângulo de penetração. Sua área de trabalho é 500 x 400 x 155 mm.

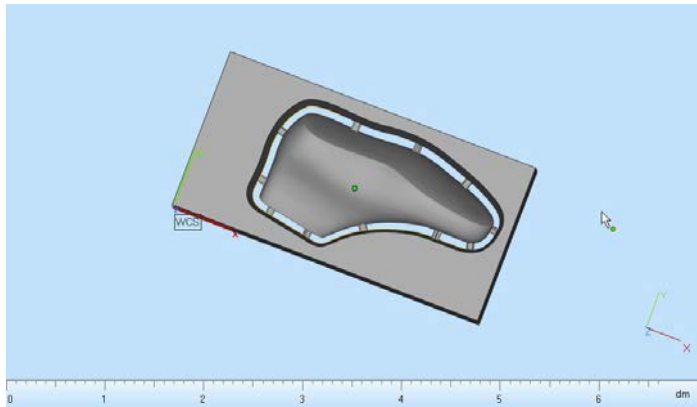


Figura 65 - Bloco virtual preparado

O material escolhido foi o MDF, uma madeira de custo baixo, e que devido a geometria da fôrma não conter entradas, detalhes, furações e etc de dimensão reduzida, atendeu perfeitamente as necessidades estabelecidas. A usinagem se deu através de dois processos: o primeiro de desbaste, que com uma fresa topo reto de 6mm de diâmetro, removeu o excesso de material de maneira mais bruta e em seguida ocorreu o processo final de acabamento, onde foi usada uma fresa de ponta arredondada de 6mm de diâmetro que garantiu o acabamento superficial mais uniforme.



Figura 66 - Processo de desbaste finalizado



Figura 67 - Processo de acabamento finalizado

Embora o material tenha atendido no requisito da forma, sua textura após a usinagem não contribuiria para o processo de modelagem do cabedal posteriormente, pois mesmo lixando a superfície, muitos fiapos ficavam em evidência, o que prejudicaria a colagem da fita crepe na etapa de envelopamento da fôrma. Além disso, também foi pensado que a superfície iria precisar ser mais resistente por conta do corte do estilete para se retirar o molde de fita crepe, pensando nisso após a usinagem a fôrma foi revestida por uma camada de massa plástica com uma pequena carga de resina, para se alcançar os dois objetivos levantados.



Figura 68 - Aplicação de massa plástica

Após a usinagem da fôrma, a do solado se deu de maneira parecida, com dois processos também, um de desbaste e outro de acabamento usando apenas uma fresa de ponta arredondada de 6mm de diâmetro. Dessa vez o material foi a espuma de PU, que é boa pela sua facilidade de usinagem e tem um bom acabamento que atendeu a necessidade de se verificar qual modelo deveria ser levado em consideração para a criação do solado final.



Figura 69 - Versão 1 do solado



Figura 70 - Versão 2 do solado

Ao analisar, a Versão 2 foi levada em consideração, pois conseguia preencher melhor a fôrma finalizada como também possuía um espaço interno melhor para o preenchimento da malha estrutural.

5.5 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA EM MALHA

Devido ao custo elevado de se produzir modelos para teste dessas estruturas através de impressão 3D, se buscou a alternativa de testes mecânicos simulados virtualmente através de software de análise de elementos finitos.

O método de elementos finitos permite se verificar algum fenômeno mecânico através de simulações e cálculos virtuais que conseguem equacionar os esforços e deformações de um componente através de parâmetros e dimensões dados como, por exemplo, torção, compressão, flexão e etc.

Com a fôrma e o formato da sola definidos, foram criados 6 tipos diferentes de estruturas em malha para estudo através do software nElement versão 1.0. Essas estruturas foram feitas através da subtração de um modelo 3D de um bloco de dimensões 80x80x20mm, onde essa espessura foi relacionada aos solados convencionais encontrados em diversos modelos de tênis. O fluxograma abaixo de mostra as etapas para a criação das estruturas:

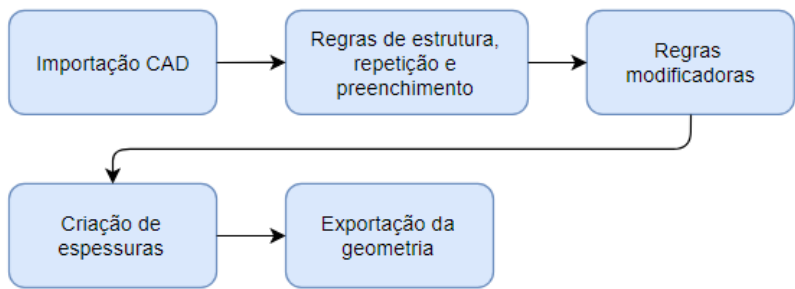


Figura 71 - Fluxograma de processos

Importação CAD:

O modelo tridimensional é importado e posicionado na coordenada que for mais interessante dependendo do arquivo.

Regras de estrutura, repetição e preenchimento:

Com o modelo posicionado será escolhido a regra de estrutura, ou seja, qual módulo geométrico irá preencher o modelo escolhido. Os tipos de estrutura em malha são muitos, desde disposições geométricas tubulares até estruturas mais complexas como estruturas baseadas em superfícies.

Neste trabalho foram usadas apenas as estruturas geométricas tubulares, devido ao alto grau de processamento necessário para as estruturas de superfície. Em seguida a regra de repetição é estabelecida, isso é, qual será o espaçamento, inclinação e deslocamento do módulo de estrutura.

Regras modificadoras:

Dependendo do projeto, pode-se aplicar regras que alteram alguns parâmetros das estruturas, como por exemplo pontos de intensidade de espessura, fazer com que uma estrutura acompanhe o contorno da superfície externa, que a estrutura se molde com a importação de resultados de softwares análise de elementos finitos e etc.

Criação de espessuras:

As espessuras podem ser uniformes ou serem alteradas a partir do uso das regras modificadoras.

Exportação da geometria:

Com o preenchimento definido e com as espessuras corretas, pode-se exportar o modelo 3D. No caso desse trabalho, foi usada a versão de testes do software, o que limitava apenas à exportação em malha .STL do modelo final das estruturas, o que acabou sendo um problema para o processamento das próximas etapas do projeto, devido à alta densidade da malha nesse tipo de arquivo.

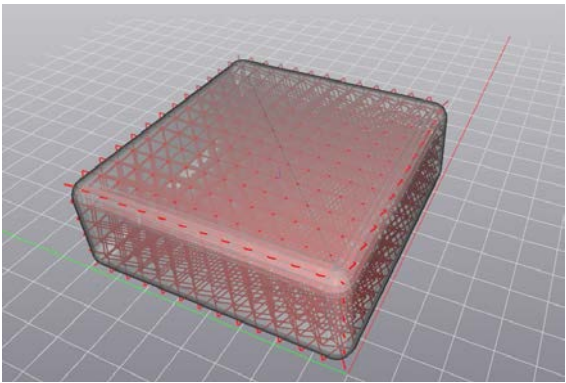


Figura 72 - Exemplo de preenchimento de malha

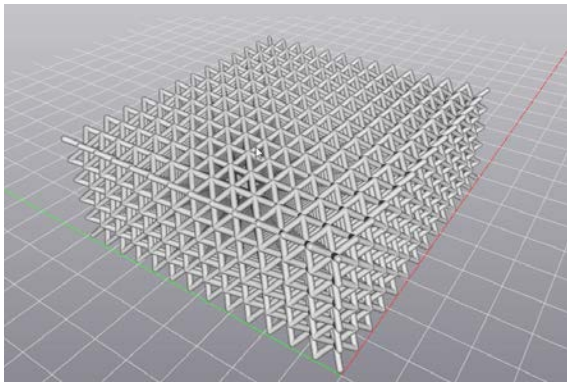


Figura 73 - Exemplo de malha com espessura de 1,5mm

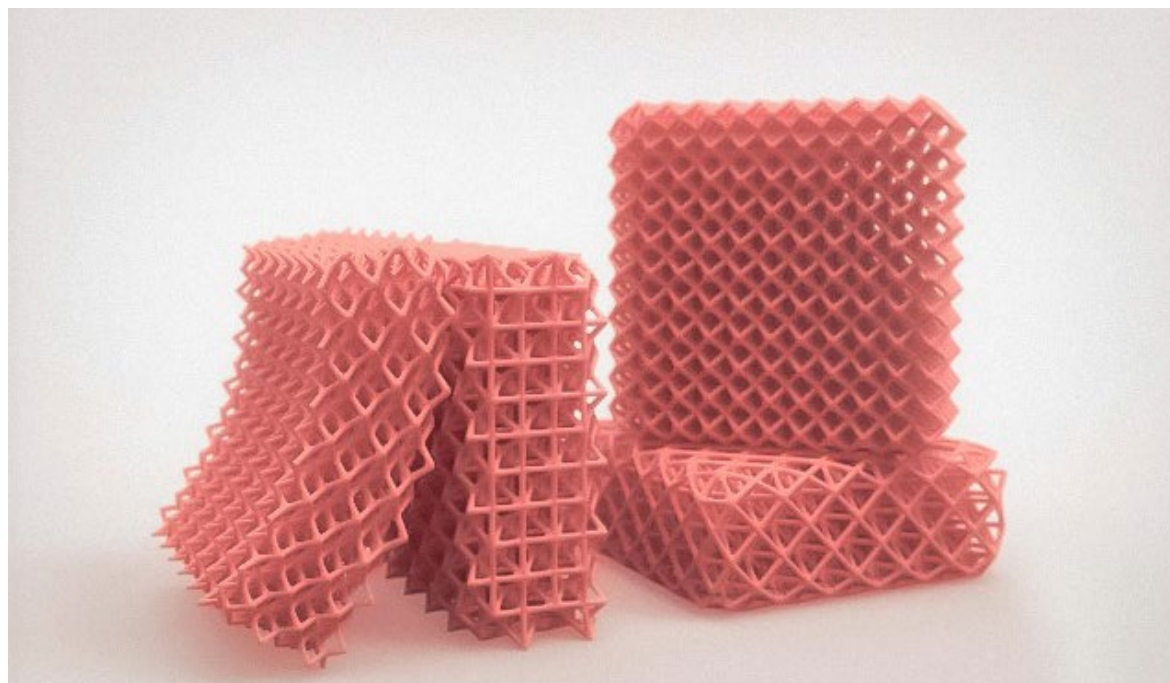


Figura 74 - Imagem renderizada de 4 blocos dos 6 que foram testados

Todas as estruturas foram criadas tentando seguir uma uniformidade e distribuição semelhante nas regras de estrutura e preenchimento. A espessura foi constante de 1.5mm de diâmetro e separação de 5,5mm entre os módulos.

