

EXPLORANDO O POTENCIAL DA IMPRESSÃO 3D
NO DESENVOLVIMENTO DE CALÇADOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design

EXPLORANDO O POTENCIAL DA IMPRESSÃO 3D
NO DESENVOLVIMENTO DE CALÇADOS

André Luiz Mediate Alves

Orientação: Prof. Dr. Fausto Orsi Medola

Trabalho de Conclusão de Curso
Bacharelado em Design de Produto
Bauru 2025

A474e	Alves, André Luiz Explorando o Potencial da Impressão 3D no Desenvolvimento de Calçados / André Luiz Alves. -- Bauru, 2025 57 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Design) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru Orientador: Fausto Orsi Medola 1. Design de produto. 2. calçados. 3. prototipagem rápida. 4. customização em massa. 5. ergonomia. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família por todo o apoio durante esses anos de Graduação, entre as idas e vindas de Bauru a Araras, sempre me auxiliaram em todos os aspectos para minha formação.

Agradeço também a todas as pessoas que conheci na faculdade e pude compartilhar bons momentos.

E por fim, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fausto Orsi Medola, por ter aceitado me orientar nesse trabalho, sendo sempre compreensivo e me ajudando com as orientações.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso investiga o uso da impressão 3D no desenvolvimento de calçados, relacionando design de produto, sustentabilidade, ergonomia e customização em massa. A pesquisa se justifica pela necessidade de repensar processos tradicionais da indústria calçadista, marcados por alto impacto ambiental, dificuldade de atendimento às particularidades anatômicas dos usuários e baixa capacidade de personalização. Metodologicamente, combinou-se revisão bibliográfica com um processo projetual centrado no usuário, foram realizados levantamentos antropométricos por fotogrametria e medições físicas, levantamento de referências, definição de requisitos, modelagem tridimensional e prototipagem em TPU 95A em impressora FDM. Como resultado, foi desenvolvido um modelo de calçado modular, em material único e com possibilidade de variações formais, além de um protótipo físico. Conclui-se que a impressão 3D constitui uma alternativa promissora para tornar a indústria calçadista mais sustentável, flexível e orientada ao usuário, ainda que demande novos estudos e aperfeiçoamentos.

PALAVRAS-CHAVE

Design de produto; calçados; impressão 3D; prototipagem rápida; customização em massa; ergonomia; sustentabilidade.

ABSTRACT

This undergraduate thesis investigates the use of 3D printing in the development of footwear, connecting product design, sustainability, ergonomics and mass customization. The research is grounded in the need to rethink traditional processes in the footwear industry, which are characterized by high environmental impact, difficulty in addressing users' specific anatomical features and limited possibilities for personalization. Methodologically, a literature review was combined with a user-centered design process that included anthropometric surveys using photogrammetry and physical measurements, collection of visual and functional references, definition of design requirements, three-dimensional modelling and prototyping in TPU 95A using an FDM 3D printer. As a result, a modular shoe model was developed, produced from a single material and allowing for formal variations, in addition to a physical prototype. The study concludes that 3D printing is a promising alternative for making the footwear industry more sustainable, flexible and user-oriented, although further research and technical refinement are still required.

KEYWORDS

Product design; footwear; 3D printing; rapid prototyping; mass customization; ergonomics; sustainability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. JUSTIFICATIVA	9
3. PROBLEMA DE PESQUISA	11
4. OBJETIVOS	12
4.1 Objetivo Geral	12
4.2 Objetivos Específicos	12
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
5.1 Evolução histórica dos calçados e da indústria calçadista	13
5.2 Cultura sneakerhead e transformação do consumidor	16
5.3 Customização em massa e o novo papel do usuário	18
5.4 Sustentabilidade e redução de resíduos na indústria calçadista	19
5.5 Ergonomia e antropometria no design de calçados	20
5.6 Impressão 3D e manufatura aditiva aplicada ao design de produto	22
5.7 Análise de similares e referências de mercado	23
6. DESENVOLVIMENTO	26
6.1 Requisitos de projeto	27
6.1.1 Formais: formas orgânicas, simples e inspiradas na natureza	27
6.1.2 Funcionais: conforto, modularidade e gênero neutro	28
6.1.3 Sustentáveis: material único e reciclável	28

SUMÁRIO

6.2	Medições do usuário	29
6.3	Parâmetros de Impressão	34
6.4	Moodboard e síntese estética do conceito	37
6.5	Geração de alternativas e esboços conceituais	38
6.6	Processo de criação: modelagem 3D	39
6.7	Customização	41
7.	RESULTADOS	42
8.	PROTÓTIPO	49
8.1.	Protótipo final	51
8.2	Pontos positivos e limitações encontradas	55
9.	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

No cenário contemporâneo do design de produto, a fabricação digital emergiu como uma tecnologia revolucionária que desafia as fronteiras da fabricação tradicional. O trabalho de Conceição e Santos (2017, p. 10) aponta que a fabricação digital traz uma nova perspectiva com relação ao design, sendo ela um processo extremamente flexível e que ainda estabelece uma nova relação entre o criador e o usuário final, permitindo que o que for produzido leve em conta o gosto pessoal ou a necessidade do usuário ou até mesmo ser produzido pelo próprio usuário.

Os sapatos, entre os “objetos úteis”, têm uma história que antecede os contextos da civilização. Podemos dizer que a sociedade primitiva desenvolveu os modelos antigos com fins puramente protetores, mas em uma sociedade mais evoluída o calçado passou a ser concebido com uma complexidade cada vez maior entre estética, funcionalidade e inovação em tecnologia e materiais (Roma, 2017, p.3).

O setor de calçados tem sido historicamente moldado por processos de fabricação convencionais, muitas vezes limitando a liberdade criativa e a personalização do produto final e ,junto a isso, existe a questão dos diversos problemas que podem ocasionar em razão de um produto produzido para abranger as demandas de massa, visto que com a intenção de servir a todos, não existe um produto que possa servir exclusivamente às necessidades específicas de um único usuário.

No entanto, a impressão 3D promete transcender essas restrições, permitindo a produção de calçados sob medida, adaptados às necessidades individuais dos usuários, e ao mesmo tempo, oferecendo flexibilidade na geometria, materiais e estruturas. Neste contexto, este projeto busca explorar como a intersecção entre design de produto e impressão 3D pode ser otimizada para a produção de um modelo de calçado.

A escolha deste tema se justifica pela relevância crescente da impressão 3D no campo do design de produto e pelo potencial transformador que essa tecnologia oferece à indústria calçadista. Tradicionalmente, a produção de calçados está associada a processos que demandam grande quantidade de etapas, uso de diversos materiais e geração significativa de resíduos. Nesse sentido, a fabricação aditiva surge como alternativa capaz de reduzir desperdícios de materiais e descartes em sua produção, otimizar recursos e ampliar as possibilidades de design, alinhando-se às necessidades contemporâneas de sustentabilidade.

Além do aspecto ambiental, há também a questão da ergonomia. O uso de calçados inadequados pode causar desconforto, dores crônicas e até mesmo lesões musculoesqueléticas. A impressão 3D possibilita projetar produtos que considerem com maior precisão dados antropométricos e variações individuais dos usuários, contribuindo para um melhor ajuste, conforto e desempenho, especialmente em práticas esportivas ou de uso prolongado.

Outro fator determinante é a tendência da customização em massa, cada vez mais valorizada pelos consumidores, que buscam produtos exclusivos e alinhados às suas preferências pessoais. Nesse ponto, a impressão 3D oferece meios de produzir calçados únicos, possibilitando que a indústria avance de um modelo de produção em série para um modelo mais centrado no usuário.

A impressora 3D elimina grande parte do desperdício de determinados materiais utilizados para a produção, uma vez que se pode fazer produtos sob demanda. Filosoficamente, a impressão 3D é a primeira tecnologia que tem o potencial de permitir um modelo de produção mais biomimético, alinhando com um dos princípios fundamentais da natureza, a tendência para fabricar localmente. Ao produzir produtos sob demanda, não há necessidade de um inventário maciço de produtos, isso em si já reduz os custos e o desperdício de material. (LIMA, 2018, p. 114)

Assim, este trabalho pretende contribuir tanto para o debate acadêmico sobre inovação no design de produto quanto para a prática profissional, ao propor a experimentação de um protótipo que integra sustentabilidade, ergonomia e customização por meio da impressão 3D.

PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar dos avanços na indústria calçadista, os processos de fabricação tradicionais ainda apresentam limitações significativas no que diz respeito à personalização individualizada, à sustentabilidade ambiental e à adoção de soluções ergonômicas adequadas. Nesse contexto, a impressão 3D surge como alternativa promissora, mas ainda pouco explorada na produção de calçados de uso cotidiano.

Pergunta norteadora:

De que maneira a impressão 3D pode ser aplicada ao design de calçados, de forma a integrar customização em massa, ergonomia e sustentabilidade?

4.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o potencial da impressão 3D como recurso para o design de calçado, analisando suas contribuições em termos de customização em massa, sustentabilidade e ergonomia, culminando na elaboração de um protótipo experimental, possibilitando criar um produto que atenda as necessidades de um usuário final e também propor oportunidades criativas oferecidas por esta tecnologia.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar a evolução do design de calçados e as transformações culturais e tecnológicas associadas à sua produção.
- Analisar conceitos de ergonomia e antropometria aplicados ao calçado.
- Analisar o papel da customização em massa e sua relação com o comportamento do consumidor contemporâneo.
- Pesquisar e conhecer os tipos os materiais e tipos de impressão 3d
- Investigar práticas sustentáveis viabilizadas pela fabricação aditiva.
- Estudar casos de empresas que utilizam impressão 3D na produção de calçados (ex.: Zellerfeld)
- Estudar materiais e parâmetros de impressão 3D, especialmente padrões de preenchimento (infill), para avaliar resistência, flexibilidade e eficiência de produção.
- Desenvolver um protótipo de calçado com impressão 3D, documentando o processo e avaliando suas potencialidades e limitações.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS CALÇADOS E DA INDÚSTRIA CALÇADISTA

A história do calçado acompanha o desenvolvimento das civilizações. Pesquisas revelam que sua origem surgiu no final do período Paleolítico, no começo, ele tinha apenas a função de proteger os pés do frio e das irregularidades do terreno e sua composição era de materiais como o couro cru, madeira, palha e tecido.

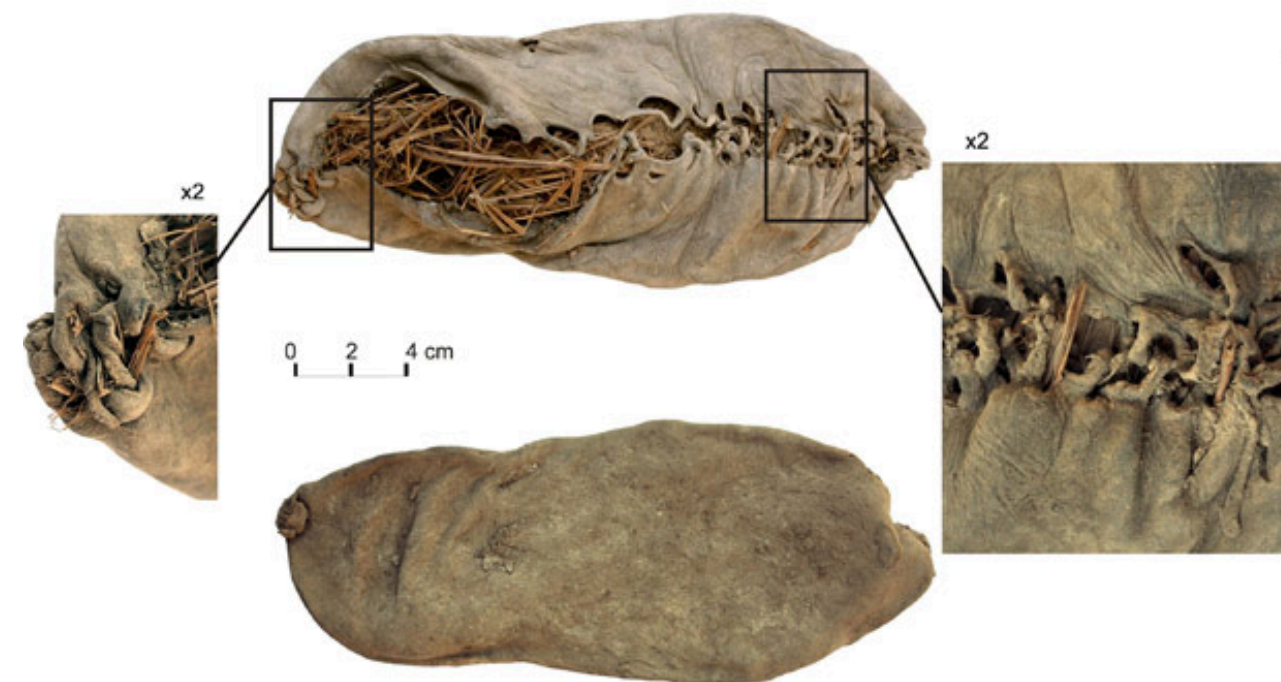


Figura 1: Um grupo de cientistas internacionais liderados pela Universidade de Cork, na Irlanda, encontraram o que dizem ser o sapato de couro mais antigo do mundo. O objeto, que estava em uma caverna na Armênia, tem idade estimada em 5.500 anos. Fonte: g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2010/06/arqueologos-encontram-sapato-mais-antigo-do-mundo-na-armenia.html

Com o passar do tempo, passou a representar também status e posição social. Desde a Antiguidade, os calçados começaram a se tornar símbolos de poder e distinção entre as pessoas, deixando de ser apenas objetos de proteção (FERREIRA, 2010, P. 84).

