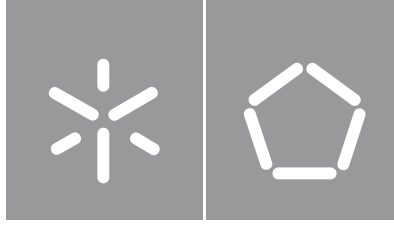




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rita Manuela Oliveira Gomes

**Design e Desenvolvimento de Equipamentos
de Proteção para Desportistas**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Rita Manuela Oliveira Gomes

Design e Desenvolvimento de Equipamentos de Proteção para Desportistas

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia de Produto

Trabalho efetuado sob a orientação do(a)
Professor Doutor António José Vilela Pontes
Professor Doutor Álvaro Miguel do Céu Gramaxo
Oliveira Sampaio

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença [abaixo](#) indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal

CC BY-NC-SA

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Rita Manuela Oliveira Gomes

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização desta dissertação. A minha jornada académica não teria sido possível sem o apoio e o encorajamento de muitas pessoas incríveis que desta fizeram parte.

Primeiramente, quero agradecer aos meus orientadores, professor António Pontes e professor Álvaro Sampaio, pela orientação em todos os meus momentos de desorientação, paciência e apoio ao longo de todo o processo. Foram fundamentais para o sucesso deste projeto.

À minha família, em especial aos meus pais que me incentivaram em todas as etapas da minha jornada académica.

Aos meus amigos, que estiveram comigo em todas as etapas da minha jornada académica, sem nunca me deixarem cair, o meu sincero agradecimento, o vosso apoio inabalável e incentivo foram inestimáveis.

Ao meu namorado, que mais sofreu com as minhas inseguranças. Obrigada. Tu consegues tudo.

Por fim, agradeço a todos os professores, colegas e a todas as fontes de inspiração que encontrei ao longo desta jornada. Este trabalho é o resultado de muitos esforços e contribuições, e estou profundamente grata por todas as oportunidades e experiências que me permitiram chegar até aqui.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Rita Manuela Oliveira Gomes

Resumo

Design e Desenvolvimento de Equipamentos de Proteção para Desportistas.

O cenário dos desportos competitivos para pessoas com deficiência tem testemunhado um crescimento nas últimas décadas, ampliando as oportunidades de participação em todas as fases. Os Jogos Paralímpicos, como ápice do Movimento Paralímpico mais abrangente, destacam as habilidades das pessoas com deficiência e desempenham um papel crucial na promoção dos direitos, integração, igualdade de oportunidades e acessibilidade ao ambiente construído.

Nesse contexto, a ascensão do Fabrico Aditivo surge como um elemento revolucionário no design e desenvolvimento de produtos de proteção para desportistas adaptados. Esta tecnologia inovadora oferece oportunidades sem precedentes para personalização e otimização de equipamentos desportivos, permitindo adaptações precisas às necessidades individuais dos atletas. O Fabrico Aditivo, oferece flexibilidade e versatilidade na criação de produtos sob medida, proporcionando uma resposta eficaz às variadas condições e exigências específicas dos desportistas com deficiência.

Os benefícios do Fabrico Aditivo para os atletas adaptados são vastos. A capacidade de produzir equipamentos personalizados permite melhorias significativas no desempenho, conforto e segurança dos desportistas. Essa abordagem sob medida não apenas leva em consideração as limitações físicas, mas também potencializa as habilidades individuais, contribuindo para uma experiência desportiva mais gratificante.

Assim, ao integrar o fabrico aditivo no design e desenvolvimento de produtos de proteção para desportistas adaptados, não só se amplia a oferta de soluções personalizadas, mas também se promove a inclusão, o empoderamento e a otimização do desempenho atlético para indivíduos com deficiência. Este avanço tecnológico não apenas transforma a vida dos atletas participantes, mas também contribui para a expansão das oportunidades disponíveis, abrindo novos horizontes para a próxima geração de desportistas com deficiência.

O principal objetivo desta dissertação é o design e desenvolvimento de um ou mais produtos que contribuam para a melhoria do desempenho no atletismo adaptado, através do Fabrico Aditivo.

Palavras-chave

Design; Desporto; Fabrico Aditivo; Proteções.

Abstract

Design and Development of Protective Equipment for Sportspeople.

The competitive sports scene for people with disabilities has witnessed growth in recent decades, expanding opportunities for participation at all stages. The Paralympic Games, as the pinnacle of the broader Paralympic Movement, showcase the abilities of people with disabilities and play a crucial role in promoting rights, integration, equal opportunities, and accessibility to the built environment.

In this context, the rise of Additive Manufacturing emerges as a revolutionary element in the design and development of protective products for adaptive athletes. This innovative technology offers unprecedented opportunities for customization and optimization of sports equipment, enabling precise adaptations to the individual needs of athletes. Additive Manufacturing provides flexibility and versatility in creating tailor-made products, offering an effective response to the varied conditions and specific requirements of athletes with disabilities.

The benefits of Additive Manufacturing for adaptive athletes are vast. The ability to produce personalized equipment allows for significant improvements in performance, comfort, and safety for athletes. This tailored approach not only considers physical limitations but also enhances individual skills, contributing to a more rewarding sports experience.

Thus, by integrating additive manufacturing into the design and development of protective products for adaptive athletes, not only does it expand the range of customized solutions, but it also promotes inclusion, empowerment, and optimization of athletic performance for individuals with disabilities. This technological advancement not only transforms the lives of participating athletes but also contributes to the expansion of available opportunities, opening new horizons for the next generation of athletes with disabilities.

The main objective of this dissertation is the design and development of one or more products that contribute to improving performance in adapted athletics, through Additive Manufacturing.

Keywords

Additive Manufacturing; Design; Protections; Sports.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	DONE Lab	1
1.3	Objetivos	2
1.4	Metodologia	3
2	Estado da Arte	6
2.1	Introdução	6
2.2	Sistema de classificação desportiva - Deficiências Motora, Intelectual e Visual.....	6
2.3	Lesões associadas ao Atletismo Adaptado	8
2.4	Cadeira de rodas de Atletismo Adaptado	11
2.4.1	Capacete	12
2.4.2	Gaiola.....	12
2.4.3	Rodas.....	12
2.4.4	Pneus	12
2.4.5	Aro (handim)	12
2.4.6	Luvas	13
2.4.7	Quadro.....	21
2.4.8	Sistema Compensador	21
2.4.9	Travão.....	22
2.4.10	Direção	22
2.5	Tecnologia de FA	22
2.5.1	Vat Polymerization	24
2.5.2	Material Extrusion	25
2.5.3	Material Jetting.....	26
2.5.4	Binder Jetting	30
2.5.5	Powder bed fusion	31
2.5.6	Vantagens e desvantagens do FA.....	31
2.5.7	Seleção da tecnologia a utilizar	34
3	Key user	36
3.1	O que é um key user?	36
3.2	Quem é o key user?	37
3.3	Reunião de dados: Questionários	38
4	Requisitos.....	40

5	Metodologia para desenvolvimento do produto	41
6	Materiais e Métodos.....	46
7	Conceitos	51
8	Testes usabilidade	60
9	Produto final – Validação e Testes.....	62
10	Conclusão	65
11	Perspetivas Futuras	66
12	Referências.....	67
13	Apêndices.....	70
13.1	Apêndice I – Questionário 1	70
13.2	Apêndice II – Materiais Material Jetting	72
13.3	Apêndice III – Fotos Protótipos.....	74