A grande dificuldade que surgiu na etapa de teste foi a complexibilidade dos arquivos. Como essas estruturas são formadas por uma malha muito pequena, muitos triângulos são necessários para se construir uma malha de boa densidade. Levando a qualidade final de exportação para o nível mediado, ainda sim o resultado eram arquivos que giravam em torno de 1 milhão e meio de triângulos e pesavam em torno de 150 mb cada estrutura teste. Tentou-se usar o módulo de simulação de elementos finitos no Solidworks 2016, sem nenhum sucesso, isso devido a complexibilidade das peças e tamanho de arquivos. O processo de análise de elementos finitos parte do princípio de simplificação de uma geometria CAD para facilitar os cálculos e alcançar um resultado, porém como as peças exportadas já estavam em uma malha densa, isso não era possível ser feito nos softwares mais usuais e disponíveis.

A alternativa surgiu com um software novo de 2016, o SIMSOLID, que devido ao seu recurso de processamento em nuvem e novo motor de cálculos, promete resultados mais rápidos e precisos em relação aos concorrentes. Foi solicitado uma chave de testes para fazer as simulações dos blocos.

Com esse software recém lançado foi possível carregar todas as estruturas e realizar as simulações.

O objetivo dessas simulações é saber qual estrutura se comporta melhor em um teste de compressão. Por ser um software novo, a biblioteca de materiais do SIMSOLID ainda não é extensa, o material ideal seria o Poliuretano Termoplástico (TPU), que atualmente já é encontrado como uma opção em diversas máquinas de impressão 3D, porém não foi possível utilizar os parâmetros correspondentes ao TPU. Por ser um teste de relação de estrutura, foi escolhido o Poliestireno (PS) por ser o polímero que mais se aproximava da biblioteca do software.

Segundo Herman (2016), o pico de força durante uma corrida pode chegar a 1900N de força na ponta do pé ao se impulsionar para o próximo passo, esse valor foi usado como base para a simulação de compressão, elevando para 2300N de força concentrada na região superior dos blocos para forçar ainda mais a estrutura.

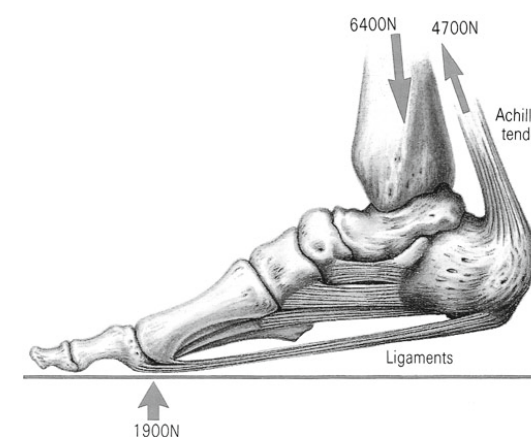


Figura 75 - Picos de forças em diferentes regiões do pé durante uma corrida

As imagens de maior intensidade de força estão representadas nas imagens abaixo na vista lateral e em perspectiva de cada bloco preparado com seu nome:

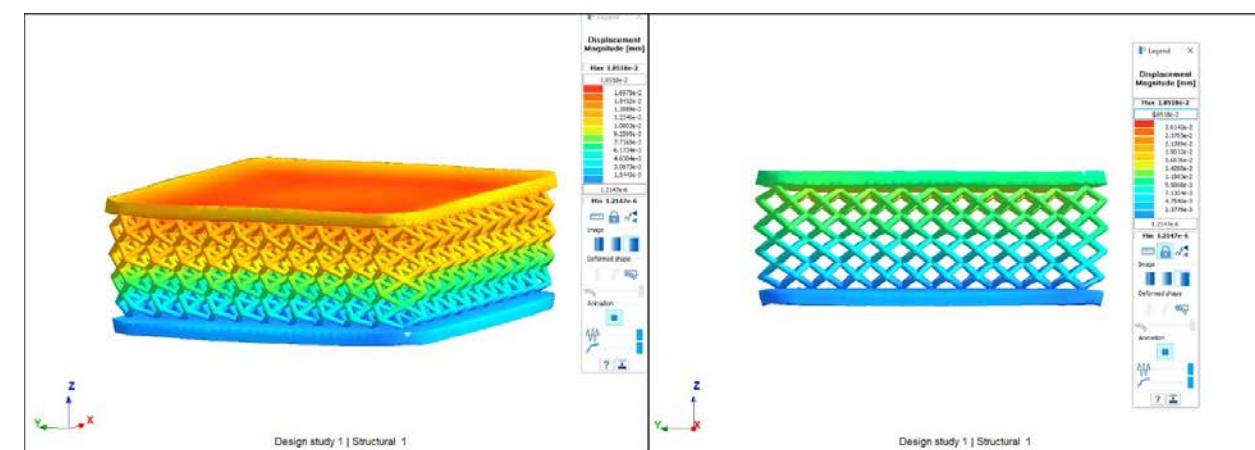


Figura 76 - Cube Vertex

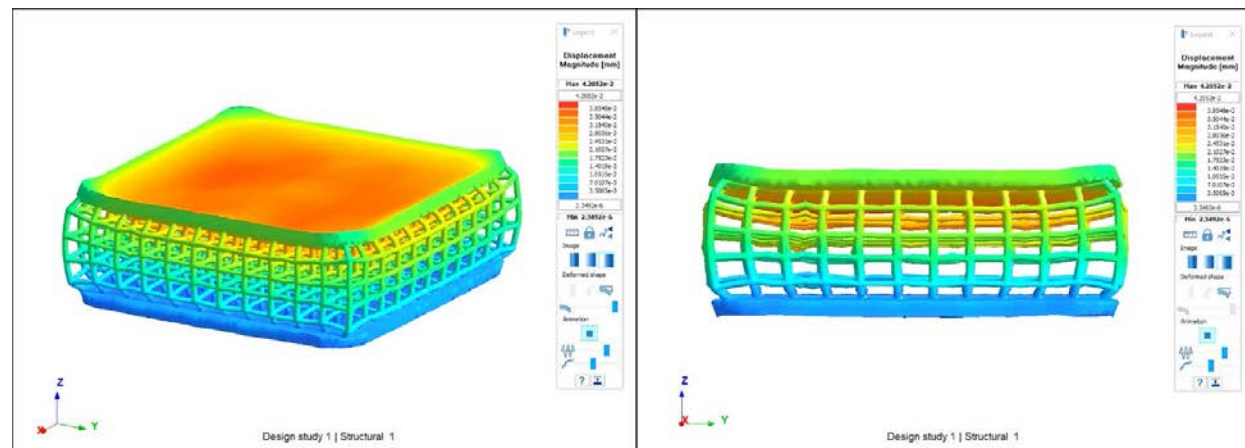


Figura 77 - Cube Edge

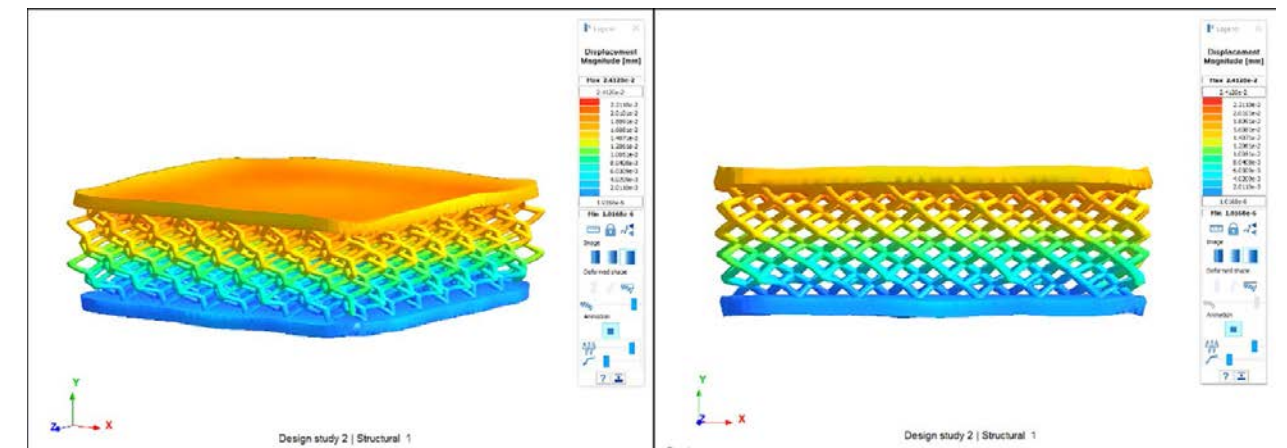


Figura 80 - Tet Vertex Centroid

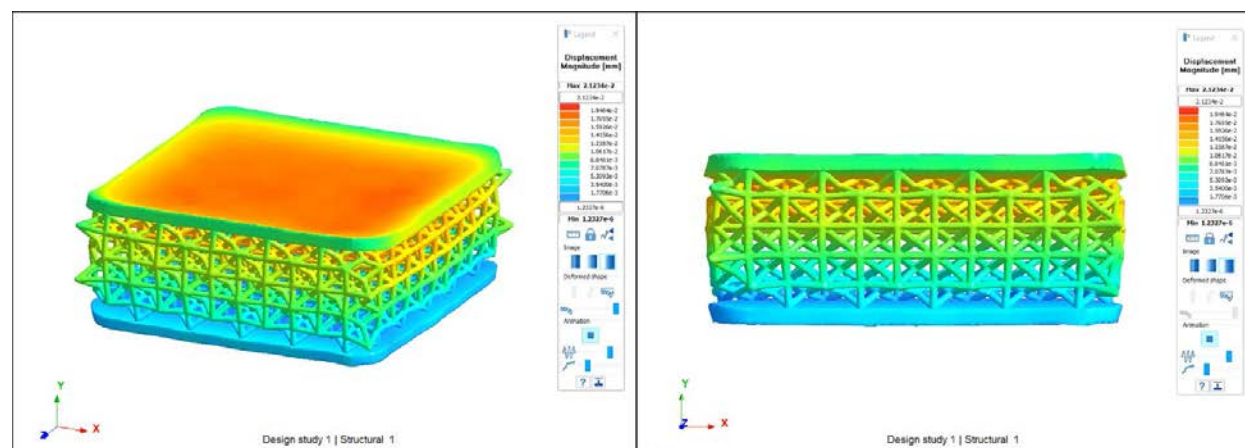


Figura 78 - Tet-Oct Vertex Centroid

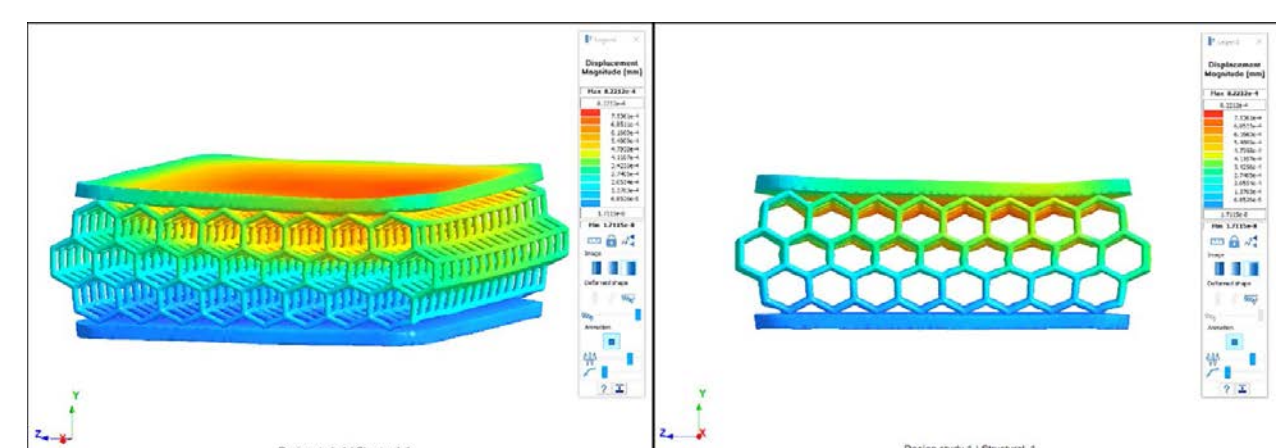


Figura 81 - Hex Prism Edge

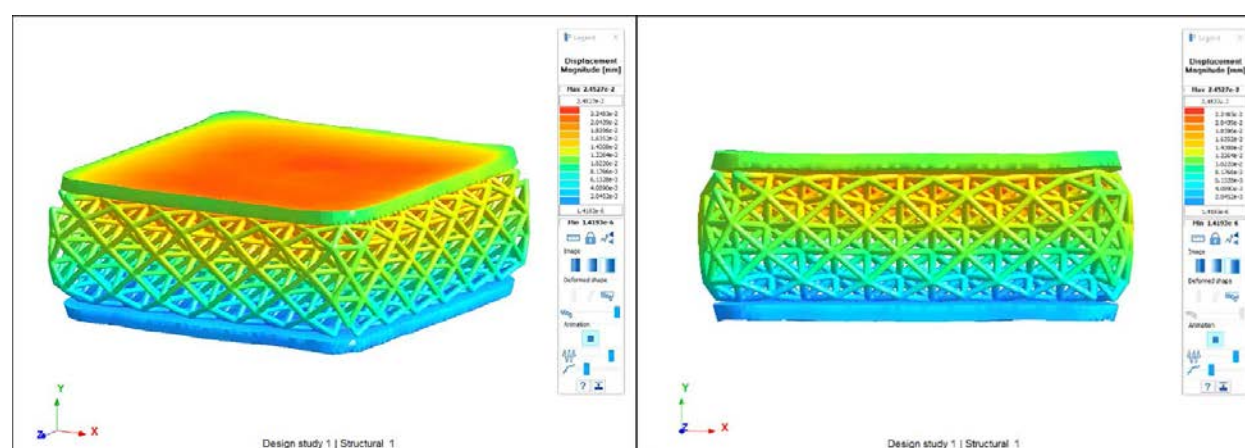


Figura 79 - Tet-Oct Edge

Embora para peças convencionais, o software SIMSOLID realmente cumpre a rapidez prometida no processamento da simulação, cada cálculo realizado com as estruturas em malha demoraram cerca de 2 horas em média cada, demonstrando que ainda existe um grande obstáculo para uma implementação mais plena desse tipo de desenvolvimento de peças. As informações de deslocamento estão comparadas no gráfico abaixo:

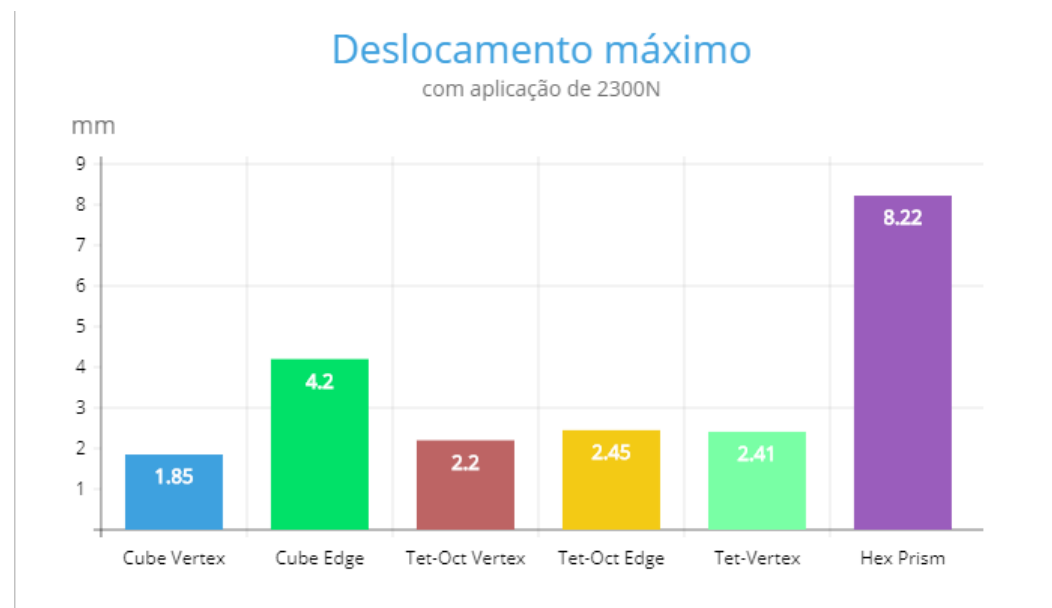


Figura 82 - Gráfico de deslocamento

Com base nos dados obtidos nas simulações, foi escolhido o modelo “Cube Vertex” para dar sequência no desenvolvimento do solado final do projeto.

5.6 DESENVOLVIMENTO DO SOLADO FINAL

Com base na escolha da estrutura “Cube Vertex”, alguns ajustes precisaram ser feitos para encaixar a estrutura em malha com o solado estudado anteriormente. A geometria criada no software Rhinoceros foi transformada em malha .STL e através do software de reparação Magics versão 20, foram aplicados alguns processos booleanos (que são ferramentas que permitem unir, separar ou intersecar duas malhas diferentes) para se obter 3 malhas distintas destacadas na imagem abaixo:

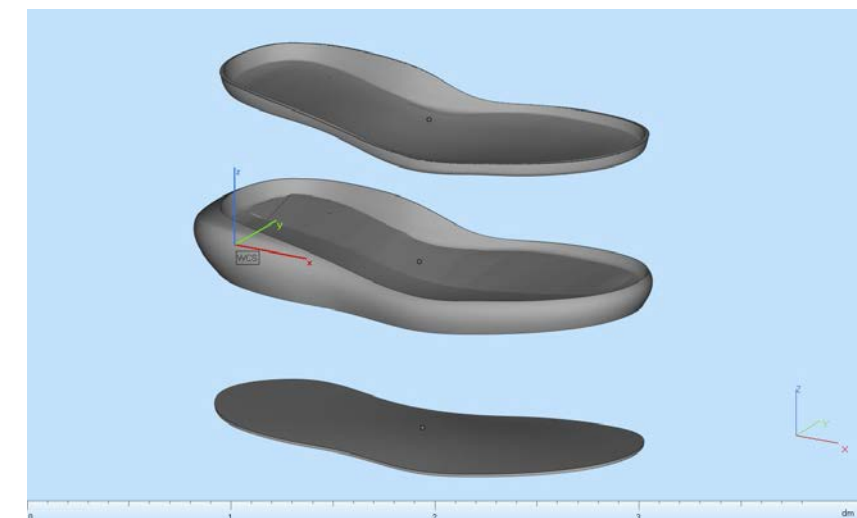


Figura 83 - Separação das malhas

As partes superiores e inferiores (sola), foram preservados, a parte que interessa para o desenvolvimento do amortecimento com estrutura em malha é apenas a interior.