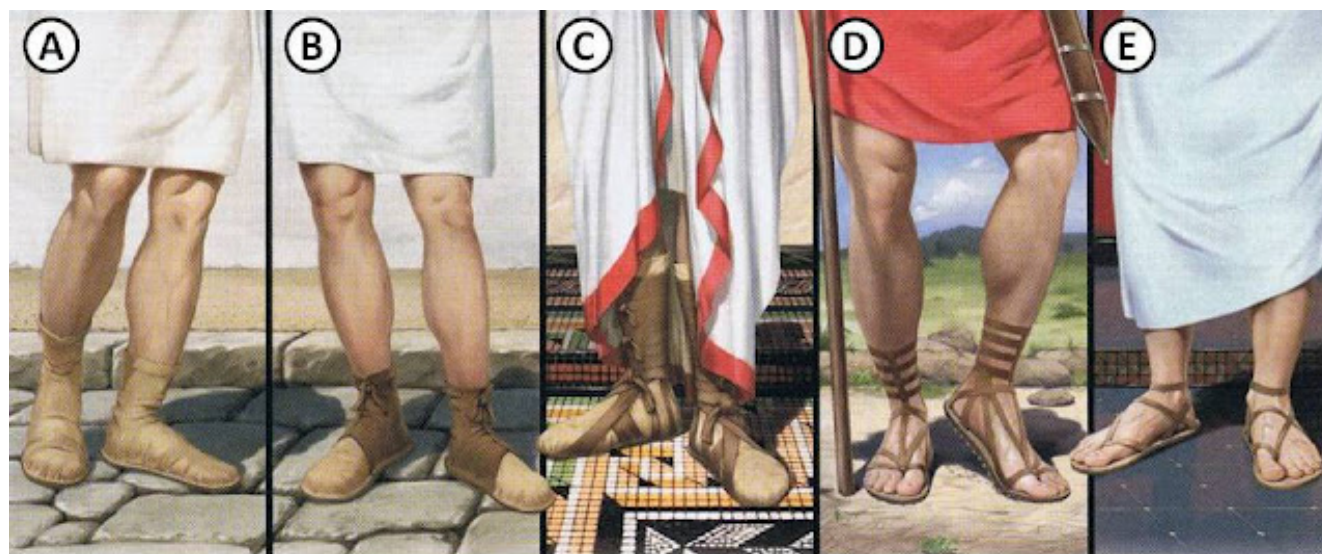


Figura 2: O calçado, um símbolo social na Roma Antiga. Fonte: disciplina-de-historia.blogspot.com/2012/07/o-calcado-um-simbolo-social-na-roma.html

Na Roma antiga, os calçados eram variados e definidos de acordo com sua classe social, dentre eles, os principais eram as *soleae* (figura E), os *calcei* (figura B e C), que eram os sapatos formais do cidadão romano e o *caligae* (figura D) usado pelo exército legionário e também por camponeses (O calçado, um símbolo social na Roma Antiga, 2012).

Com o avanço das sociedades, novos materiais e técnicas foram sendo usados. Na Idade Média e no Renascimento, os calçados ganharam formas e estilos variados, refletindo costumes e valores da época. Segundo Passos e Kanamaru (2009. p.3) “O aperfeiçoamento das técnicas e o surgimento de novas ferramentas ao longo dos anos, somados a chegada da primeira Revolução Industrial, no século XVIII, fez com que este artefato passasse a ser produzido em larga escala”.

Os processos artesanais deram lugar à produção em grande escala, o que tornou o calçado mais acessível à população. Essa mudança marcou o início da indústria calçadista moderna, que se consolidou ao longo dos séculos seguintes.

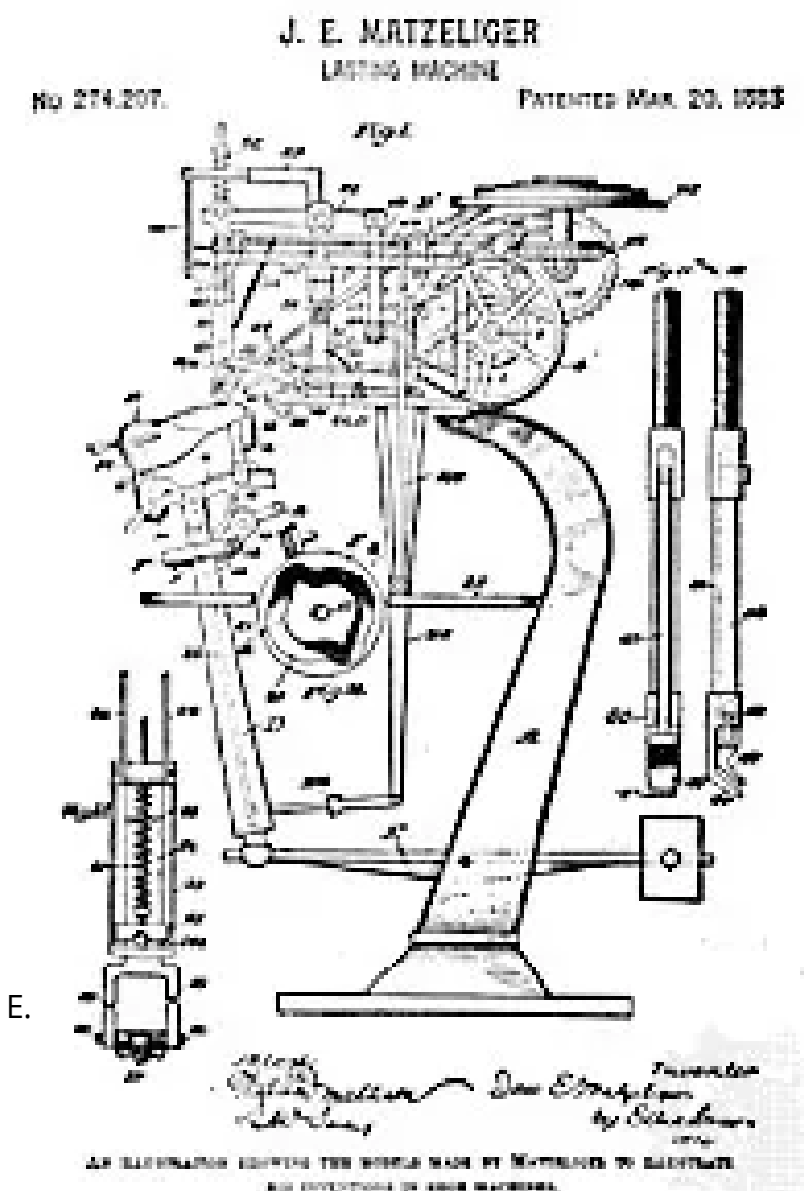


Figura 3: Desenho de patente de uma máquina de montar calçados. Teve um grande impacto na produção industrial de calçados. Inventada por Jan E. Matzeliger. Fonte: shoe-gazing.com/2015/10/25/history-the-lasting-machine/

No Brasil, o setor de calçados começou a se estruturar com mais força a partir do século XX, especialmente no Rio Grande do Sul, que se tornou um dos principais polos produtores. Estudos recentes mostram que o setor ainda enfrenta desafios importantes, como a concorrência internacional e a necessidade de modernização. Segundo Scarano et al. (2019, p. 171), a indústria calçadista brasileira precisa superar barreiras ligadas à economia e à inovação para continuar competitiva.

Essa trajetória mostra que o calçado sempre foi mais do que um simples acessório. Ele reflete aspectos culturais, econômicos e tecnológicos de cada época. Hoje, com o avanço da fabricação digital e das tecnologias como a impressão 3D, o design de calçados passa por uma nova transformação. Essas ferramentas permitem pensar o calçado não só como um produto industrial, mas como um objeto que une função, estética e identidade.



Figura 4: Indústria calçadista brasileira Fonte:
<https://br.fashionnetwork.com/news/Exportacoes-de-calcados-cairam-17-8-ate-outubro,1680451.html>

5.2 CULTURA SNEAKERHEAD E TRANSFORMAÇÃO DO CONSUMIDOR

A cultura sneakerhead representa muito mais do que o ato de comprar e usar tênis. Ela se consolidou como um fenômeno cultural que envolve identidade, estilo e pertencimento. Dentro desse contexto, o consumidor sneakerhead busca exclusividade, história e significado nos pares que eleger, o que transforma completamente a relação entre marcas e usuários.

O surgimento dessa cultura está ligado à influência da música, do esporte e da moda urbana, especialmente a partir das décadas de 1980 e 1990, quando o tênis passou a ocupar um papel central no streetwear. Segundo Neis (2021, p. 6) o termo sneakerhead surgiu em meados dos anos 1980 e se popularizou a partir do basquete e do hip-hop, sendo considerado mais do que um movimento de consumo, um fenômeno social que carrega valores simbólicos e afetivos.

Existe um sentimento, representatividade, história ou significado do tênis para a pessoa. O relacionamento com o tênis pode vir de diferentes origens, seja por uma lembrança, por status, por representatividade ou por amor à cultura sneakerhead. A cultura sneakerhead está diretamente ligada com a moda, principalmente o streetwear, podendo se afirmar que é uma vertente dessa cultura. (NEIS, 2021, p. 57-58).

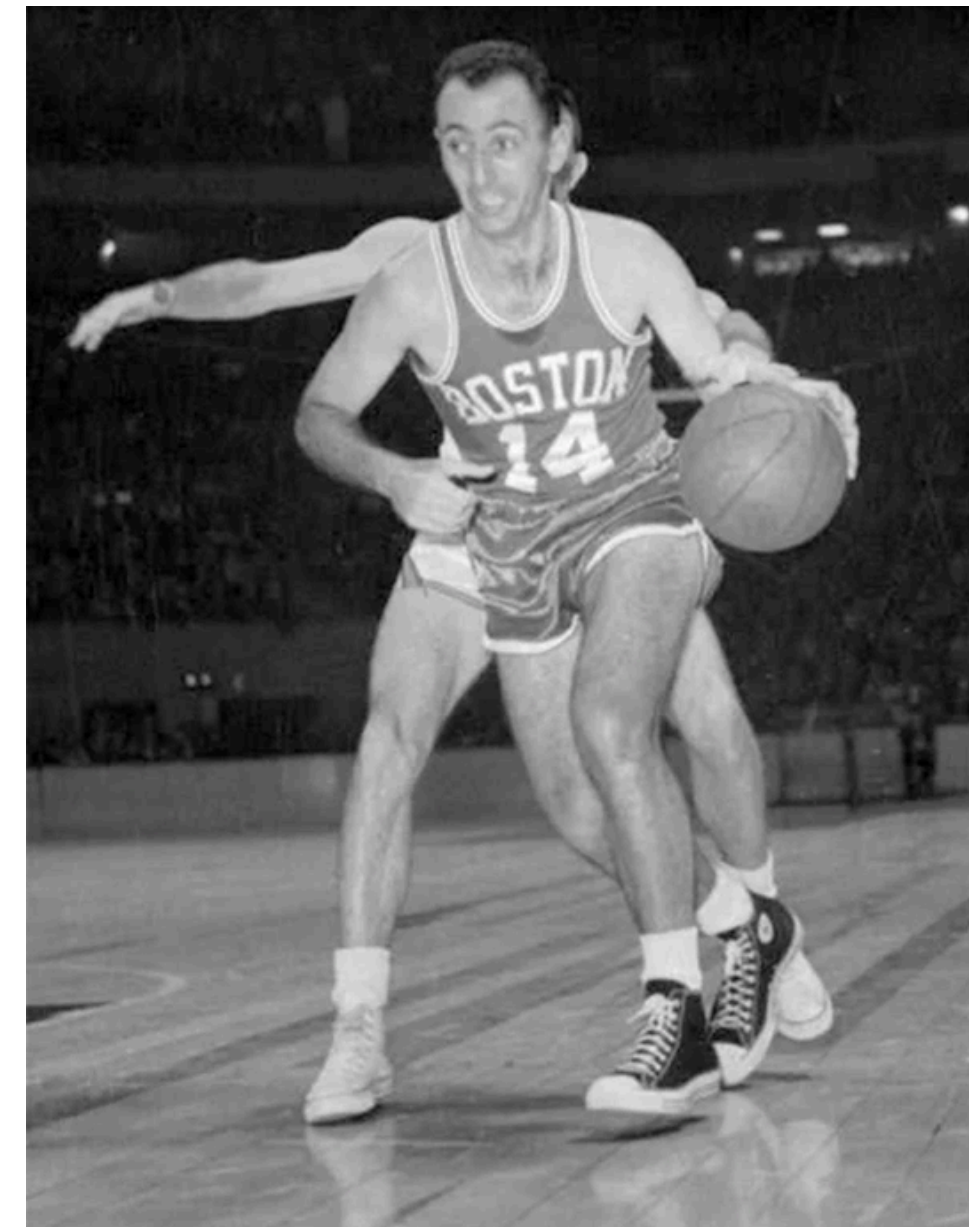


Figura 5: Converse All Star, inicialmente usado exclusivamente no Basquete. Fonte: <https://stealthelook.com.br/a-historia-dos-tenis-mais-famosos-do-mundo/>

Essas observações reforçam que o uso do tênis ultrapassa o campo funcional e torna-se um meio de expressão e identidade. Essa transformação afeta diretamente o design e a produção de calçados. As marcas respondem com estratégias centradas em colaborações, séries limitadas e experiências, enquanto o design de produto é provocado a lidar com personalização, ciclos curtos e maior participação do usuário nas escolhas formais e materiais.

De acordo com Costa (2020, p. 14), “a cultura sneakerhead surgiu nos anos 80 a partir da difusão da cultura hip hop e do basquete. Desde então, existe uma crescente evolução no que antes eram apenas estilos de calçados focado em esportes, para a cultura de massa.” Reforçando a ideia de que o tênis é hoje um artefato cultural que expressa individualidade e conecta gerações, ultrapassando fronteiras entre moda, tecnologia e comportamento.



Figura 6: Air Jordan 1 High Dior, colaboração entre a gigante esportiva Nike e a Grife Francesa Dior. Uma das colaborações mais caras, exclusivas e desejadas. Fonte: <https://www.voxsneakers.com/blogs/journal/heat-dior-x-nike-air-jordan-1>

5.3 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

A passagem do modelo tradicional de produção para uma lógica centrada no usuário tem na impressão 3D um ponto de virada. A customização em massa representa uma mudança significativa na lógica de produção da indústria contemporânea, pois combina a eficiência da fabricação em larga escala com a personalização individual. Com o avanço da Indústria 4.0 e o surgimento das fábricas inteligentes, torna-se possível produzir em grande volume sem perder a capacidade de atender às preferências específicas de cada usuário, sejam elas estéticas, funcionais ou conceituais, fortalecendo a competitividade e a inovação no setor (Conceição e Santos, 2017, p. 7).