Índice de Figuras

Figura 1 - Logotipo DONE Lab (DL, 2016)	2
Figura 2 - Double Diamond (Pyykkö et al., 2021).....	4
Figura 3 – Cadeira de rodas de corrida (AFA, 2013).....	11
Figura 4 - Esquema de técnica de propulsão (Vanlandewijck et al., 2001a).....	13
Figura 5 - Luvas especializadas para cadeiras de rodas (Fonseca, 2023).....	14
Figura 7 - Análise mercado. Conceito de luva de proteção. (AMS, 2019).....	15
Figura 6 - Análise mercado. Luva em impressão 3D. (Han,G, 2016)	14
Figura 8 - Análise mercado. Protótipo luva de proteção. (NR, 2016).....	15
Figura 9 - Análise mercado. Luvas de proteção cadeira de rodas, em pele. (Karman, 2022)	15
Figura 11 - Análise mercado. Conceito de luva impressa em 3D. (Mendoza, 2015).....	16
Figura 10 - Análise mercado. Luva moldada por aquaplast. (Duarte, 2016)	16
Figura 14 - Análise mercado (Covill et al., 2020)	17
Figura 13 - Análise mercado (Lai, 2018)	17
Figura 12 - Análise mercado (Auerbach, 2021)	16
Figura 15 - Soft Gloves (HIRS, 2022b).....	18
Figura 16- Solid Gloves - Aquaplast Gloves (Douger, 2020).....	19
Figura 17 - Processo de criação luvas Aquaplast (Douger, 2020).....	20
Figura 18- Solid Gloves – FA (HIRS, 2022a).	20
Figura 19 - Etapas desenvolvimento de produto (Adaptado de Wong & Hernandez, 2012).....	22
Figura 20 - Sete processos de FA (Adaptado de Castelão, 2018).	24
Figura 21- Processo SLA (Dufera & Srinivasulu Reddy, 2019).....	25
Figura 22 – Processo Material Extrusion (C. K. Chua et al., 2010).....	26
Figura 23 – Tecnologia Material Jetting (C. K. Chua et al., 2010).	27
Figura 25 - Esquema Material Jetting (C. K. Chua et al., 2010).	28
Figura 26 – Tecnologia Binder Jetting (C. K. Chua et al., 2010).	30
Figura 27 – Power Bed Fusion (C. K. Chua et al., 2010).	31
Figura 28- Custos Incorridos VS Custos Comprometidos. Adaptado de (W. H. Cubberly, 1983).	33
Figura 29 - Custo de alterações durante a fase desenvolvimento VS Informação. Gráfico apenas representa a tendência no comportamento. Adaptado de (W. H. Cubberly, 1983).....	34
Figura 38- Mamudo Baldé, 17 anos	37
Figura 39- Rafael Neto, 19 anos.....	37

Figura 37 - João Correia, 39 anos	37
Figura 36 - Filipe Carneiro, 30 anos	37
Figura 40 - Exemplo de uma luva modificada.	39
Figura 30 - Exemplificação de medição.	42
Figura 31- Exemplificação de medição.	42
Figura 32- Exemplificação de medição.	43
Figura 33 - Exemplificação de medição.	43
Figura 34 – Renders do produto através do programa Keyshot.....	44
Figura 35 - Exemplificação de validação.	44
Figura 41 - Pegas utilizadas atualmente (HIRS, 2022a).	51
Figura 42 - Peça aberta no programa Rhinoceros.	52
Figura 43 - Protótipo 1.....	53
Figura 44 - Protótipo 2.....	54
Figura 45 - Protótipo 3.....	55
Figura 46 - Protótipo 4.....	55
Figura 47 - Protótipo 5.....	56
Figura 48 - Protótipo 6.....	57
Figura 49 - Protótipo 7.....	57
Figura 50 - Protótipo 8.....	58
Figura 51 – Protótipo 9	59
Figura 52 – Protótipo 10	59
Figura 53 - Pega utilizada pelo atleta entrevistado	70
Figura 54 - Registo das modificações que o atleta faz nas luvas.....	71
Figura 55 - Zona contacto entre os dedos e a pega.....	71
Figura 60 – Protótipo 4.	74
Figura 61 – Protótipo 4.	74
Figura 62 – Protótipo 6.	74
Figura 63 – Protótipo 7.	75
Figura 64 – Protótipo 5.	75
Figura 65 – Protótipo 9.	75
Figura 66 – Protótipo 8.	76
Figura 67 – Protótipo 2.	76

Figura 68 – Protótipo 3. 76

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Classes no Atletismo (FPDPD, 2017).	7
Tabela 2 - Dados de estudo 53 britânicos (Taylor & Williams, 1995).	10
Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens SLA/DLP.	25
Tabela 4- Vantagens e Desvantagens Material Extrusion.	26
Tabela 5 - Vantagens e Desvantagens da Tecnologia Material Jetting.	29
Tabela 6 - Vantagens e Desvantagens Binder Jetting.	30
Tabela 7 - Vantagens e Desvantagens Powder bed fusion.	31
Tabela 8- Resumo das questões.	38
Tabela 9 – Avaliação de requisitos.	40
Tabela 10 - Materiais Compatíveis com a Material Jetting Stratasys Objet Connex 500 (Stratasys, 2022).	47
Tabela 11- Comparação de Propriedades Mecânicas (Stratasys, 2022).	49
Tabela 12 - Tamanhos Predefinidos (Adaptado de (HIRS, 2022a)).	52

1 Introdução

1.1 Motivação

Na contemporaneidade, a prática desportiva expõe os atletas a potenciais lesões, destacando a importância de equipamentos adequados à modalidade praticada. A personalização desses equipamentos para cada atividade específica desempenha um papel crucial, contribuindo para a minimização de lesões e otimização da performance atlética. No âmbito do atletismo de alto rendimento em pista e estrada, os equipamentos existentes são otimizados, visando proporcionar aos atletas o máximo desempenho possível.

Entretanto, no contexto do desporto adaptado, onde os atletas competem com base em classificações desportivas segregadas por nível de deficiência, recursos como cadeiras de rodas, próteses e guias são essenciais para garantir um equilíbrio competitivo. Contudo, nem sempre esses recursos são suficientes, representando uma significativa dificuldade para os atletas atingirem o seu potencial máximo.

Neste cenário, a dissertação proposta terá como foco principal a utilização das tecnologias de Fabrico Aditivo (FA) disponibilizadas pelo Done Lab para a produção de proteções específicas. O FA permite a obtenção de peças, protótipos e modelos robustos e resistentes. A seleção dos materiais utilizados varia conforme o processo de fabrico, sendo aplicados em camadas sucessivas e controladas pelo sistema da máquina. Essa tecnologia, que evoluiu ao longo dos anos com as mais recentes inovações, representa uma mais-valia para a produção de equipamentos personalizados, dada a diversidade de necessidades entre equipas e atletas, que incluem considerações anatómicas e diferenciações de clubes.

1.2 DONE Lab

O DONE Lab (Figura 1) é um laboratório que surge da parceria entre a Universidade do Minho e a Bosch Car Multimedia S.A., onde através de conhecimento crítico, inovação e excelência, são produzidas novas soluções de produtos, sistemas e ferramentas.

É um laboratório que visa melhorar o desempenho da indústria e criar uma abordagem em termos de oportunidades de inovação e possibilidades ampliadas, potencializando maior crescimento em desenvolvimento da ciência e da tecnologia de FA.



Figura 1 - Logotipo DONE Lab (DL, 2016)

1.3 Objetivos

Após a abordagem inicial sobre "Design e Desenvolvimento de Equipamentos de Proteção para Desportistas", a expectativa é a conceção de um ou vários produtos que contribuam para a melhoria do desempenho em desportos adaptados, utilizando o FA como principal abordagem.

A partir da pesquisa realizada em diversas áreas de proteção e modalidades adaptadas, foram analisados quais eram os principais problemas e necessidades dos atletas, convergindo o atletismo adaptado para a modalidade de corrida, pois foi encontrada uma oportunidade de melhoria de produto. Foram delineados os seguintes tópicos para estabelecer os requisitos desta investigação, concentrando-se especialmente nos atletas de cadeira de rodas:

Investigar as **necessidades específicas dos atletas** participantes nessa competição de corrida adaptada, através de entrevistas, análise de dados, ou até mesmo a utilização de um key user, visando criar produtos de proteção que atendam de forma eficaz às demandas particulares desse grupo.

Analisar as **anomalias presentes nos equipamentos de proteção atualmente disponíveis**, identificando áreas que podem ser aprimoradas e otimizadas por meio da aplicação do FA.

Compreender os pontos que demandam **personalização nos equipamentos**, reconhecendo a importância de adaptar soluções de proteção de acordo com as necessidades individuais dos atletas de cadeira de rodas, com a possibilidade de realizar-mos um produto personalizado para um atleta específico.

Obter um conhecimento abrangente sobre o panorama geral dos **equipamentos de proteção** utilizados por atletas de cadeira de rodas, considerando a interação entre esses elementos para garantir uma abordagem holística na otimização.