A parte do interior isolada foi então exportada para o software nElement, só que dessa vez já focando na preparação das estruturas pensando nas características únicas da usuária. Nas regras de estruturas foi aplicado o preenchimento total da malha, com o espaçamento de 7mm entre os módulos.

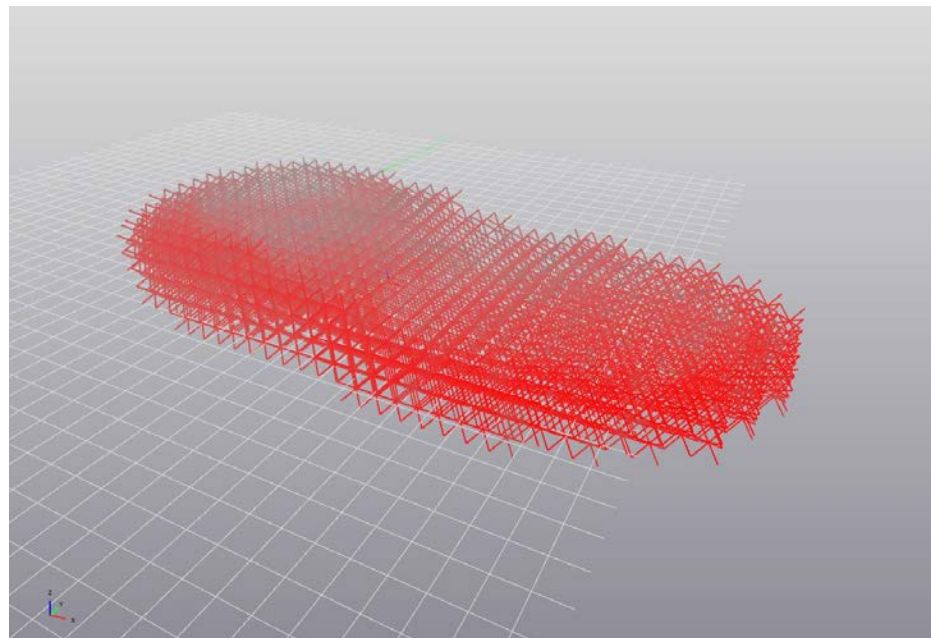


Figura 84 - Estrutura básica preparada

Em seguida, em cima da estrutura básica foram criadas regras modificadoras, usando como base o exame de baropodometria, os maiores pontos de pressão do pé direito da usuária foram projetados no mesmo posicionamento do solado. Além disso foram adicionados também pontos nas extremidades do calcanhar e da ponta superior do pé, que respectivamente sofrem com os maiores picos de pressão no caminhar.

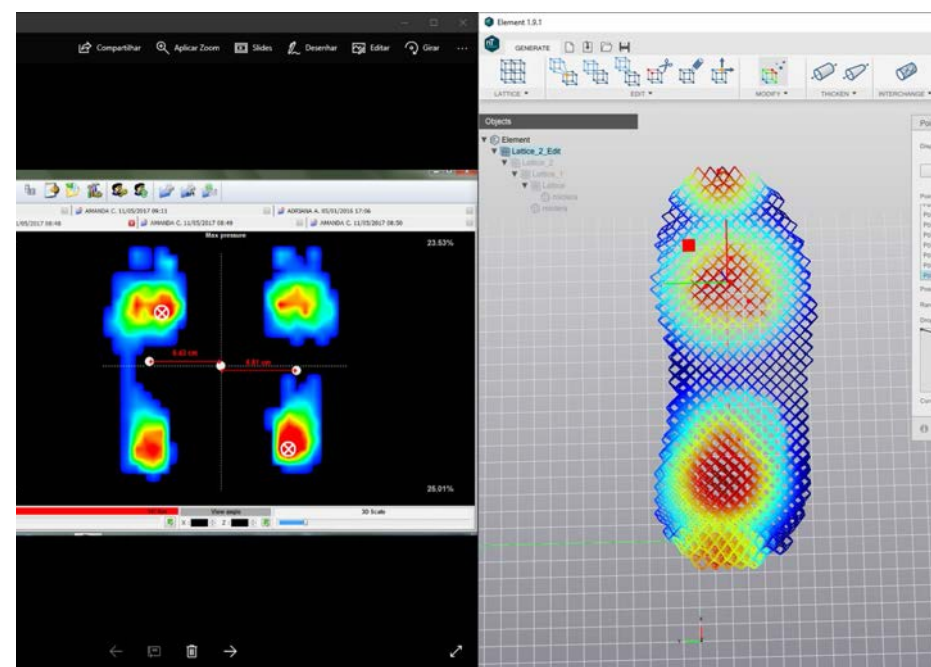


Figura 85 - Pontos de pressão projetados na estrutura básica

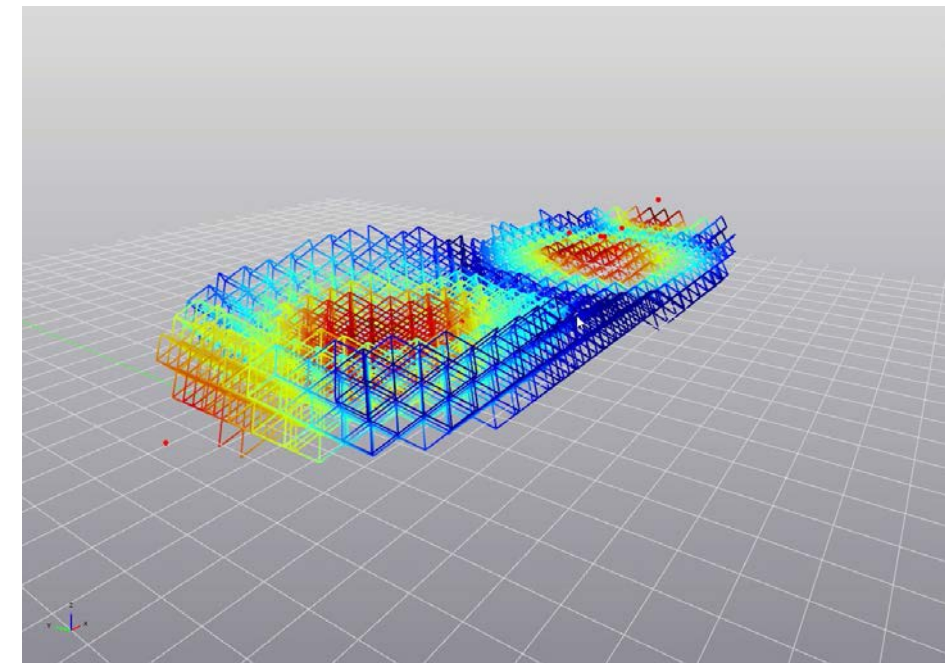


Figura 86 - Pontos de pressão projetados na estrutura básica

Essas regras modificadoras foram usadas para estabelecer a variação de espessura da estrutura em malha. Onde quanto maior o ponto de pressão, maior será a espessura, nesse caso a variação se deu de 2 mm nas áreas de menor pressão, até o máximo de 3,5 mm nas áreas com maior pressão, no intuito de garantir um conforto melhor ao caminhar.

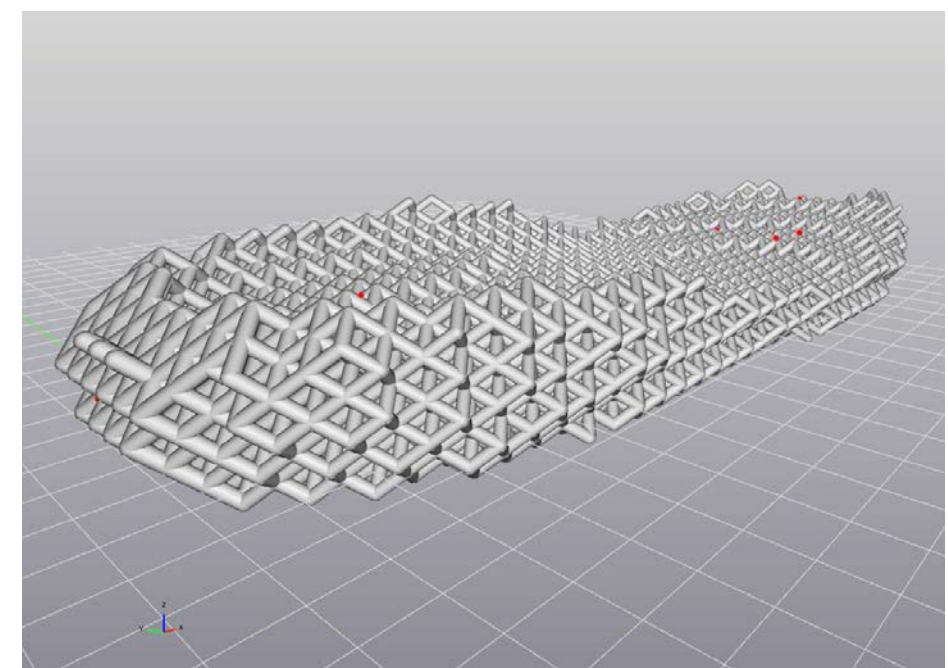


Figura 87 - Estrutura seguindo as regras modificadoras em relação a espessura

Ao finalizar a estrutura, a malha é preparada para o formato .STL e então é exportada novamente para o software Magics, para substituir o miolo maciço e por fim finalizar juntando as três partes em um processo booleano de união.