Em vez de escalar o mesmo produto para todos, a fabricação aditiva permite construir pares com geometrias, ajustes e comportamentos específicos. No plano conceitual, isso se traduz em liberdade de projeto e viabilidade de séries mínimas. Como sintetizam Calixto e Sobreira (2020, p. 2), “é uma tecnologia insensível a quantidade e complexidade, o que possibilita produção unitária de produtos e, como consequência, alta customização de projetos com maior liberdade de design.”

Essa capacidade técnica sustenta uma mudança mais ampla no modo de produzir e consumir. O próprio texto destaca que “nesse contexto, a impressão 3D está impulsionando a transição da produção em massa para a personalização em massa.”(Calixto e Sobreira, 2020, p.2).

Em outras palavras, a personalização deixa de ser exceção artesanal para se tornar estratégia de desenvolvimento de produto, com impacto direto no design do calçado, na engenharia de materiais e no relacionamento com o usuário.

Há também um efeito de deslocamento do papel do consumidor. Como afirma Calixto e Sobreira(2020, p. 3), a oportunidade de personalização e customização em massa faz com que pessoas tornem-se verdadeiros agentes no processo produtivo.

Em síntese, a customização em massa combina três frentes: liberdade de desenho com produção unitária viável; participação ativa do usuário no processo; e decisões de projeto que favorecem modularidade, reuso e circularidade. Esse conjunto de fatores legitima o desenvolvimento de um modelo impresso em material único, alinhado à demanda por ajuste, identidade e desempenho contextualizado ao uso.

5.4 SUSTENTABILIDADE E REDUÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA CALÇADISTA

A sustentabilidade tornou-se um dos pilares centrais do design contemporâneo, especialmente em setores com forte impacto ambiental, como o calçadista. Historicamente, a produção de calçados tem gerado grande volume de resíduos sólidos, oriundos do corte de materiais, do uso de adesivos e de processos de acabamento que dificultam o reaproveitamento das sobras. De acordo com Müller (2017, p. 9–10), o setor coureiro-calçadista é o maior gerador de resíduos sólidos do Rio Grande do Sul, com baixo índice de reaproveitamento e descarte irregular de componentes, o que demonstra a necessidade de políticas mais eficazes de gestão ambiental.

Além do volume de resíduos, os impactos ambientais da indústria de calçados estão relacionados ao uso intensivo de água, energia e materiais não renováveis, fatores que se agravam diante da obsolescência acelerada e da falta de circularidade dos produtos. Müller (2017, p. 24) enfatiza que o reaproveitamento de embalagens, o uso racional de insumos e a manutenção preventiva dos equipamentos são medidas essenciais para reduzir o consumo de energia e minimizar o impacto em todo o ciclo de vida do produto.

Kohan (2018, p. 78–80) mostra que a sustentabilidade no setor de calçados tem avançado principalmente por meio da substituição de materiais convencionais por alternativas ecológicas, como o reuso de couro descartado e o desenvolvimento de compósitos com resíduos de fibras vegetais.

Apesar desses avanços, a autora destaca que ainda há falta de políticas estruturadas de circularidade e baixa taxa de reciclagem de calçados pós-consumo no país, especialmente pela dificuldade de separação de materiais e ausência de logística reversa efetiva (KOHAN, 2018, p. 156).

Novas tecnologias de fabricação digital têm surgido como uma alternativa concreta para enfrentar esses desafios. A impressão 3D, ao eliminar moldes e processos de corte, reduz significativamente o desperdício de material e viabiliza a produção sob demanda, em pequena escala e com melhor aproveitamento dos recursos. Müller (2017, p. 69–70) aponta a manufatura aditiva como uma das principais ferramentas para reduzir resíduos, permitindo criar calçados com precisão dimensional e economia de insumos.

Portanto, a sustentabilidade na indústria calçadista está diretamente ligada à reformulação dos processos produtivos e à adoção de tecnologias de baixo impacto ambiental. A integração entre design, engenharia e consciência ecológica permite desenvolver produtos com menor pegada de carbono, maior durabilidade e possibilidade de reaproveitamento.

Nesse contexto, a impressão 3D aplicada ao design de calçados representa não apenas uma inovação técnica, mas também uma oportunidade de alinhar criatividade, eficiência produtiva e responsabilidade ambiental, princípios que norteiam o presente trabalho.

5.5 ERGONOMIA E ANTROPOMETRIA NO DESIGN DE CALÇADOS

O estudo da ergonomia e da antropometria tem papel essencial no desenvolvimento de calçados que sejam confortáveis, seguros e adequados às dimensões reais dos usuários. A ergonomia, ao considerar o relacionamento entre o corpo humano e os produtos utilizados, busca adaptar o objeto às limitações e necessidades do indivíduo, garantindo que os produtos se ajustem ao usuário, e não o contrário (ROCKPORT, 2003, apud PEREIRA, 2015). Nesse contexto, o design de calçados deve ser pensado não apenas sob o ponto de vista estético, mas como um elemento funcional que precisa oferecer sustentação, estabilidade e conforto em diferentes contextos de uso.

O Design como uma atividade de projeto também apresenta um caráter interdisciplinar e multidisciplinar e tem se apoiado nas mais variadas áreas do conhecimento para validar e corroborar pesquisas e o desenvolvimento de produtos, uma dessas áreas é a Ergonomia que associada ao Design geram conhecimentos que podem ser aproveitados no desenvolvimento de projeto das mais variadas áreas, gerando produtos mais seguros, confortáveis, aceitáveis e efetivos. (PEREIRA, 2015, p. 21)

A antropometria, por sua vez, fornece as bases para dimensionar corretamente o calçado em relação às medidas do pé humano. Entretanto, estudos recentes apontam que as tabelas de numeração padronizadas nem sempre representam as diferenças morfológicas entre indivíduos.

A pesquisa de Takayama e Merino (2020, p. 89) revelou que 85,7% dos participantes consideraram que os calçados disponíveis no mercado não eram adequados aos seus pés, relatando incômodos como aperto, bolhas e dores. Além disso, constatou-se que mais da metade das participantes apresentou o pé direito maior que o esquerdo, evidenciando a assimetria dos membros e a dificuldade em encontrar calçados que atendam a ambos de forma confortável (TAKAYAMA; MERINO, 2020, p. 91).

Esses dados demonstram que a variação antropométrica é um desafio importante para o design de calçados. Embora o sistema de medidas tradicional simplifique a produção em massa, ele não contempla a diversidade anatômica da população. Bozano e Oliveira (2011, p. 8–9) destacam que novos sistemas digitais de medição e modelagem dos pés têm colaborado para a construção de calçados mais adequados, possibilitando o desenvolvimento de produtos personalizados e ajustados às necessidades específicas de cada usuário.

Além dos dados dimensionais, a ergonomia no design de calçados envolve também aspectos funcionais e perceptivos. A forma como o pé se comporta durante a caminhada, a distribuição de peso e as regiões de maior pressão são fatores que devem ser considerados no

desenvolvimento de palmilhas, solados e materiais. Esses estudos revelam que o conforto percebido está diretamente relacionado ao equilíbrio entre suporte mecânico e percepção subjetiva de bem-estar.

De forma complementar, Takayama e Merino (2020) apontam que o desenvolvimento de calçados ergonômicos e confortáveis depende da integração entre levantamento antropométrico e percepção de uso. A análise das medidas do pé, combinada ao relato dos usuários sobre conforto, pressão e estabilidade, permite identificar ajustes necessários nas formas e materiais. Essa relação entre dados objetivos e experiência subjetiva aproxima o design de calçados de uma prática centrada no usuário, na qual o produto final reflete as necessidades físicas e sensoriais de quem o utiliza.

Portanto, a ergonomia e a antropometria não devem ser vistas como etapas isoladas, mas como partes de um mesmo processo que sustenta o design funcional e responsável. Incorporar esses princípios no desenvolvimento de calçados impressos em 3D representa uma oportunidade de unir tecnologia e bem-estar, criando produtos que respeitam as diferenças humanas e oferecem maior conforto e adequação ao usuário.

5.6 IMPRESSÃO 3D E MANUFATURA ADITIVA APLICADA AO DESIGN DE PRODUTO

A prototipagem rápida representa um marco no processo de desenvolvimento de produtos, permitindo testar formas, volumes e funcionalidades antes da produção final. Sua evolução natural foi a impressão 3D, que transformou a fase experimental em uma etapa de fabricação real e acessível, com impacto direto no design de calçados.

A manufatura aditiva, é desenvolvida a partir de um sistema RP – Rapid Prototyping (prototipagem rápida), que permite a fabricação rápida de modelos físicos, usando dados tridimensionais. Os sistemas de prototipagem rápida, surgiram no final da década de 80, com a introdução da tecnologia de steriolithography (estereolitografia), que é um processo de solidificação de camadas de material sensível à luz.(CONCEIÇÃO E SANTOS, 2017, p. 10)

Dessa forma, o processo de impressão acontece a partir de um desenho 3D feito em um software do tipo Computer Aided Design(CAD - Desenho assistido por computador), na qual auxiliam a produção de desenhos técnicos e modelos digitais 3D, em seguida esses desenhos são enviados para uma impressora no qual um material adequado é escolhido para ser feito uma sobreposição de camadas, até que o objeto seja formado por inteiro (CALIXTO E SOBREIRA, p. 3). Essa tecnologia viabilizou a criação de modelos físicos diretamente a partir de arquivos digitais, tornando o ciclo de design mais ágil e flexível. Permitindo prototipar o produto e, se necessário, alterar o modelo digital de forma muito mais rápida e eficiente” (CONCEIÇÃO; SANTOS, 2017, p. 10)

A tecnologia rapidamente extrapolou a fase de protótipo. O estudo de DA SILVA (2020, p. 4) aponta que no que diz respeito em específico a manufatura aditiva, desde que surgiu nos anos 80 passou por rápido progresso na ciência dos softwares e no aprimoramento das tecnologias, o que permitiu seu uso na produção de produtos finais.

Isso a torna não apenas uma ferramenta de experimentação, mas um método de produção funcional, usado para componentes, solados e cabedais complexos.

No design de calçados, essa transformação é significativa. A impressão 3D elimina a necessidade de moldes tradicionais, reduz custos e encurta prazos, permitindo que o designer teste ajustes ergonômicos e estruturais com alta precisão.

5.7 ANÁLISE DE SIMILARES E REFERÊNCIAS DE MERCADO

ADIDAS FUTURECRAFT

A Adidas é uma das marcas tradicionais que mais apostou em manufatura aditiva na indústria de calçados. Seu programa Futurecraft 3D, é possível ver na imagem a entressola totalmente impressa em 3D, sendo produzida com uma personalização de estrutura para o pé de cada atleta. (materialise.com)

A marca continuou com a série Futurecraft 4D, enfatizando processos avançados de impressão e customização em larga escala. A iniciativa demonstra a aplicação de impressão 3D não apenas em protótipos, mas também em produtos de desempenho comercial e inovação industrial. (WILL CRAIG, 2018)



Figura 7: Tênis Adidas Futurecraft. Fonte: Adidas

Após uma série de versões e lançamentos de modelos com essa tecnologia, ela mantém viva a busca por inovação, o tênis conceito FUTURECRAFT.STRUNG presente na imagem abaixo é modelo que eleva o nível de customização para todo o tênis, com base em dados de atletas, ela pode desenvolver diferentes tipos de cabedais e entressolas, de acordo com seu segmento.(ADIDAS, 2020)



Figura 8: Tênis Adidas Futurecraft Strung. Fonte: Adidas

ZELLERFELD

A Zellerfeld é uma startup alemã que atua exclusivamente com impressão 3D para calçados. Ela vem transformando a maneira como se produz e como se consome calçados. Com produção sob demanda, colaborações com marcas e designers, um exemplo é a colaboração junto a Heron Preston, a marca homônima do Designer Americano Heron Preston. Junto a isso, trás uma experiência de compra altamente customizada e compromisso com a sustentabilidade, ela permite que os clientes devolvam os calçados que já chegaram a um fim de vida útil para reinserir o filamento reciclado na produção de um novo calçado. A Zellerfeld está liderando essa mudança no panorama dos calçados (INOVASOCIAL, 2023).



Figura 9: Tênis Zellerfeld em parceria com a marca Heron Preston. Fonte: <https://futureworld.com/footwear/heron-preston-zellerfeld-heron01-sneaker-mr-baily-3d-printed-recyclable-stockx-slip-o/>

SYNTILAY

A Syntilay é um exemplo de empresa mais recente que pretende levar calçados totalmente impressos em 3D ao mercado, incluindo desenvolvimento com inteligência artificial e impressão total da peça, o modelo futurista abaixo teve em sua criação o uso de IA generativa.

Embora ainda em estágio emergente, ela evidencia a direção futura da indústria, um mercado em que impressão 3D e personalização se tornam norma (Steiner, 2025).



Figura 10: Tênis Syntilay. Fonte: <https://www.3dnatives.com/en/syntilay-launches-3d-printed-and-ai-developed-shoes-on-the-market-150120256/#!>

HILOS

Marca americana relativamente nova que foca em calçados impressos em 3D sob demanda. Por exemplo, o calçado da imagem foi feito em parceria com Dolce Vita, produziram calçados 3D sob demanda, combinando impressão 3D e um processo mais tradicional de produção com o uso de couro (BOISSONNEAULT, 2025).



Figura 11: Primeiro produto dessa parceria, uma saldalha feita em couro e materiais impresso em 3d. Fonte: <https://www.voxelmatters.com/dolce-vita-rolls-out-on-demand-3d-printed-footwear-with-hilos/>

Após a etapa de fundamentação teórica e levantamento de referências, iniciou-se a fase de desenvolvimento do projeto, na qual foram aplicados os conceitos estudados de sustentabilidade, ergonomia, antropometria e manufatura aditiva. Com base nos estudos apresentados, esta fase buscou transformar o conhecimento teórico em prática projetual, resultando na criação de um modelo de calçado produzido em material único e impresso em 3D.