Utilizar o FA para estabelecer a ligação entre o produto e o atleta através de uma das suas principais características: **a personalização**.

Estudo dos materiais utilizados nos produtos atuais e como podemos melhorar o comportamento do mesmo, de forma a melhorar a performance na hora da prática em competição.

Esses objetivos estabelecem as bases e premissas essenciais para as principais fases do desenvolvimento do produto, com ênfase na integração do FA. Adicionalmente, complementa-se a pesquisa através da modelação digital tridimensional em softwares CAD e renderizações, proporcionando uma visualização tangível e aprimorada durante o processo de design e desenvolvimento.

1.4 Metodologia

A abordagem metodológica empregada para conduzir esta tese de mestrado é fundamentada nas diretrizes dadas pelo laboratório onde a dissertação se realiza, refletindo as práticas consolidadas pelos membros deste laboratório académico. Ao longo do processo criativo, a atuação é guiada por sete princípios de design, delineados para proporcionar uma base sólida à investigação:

Design Centrado nas Pessoas. O cerne dos problemas e soluções do design é colocado nas pessoas, promovendo uma abordagem centrada no usuário, respaldada por uma análise aprofundada das suas necessidades e experiências.

Pesquisa Contínua por Soluções. A pesquisa incessante de soluções inovadoras é incentivada, respaldada por iterações, testes e refinamentos sistemáticos, visando a conceção e o desenvolvimento de ideias criativas e eficazes.

Colaboração e Cocriação. A colaboração é um pilar fundamental, integrando diversas perspetivas para enriquecer o processo criativo e maximizar as probabilidades de êxito do projeto.

Comunicação Efetiva. Reconhecemos a comunicação como uma ferramenta essencial, utilizando recursos visuais como desenhos, imagens, figuras e gráficos para facilitar a interação entre a equipa de design e as partes interessadas.

Curiosidade e Pesquisa Profunda. A curiosidade é estimulada, juntamente com uma pesquisa abrangente, não apenas sobre o problema em si e o público-alvo, mas também sobre o contexto envolvente, contribuindo para um processo criativo mais inovador.

Espaços em Branco para Estimular a Criatividade. A prática de deixar espaços em branco é adotada, estimulando a mente a ampliar os limites do design, promovendo uma exploração mais profunda e inovadora das ideias.

Sustentabilidade e Economia Circular. A sustentabilidade é prioritária em todas as etapas do processo, desde a concepção até à criação, incorporando um mindset de economia circular, alinhado com as crescentes preocupações ambientais.

Ademais, a dissertação adota o modelo do "Double Diamond", uma metodologia de Design Thinking concebida em 2005, compreendendo dois diamantes distintos:

Primeiro Diamante (Descoberta):

Concentra-se na compreensão profunda do problema, consolidando conhecimento para definir estratégias eficazes de resolução.

Segundo Diamante (Desenvolvimento):

Envolve a criação de soluções e conceitos, culminando na fase de entrega, na qual testes de usabilidade são conduzidos para aprimorar a solução e assegurar a satisfação do cliente (Pyykkö et al., 2021).

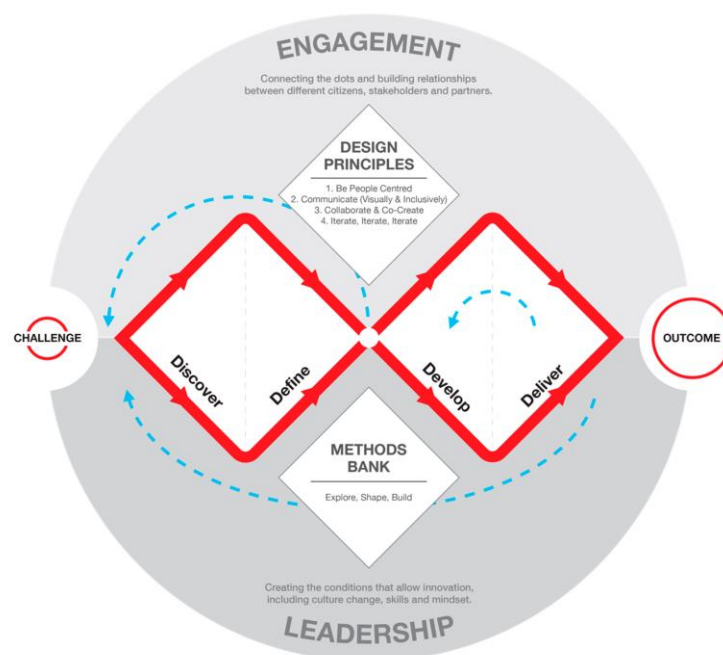


Figura 2 - Double Diamond (Pyykkö et al., 2021).

Estes dois diamantes que estão presentes na Figura 2 constituem um ciclo que explora uma necessidade de maneira abrangente (pensamento divergente) e, subsequentemente, realiza ações focadas (pensamento convergente) para alcançar uma solução fundamentada e eficaz (Pyykkö et al., 2021).

A metodologia aplicada ao tema, inicia com o a fase da descoberta onde nos concentramos em compreender completamente o problema e as necessidades dos usuários. Utilizamos como método de pesquisa entrevistas, observação e análise de dados.

Passamos assim para o segundo ponto, intitulado de “Definição” onde delineamos claramente os objetivos dos projetos e estabelecemos metas e requisitos do produto.

No terceiro ponto, iniciamos a fase de desenvolvimento de conceitos, onde estudamos a forma e a técnica de propulsão dos atletas, compreendendo os movimentos aplicados. É uma fase caracterizada por uma abordagem experimental e interativa.

Por fim, no último ponto, preparamos o produto para a entrega final, imprimindo na tecnologia e materiais mais adequados. Nesta fase realizam-se testes finais.

2 Estado da Arte

2.1 Introdução

No cenário contemporâneo do design e desenvolvimento de equipamentos de proteção para desportistas, a busca por inovações tem sido impulsionada pela conscientização sobre a importância da segurança e desempenho otimizado. Nesse contexto, nasce a necessidade de explorar nichos específicos que, por vezes, permanecem descuidados. Este trabalho centra-se na concepção de equipamentos de proteção destinados a atletas de corrida em cadeira de rodas, uma área notavelmente pouco explorada nos domínios do design no desporto.

O atletismo adaptado ganhou destaque ao proporcionar oportunidades para atletas com mobilidade reduzida demonstrarem habilidades excepcionais. Contudo, é fundamental reconhecer que, apesar dos avanços no design de vários equipamentos para estes atletas, a proteção adequada para atletas de corrida em cadeira de rodas permanece relativamente subdesenvolvida. A falta de atenção a essa específica demografia desportiva pode resultar em riscos significativos para a integridade física dos atletas, bem como comprometer o seu desempenho.

Diante desse contexto, esta dissertação propõe-se a explorar as nuances do design e desenvolvimento de uma proteção de mão personalizada para atletas de corrida em cadeira de rodas. A análise aprofundada deste tema buscará identificar as necessidades específicas desses desportistas, considerando não apenas os aspetos de segurança, mas também a integração de tecnologias inovadoras para otimizar a experiência desportiva.

2.2 Sistema de classificação desportiva - Deficiências Motora, Intelectual e Visual

O atletismo para pessoas com deficiência motora é praticado desde 1948, nos primeiros Jogos de Stoke Mandeville. A International Association of Athletics Federations (IAAF) é o órgão que gere o atletismo a nível mundial e o regulamento de competição que o atletismo adaptado segue é o que este órgão emite, com algumas adaptações de acordo com os tipos de deficiência dos participantes, seguindo os regulamentos das entidades que controlam os desportos adaptados de competição, IPC (Comitê Paralímpico Internacional), INAS-FID (International Federation for Intellectual Impairment Sport), ICDS (Implantable Cardioverter-Defibrillator) (FPDPD, 2017).

Relativamente aos atletas com Síndrome de Down, estes participam em competições organizadas pela IAADS (Special Olympics ou pela International Athletic Association for Persons with Down Syndrome).

Existe uma classificação desportiva relativamente a deficiências motoras, intelectual e visual, como vemos na Tabela 1, que agrupa os atletas por área de deficiência, assim os atletas competem de acordo com as classificações desportivas segregadas de modo que haja um equilíbrio na competição (FPDPD, 2017).