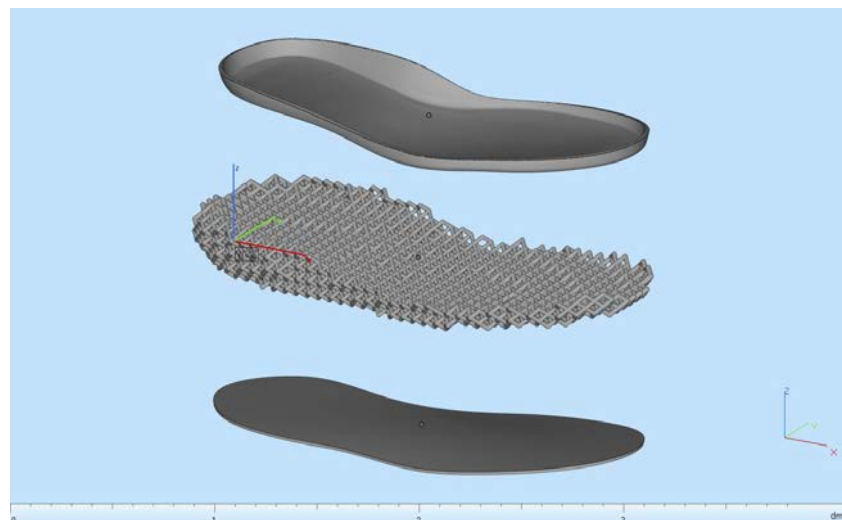


Figura 88 - Parte interna substituída pela malha final

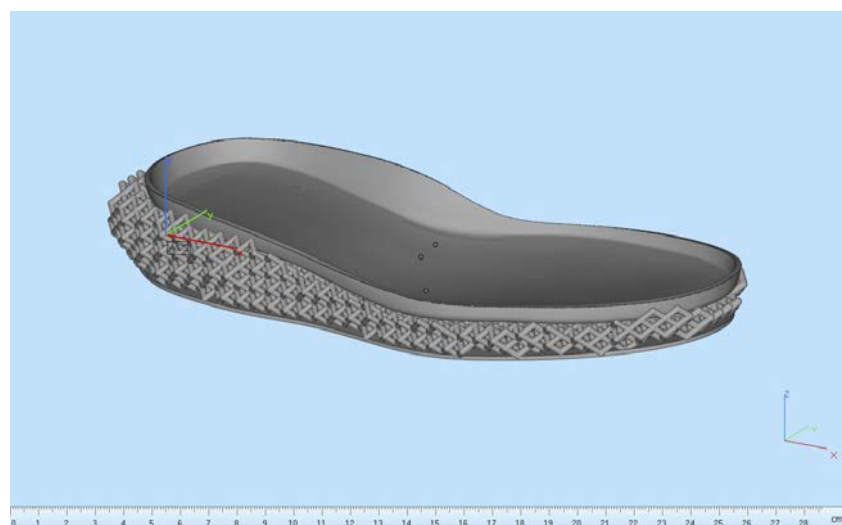


Figura 89 - Partes unidas

Com o software Magics também foram efetuados processos de reparação de malha. Devido ao alto número de triângulos e também do processo booleano, alguns erros podem surgir na malha final que podem prejudicar na hora de se imprimir uma peça. Alguns desses erros podem ser buracos nas malhas, triângulos sobrepostos, triângulos soltos entre outros. Foi possível eliminar todos os erros da malha, deixando a peça pronta para ser feita. Com o mesmo software também foi possível comparar o volume final da peça maciça e da estrutura em malha, levando uma diminuição de 26% do volume inicial, que para uma peça como essa, onde a leveza é fundamental, se mostrou um resultado muito interessante.

5.7 CONCEITOS

Com os requisitos básicos de fôrma e estruturas em malha para o solado definidos, foi aprofundado um estudo de tendências e estilo a seguir para o desenvolvimento do modelo final.

Nos últimos anos o foco da moda voltado para práticas esportivas cresceu cada vez mais. A tendência Athleisure nasceu desse contexto e está cada vez mais sendo aplicada pelas grandes marcas. O termo athleisure vem da mistura das palavras athletic + leisure (do inglês, atlético + lazer), esse termo se refere a roupas e acessórios casuais que podem ser usados tanto na prática de exercícios como no dia a dia. São peças casuais que possuem um apelo estético de práticas esportivas, que trazem materiais e formas atribuídos à performance e funcionalidade.

Fatores culturais das novas gerações que se preocupam cada vez mais com o ambiente e questões de como se levar uma vida mais saudável faz essa tendência ser cada vez mais presente no vestuário das pessoas mais jovens. Com isso convenções sociais sobre roupas estão diminuindo e há um desejo crescente por peças mais práticas e confortáveis com estilo.

As grandes marcas foram rápidas em se apropriarem dessa tendência com coleções que destacam inovação técnica e estilos renovados. As próprias marcas com tradição no mercado fitness também estão se esforçando para encontrar o equilíbrio entre performance e estética. A Adidas, por exemplo, tem transformado colaborações com Stella McCartney e Yohji Yamamoto (que foi uma grande inspiração para esse projeto) em coleções permanentes. Outro movimento é a assinatura de grandes nomes de celebridade que alimentam o estilo Athleisure como a linha Ivy Park da Beyoncé, a parceria da Rihanna com a Puma e a linha Yeezy cultuada por uma legião de fãs do cantor de rap Kanye West



Figura 90 - Tênis da coleção do designer japonês Yohji Yamamoto



Figura 91 - Tênis da coleção do rapper americano Kanye West

Seguindo a tendência do Athleisure, alguns pontos foram separados para o conceito do design final: ter a aparência de um tênis confortável, que seja fácil de calçar, que seja feito de tecidos sintéticos, não tenha cadarços mas sim seja fechado com velcro por conta da praticidade e por último ter nos seus elementos de customização a presença de uma paleta de cor bem contrastante. Em seguida foi criado um Mood Board que serviu como guia para o próximo passo de rascunhos, sketches e representações tridimensionais, culminando no modelo final.

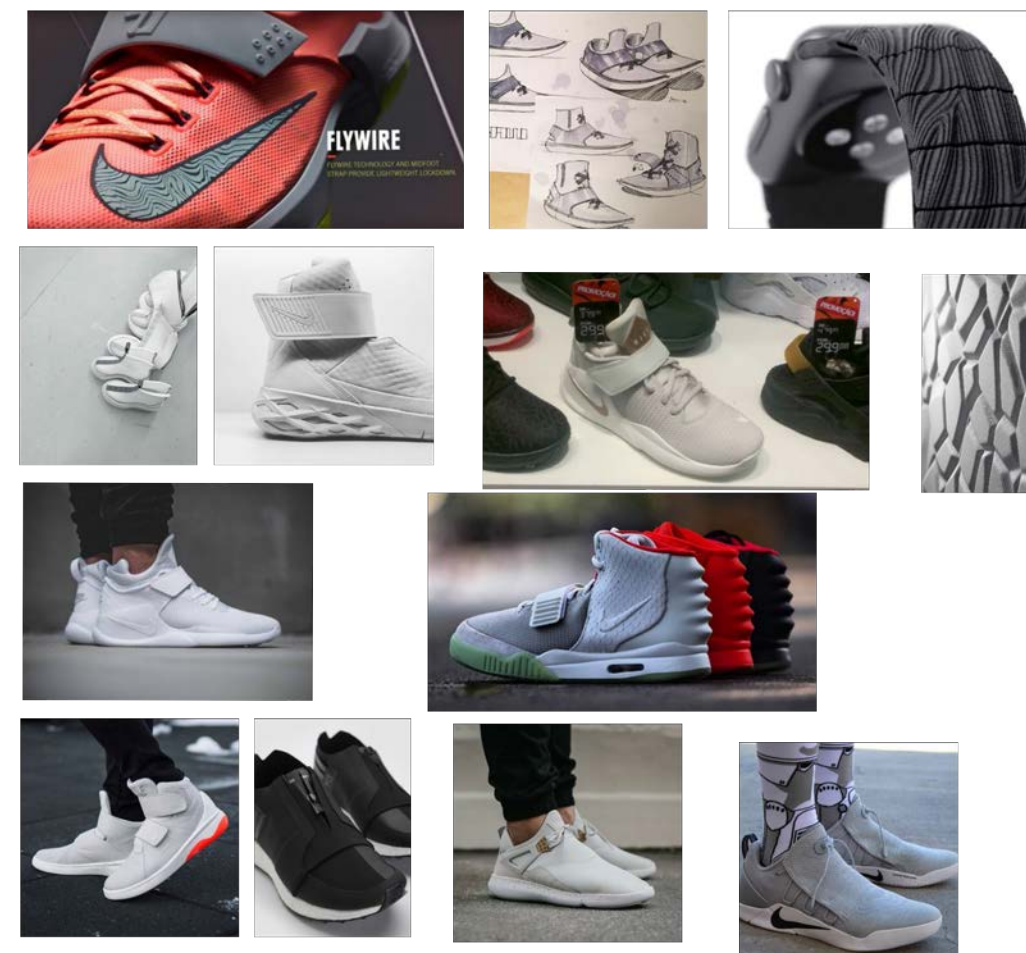


Figura 92 - Mood Board com referências de estilo e texturas

A partir do Mood Board, foram feitos diversos sketches e selecionados os, que foram os que mais se encaixaram nas propostas apontadas:



Figura 93 - Sketches 1

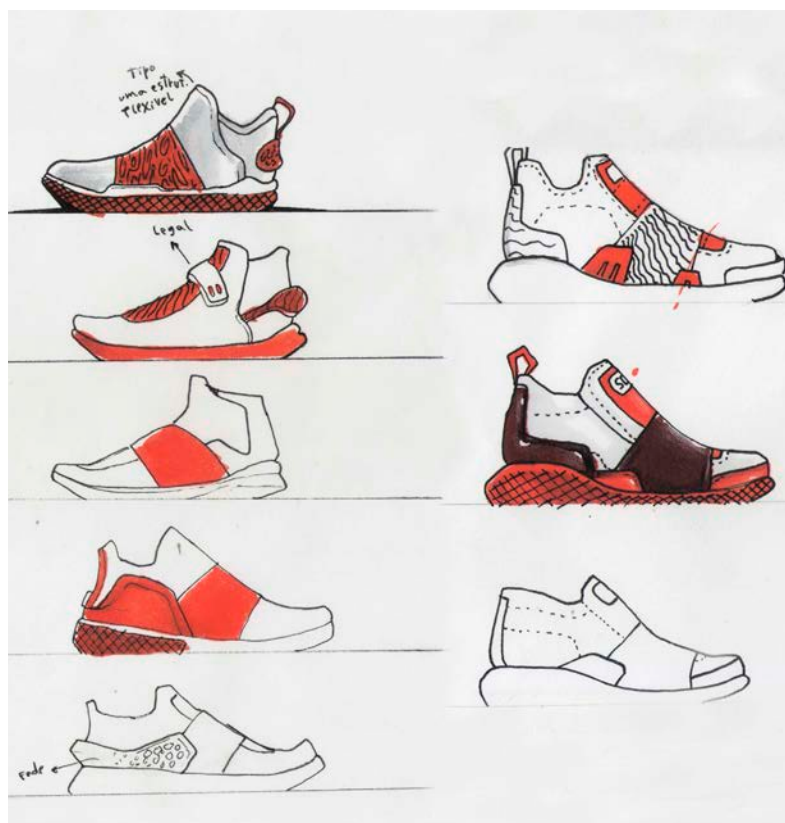


Figura 94 - Sketches 2

Com os sketches de base, foram feitas modelagens tridimensionais afim de visualizar melhor as formas, volumes e possíveis aplicações de cores, além do conjunto solado mais cabedal. O modelo abaixo foi criado através do software de modelagem ZBrush versão 4R8, usando de base a geometria da fôrma criada anteriormente:



Figura 95 - Modelagem 3D do modelo - Vista lateral



Figura 96 - Modelagem 3D do modelo - Vista 3/4

5.8 CUSTOMIZAÇÃO

Com o modelo virtual feito, foi possível desenvolver como seria o funcionamento da customização pelo usuário. A ideia central era manter as principais características do tênis e disponibilizar um sistema para que o usuário customize o produto. Esse sistema poderia ser tanto um aplicativo para dispositivos móveis, como também estar presente na loja que viesse a vender o tênis.

O primeiro passo é a escolha da cor base do tênis, com uma versão mais clara ou mais escura, em seguida se escolhe a cor secundária, que inclui forro, velcro de fechamento, calcanhar e solado e por último se escolhe uma malha a ser aplicada como detalhe único no calcanhar e no velcro de fechamento, podendo se escolher a frequência dessa malha através de sliders, o que se gera um pattern único.

Para simular o concept desse sistema foram criadas simulações com o software Photoshop, renderização com o Keyshot 6 e as malhas tridimensionais aplicadas foram criadas com o Cinema 4D R18.



Figura 97 - Escolha cor base

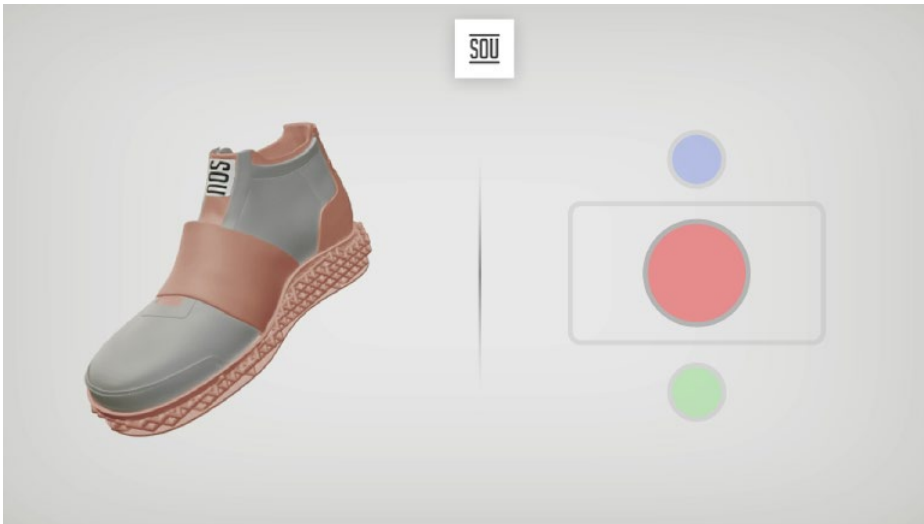


Figura 98 - Escolha da cor secundária



Figura 99 - Escolha e ajusta de malha



Figura 100 - Visualização do modelo criado

5.9 MODELO VISUAL

Com todos os modelos virtuais e sketches prontos, o modelo final do solado foi preparado para impressão. Por conta do valor econômico mais vantajoso para se representar uma estrutura como essa, foi escolhida a o método FDM para impressão, realizada em parceria com o Fab Lab Livre de São Paulo - Unidade Cidade Tiradentes. A máquina usada foi uma Sethi3D Aip, com as seguintes características:

- Área de impressão de 220mm x 210mm x 200mm
- Resolução ajustável de 0.05mm a 0.3mm
- Trabalha com filamento de 1.75mm, bico com saída de 0.4mm

Devido a resolução dessa máquina não ser precisa como uma SLA ou SLS, por exemplo, foi necessário fazer algumas adaptações na estrutura em malha para impressão. Para evitar o uso de suportes, que seria quase impossíveis de serem removidos numa estrutura como essa, foi preciso aumentar todas as espessuras em 1.5mm, fazendo as maiores espessuras chegarem a quase 4mm.

O material utilizado foi PLA Flexível, afim de deixar mais fiel a uma versão final do solado. Por ser flexível os parâmetros utilizados mudam bastante em relação aos filamentos convencionais, como por exemplo a velocidade de avanço deve diminuir bastante, a temperatura deve manter estável e também a velocidade que o bico extrusor vai puxando o filamento deve se manter baixa. Ao todo o tempo de impressão foi em torno de 15horas.

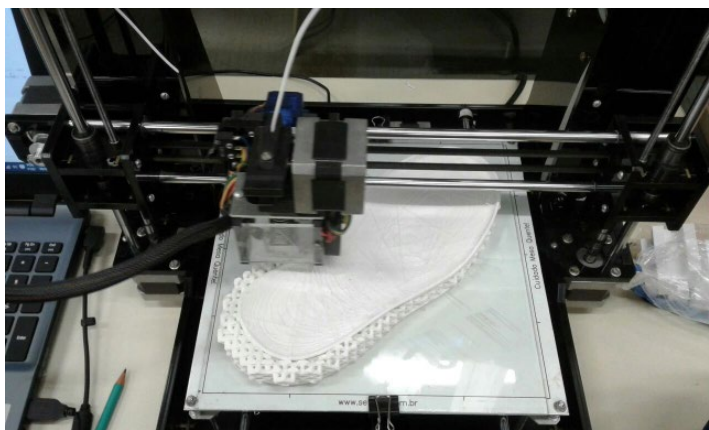


Figura 101 - Impressão do solado



Figura 102 - Impressão concluída

Para o cabedal foi levado os estudos de 3D e sketches para um modelista de calçados de Jaú, no qual fez algumas modificações do desenho original para possibilitar a montagem.

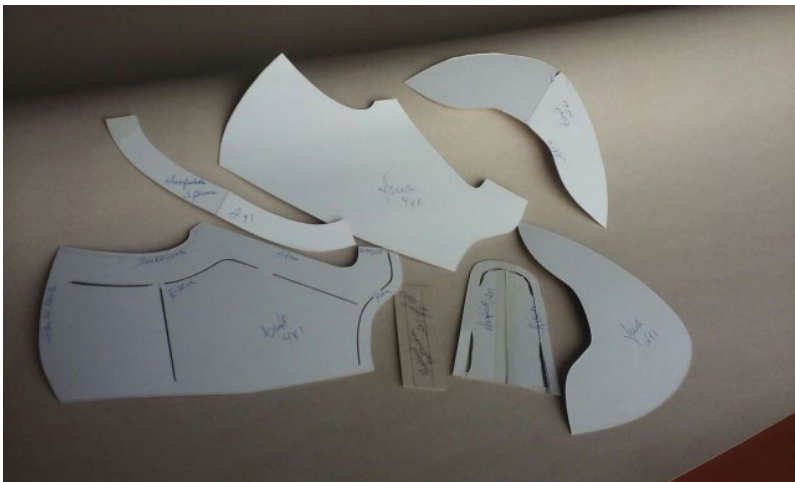


Figura 103 - Moldes feitos a partir da forma



Figura 104 - Tecido aplicado na forma



Figura 105 - Cabedal com solado



Figura 106 - Cabedal com solado

6 CONCLUSÃO

Este projeto foi muito interessante para se explorar as possibilidades que a Manufatura Aditiva carrega daqui para um futuro próximo na produção de bens de consumo. Ao analisar o atual panorama das tecnologias, se percebe que um passo a mais precisa ser dado no refinamento e padronização das técnicas aplicadas.