O processo seguirá etapas que incluem a definição de requisitos de projeto, um estudo comparativo de padrões de preenchimento (infills), buscando identificar qual estrutura interna proporciona melhor equilíbrio entre conforto, resistência e economia de material e elaboração de moodboard para referência estética e conceitual. Com base nesses insumos visuais e técnicos, serão produzidos esboços e estudos formais, explorando ideias e alternativas de design.

Para garantir a adequação ergonômica e antropométrica, foi realizado um mapeamento tridimensional do pé, combinando métodos digitais e físicos. O pé do usuário foi digitalizado por meio de fotogrametria, utilizando o aplicativo Polycam: 3D Scanner & Editor, que gera um modelo 3D a partir de uma sequência de fotografias. Paralelamente, foi obtidas medições físicas a fim de validar dimensões e curvas anatômicas, permitindo desenvolver uma forma tridimensional personalizada.

Por fim, foi produzido um protótipo conceitual físico em impressora 3D do tipo FDM.

6.1 REQUISITOS DE PROJETO

Com base nas análises teóricas, nas referências visuais e nas diretrizes metodológicas apresentadas, foram estabelecidos os requisitos de projeto que orientou o desenvolvimento do calçado impresso em 3D. Esses requisitos foram definidos a partir de três eixos principais : formais, funcionais e sustentáveis.

A formulação desses parâmetros tem como objetivo garantir que o produto final seja coerente com os princípios do design de produto contemporâneo, atendendo às demandas estéticas, práticas e ecológicas do consumidor moderno. Os critérios adotados foram guiados pelas etapas de estudo da ergonomia e antropometria, pelos conceitos de customização em massa e pelas potencialidades da manufatura aditiva no contexto do design sustentável.

6.1.1 REQUISITOS FORMAIS

Do ponto de vista formal, o projeto busca explorar linhas orgânicas e superfícies contínuas, inspiradas em elementos naturais. Essa abordagem se alinha à tendência do design bioinspirado, no qual a forma é derivada da função e da eficiência estrutural observada na natureza.

A escolha por geometrias simples e fluidas não apenas confere uma estética harmônica, mas também contribui para o aproveitamento eficiente do material durante a impressão 3D, reduzindo suportes e minimizando desperdícios.

O caráter orgânico também reforça a ideia de uma transição suave entre o digital e o natural, expressando a essência da manufatura aditiva como ferramenta de criação que aproxima a tecnologia do corpo humano e do ambiente.

6.1.2 REQUISITOS FUNCIONAIS

Os requisitos funcionais são definidos a partir da relação direta entre usuário, forma e uso. O principal critério é o conforto, considerado essencial para o desempenho e a aceitação do produto. A forma do calçado será projetada a partir das medidas reais obtidas pelo processo de fotogrametria e medições físicas, garantindo um ajuste ergonômico e antropométrico fiel às características individuais do pé

A modularidade é outro aspecto funcional explorado no projeto, permitindo que o design possa ser adaptado para diferentes contextos de uso sem a necessidade de refazer todo o modelo, a ideia é gerar uma alternativa base que possa ser modular, onde a parte do solado será uma base fixa e a parte superior do calçado ter variações . Essa flexibilidade é facilitada pela natureza digital da manufatura aditiva, que possibilita ajustes diretos no modelo tridimensional e reimpressão sob demanda.

Por fim, o produto propõe uma estética sem gênero, evitando distinções formais entre calçados masculinos e femininos. Essa decisão se baseia na premissa de um design inclusivo, que prioriza a função e a experiência de uso sobre a categorização de gênero, alinhando-se às novas tendências culturais e de consumo dentro da moda.

6.1.3 REQUISITOS SUSTENTÁVEIS

O terceiro eixo do projeto refere-se à sustentabilidade, pilar central desta pesquisa. A proposta de utilizar um único material visa eliminar o uso de colas, costuras e outros componentes que dificultam o processo de reciclagem.

Além disso, a impressão 3D possibilita a produção sob demanda, evitando estoques desnecessários e reduzindo o consumo energético e o descarte de sobras.

6.2 MEDIÇÕES DO USUÁRIO

Para o desenvolvimento do modelo digital do pé do usuário final, foi escolhido duas técnicas em conjunto para se obter uma medida aproximada. O usuário escolhido foi o próprio autor e com base nisso, procurei por maneiras de tirar medidas que pudesse me auxiliar de forma prática e rápida, foi então que recorri a fotogrametria, uma técnica que permite a partir de uma série de fotografias digitais, se obter um modelo em 3D detalhado.

Para isso, utilizei o aplicativo Polycam: 3D Scanner & Editor Polycam, disponível para celulares Android e IOS, ele é classificado como um dos melhores da categoria na Play Store. Sua interface é fácil e intuitiva, permitindo criar modelos 3d de objetos. Para criar é só registrar o objeto desejado em diversos ângulos através de fotos, após os registros ele irá fazer um processamento e disponibilizar para download nos mais variados tipos de arquivo, alguns formatos requerem uma assinatura mas é possível fazer um teste grátis de 7 dias.



Figura 12: logo Polycam. Fonte: Play Store

Modelo 3D gerado com o Polycam, dentro do próprio app, é possível visualizar o modelo digitalizado em formato de scanner, malha e argila.

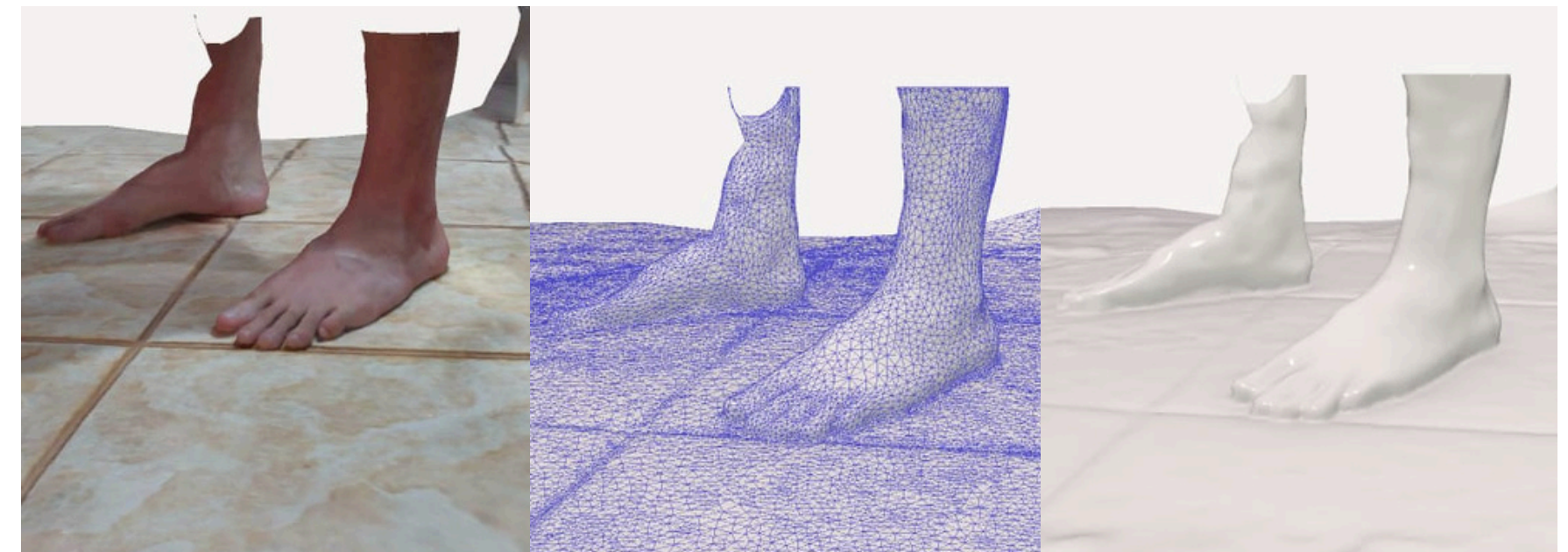


Figura 13: Tipos de visualizações dentro do aplicativo Polycam. Fonte: autor.

Após exportar o arquivo 3D, utilizei o software Blender para limpar o modelo, já que no processo de digitalização, o chão foi junto ao arquivo.

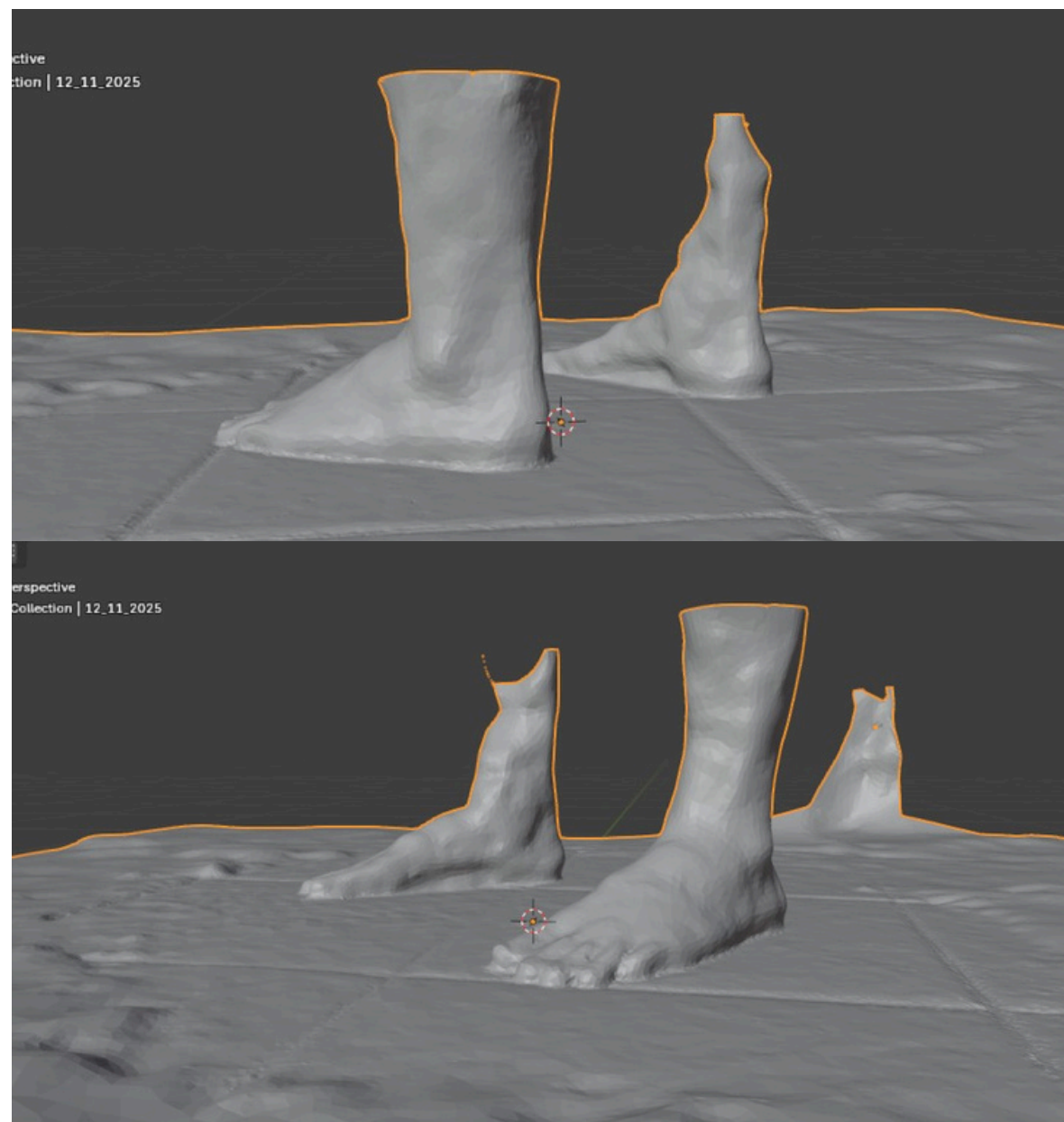


Figura 14: modelo sem edições na viewport do Blender, Fonte: autor.



Figura 15: modelo limpo na viewport do Blender, Fonte: autor.

O próximo passo base se obter as medidas foi utilizar a régua, um papel e uma caneta, foi criado em um bloco A3 para uma melhor distribuição e manter certos parâmetros linhas de 5 por 5 cm e os pés foram posicionados em bases iguais das divisões, e com o auxílio de uma caneta contornei o formato dos dois pés.



Figura 16: Etapa de medir os pés. Fonte: autor.

Após retirar as medidas, pode-se observar através do uso de uma régua para conferir as medidas que os dois contornos tiveram medidas muito semelhantes.