Para que os atletas sejam oficialmente considerados têm de ter algum comprometimento ao nível de potência muscular, amplitude articular, hipertonia, atetose ataxia, baixa estatura, amputação nos membros inferiores, intelectual ou deficiência visual (FPDPD, 2017).

Dentro da tabela de classificação é necessário diferenciar as disciplinas, para tal, os atletas que participam em corridas e saltos são identificados com a letra “T”, antes do número da classe a que pertencem, e os atletas que praticam disciplinas de lançamentos são identificados com a letra “F”. As classes no Atletismo (tabela 1) além de estarem divididas por disciplinas, estão agrupadas por área de deficiência e grau de incapacidade, sendo o primeiro número indicador da área e o segundo número indicador do grau (FPDPD, 2017).

Tabela 1 - Classes no Atletismo (FPDPD, 2017).

Tipos	Descrição	
T11 a T13 / F11 a F13	Atletas com deficiência visual.	
T20 / F20	Atletas com deficiência intelectual. Para ser elegível o atleta deverá apresentar um QI (quociente intelectual) igual ou inferior a 75.	
T32 a T34	Atletas que utilizam cadeira de rodas na disciplina de corrida (atletas com paralisia cerebral).	T32: Limitações moderadas a severas ao nível da coordenação. Quatro membros e tronco afetados embora, geralmente, apresentem um lado do corpo mais funcional que outro ou os membros inferiores mais funcionais que os superiores. Geralmente apresentam pouco controlo do tronco e dificuldade em propulsionar a cadeira;
		T33: Limitações moderadas a severas ao nível da coordenação em pelo menos três membros, geralmente apresenta um dos

		<p>membros superiores com funcionalidade total. A propulsão da cadeira é afetada pela assimetria do movimento de braços. Apresentam um pobre controlo do tronco e uma limitada capacidade de apreensão;</p> <p>T34: Atletas com os quatros membros afetados, com maior comprometimento dos membros inferiores do que nos superiores. Os membros superiores e o tronco apresentam uma boa funcionalidade e força. Apresentam uma ligeira assimetria no movimento de propulsão da cadeira, e quase total capacidade de apreensão.</p>
T35 a T38	Atletas com funcionalidade para a prática de corrida ou salto (atletas com paralisia cerebral).	
F31 a F34	Atletas que utilizam cadeira de rodas na disciplina de lançamentos.	
F35 a F38	Atletas com dificuldade para realizarem o lançamento em pé, com paralisia cerebral.	
T40 a T41 / F40 a F41	Atletas com baixa estatura (pelo menos 20% abaixo da média).	
T42 a T47 / F42 a F46 e T51 a T54 / F51 a F58	Atletas com disfunção músculo-esquelética.	
T45 a T47 / F45 a F46	Atletas com comprometimentos nos membros superiores; nesta classe os atletas competem em pé sem auxiliares de suporte.	
T51 a T54 / F51 a F58	Atletas que necessitam de cadeira de rodas ou cadeira de lançamentos.	

Para a realização desta dissertação, o foco de estudo irá centrar-se nos **atletas classificados de T32 a T34** que são os que necessitam de cadeira de rodas e que praticam a modalidade de corrida.

2.3 Lesões associadas ao Atletismo Adaptado

A atividade física é um fator determinante para a saúde, bem como o bem-estar das pessoas. No entanto as limitações de mobilidade podem restringir à realização de desporto, a não ser que este esteja adaptado para estes e assim os possibilite à prática. Pouca informação há acerca da qualidade dos desportos adaptados e se estes realmente oferecem qualidade de vida aos atletas que os praticam (Côté-Leclerc, F. et al., 2017).

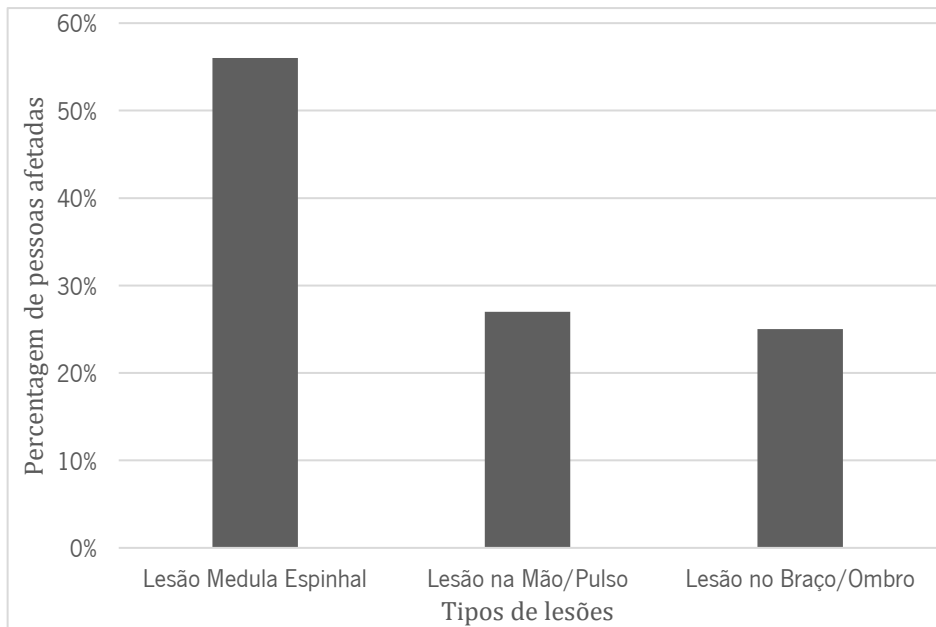
O número de atletas com deficiência que praticam desporto adaptado bem como a popularidade dos Jogos Paralímpicos tem aumentado constantemente em todo o mundo. No entanto, apesar deste crescente interesse, o aumento da prática desportiva também coloca o atleta em risco de lesões e existem poucos estudos sobre os padrões de lesão, os fatores de risco e estratégias de prevenção de lesões (Fagher & Lexell, 2014).

Dentro do atletismo, a disciplina de corrida com cadeira de rodas tornou-se num dos desportos adaptados mais praticados para pessoas com deficiência. Durante a década de 1970, as cadeiras de rodas começam a ser desenvolvidas, deixando de ser apenas um suporte do atleta e passando a ser uma peça mais complexa e otimizada para melhorar os treinos e performances dos atletas (Cooper, 1990).

Através de métodos de pesquisa, sabe-se que as lesões de membros inferiores são mais comuns em atletas de corrida, enquanto lesões dos membros superiores foram mais prevalentes em atletas de cadeira de rodas (Fagher & Lexell, 2014).

Taylor e Williams (1995) reportaram uma prevalência de lesões durante um período de 12 meses, num estudo efetuado no Reino Unido com 53 atletas praticantes de corrida. Na maior parte, foram relatados ferimentos na extremidade superior. A lesão mais comum, como podemos observar na Tabela 2 , foi localizada na medula espinhal (56%), depois notaram as lesões na mão e no pulso (27%) seguidas das lesões no braço e ombro superior (25%). Alguns atletas localizaram dor em dois sítios.

Tabela 2 - Dados de estudo 53 britânicos (Taylor & Williams, 1995).



Num estudo realizado nos EUA, foram registadas 50 lesões num total de 19 atletas de cadeira de rodas de elite que praticam atletismo, natação, ténis de mesa e tiro. Conclui-se que 60% das 50 lesões notadas ocorreram no atletismo e desses 60%, 48 ocorrem durante época competitiva, o que acaba por prejudicar a performance dos atletas, impedindo-os, muitas vezes, de competirem a época inteira. A lesão mais comum foi gerada pela sobrecarga de esforços nos membros superiores. A zona do corpo mais afetada foram os ombros (Ferrara & Davis, 1990).

Segundo Curtis e Dillon (1985), que avaliaram a prevalência de lesões em 128 atletas de cadeira de rodas, praticantes de várias modalidades, provenientes dos Estados Unidos da América, afirmam que os ferimentos mais relatados durante o estudo foram lesões nos tecidos moles nos ombros, cotovelos e pulsos. O estudo permitiu verificar que o desporto associado à maior prevalência de lesões foi o atletismo.

McCormack et al. (1991) inquiriu 90 atletas de cadeira de rodas de origem canadiana que participaram em 18 diferentes desportos de cadeira de rodas. No total, foram registados 346 feridos. Os autores sugerem que as causas destas lesões sejam causadas pela propulsão da cadeira de rodas.