Não somente o princípio da impressão 3d por camadas, como também a extensão de arquivos utilizadas, são basicamente os mesmos do surgimento dessas tecnologias, o que não acabou acompanhando o desenvolvimento de novas técnicas CAD, principalmente as aplicadas para manufatura aditiva. Um exemplo são as impressoras 3d que possuem excelente precisão para a execução de peças minúsculas e precisas, porém a extensão .STL, por utilizar triângulos para definir uma superfície, acaba gerando um arquivo muito pesado para esses tipos de projetos, o que dependendo do hardware de processamento utilizado, pode inviabilizar ou prejudicar muito a preparação, execução e compartilhamento de peças devido ao seu peso resultante.

No caso de projetos de dimensões pequenas, precisas ou complexas isso é um grande problema, porque ao se pensar no ciclo de trabalho de modelagem - preparação - execução, o resultado final só será satisfatório quando todas as etapas forem fluidas e correspondentes.

Essas dificuldades foram muito presentes no desenvolvimento da malhas testes e solado final. Todo o projeto foi feito em um computador doméstico mediano, sem um processador atual, o que em muitas etapas dificultou a execução das peças. Para as definições das malhas, foi necessário usar uma qualidade mediana de triangulação, pois alcançar uma qualidade superior iria demandar um poder de processamento de uma máquina mais potente onde relação do manuseio e da qualidade final do modelo está sempre presente.

Algumas empresas, principalmente guiadas pela ideia da Manufatura Aditiva, já estão trabalhando em máquinas novas que já possuem uma integração de software otimizada, como o caso da HP e da Carbon 3D, que apresentaram nos últimos dois anos máquinas de extrema precisão que também aliavam ferramentas para processamento nativo. Ainda sim é necessário que se ocorra uma renovação e se busque uma padronização que atenda essas atuais necessidades, para que produtos inovadores, que só poderiam ser feitos através dessas tecnologias, possam ser cada vez mais viáveis e em algum momento estejam presentes no dia-a-dia.

REFERÊNCIAS

CASTRO, A. de P. Características antropométricas dos pés de indivíduos idosos. Dissertação (Mestrado). P. 3 – 11. São Carlos: UFSCar, 2000

FRUTOS, J. D.; SANTOS, E. R.; BORESTEIN, D. (2004). Decision Support System for Product Configuration in Mass Customization Environments. Concurrent engineering: Research and Applications (2004).

FONTANA, Isabela Mantovani; HEEMANN, Adriano. COLABORAÇÃO NO DESIGN PARA A CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA: SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS. Blucher Design Proceedings, v. 2, n. 9, p. 926-935, 2016.

PASSOS, V. T.; KANAMARU, A. T. História do calçado: Uma trajetória de design e ergonomia. In: VIII Colóquio de Moda-5º Congresso Internacional. 2009. p. 1-10.

BOZANO, Samara; DE OLIVEIRA, Rui. Ergonomia do calçado: os pés pedem conforto. Revista da UNIFEBE, v. 1, n. 09, 2011.

FERREIRA, Natalie Rodrigues Alves. • O calçado como artefato de proteção à diferenciação social: A história do calçado da Antiguidade ao século XVI. REVISTA CIÊNCIA ET PRAXIS, v. 3, n. 06, p. 83-90, 2010.

LIPOVETSKY, Gilles. O Império do efêmero: a moda e seu destino nas sociedades modernas. São Paulo: Editora Schwarcz, 1989.

ABILCALÇADOS - RELATÓRIO SETORIAL - INDÚSTRIA DE CALÇADOS DO BRASIL | 2017

CHOI, Jin Woo; CLUVER, Brigitte; KIM, Minjeong. Who Are These Sneakerheads?. 2015.

DE AVIZ, Alexandre; GUERRA, Tiago Carlos; GUERRA, Cesar Augusto. Construção de protótipos por adição e remoção de material comparativo entre deposição em

ABS X usinagem CNC. Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial- ISSN-1983-1838, p. 14-36, 2012.

SMID, P. CNC Programming Handbook, New York, Industrial Press, 2000, 620p

DA COSTA, Dalberto Dias; PEREIRA, Athos Gleber. Desenvolvimento e avaliação de uma tecnologia de baixo custo para programação CNC em pequenas empresas. Production, v. 16, n. 1, p. 48-63, 2006.

BEAMAN, J.J. et al. Solid Freeform Fabrication: A New Direction in Manufacturing: with Research and Applications in Thermal Laser Processing. Springer US, 1997.

PRESTON, Edward J. CRAWFORD, George W. COTICCHIA, Mark E. CAD/CAM Systems: Justification, Implementation, Productivity Measurement. New York, Marcel Dekker, 1984, 358p

<http://www.proptimus.com.br/maquinas-cnc-historia-comando-numerico-computadorizado/> (Acesso: 09/06/17)

<http://www.proptimus.com.br/conceitos-basicos-de-usinagem-cnc/> (Acesso: 11/06/17)

GORNI, Antonio Augusto. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. Plástico Industrial, p. 230-239, 2001.

OLIVAREZ, N. 3-D printers go beyond paper and ink: Mostly celebrated by hobbyists and geeks, 3-D printers may be commonplace one day. Buffalo News, 2010, p. C4.

CASEY, L. Prototype pronto. Packaging Digest, v. 46, n. 8, 2009, p. 54-56

<http://universoretro.com.br/breve-historia-dos-sapatos-da-pre-historia-ao-seculo-xix/> (Acesso: 06/05/17)

<http://www.romeacrosseurope.com/?p=2536#sthash.Dt1GnEHe.dpbs> (Acesso: 06/05/17)

<http://www.cardboardconnection.com/the-history-of-nikes-air-jordan-shoes-told-through-pictures> (Acesso: 06/07/17)

WEFIXFEET. Basic Anatomy of the Foot. Pembroke, 2013 - www.wefixfeet.ca/sites/default/files/anatomyofthefoot.pdf (Acesso: 25/07/17)

BERWANGER, Elenilton Gerson. Antropometria do pé feminino em diferentes alturas de

salto como fundamento para conforto de calçados. 2011.

DÂNGELO, José Geraldo; FATTINI, Carlo Americo. Anatomia humana e sistêmica e segmentar. Atheneu, 2004.

PASSOS, Verônica Thomazini. Calçados artesanais e ferramentas digitais: proposta de um modelo híbrido de criação e desenvolvimento de produto para a prática do design de calçados no Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

<http://www.tenis-para-corrida.com/tipos-pisada-importancia-quem-corre/> (Acesso: 06/07/17)

<http://www.pessemdor.com.br/dores/diagnostico-de-dores/tipo-de-pisada-pronada-supinada/> (Acesso: 06/07/17)

<https://all3dp.com/3d-printed-shoes/> (Acesso: 20/07/17)

<http://www.materialise.com/en/cases/worlds-first-dynamic-printed-insoles> (Acesso: 20/07/17)

INSTRUCOM. 2013. Sistema de Baropodometria Computadorizada. In: Home: Linha de Reabilitação: Baropodometria. http://www.instrucom.com.br/item.php?item_id=81 (Acesso: 21/07/17)

SILVA, Jose 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 3D. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HERMAN, Irving P. Physics of the human body. Springer, 2016.

<http://footwearnews.com/2016/focus/athletic-outdoor/celebrities-athletic-brand-partnerships-rihanna-kylie-jenner-puma-kanye-west-adidas-kevin-hart-nike-286486/> (Acesso: 21/07/17)

<http://footwearnews.com/2016/fashion/designers/rihanna-wins-shoe-of-the-year-fenty-puma-creepers-footwear-news-achievement-awards-fnaa-2016-272599/> (Acesso: 21/07/17)

IMAGENS

Figura 1: <http://universoretro.com.br/wp-content/uploads/2016/10/sapato-5000anos.jpg> (Acesso: 03/06/17)

Figura 2: <http://universoretro.com.br/wp-content/uploads/2016/10/sapato-egipicio.jpg> (Acesso: 03/06/17)

Figura 3: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cc/Caliga%2C_Roman_soldiers_sandal_from_the_1st_Century_AD%2C_Landesmuseum%2C_Mainz_%2811408265805%29.jpg/1000px-Caliga%2C_Roman_soldiers_sandal_from_the_1st_Century_AD%2C_Landesmuseum%2C_Mainz_%2811408265805%29.jpg (Acesso: 03/06/17)

Figura 4: <http://3.bp.blogspot.com/-bgCJEhzFgfY/UXzx96l6Ebl/AAAAAAAAA6o/V5PnpP2MUBU/s1600/zapato+punta.png> (Acesso: 03/06/17)

Figura 5: <http://media2.cardboardconnection.com/wp-content/uploads/2011/04/AirJordan1.jpg> (Acesso: 05/06/17)

Figura 6: <http://therichest2.imgix.net/wp-content/uploads/2014/07/3.jpg?auto=format&cs=tinysrgb&q=20&w=747&h=499&fit=crop> (Acesso: 05/06/17)

Figura 7: <http://www.dontpaniconline.com/media/magazine/body/2012-04-10/images/niketown.png> (Acesso: 05/06/17)

Figura 8: <http://www.proptimus.com.br/wp-content/uploads/2015/01/maquina-fresadora-cartao-perfurado.jpg> (Acesso: 05/06/17)

Figura 9: <http://www.eurostec.com.br/imagens/produtos/20160719090728aex250.jpg> (Acesso: 05/06/17)

Figura 10: http://www.feimafe.com.br/__novaimages/2515582?v=636298656148400000 (Acesso: 05/06/17)

Figura 11: http://www.diskmaqpecas.com.br/img_site/produtos/maquina-de-corte-e-gravacao-a-laser-gh1280.jpg (Acesso: 05/06/17)

Figura 12: Layered mold for relief map proposed in 1892 (Blather, 1892) Fonte: BEAMAN, 1997. in 1892 (Blather, 1892) Fonte: BEAMAN, 1997.