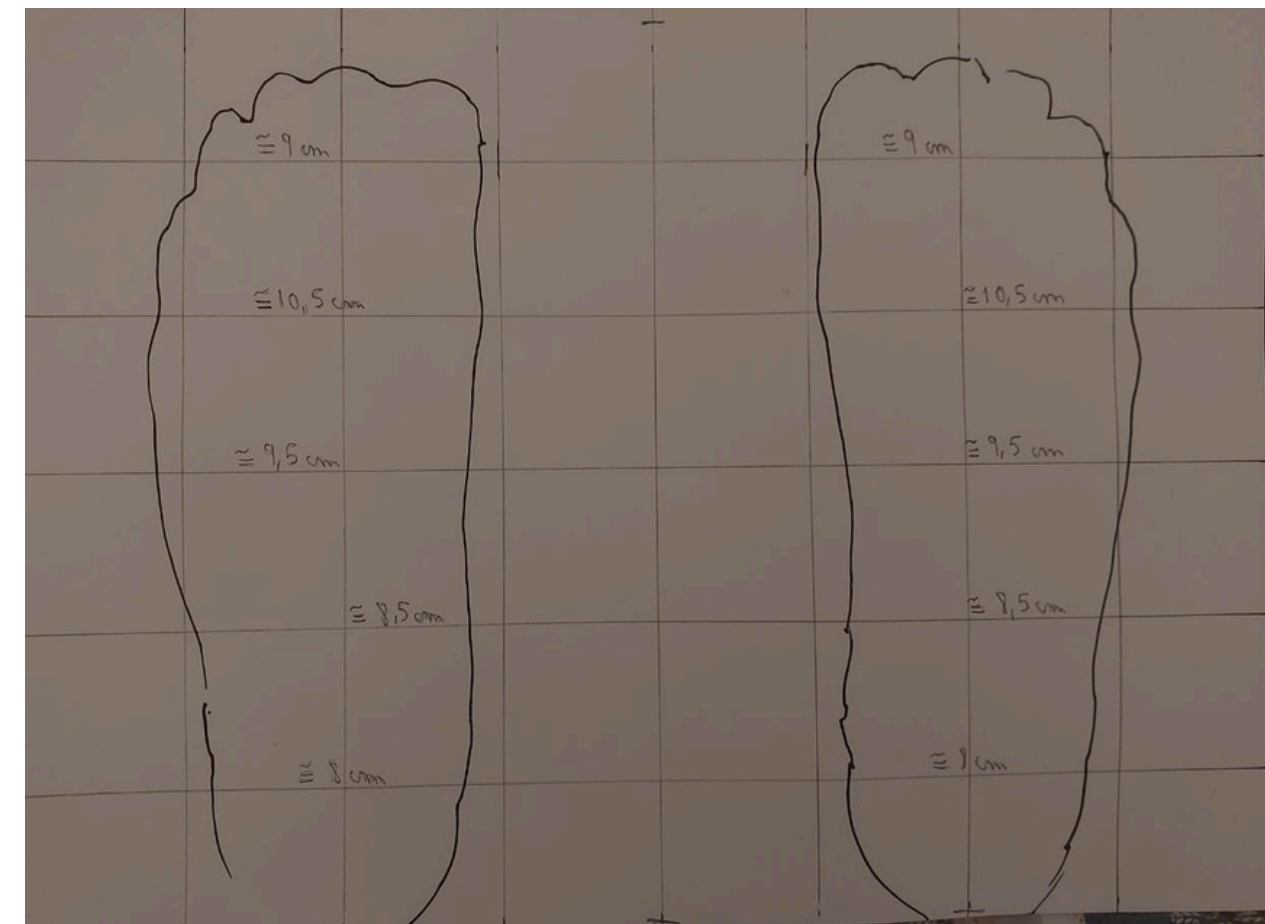


Figura 17: folha onde foi feito as medições. Fonte: autor.

A partir desse desenho junto as medidas, utilizei o software Fusion 360, um software de design 3D paramétrico da Autodesk, para recriar digitalmente as medidas do solado.

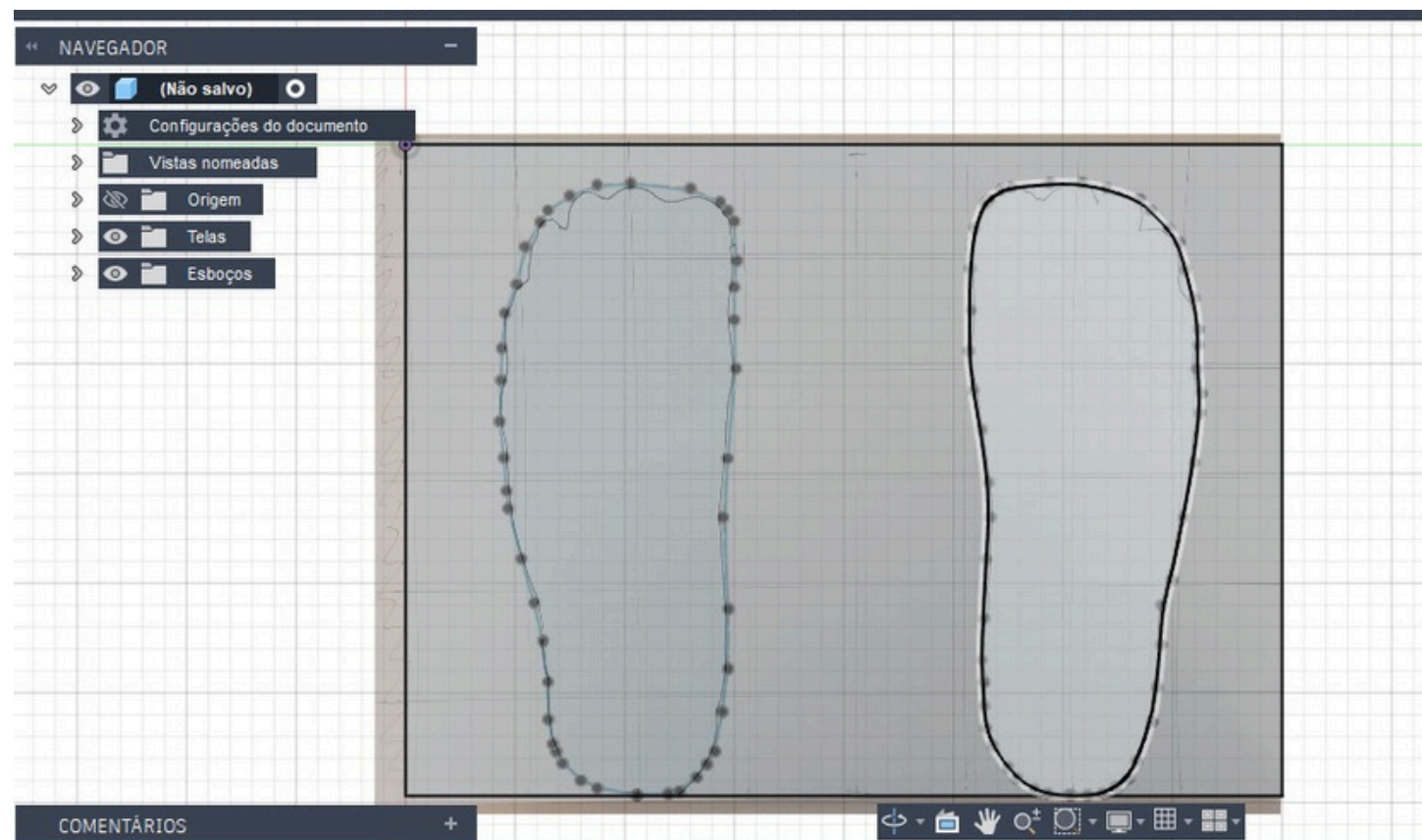


Figura 18: viewport Fusion 360. Fonte: autor.

Dessa forma, pode-se analisar que os tamanhos da base dos pés são relativamente semelhantes, então optou-se por em seguir com a produção de digitalização de apenas um lado do pé. Para existir uma margem de erro, escalei o modelo em 1,05, obtendo folgas em que variam de 3 a 5 mm em volta do desenho original.

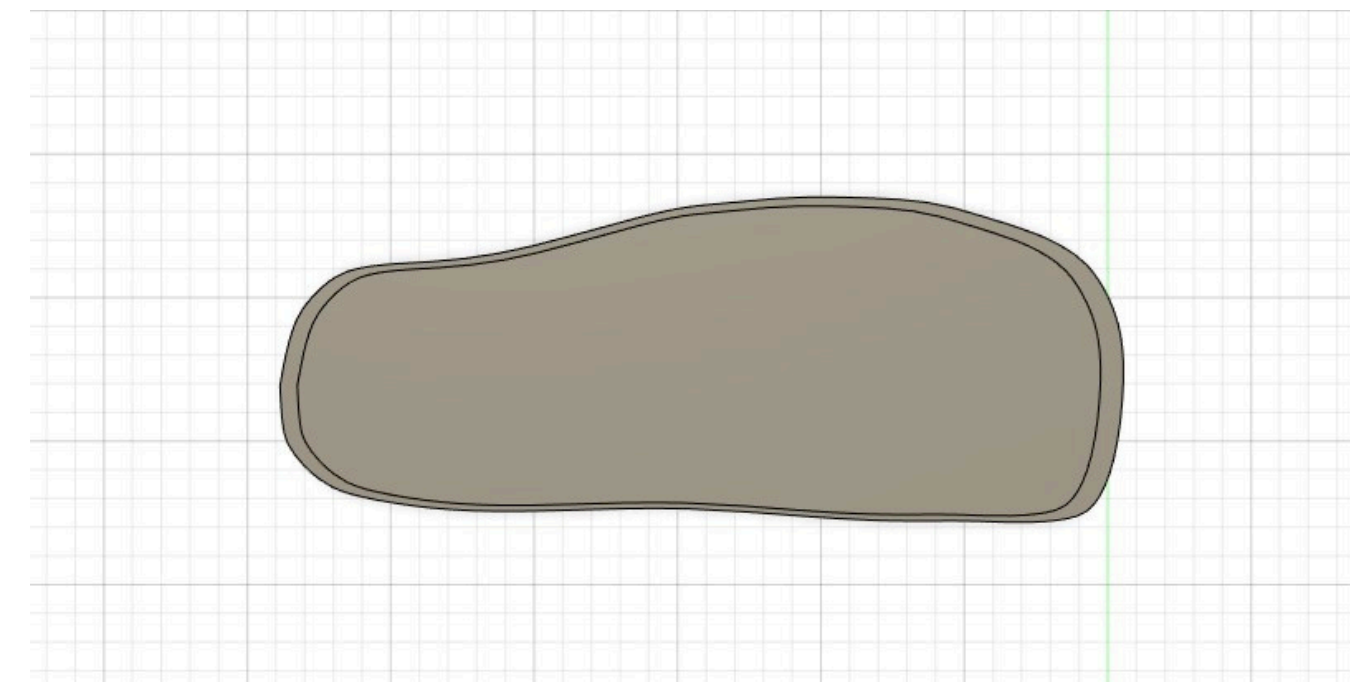


Figura 19: viewport Fusion 360. Fonte: autor.

Em seguida, exportei esse modelo para utilizar na modelagem do calçado junto ao modelo 3D obtido através da técnica de fotogrametria, unindo esses dois métodos, foi possível criar molde aproximado do pé do usuário. Com base nessas medidas que foi desenvolvido a forma do calçado.



Figura 20: viewport Blender. Fonte: autor.



Figura 21: viewport Blender. Fonte: autor.

6.3 PARÂMETROS DE IMPRESSÃO

Para o desenvolvimento do protótipo do calçado, foram definidos os seguintes parâmetros técnicos de impressão, alinhados com os requisitos do projeto (material único, personalização, sustentabilidade) e com as limitações práticas da impressora e dos materiais escolhidos.

Impressora 3D FDM Selecionada

A impressora escolhida para o protótipo é a Bambu Lab A1, modelo FDM de mesa com volume de construção de $256 \times 256 \times 256 \text{ mm}^3$ e bico metálico, suportando temperaturas de até 300°C .

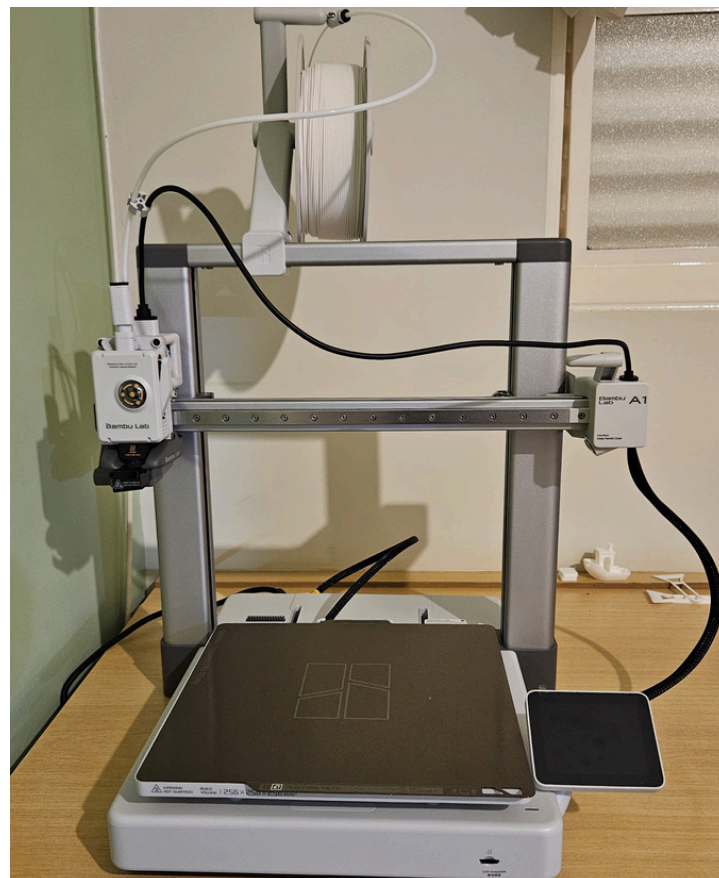


Figura 22: Impressora Bambulab A1.
Fonte: autor.

Essa impressora foi selecionada porque permite o uso de diversos filamentos, configuração avançada de parâmetros, além de oferecer precisão, velocidade e estabilidade de extrusão adequadas ao desenvolvimento de um calçado funcional.

Filamento Escolhido

O filamento principal será o TPU (Poliuretano Termoplástico), por suas propriedades de flexibilidade, elasticidade e resistência ao desgaste e ao envelhecimento, características que o tornam apto a fazer excelentes protótipos e também produtos finais. O TPU impresso via FDM pode ter diferentes configurações mediante o controle de parâmetros como temperatura de extrusão, densidade de preenchimento, tipo de preenchimento e espessura de camada. (DA SILVA, 2020, p. 93-94)

No contexto deste projeto, o uso de TPU reforça o requisito de “material único” (eliminando costuras ou colagens) e atende aos critérios de sustentabilidade e ergonomia definidos, ele também é o que mais se aproxima de um material que realmente possa ser usado.