2.4 Cadeira de rodas de Atletismo Adaptado

A cada ano de passagem, à desenvolvimento a nível tecnológico que ajudam a otimizar as cadeiras de rodas para atletismo adaptado, no entanto continuam a existir questões críticas relativas à interface do utilizador com a cadeira de rodas (Laferrier et al., 2012). Os assentos das cadeiras de rodas devem estar ajustados ao máximo para que quando o atleta aumente ou diminua de velocidade, este não cause distúrbios tais como barulhos que possam desconcentrar o atleta da competição (Laferrier et al., 2012). A posição do atleta visível na Figura 3 tem de o deixar confortável durante todo o tempo de competição, que poderá ser desde minutos (provas de velocidade que, são mais curtas) a horas (provas de longas distâncias ou maratonas). O atleta faz inúmeros movimentos que o obrigam a ter de subir e descer, levantando o peito das coxas para respirar, enquanto impulsiona a cadeira com as duas mãos (Laferrier et al., 2012). A interface entre o aro (handim) e a mão do atleta desenvolve muitas questões que ainda hoje são difíceis de explicar e continuam a ser estudadas, não só pelos atletas e treinadores, mas também por engenheiros e designers que tentam melhorar a performance dos atletas otimizando todos os acessórios que estes necessitam. O push é influenciado pela posição do assento, pela estabilidade dos ombros, a localização do eixo das rodas em relação ao corpo do atleta, o diâmetro do aro, o tamanho da tubagem do aro e se este tem revestimento ou não, o tipo de luvas que o atleta usa bem como o seu revestimento. Existem variadas técnicas da posição das mãos e utilização das luvas (Laferrier et al., 2012). A técnica de propulsão utilizada pelos atletas é semelhante à técnica chamada de “mariposa” que é praticada na natação (Laferrier et al., 2012)

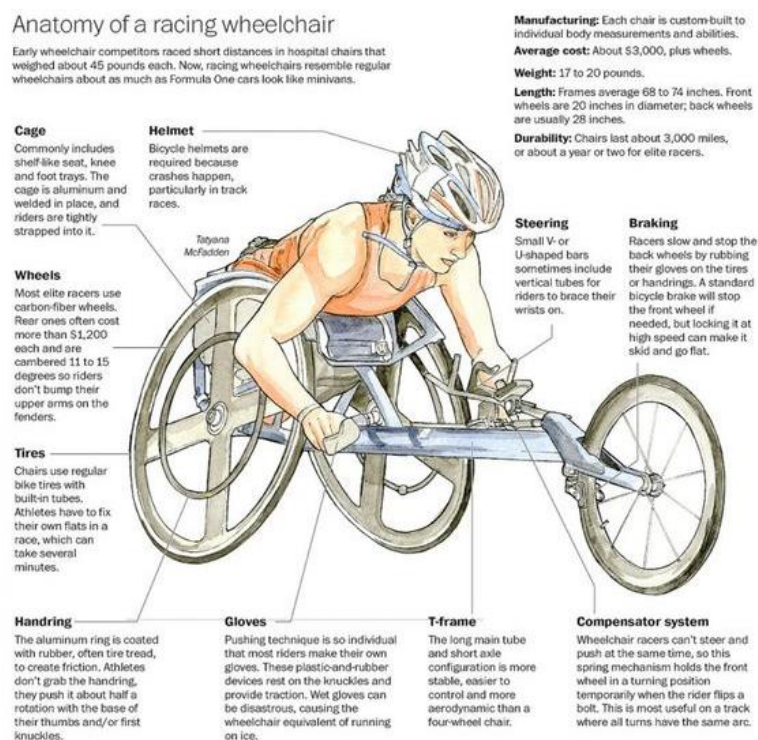


Figura 3 – Cadeira de rodas de corrida (AFA, 2013).

Uma cadeira de rodas para atletismo adaptado, geralmente é constituída pelos seguintes componentes:

2.4.1 Capacete

Como para qualquer transporte em que o utilizador esteja exposto diretamente com o exterior e sujeito a cair, é exigido a utilização de um capacete que proteja a cabeça e certos ossos faciais. Nas provas de pista os acidentes também podem acontecer, e para prevenir danos graves, é necessário ao atleta usar capacete (AFA, 2013).

2.4.2 Gaiola

A gaiola da bicicleta inclui o assento dos atletas e uma zona para colocar os joelhos e os pés, geralmente idêntica a uma prateleira. Esta parte é feita num material leve, mas resistente, que permita a solda ao resto da estrutura da cadeira. Os atletas são presos firmemente à cadeira de forma que não haja nenhum movimento que prejudique na corrida (AFA, 2013).

2.4.3 Rodas

Maioria das rodas são feitas de fibra de carbono, pois é um material leve que permite aos atletas atingir melhores performances, embora o seu preço seja muito elevado e ronde os mil e duzentos euros cada. Estas têm sempre uma curvatura que atinge entre os onze e os quinze graus para que os atletas não batam com os braços nas mesmas (AFA, 2013).

2.4.4 Pneus

Geralmente os pneus usados para este tipo de cadeiras de rodas são aos mesmos utilizados em bicicletas. No caso de algum imprevisto nos pneus, terá de ser o atleta a resolver durante a competição (AFA, 2013).

2.4.5 Aro (handim)

O aro é o componente principal da cadeira pois é através dele que a cadeira se move. É o principal ponto de contacto entre a pessoa e o objeto. Este é em maioria das vezes revestido com a borracha de pneus para criar fricção e ser mais fácil para o atleta empurrar a cadeira. Os atletas não agarram o aro, eles empurram com a base dos polegares e/ou os restantes dedos (AFA, 2013).

As pessoas com deficiência dos membros inferiores têm a possibilidade de escolher entre cadeira de rodas manual ou elétrica. Os atletas para poderem participar nas competições têm obrigatoriamente de usar cadeiras especializadas para a competição. Estas são todas manuais e têm um design projetado especialmente para estes atletas, onde questões ergonómicas e aerodinâmicas são a base das criações (Rice et al., 2015). Nas cadeiras de rodas de corrida, o aro de mão mais utilizado é de aproximadamente trinta e dois centímetros (Vanlandewijck et al., 2001a).

O ciclo de propulsão geralmente é dividido em duas fases, a fase do impulso e a fase de recuperação (Vanlandewijck et al., 2001a). A fase do impulso é definida como a fase de produção de força quando as mãos estão em contacto com os aros. A fase de recuperação é a fase em que as mãos se posicionam para reiniciar a primeira fase (Vanlandewijck et al., 2001a). Podemos observar o esquema apresentado na Figura 4 que nos ajuda a entender melhor a técnica de propulsão.

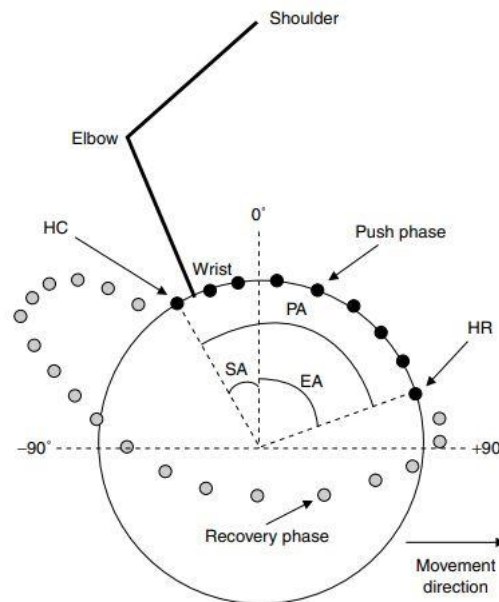


Figura 4 - Esquema de técnica de propulsão (Vanlandewijck et al., 2001a).

Segundo Vanlandewiick et al (2001), diante de altas velocidades, os atletas de elite adaptam a sua técnica de propulsão, não mudando totalmente a execução dos movimentos, apenas aumentado a amplitude dos movimentos. Quando a velocidade de propulsão aumenta, uma maior velocidade dos membros superiores tem de ser gerada para que se aplique mais força nos aros.