Figura 13: <http://www.3ders.org/images2016/tethon-3d-releases-porcelite-ceramic-3d-printing-resin-for-sla-dlp-3d-printers-1.jpg> (Acesso: 15/06/17)

Figura 14: <http://www.kul3d.com/wp-content/uploads/2014/08/diamond-chair-1.jpg> (Acesso: 15/06/17)

Figura 15: http://korean.cncman.net/photo/pl12247739-diy_desktop_3d_printer_extruder_fdm_3d_printer.jpg (Acesso: 15/06/17)

Figura 16: Data conversion steps for a typical Additive Manufacturing process: Parametric CAD-Triangulated (.stl)-Sliced (AHUJA, 2015)

Figura 17: <https://static-dc.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/customer-stories/airbus/epic-story-airbus-stress-test-comparison-1024x682.jpg> (Acesso: 17/06/17)

Figura 18: <https://static-dc.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/customer-stories/airbus/epic-story-airbus-final-partition-1024x683.jpg> (Acesso: 17/06/17)

Figura 19: http://www.eos.info/press/case_studies/download/CEIT_cranial-implants.pdf (Acesso: 17/06/17)

Figura 20: WATTS, Darren M.; HAGUE, Richard JM. Exploiting the design freedom of RM. 2006.

Figura 21: AZMAN, A. H.; VIGNAT, F.; VILLENEUVE, F. Evaluating Current CAD Tools Performances in the Context of Design for Additive Manufacturing. no, v. 44, p. 1-7, 2014.

Figura 22: http://www.contemporist.com/wp-content/uploads/2015/05/3d-printed-sofa_290515_01.jpg (Acesso: 18/06/17)

Figura 23: <https://www.shiptoleb.com/img/1475655991-3.png> (Acesso: 18/06/17)

Figura 24: <https://www.youtube.com/watch?v=2lQIQChf4Nc> (Acesso: 18/06/17)

Figura 25: www.wefixfeet.ca/sites/default/files/anatomyofthefoot.pdf (Acesso: 15/07/17)

Figura 26: <http://www.pessemdor.com.br/dores/diagnostico-de-dores/pe-chato-pe-cavo/> (Acesso: 15/07/17)

Figura 27: <http://1.bp.blogspot.com/-ZBBysEuE21Q/TdzxxhjvzII/AAAAAAAAAO0/48HafpuAmXs/s1600/tipos+de+pisada.png> (Acesso: 15/07/17)

Figura 28: Fluxograma de processos (Fonte: O autor, 2017)

Figura 29: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 30: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 31: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 32: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 33: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 34: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 35: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 36: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 37: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 38: MOTAWI, Wade. How Shoes are Made. 2016.

Figura 39: <https://all3dp.com/app/uploads/2017/07/Shoe-1-1024x684.png> (Acesso: 20/07/17)

Figura 40: <https://all3dp.com/app/uploads/2017/06/nike-3d-printing-sneakers-1024x576.jpg> (Acesso: 20/07/17)

Figura 41: <https://all3dp.com/app/uploads/2017/07/9a062162b139ad5f06be181d34e9631a.jpg> (Acesso: 20/07/17)

Figura 42: <https://all3dp.com/app/uploads/2017/07/Laurel-shoe-on-model.jpg> (Acesso: 20/07/17)

Figura 43: <http://www.materialise.com/en/cases/worlds-first-dynamic-printed-insoles> (Acesso: 20/07/17)

Figura 44: <http://www.arkipelago.com.br/imgsist/loja/i-231020121353582.jpg> (Acesso: 20/07/17)

Figura 45: Amanda posicionada na plataforma (Fonte: O autor, 2017)

Figura 46: Resultado gerado da distribuição de pressão no software FootWork (Fonte: O autor, 2017)

Figura 47: http://1.bp.blogspot.com/-ROalLHig3uE/UsWwEPpr-XI/AAAAAAAAAUc/N6Yz_ydTwBo/s1600/atos.jpg (Acesso: 20/07/17)

Figura 48: Distribuição do molde (Fonte: O autor, 2017)

Figura 49: Pé posicionado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 50: Barreira improvisada para concentrar material (Fonte: O autor, 2017)

Figura 51: Molde pronto (Fonte: O autor, 2017)

Figura 52 - Gesso aplicado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 53 - Peça preparada para digitalização (Fonte: O autor, 2017)

Figura 54 - Digitalização em andamento (Fonte: O autor, 2017)

Figura 55 - Modelo 3D gerado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 56 - Modelo 3D antes do corte (Fonte: O autor, 2017)

Figura 57 - Modelo 3D depois do corte (Fonte: O autor, 2017)

Figura 58 - Modelo 3D antes da suavização (Fonte: O autor, 2017)

Figura 59 - Modelo 3D depois da suavização (Fonte: O autor, 2017)

Figura 60 - Linhas base para modelagem - vista lateral (Fonte: O autor, 2017)

Figura 61 - Linhas base para modelagem - vista frontal (Fonte: O autor, 2017)

Figura 62 - Modelagem da fôrma finalizada (Fonte: O autor, 2017)

Figura 63 - Modelagem da Versão 1 do solado para estudos (Fonte: O autor, 2017)

Figura 64 - Modelagem da Versão 2 do solado para estudos (Fonte: O autor, 2017)

Figura 65 - Bloco virtual preparado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 66 - Processo de desbaste finalizado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 67 - Processo de acabamento finalizado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 68 - Aplicação de massa plástica (Fonte: O autor, 2017)

Figura 69 - Versão 1 do solado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 70 - Versão 2 do solado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 71 - Fluxograma de processos (Fonte: O autor, 2017)

Figura 72 - Exemplo de preenchimento de malha (Fonte: O autor, 2017)

Figura 73 - Exemplo de malha com espessura de 1,5mm (Fonte: O autor, 2017)

Figura 74 - Imagem renderizada de 4 blocos dos 6 que foram testados (Fonte: O autor, 2017)

Figura 75 - HERMAN, Irving P. Physics of the human body. Springer, 2016.

Figura 76 - Cube Vertex (Fonte: O autor, 2017)

Figura 77 - Cube Edge (Fonte: O autor, 2017)

Figura 78 - Tet-Oct Vertex Centroid (Fonte: O autor, 2017)

Figura 79 - Tet-Oct Edge (Fonte: O autor, 2017)

Figura 80 - Tet Vertex Centroid (Fonte: O autor, 2017)

Figura 81 - Hex Prism Edge (Fonte: O autor, 2017)

Figura 82 - Gráfico de deslocamento (Fonte: O autor, 2017)

Figura 83 - Separação das malhas (Fonte: O autor, 2017)

Figura 84 - Estrutura básica preparada (Fonte: O autor, 2017)

Figura 85 - Pontos de pressão projetados na estrutura básica (Fonte: O autor, 2017)

Figura 86 - Pontos de pressão projetados na estrutura básica (Fonte: O autor, 2017)

Figura 87 - Estrutura seguindo as regras modificadoras em relação a espessura (Fonte: O autor, 2017)

Figura 88 - Parte interna substituída pela malha final (Fonte: O autor, 2017)

Figura 89 - Partes unidas (Fonte: O autor, 2017)

Figura 90 - <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/b5/78/86/b5788675f01f5daf992e2163e4ed6f21--ninjas-triple-black.jpg> (Acesso: 20/07/17)

Figura 91 - <http://static.highsnobiety.com/wp-content/uploads/2016/09/20131001/yeezy-350-v2-contest-00.jpg> (Acesso: 20/07/17)

Figura 92 - Mood Board com referências de estilo e texturas (Fonte: O autor, 2017)

Figura 93 - Sketches 1 (Fonte: O autor, 2017)

Figura 94 - Sketches 2 (Fonte: O autor, 2017)

Figura 95 - Modelagem 3D do modelo - Vista lateral (Fonte: O autor, 2017)

Figura 96 - Modelagem 3D do modelo - Vista 3/4 (Fonte: O autor, 2017)

Figura 97 - Escolha cor base (Fonte: O autor, 2017)

Figura 98 - Escolha da cor secundária (Fonte: O autor, 2017)

Figura 99 - Escolha e ajusta de malha (Fonte: O autor, 2017)

Figura 100 - Visualização do modelo criado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 101 - Impressão do solado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 102 - Impressão concluída (Fonte: O autor, 2017)

Figura 103 - Moldes feitos a partir da forma (Fonte: O autor, 2017)

Figura 104 - Tecido aplicado na forma (Fonte: O autor, 2017)

Figura 105 - Cabedal com solado (Fonte: O autor, 2017)

Figura 106 - Cabedal com solado (Fonte: O autor, 2017)

PROJETO

SOU

2017