Variações de Dureza

A dureza Shore é a escala mais utilizada para quantificar a rigidez/elasticidade de materiais flexíveis como o TPU. Segundo a escala A, que é apropriada para elastômeros termoplásticos, valores variando de cerca de 60A a 98A correspondem a níveis de flexibilidade gradualmente reduzidos, isto é, quanto menor o número, mais macio e elástico o material; quanto mais alto, mais rígido e fácil de imprimir (IMPRESORAS3D.COM, 2023).

Por exemplo, um filamento TPU com dureza 95A oferece um equilíbrio entre flexibilidade e rigidez: ele permite dobrar e esticar sem romper, mas tem rigidez suficiente para suportar estruturas impressas com preenchimento(infill) leve ou moderado. O TPU 95A permite uma otimização entre flexibilidade e durabilidade (SNAPMAKER.COM, 2024).

Panorama dos Padrões de Preenchimento(infill) e Justificativa da Escolha do Gyroid para TPU

A escolha do padrão de preenchimento (infill) é determinante para o comportamento mecânico da peça impressa, especialmente quando se trata de um material flexível como o TPU. Cada tipo de preenchimento possui características próprias em termos de resistência, flexibilidade, velocidade de impressão e consumo de material, o que impacta diretamente o desempenho final do calçado.

Entre os padrões mais utilizados, o honeycomb, inspirado na geometria dos favos de mel, apresenta excelente absorção de energia e bom desempenho sob compressão. Estudos com estruturas impressas em materiais poliméricos indicam que padrões celulares hexagonais tendem a absorver mais energia em regimes de deformação controlada, sendo úteis em aplicações de amortecimento, embora aumentem o tempo de impressão e o consumo de material devido à complexidade geométrica.

O padrão triangular (ou grid/3D grid) é reconhecido pela rigidez e pela alta resistência em estruturas que exigem suporte. Sua configuração com apoios em múltiplas direções favorece a resistência à compressão e à deformação, mas resulta em menor capacidade de flexão.

Em materiais mais rígidos, esse infill é vantajoso; porém, para um calçado em TPU, que precisa absorver impacto e retornar à forma de maneira confortável, essa rigidez pode se tornar excessiva.

Já os padrões mais simples, como lines ou zigzag, tendem a imprimir rapidamente e consumir menos material, mas apresentam resistência reduzida e grande anisotropia, são fortes em uma direção

e fracos em outra. Essa característica pode comprometer a durabilidade e o suporte na pisada, especialmente em regiões que recebem cargas multidirecionais durante a marcha.

Em contraste com esses padrões, o gyroid se destaca por combinar vantagens estruturais e funcionais em um único desenho. Trata-se de uma superfície mínima triplo-periódica que forma uma estrutura contínua, sem vértices rígidos e com distribuição homogênea de tensões. A documentação técnica da Bambu Lab descreve o gyroid como um padrão de preenchimento leve, estável e com boa distribuição de material, adequado para aplicações em que se busca equilíbrio entre resistência e consumo de filamento (BAMBU LAB, s/d, "Fill patterns"). Nesse tipo de estrutura, a resistência tende a ser mais isotrópica, isto é, mais uniforme em diferentes direções, o que é especialmente desejável em peças sujeitas a esforços variados, como um calçado.

Além disso, o fluxo de extrusão no padrão gyroid é contínuo, com menos paradas e retrabalhos, o que contribui para maior estabilidade de impressão e redução de tempo de fabricação em comparação com padrões mais fragmentados. Em materiais flexíveis, como o TPU, essa continuidade também favorece o comportamento elástico, reduzindo concentrações de tensão em pontos específicos.

Em densidades mais baixas, o gyroid mantém alta flexibilidade para regiões do calçado que precisam dobrar; em densidades intermediárias a altas, oferece resistência e absorção de impacto suficientes para a sola e áreas estruturais.

Dessa forma, considerando a necessidade de um calçado anatômico, flexível e confortável, fabricado em TPU de dureza 95A, o padrão gyroid se apresenta como a solução mais adequada dentro do conjunto de infills disponíveis. Ele concilia velocidade de impressão, eficiência de material, estabilidade mecânica e flexibilidade.

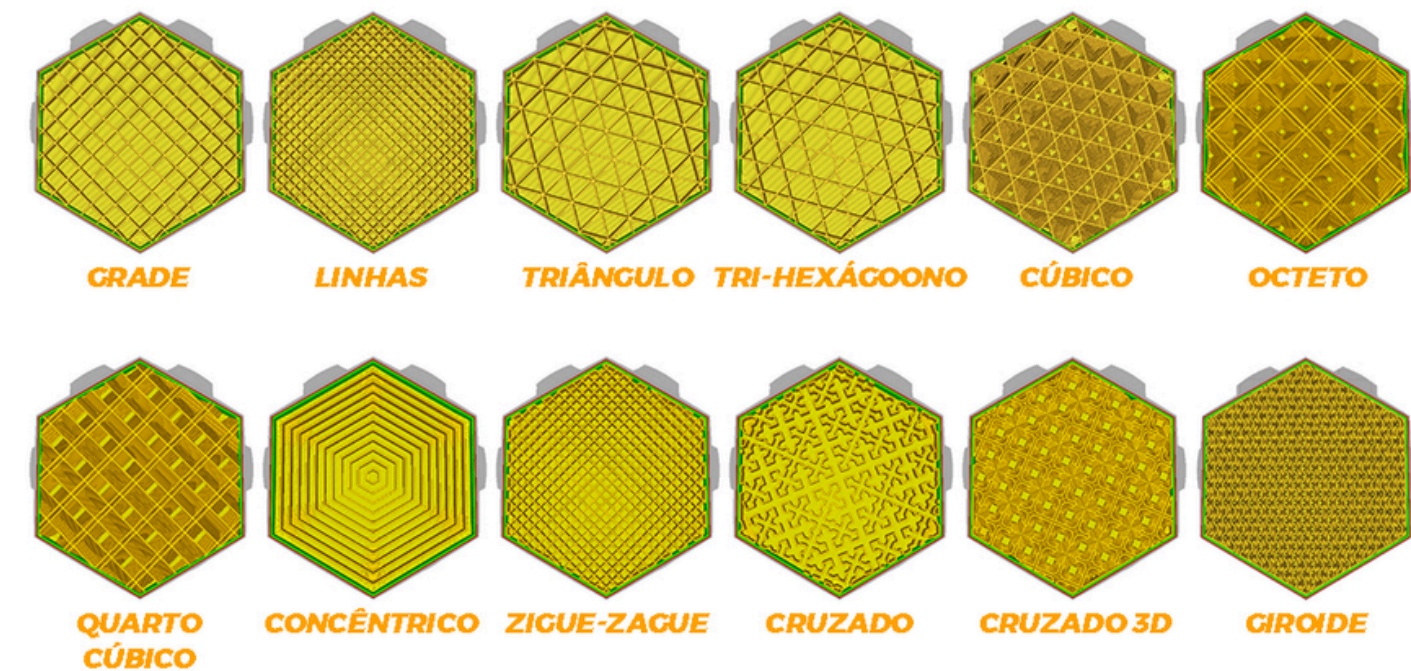


Figura 23: Principais tipos de preenchimento. Fonte: <https://3dlab.com.br/>

6.4 MOODBOARD E SÍNTESE ESTÉTICA DO CONCEITO

O moodboard reúne referências visuais que orientam a construção estética e conceitual do projeto. A partir da pesquisa teórica, das análises de similares, o moodboard funciona como um painel de síntese que traduz visualmente os elementos formais, materiais e sensoriais que nortearão o design do calçado. Ele organiza imagens relacionadas a texturas, formas orgânicas, além de referências de calçados produzidos por impressão 3D. Dessa forma, o moodboard atua como ferramenta de apoio criativo e guia visual para as próximas etapas de esboços, experimentação e modelagem tridimensional.



Figura 24: Coletânea do moodboard Fonte: Pinterest

6.5 GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS E ESBOÇOS CONCEITUAIS

Nessa fase, busquei soltar o traço e com base no moodboard, deixar as linhas criarem formas livres, para então, a partir dessa visualização, poder enxergar um modelo que se encaixe nos requisitos, além de agradar esteticamente.



Figura 25: Esboços de formas. Fonte: autor.

MODELO ESCOLHIDO

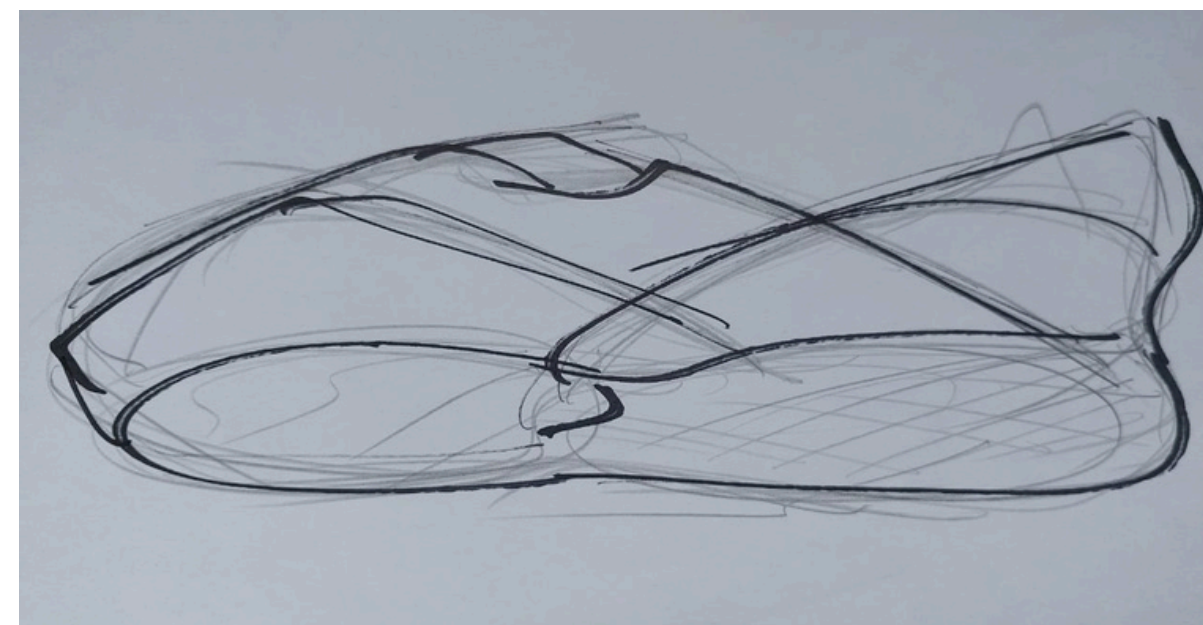


Figura 26: Esboço escolhido. Fonte: autor.

6.6 PROCESSO DE CRIAÇÃO: MODELAGEM 3D

Para modelar o modelo escolhido, utilizei o Blender, seguindo como guia de tamanho, adicionei a imagem do esboço na vertical na área de trabalho do Blender, assim como a imagem gerada no Fusion 360 da base do pé na horizontal.

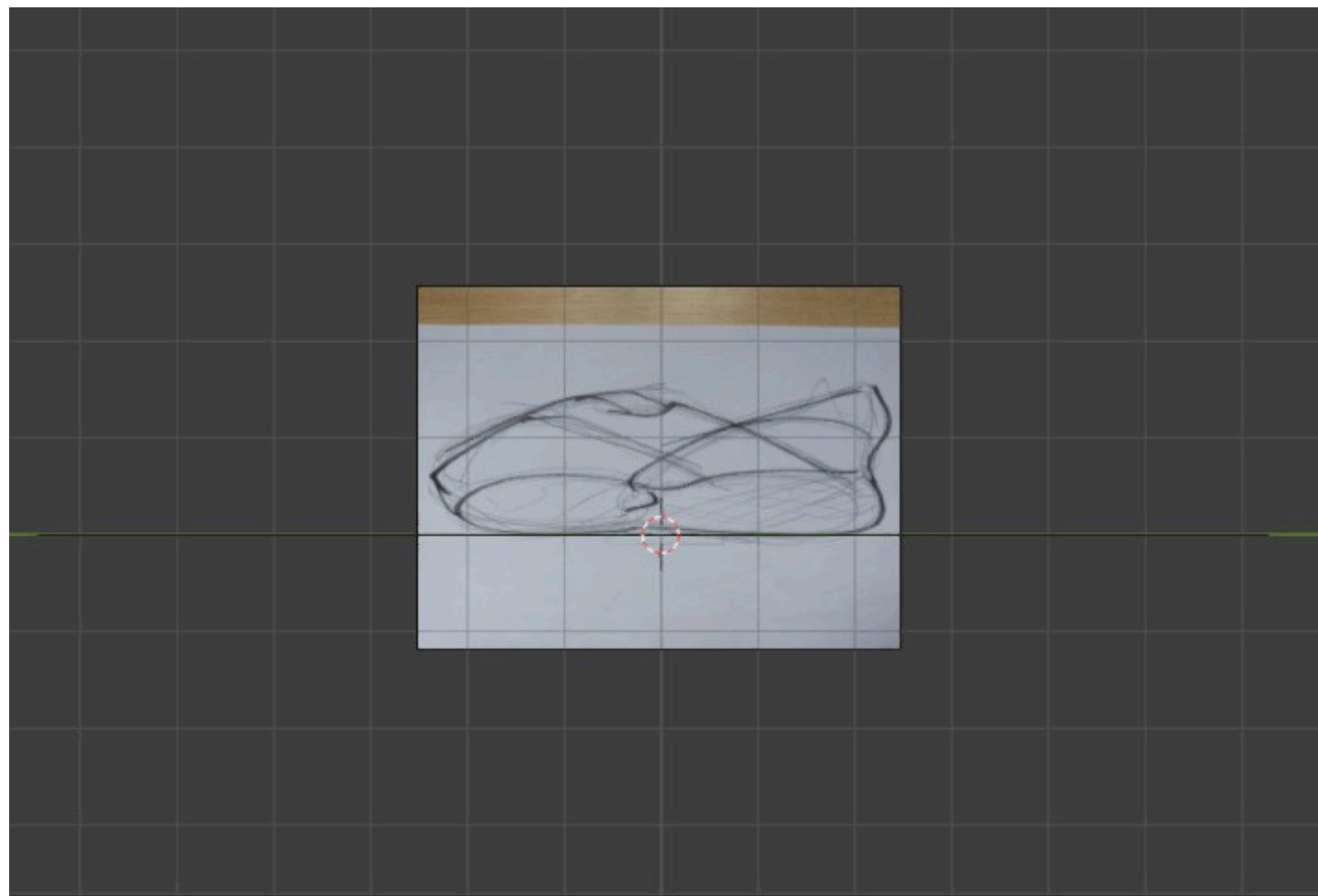


Figura 27: Viewport do Blender com a imagem de referência inserida. Fonte: autor.