Através de uma pesquisa efetuada a 40 atletas de elite do sexo masculino, Vanlandewiick et al (2001), descobriram que o deslocamento da mão durante a fase de recuperação aumenta cerca de 20% à medida que a velocidade aumenta. Também aumenta o balanço do braço para trás quanto a preparação para o contacto das mãos com o aro, o que resulta num aumento da atividade muscular e maior consumo de energia.

2.4.6 Luvas

Como é possível observar em muitas áreas do atletismo de elite, os equipamentos são constantemente alterados e redesenhados para oferecer ao atleta as melhores condições para a prática do desporto o que no atletismo adaptado também tem acontecido.



Figura 5 - Luvas especializadas para cadeiras de rodas (Fonseca, 2023).

À semelhança das novas tecnologias impostas nas bicicletas, as últimas edições de cadeiras de rodas já incorporam materiais rígidos leves, bem como armações e rodas de fibras de carbono, assim como o redesign da cadeira tendo em conta dados antropométricos dos atletas para que esta ganhe mais aerodinâmica (Vanlandewijck et al., 2001b). Para além disto, os atletas de cadeira de rodas usam luvas especializadas para entrar em contacto com a mão e o aro das rodas para gerar potência propulsiva, como podemos ver nas Figuras .6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15. Estes tipos de equipamentos são utilizados em combinação com a biomecânica de propulsão (Vanlandewijck et al., 2001b).



Figura 6 - Análise mercado. Luva em impressão 3D. (Han,G, 2016)



Figura 8 - Análise mercado. Protótipo luva de proteção. (NR, 2016)



Figura 7 - Análise mercado. Conceito de luva de proteção. (AMS, 2019)



Figura 9 - Análise mercado. Luvas de proteção cadeira de rodas, em pele. (Karman, 2022)



Figura 10 - Análise mercado. Luva moldada por aquaplast. (Duarte, 2016)

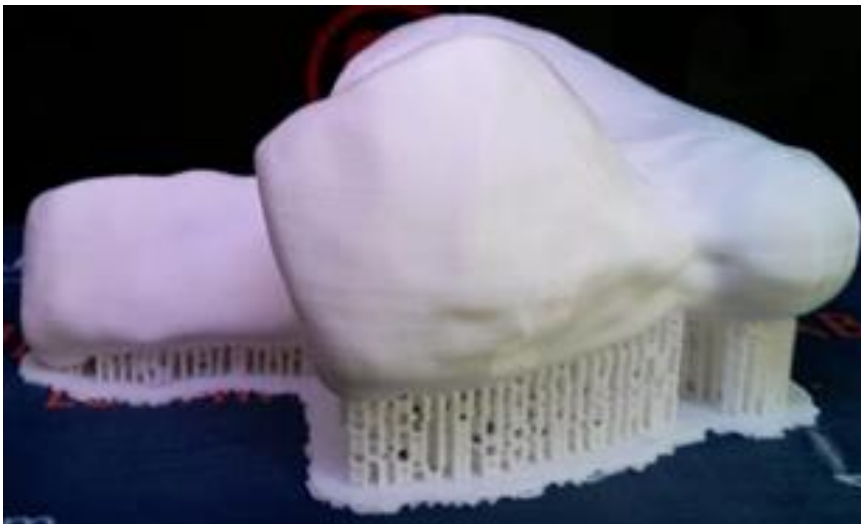


Figura 11 - Análise mercado. Conceito de luva impressa em 3D. (Mendoza, 2015)



Figura 12 - Análise mercado (Auerbach, 2021)



Figura 13 - Análise mercado (Lai, 2018)



Figura 14 - Análise mercado (Covill et al., 2020)

2.4.6.1 Luvas Sólidas versus Luvas Macias

O tipo de luva tem diferentes influências no impulso que é dado no arco da cadeira para que esta ande. Estudos realizados sobre a influência do tipo de luva (sólidas e macias) na propulsão de cadeira de rodas, concluem que a utilização de luvas sólidas pode proporcionar benefícios de desempenho aos atletas de cadeira de rodas durante condições de velocidade (Rice et al., 2015).

As luvas de cadeira de rodas existentes no mercado são mais limitadas, não permitindo o usuário personalizar sem serem a um custo dispendioso, o que torna mais difícil o acesso dos atletas às luvas (Covill et al., 2020).

Existem dois tipos principais de luvas de corrida: as luvas de couro acolchoadas, também chamadas de "soft gloves" (Figura 15), e as luvas termoplásticas de ajuste de forma, conhecidas como "solid" (Figura 16 e 17). Nos últimos anos, a maioria dos corredores de elite abandonou o uso de soft gloves

em favor das solid gloves, alegando um desempenho superior. No entanto, uma minoria de corredores de elite que ainda utiliza as tradicionais soft gloves continua a superar a concorrência (Rice et al., 2015).

Atualmente, os atletas precisam confiar apenas nos tempos de corrida e nas velocidades máximas atingidas para avaliar o desempenho das luvas. Isso ocorre porque, até o momento, nenhum dos estilos de luvas foi analisado cientificamente (Rice et al., 2015).

Soft Gloves



Figura 15 - Soft Gloves (HIRS, 2022b).

No contexto desportivo de corrida em cadeira de rodas, "soft gloves" referem-se a luvas de corrida feitas de couro acolchoado ou material semelhante que proporciona uma sensação mais macia e flexível. Essas luvas geralmente oferecem um ajuste mais confortável e adaptável às mãos do atleta. No entanto, o termo "soft" não implica necessariamente falta de suporte ou durabilidade, destaca-se principalmente a natureza mais maleável e flexível do material.

Anteriormente, mencionou-se que, nos últimos anos, a maioria dos corredores de cadeira de rodas de elite migrou para o uso de luvas sólidas (termoplásticas de ajuste de forma), argumentando que proporcionam um desempenho superior. A mudança pode ser atribuída a preferências pessoais, avanços tecnológicos ou melhorias percebidas na eficiência e no suporte oferecidos pelas solid gloves em comparação com as soft gloves.

Solid Gloves

As solid gloves são feitas de aquaplast ou de plástico impresso em 3D com borracha colada à superfície de empurrar. São mais leves e mais frescas do que as luvas macias. As luvas impressas em 3D estão a ganhar popularidade porque são feitas para uma grande variedade de tamanhos de mãos e as aquaplast podem ser difíceis de moldar, especialmente se não tiver a ajuda de uma pessoa experiente para as fazer (Rice et al., 2015).



Figura 16- Solid Gloves - Aquaplast Gloves (Douger, 2020).

Em termos de corrida em cadeira de rodas, "solid gloves" referem-se a luvas feitas de materiais termoplásticos que proporcionam um ajuste mais rígido e estruturado. Essas luvas são projetadas para fornecer suporte sólido às mãos do atleta durante a prática desportiva (Rice et al., 2015). Ao contrário das soft gloves que são mais flexíveis e macias, as solid gloves são construídas com materiais mais rígidos, como termoplástico, para oferecer um suporte firme e estável. Estas luvas podem oferecer benefícios como maior controle, estabilidade e eficiência durante a corrida, embora a preferência entre soft gloves e solid gloves possa variar de acordo com as necessidades individuais, as preferências e técnicas dos atletas (Douger, 2020).

Aquaplast Gloves

Estes são os passos para criar uma luva em Aquaplast (imagem 17) (Douger, 2020):

- Ferver uma panela de água.
- Enquanto a água ferve, colocar água gelada num balde para arrefecer o Aquaplast.
- Dividir os granulados de Aquaplast para cada luva.
- Quando os grânulos ficarem transparentes, formar uma bola e mergulhar brevemente na água fria. Separar a bola em duas partes iguais.

- Reaquecer uma metade enquanto se molda a outra para formar o punho e a parte dos dedos da luva.
- Juntar as duas partes firmemente enquanto o Aquaplast ainda está transparente. Colocar a mão no molde e mergulhar na água gelada até endurecer.
- Depois de arrefecer completamente, experimentar as luvas para ajustar.
- Cortar a borracha conforme as dimensões da superfície da luva, colar e fixar com fita isolante (para fixar a borracha, usar cola adequada para plástico e borracha).
- Deixar a cola curar por 24 horas antes de remover a fita.
- Para maior conforto, forrar o interior das luvas com pele onde os dedos tocam no Aquaplast (Douger, 2020).



Figura 17 - Processo de criação luvas Aquaplast (Douger, 2020).

3D Gloves



Figura 18- Solid Gloves – FA (HIRS, 2022a).

O processo de criação de luvas impressas em 3D para corrida em cadeira de rodas envolve várias etapas (WSU, 2022).

Digitalização ou Modelação 3D: A primeira etapa pode envolver digitalizar as mãos do atleta ou criar um modelo 3D personalizado com base em suas dimensões. Isso pode ser feito usando scanners 3D ou softwares de modelação (WSU, 2022).

Design da Luva: Criação do design da luva, levando em consideração a anatomia e as necessidades específicas do utilizador (WSU, 2022).

Escolha do Material: Seleção do material adequado para a impressão, levando em consideração fatores como durabilidade, flexibilidade e conforto. Materiais como plásticos flexíveis ou elastômeros podem ser escolhidos para criar luvas mais adaptáveis (WSU, 2022).

Impressão 3D: A impressora 3D deposita camada por camada do material para construir a luva de acordo com o modelo digital (WSU, 2022).

Pós-processamento: Processos adicionais (remoção de suportes de impressão, polimento ou acabamento) para aprimorar a estética e funcionalidade (WSU, 2022).

Testes e Ajustes: Teste das luvas para avaliar o ajuste, conforto e desempenho. Com base no feedback, ajustes podem ser feitos no design ou no processo de fabricação (WSU, 2022).

Este processo é altamente personalizado e pode variar dependendo das tecnologias específicas de impressão 3D e das preferências individuais do utilizador. O objetivo é criar luvas que ofereçam um ajuste preciso, conforto e desempenho otimizado para o atleta (WSU, 2022).

2.4.7 Quadro

O quadro de uma cadeira de rodas de atletismo tem várias diferenças comparada com as cadeiras de quatro rodas, pois este tem mais aerodinâmica, cria mais estabilidade na condução e é mais fácil de controlar os movimentos (AFA, 2013).

2.4.8 Sistema Compensador

Não é possível ao atleta empurrar a cadeira ao mesmo tempo que a conduz, por esse motivo, a cadeira de rodas de atletismo tem um mecanismo de mola que mantém a roda dianteira numa posição temporariamente quando o atleta pressiona numa peça interligada. Sendo que as curvas dentro de uma pista têm os mesmos ângulos, este mecanismo foi projetado na perfeição para otimizar a corrida destes atletas e é muito útil (AFA, 2013).

2.4.9 Travão

Para travar a cadeira de rodas, os atletas pressionam as luvas contra os pneus ou no aro das rodas de trás. Travar na roda da frente pode fazer com que a cadeira derrape e o atleta caia, devido às velocidades que estes se podem encontrar (AFA, 2013).

2.4.10 Direção

A direção de uma cadeira de rodas de atletismo são umas pequenas barras em forma de “v” ou “u”. Estas por vezes têm adicionados uns tubos verticais para os atletas apoiarem os pulsos (AFA, 2013).

2.5 Tecnologia de FA

A primeira forma de criar camada por camada de um objeto tridimensional usando o desenho assistido por computador (CAD) foi o FA, desenvolvida na década de 1980 para a criação de modelos e peças de protótipos (Wong & Hernandez, 2012). Esta tecnologia foi criada para ajudar na realização de projetos que os engenheiros e designers tenham em mente. O FA é um dos primeiros processos que permite a criação de peças impressas. Entre os grandes avanços que este processo apresentou para o desenvolvimento de produtos estão também a redução de tempo e custo, interação humana e, conseqüentemente, o ciclo de desenvolvimento do produto, também a possibilidade de criar praticamente qualquer forma que possa ser muito difícil de maquinar (Wong & Hernandez, 2012). Já é uma tecnologia utilizada em vários setores como na ciência, medicina, no âmbito escolar de projeto entre alunos e professores, designers e engenheiros. Com o FA, cientistas e estudantes conseguem construir e analisar modelos para compreensão teórica e análises de forma (Wong & Hernandez, 2012).

As etapas envolvidas no desenvolvimento de produto que utilizam FA estão representadas na Figura 19.

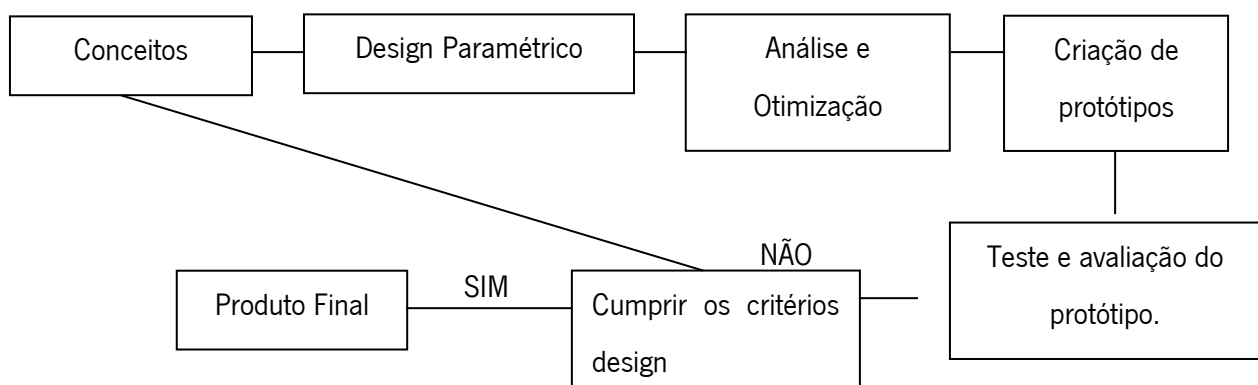


Figura 19 - Etapas desenvolvimento de produto (Adaptado de Wong & Hernandez, 2012).

Aqui consegue-se observar que é possível a criação de protótipos mais rápido, o que economiza muito tempo e ainda há a possibilidade de testar mais protótipos.

Na atualidade, as tecnologias de FA não são utilizadas apenas para a criação de protótipos, pois, com as vantagens que alguns materiais poliméricos nos oferecem, tem sido possível criar produtos finalizados (Wong & Hernandez, 2012).

O FA refere-se a um conjunto de tecnologias (Figura 20) que fabricam objetos físicos diretamente a partir de dados CAD tridimensionais (ASTM, 2012). O FA adiciona materiais líquidos, laminados, fios ou em pó, camada a camada, para formar componentes com pouco ou nenhum requisito de processamento subsequente. Esta abordagem proporciona uma série de vantagens, incluindo a utilização de quase 100% do material, com curto prazos de entrega e liberdade geométrica no design (ASTM, 2012).

Desde o início do processamento baseado em camadas para a criação de componentes 3D, uma série de termos evoluíram e, como tal, surgiram várias derivações de terminologia. Nos tempos mais recentes, isto resultou num mal-entendido ou num uso indevido da terminologia, contribuindo para uma "fraqueza" no seu avanço (Dufera & Srinivasulu Reddy, 2019). O carácter inovador da tecnologia e a falta de normalização disponível também contribuíram para isso.

Embora o primeiro termo a identificar a tecnologia tenha sido "prototipagem rápida", o progresso considerável no campo levou a tecnologia muito além da "prototipagem". Impressão 3D (Dufera & Srinivasulu Reddy, 2019), é um termo que surge na década de 90 e tem sido amplamente utilizado desde então. Tornou-se um termo mais conhecido para criar componentes 3D em camadas. O termo "Fabrico Aditivo" foi introduzido mais tarde e parece ter tomado a posição para descrever a tecnologia em geral, e mais especificamente para aplicações industriais e de equipamentos e aplicações profissionais de ponta (Dufera & Srinivasulu Reddy, 2019).