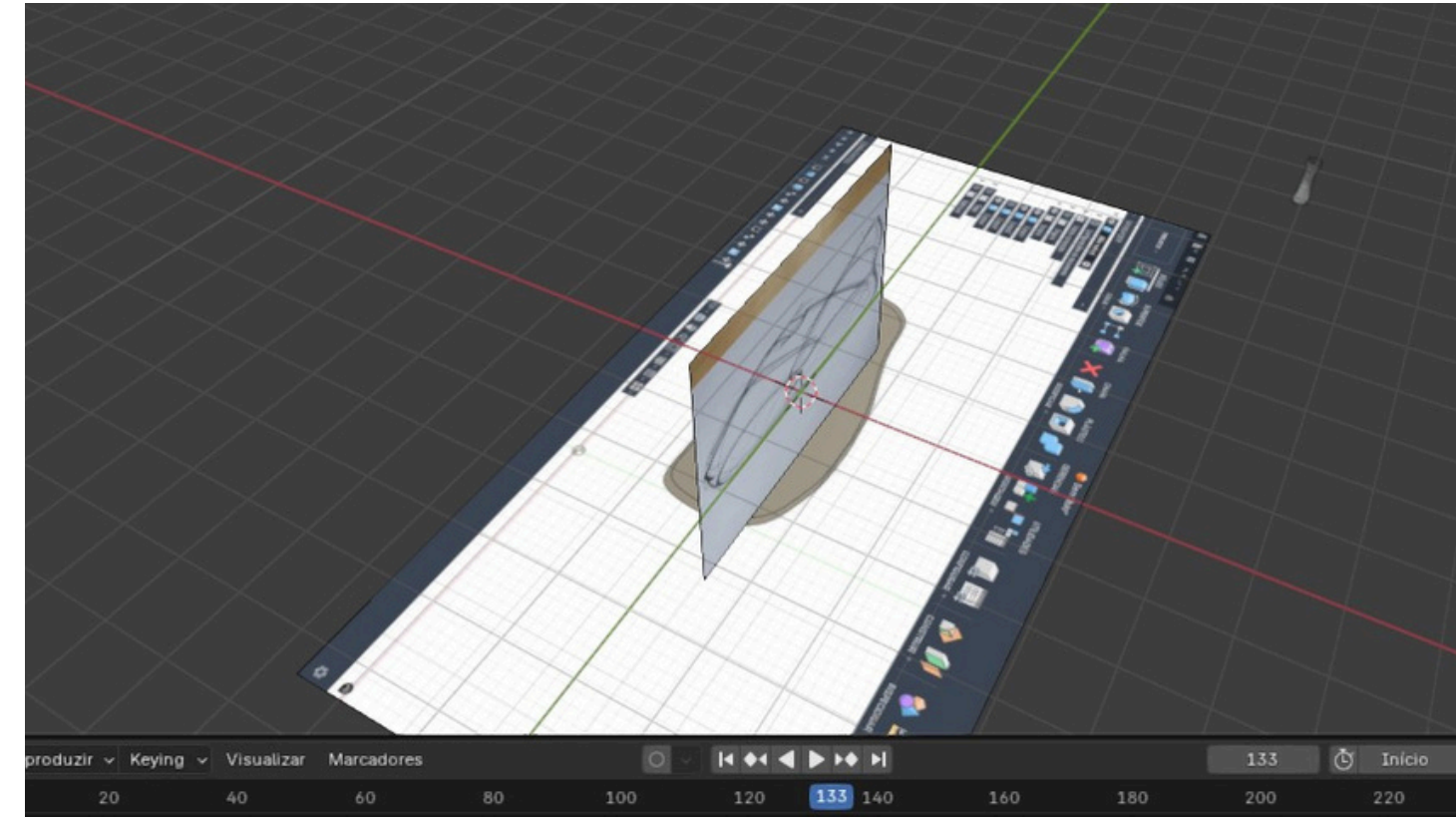


Figura 28: Viewport do Blender com as duas imagens de referência inserida. Fonte: autor.

Utilizando as imagens como referência, fui moldando o formato do tênis através da ferramenta “espelho”, onde se é possível editar apenas um dos lados do modelo e obter-se uma alteração em dois lados.

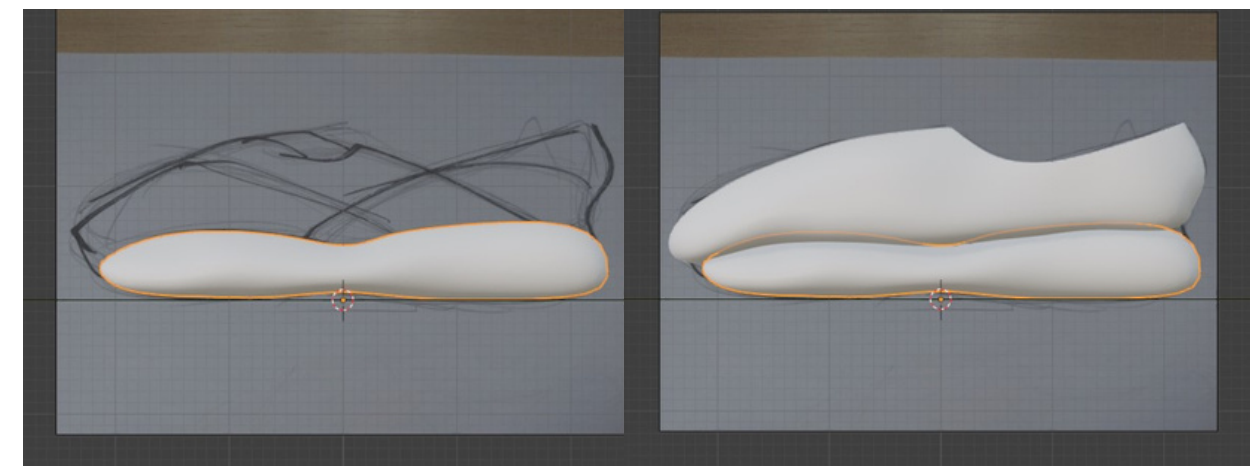


Figura 29: Viewport do Blender com as duas imagens de referência inserida. Fonte: autor.

Após todo o processo de modelagem, o resultado foi um modelo de tênis totalmente simétrico, o que não é o resultado final, pois para se encaixar no pé do usuário, ele deve seguir as linhas anatômicas. Dessa forma, com base no molde 3D do pé junto a imagem de referência posta na horizontal, foi feita alterações na forma para se encaixar nas condições do usuário.



Figura 30: Viewport do Blender com o modelo após as alterações com base na anatomia do pé. Fonte: autor.

Já com um modelo base finalizado e reiterando o aspecto modular do calçado, foi modelado variações desse mesmo modelo. A primeira variação é um calçado chamado clog, um tipo de modelo onde a parte da frente é robusta e fechada, enquanto a parte de trás fica aberta, a outra versão foi inspirado nos chinelos slide.

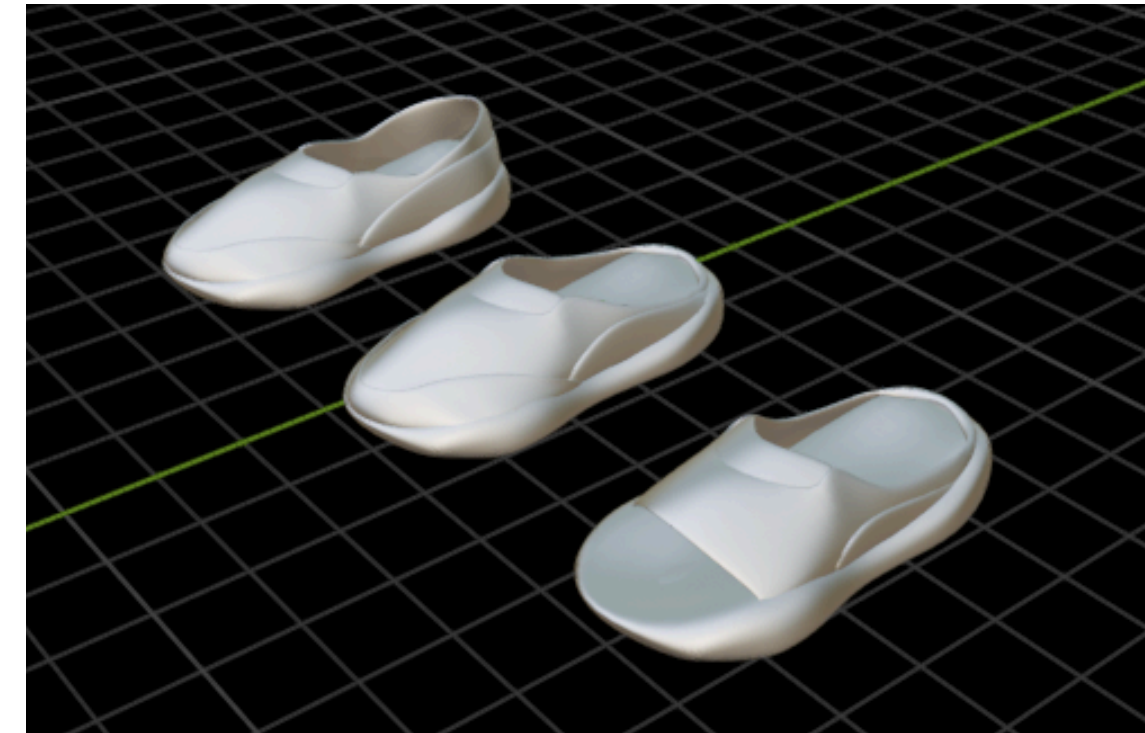


Figura 31: Viewport do Blender com as três variações. O tênis, o clog e o slide. Fonte: autor.

6.7 CUSTOMIZAÇÃO

A partir dos modelos previamente modelados, é possível por parte do usuário definir uma das variações do modelo, definir a cor, já que existe a possibilidade de imprimir com diversas cores de filamento e também definir o ajuste considerando sua anatomia, esse se mostra o mais difícil, pois teria que realizar alterações na modelagem do modelo tridimensional. Existe também a possibilidade de se alterar de acordo com os parâmetros de impressão, a quantidade de amortecimento que o calçado irá ter conforme for a porcentagem de preenchimento(infill), junto a esses parâmetros também pode-se definir variações no cabedal, deixá-lo totalmente fechado ou imprimir com uma trama mais aberta e sem paredes, melhorando a respirabilidade.

7

RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir de todo esse processo mostraram-se satisfatórios do ponto de vista prático. Com base nas informações coletadas ao longo do trabalho e no uso da modelagem 3D, foi possível desenvolver três variações de um mesmo modelo base de calçado, alterando sua estética e seu propósito de uso. A seguir, serão apresentados os modelos em representação virtual, evidenciando os detalhes de cada variação e algumas possibilidades de combinação de cores, viabilizadas pela diversidade de cores de filamentos disponíveis.



Figura 32: Render do modelo tênis. Fonte: autor.



Figura 33: Render do modelo clog. Fonte: autor.



Figura 34: Render do modelo slide. Fonte: autor.



Figura 35: Render das três versões. Fonte: autor.



Figura 36: Variações de cores. Fonte: autor.

IMPRESSÃO, TESTES E AJUSTES DE PARÂMETROS

Com todos os modelos prontos, o modelo escolhido para produzir o protótipo foi o tênis. O primeiro teste de protótipo utilizando o TPU 95A apresentou uma falha de impressão na metade do processo, provavelmente pelo posicionamento vertical em que foi inserido para a impressão, o motivo de utilizar essa posição foi devido ao tamanho real do protótipo que não caberia na mesa apoiado em seu solado, pela falta de suportes, ele desgrudou da mesa de impressão, causando as falhas.



Figura 37: Primeiro protótipo sendo impresso em TPU, o mesmo apresentou falhas. Fonte: autor.

Para o segundo teste de produzir o protótipo, foi feita uma redução na escala em 90% do tamanho original. Desse modo, foi possível realocar a posição na mesa de impressão para uma posição muito menos propensa a desgruda.

A segunda versão teve outra mudança, ao observar o primeiro teste, foi notado que o cabedal estaria totalmente fechado. Dessa maneira, busquei aplicar uma alteração de parâmetro de impressão nessa parte do tênis, retirando as paredes e aumentando a porcentagem de preenchimento, pode-se obter uma trama aberta, com o intuito de deixar mais respirável.

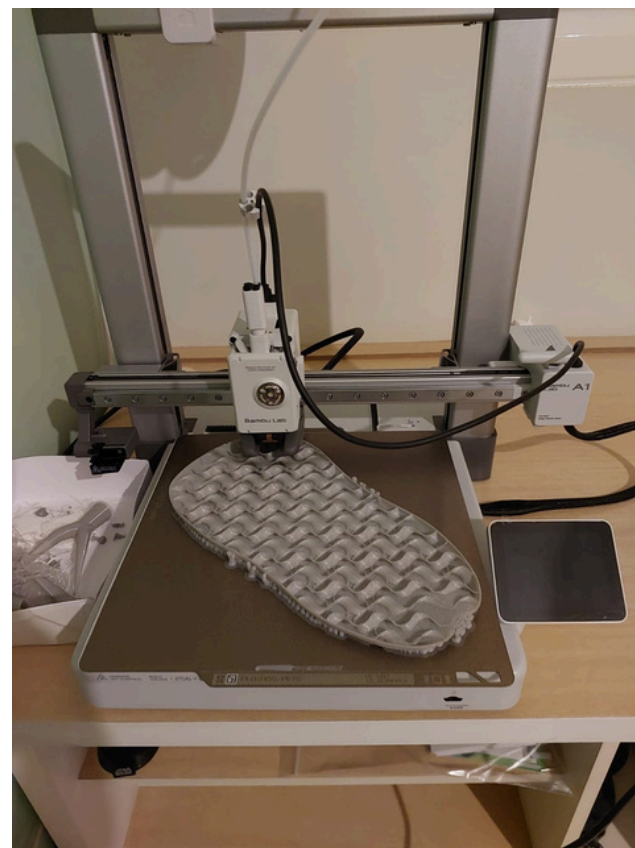


Figura 38: Segundo protótipo sendo impresso em TPU. Fonte: autor.

Com a alteração de posicionamento de impressão, pode-se ter uma impressão muito mais estável.

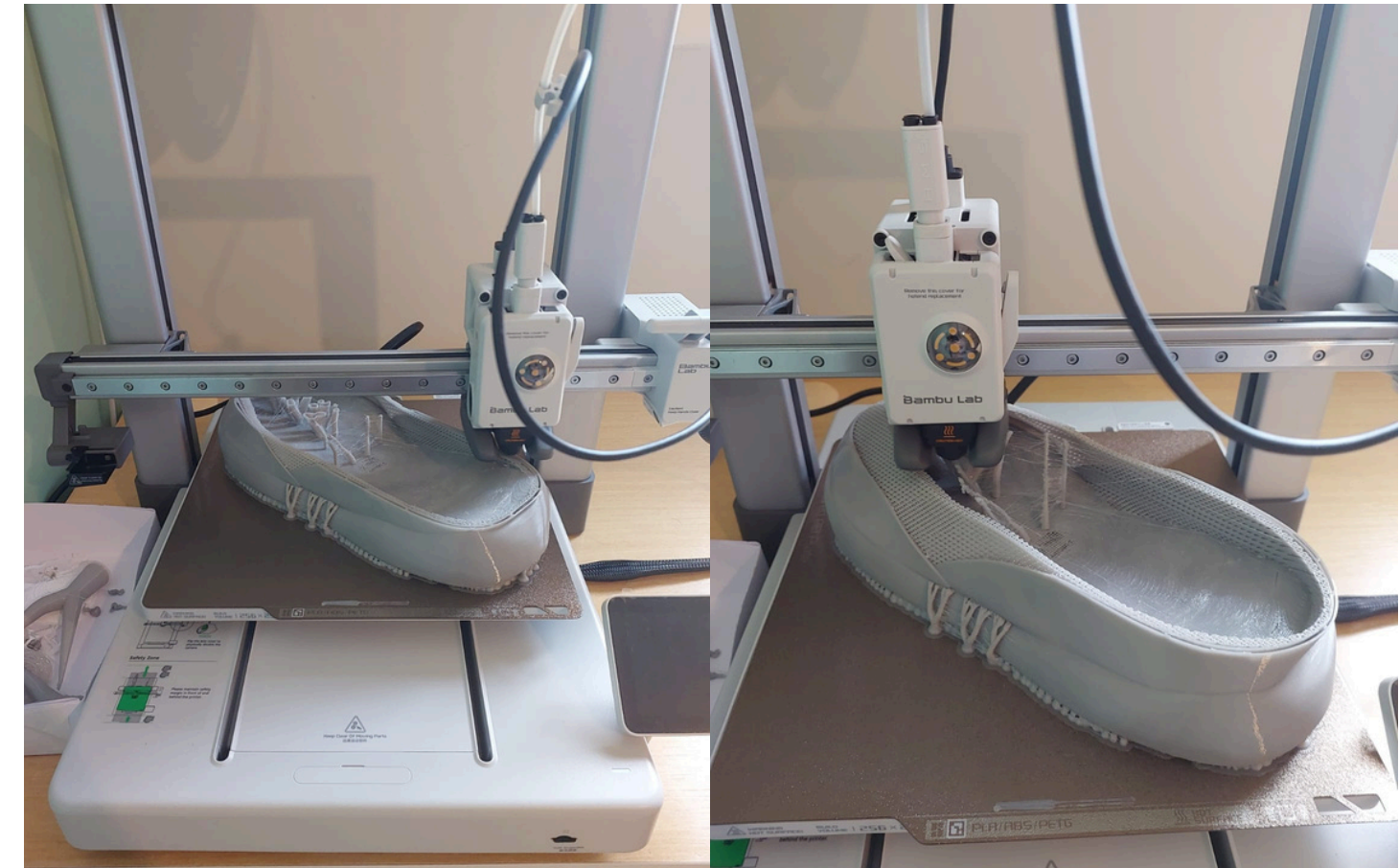


Figura 39: Segundo protótipo sendo impresso em TPU. Fonte: autor.



Figura 40: Protótipo impresso. Fonte: autor.



Figura 41: Protótipo impresso. Fonte: autor.



Figura 42: Protótipo impresso. Fonte: autor.



Utilizando uma balança digital, pode-se ter com precisão o peso desse protótipo, que ficou com 211g.

Figura 43: Protótipo impresso. Fonte: autor.

8.2 PONTOS POSITIVOS E LIMITAÇÕES ENCONTRADAS

Com a finalização dessa etapa e com o produto em mãos, pode-se observar que é sim possível projetar um calçado a partir de manufatura aditiva em conjunto com softwares de modelagem 3D. A sensação de calçar e testar foi satisfatória no quesito visual, a estratégia de utilizar um padrão de preenchimento diferente no cabedal resultou em uma trama parecida com um tecido mesh, o que resultou em um aumento na percepção de não ser um produto de apenas um material, deixando com um visual mais interessante e aumentado sua maleabilidade.

Devido ao tipo de material utilizado e a combinação de diferentes tipos de preenchimento de impressão, o protótipo apresentou uma boa maleabilidade, nos pontos em que o preenchimento é fechado, ficou mais firme, ajudando a dar estrutura e no cabedal em que a trama de preenchimento é aberta, ficou mais flexível. Contribuindo para um maior conforto.

Por ser produzido em escala reduzida para 90% do tamanho original devido ao tamanho limite da mesa de impressão, não foi possível avaliar os quesitos de conforto interno, mas é possível ter uma noção de como o material se comporta depois de impresso, é notável que seria possível através de mais testes a produção de um produto final, os principais pontos a serem testados está nos parâmetros de impressão, existem variadas formas de configurar uma impressão em 3D e para isso exigiria um grande tempo para testar e prototipar, um dos pontos perceptíveis foi a porcentagem de preenchimento da entressola, que poderia ser mais rígida.

O tempo é outro quesito a ser questionado nesse processo, este protótipo teve um tempo de impressão em torno das 24h, um limite imposto pelo tipo de material impresso.



Figura 44: Protótipo impresso sendo usado pelo usuário, mesmo em um tamanho reduzido, coube, mas de forma apertada. Fonte: autor.

SÍNTESE DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Com esse trabalho, foi possível entender melhor o mundo da impressão 3D, seus desafios e conhecer melhor as tecnologias que antes eram consideradas do futuro e hoje está ao nosso alcance.

Foi possível aprender sobre modelagem 3D, um processo difícil que exige paciência ao tentar tridimensionar um objeto do mundo real ao virtual e depois dessa etapa, do digital ao real.

Os calçados sendo o foco desse trabalho, conhecer as tendências e como cada empresa investe nessa tecnologia e aborda esse tema de maneiras diferentes me faz observar que ainda é uma área muito pouco explorada, ainda mais se considerarmos a indústria calçadista em um todo.

Tentar trazer as medidas reais para o virtual também foi outro desafio, apesar das tecnologias, ainda existe uma barreira de ferramentas para se fazer essa tarefa, o processo de digitalizar através de fotos para então a partir de medidas reais, transformar em um molde, acabou não sendo extremamente precisa, mas pode-se criar um protótipo com medidas satisfatórias e chegar em um resultado próximo do real.

Dessa forma, encaro esse trabalho de forma exploratória com resultados que se tiverem mais tempo de pesquisa e interesse, pode-se transformar em um produto real, aprimorando com novos protótipos, testes de materiais e variações de impressão e testes com diferentes usuários. Os resultados obtidos reforçam que a manufatura aditiva tem potencial para redefinir o futuro da indústria de calçados, tornando-a mais sustentável, flexível e orientada ao usuário, apesar do tempo ainda ser um obstáculo a ser levado em consideração.

REFERÊNCIAS

CONCEIÇÃO, M. E. de J. .; SANTOS, J. R. L. dos . Remodelando o design do vestuário com tecnologias digitais de produção. Tríades em Revista: Transversalidades, Design e Linguagens, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 1–16, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/triades/article/view/42741/26532>

Di Roma, A. (2017). Footwear Design. The paradox of “tailored shoe” in the contemporary digital manufacturing systems. The Design Journal, 20(sup1), S2689–S2699. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352780>

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. Disponível em: http://miniweb.com.br/Artes/artigos/Historia_do_calcado_uma_trajetoria_de_design_e_ergonomia.pdf

FERREIRA, N. R. A. (2010). O calçado como artefato de proteção à diferenciação social: A história do calçado da Antiguidade ao século XVI. Ciência ET Praxis, 3(06), 83–90.Disponível em: revista.uemg.br/praxys/article/view/2174

DISCIPLINA DE HISTÓRIA. O calçado, um símbolo social na Roma Antiga. Disponível em: <<https://disciplina-de-historia.blogspot.com/2012/07/o-calcado-um-simbolo-social-na-roma.html>>.

SCARANO, Paulo Rogério ; MURAMATSU, Roberta ; FRANCISCHINI, Andresa Silva Neto; "Barreiras e Desafios Contemporâneos para o Setor Calçadista no Brasil, Sob a Ótica da Liberdade Econômica", p. 169-220. Estudos econômicos setoriais: máquinas e equipamentos, ferrovias, têxtil e calçados. São Paulo: Blucher, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/9788580394047-05>

NEIS, Lucas Werle. Cultura sneakerhead: possibilidades de expansão de mercado. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Publicidade e Propaganda) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/26590>.

COSTA, Guilherme Julian. Cultura sneakerhead. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/8453>

Calixto, Marcela Luíza; Sobreira, Maria Adircila Starling; "Impressão 3D na moda: desafios e reflexões", p. 1012-1026 . In: Anais do Colóquio Internacional de Design 2020. São Paulo: Blucher, 2020. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/cid2020-77. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/impresso-3d-na-moda-desafios-e-reflexes-35902>

MÜLLER, Marçal. COMO PRODUZIR CALÇADOS COM MENOR CUSTO E IMPACTO AMBIENTAL? 2017. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Design, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.feevale.br/Vinculo2/000011/0000111b.pdf>

BOISSONNEAULT, T. Dolce Vita rolls out on-demand 3D printed footwear with HILOS. Disponível em: <<https://www.voxelmatters.com/dolce-vita-rolls-out-on-demand-3d-printed-footwear-with-hilos/>>.

TPU Filament 3D Printing Guide: Temperature, Speed, and More | Snapmaker Blog. Disponível em: <<https://www.snapmaker.com/blog/tpu-filament-3d-printing-guide/>>.

IMPRESORAS3D.COM. O que é dureza Shore? Escolha seu Filamento Flexível - impresoras3d.com. Disponível em: <<https://www.impresoras3d.com/pt/que-es-la-dureza-shore-elige-tu-filamento-flexible/>>.

DA SILVA, Dailene Nogueira. A Tridimensionalidade da superfície vestível e a impressão 3D processos, estratégias e experimentações. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa (Portugal). Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/192806>

KOHAN, Lais. Sustentabilidade em calçados: panorama brasileiro, materiais e contribuição de material para solado. 2021. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. doi:10.11606/D.100.2020.tde-19012021-171127. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-19012021-171127/pt-br.php>

VOLPATO, Neri. Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações. São Paulo: Blucher, 2006.

Adidas Futurecraft 4D: One shoe to rule them all? - Technology and Operations Management. Disponível em: <https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/adidas-futurecraft-4d-one-shoe-to-rule-them-all/?utm_source=>.

adidas Futurecraft: 3D-Printed Personalized Shoe | Materialise. Disponível em: <<https://www.materialise.com/en/inspiration/cases/adidas-futurecraft-3d-printed-personalized-shoe>>.

ADIDAS. FUTURECRAFT.STRUNG. Disponível em: <<https://www.adidas.com.br/blog/562694-futurecraftstrung>>

INOVASOCIAL. Zellerfeld cria calçados impressos em 3D e recicláveis. Disponível em: <<https://inovasocial.com.br/solucoes-de-impacto/zellerfeld-calcados-sustentabilidade-impressao-3d/>>.

STEINER, Julia. Syntilay Puts 3D Printed, AI-Developed Shoes on the Market. Disponível em: <<https://www.3dnatives.com/en/syntilay-launches-3d-printed-and-ai-developed-shoes-on-the-market-150120256/>>.

BOZANO, S.; OLIVEIRA, R. de. Ergonomia do Calçado: os pés pedem conforto. Revista da Unifebe, n. 9, out. 2011. Disponível em: <https://periodicos.unifebe.edu.br/index.php/RevistaUnifebe/article/view/53>

TAKAYAMA, Leticia; MERINO, Giselle Schmidt Alves Diaz. Percepção de uso e antropometria do pé no design de calçados para a saúde. Human Factors in Design, Florianópolis, v. 9, n. 18, p. 078–096, 2020. DOI: 10.5965/2316796309182020078. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/hfd/article/view/14812>

PEREIRA, Douglas Daniel. O uso da modelagem aplicada à ergonomia no desenvolvimento de produtos. 2015. 176 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/8bf5a3fe-e510-48b7-a786-f452149f126c>

DE LIMA, Patrícia Cristina; DUPONT, Mariana Gomes. A impressão 3D no mercado de moda: sustentabilidade e desenvolvimento. Diálogo com a Economia Criativa, Rio de Janeiro, v. 3, n. 8, p. 102–116, 2018. DOI: 10.22398/2525-2828.38102-116. Disponível em: <https://dialogo.espm.br/revistadcec-rj/article/view/142>.