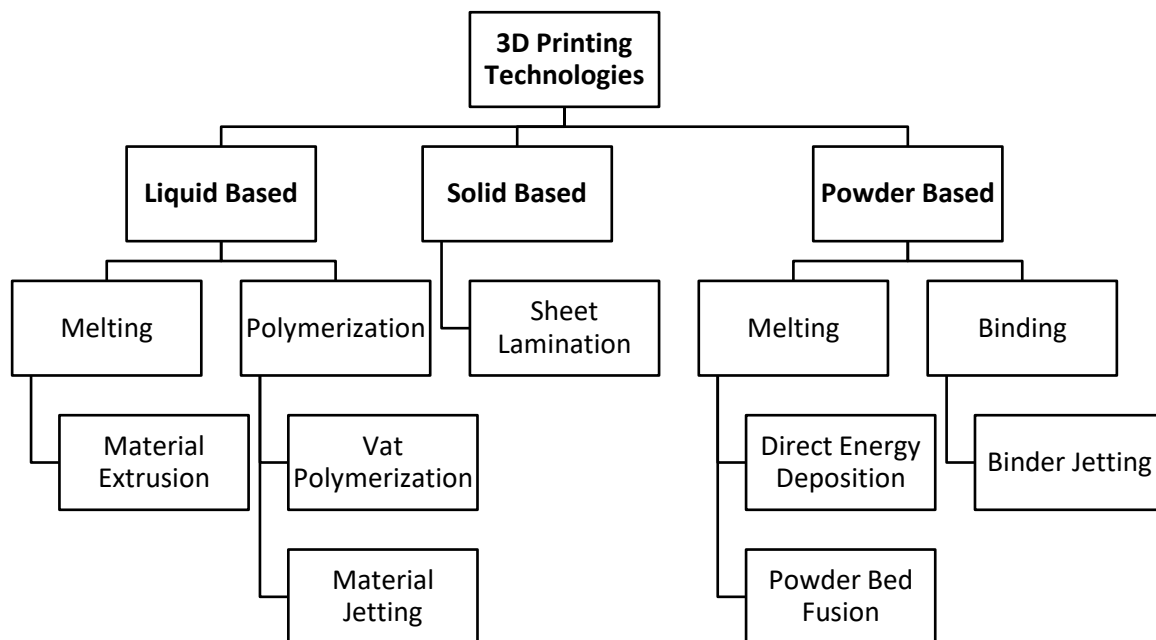


Figura 20 - Sete processos de FA (Adaptado de Castelão, 2018).

2.5.1 Vat Polymerization

A tecnologia “Vat Polymerization” utiliza uma cuba de resina de fotopolímero líquido, da qual o modelo é construído camada sobre camada (C. K. Chua et al., 2010). Uma luz ultravioleta (UV) é usada para curar ou endurecer a resina sempre que necessário, enquanto uma plataforma move o objeto sendo feito para baixo após cada nova camada ser curada (C. K. Chua et al., 2010).

Como o processo utiliza líquido para formar objetos, não há suporte estrutural do material durante a fase de construção.

A estereolitografia (SLA) é a primeira tecnologia de FA comercializada que utiliza a tecnologia laser para alcançar a foto-polimerização da resina líquida que se torna consistente quando exposta ao laser (luz UV) de forma a criar objetos (Figura 21) (C. K. Chua et al., 2010). Após cada camada ser concluída, a plataforma baixa-se uma camada, normalmente permitindo que a lâmina volte a encher a resina líquida na superfície do objeto. Esta tecnologia ainda é usada para prototipagem rápida, para criar produtos poliméricos conceptuais e para Fabricação Rápida indireta para criar padrões mestres para processos de fundição (Levy et al., 2003). Geralmente, a espessura da camada alcançada depende do modelo da máquina e varia entre 0,05 mm e 0,15 mm com uma rugosidade de aproximadamente 35-40 μm Ra (Levy et al., 2003). As principais vantagens do SLA são a resistência à temperatura e a criação de estruturas complexas com paredes muito finas (Reeves, 2009). A principal desvantagem do SLA é a estrutura de suporte necessária para fabricar objetos que consomem material adicional e tempo de produção alargado (Reeves, 2009). Ver Tabela 3.

Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens SLA/DLP.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Bom acabamento superficial	Custo elevado da maquinaria e resinas
Repetibilidade	Elevado tempo de produção
Permitem camadas na ordem dos 16 micron	Resinas tóxicas
	Álcool isopropílico é perigoso
	Necessidade do processo de cura

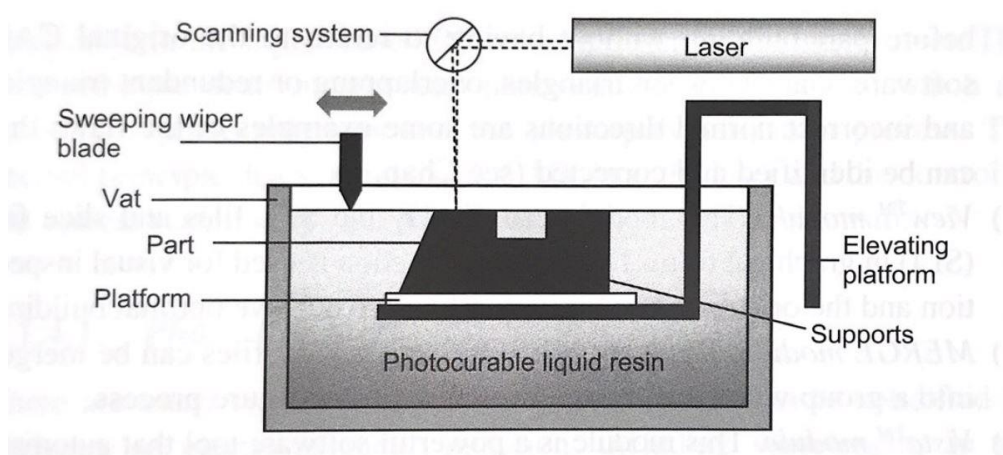


Figura 21- Processo SLA (Dufera & Srinivasulu Reddy, 2019).

2.5.2 Material Extrusion

Fused Deposition Modeling é um processo comum de extrusão do material em que o material é desenhado através de uma cabeça de extrusão, onde é aquecido e é depois depositado camada a camada (ASTM, 2012). O bocal pode mover-se horizontalmente e a plataforma move-se para cima e para baixo verticalmente após cada nova camada ser depositada. Material Extrusion é uma técnica comumente usada em impressoras 3D de uso doméstico, economicamente mais acessíveis (ASTM, 2012). O processo tem muitos fatores que influenciam a qualidade do modelo final, mas tem grande potencial e viabilidade quando estes fatores são devidamente controlados. Embora o Material Extrusion seja semelhante a todos os outros processos de impressão 3D, uma vez que constrói camada a camada, varia no facto de o material ser adicionado através de um bocal sob pressão constante e num fluxo contínuo (ASTM, 2012). Esta pressão deve ser mantida estável e a uma velocidade constante para permitir resultados precisos (Wong & Hernandez, 2012). As camadas de material podem ser ligadas pela utilização de agentes químicos ou pelo controlo de temperatura. O material é frequentemente adicionado à máquina em forma de bobina, como mostra a Figura 22. Ver Tabela 4.

Tabela 4- Vantagens e Desvantagens Material Extrusion.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Filamentos disponíveis em várias cores	Necessidade de suporte para as peças, sendo que este é construído em conjunto com a peça (desperdício de material)
Matéria-prima mais acessível, em comparação com outras tecnologias	Processo mais demorado
Impressoras de pequeno porte	Material é sujeito a gradientes de temperatura, o que pode levar a deformações do modelo
Uso de materiais que emitem fumos de baixa toxicidade	
Ampla gama de materiais disponível	

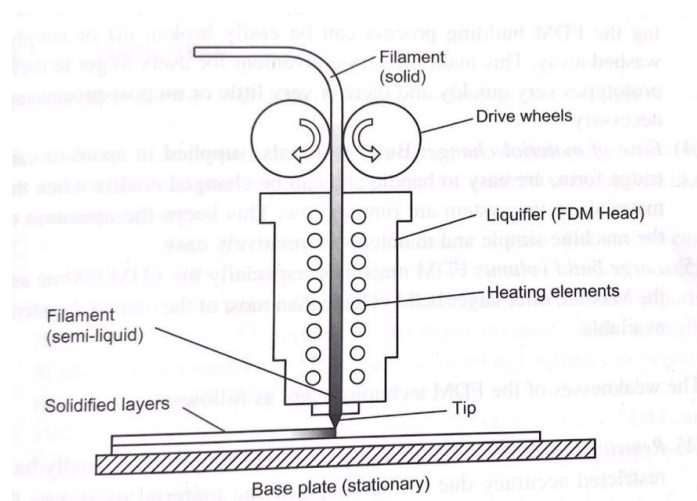


Figura 22 – Processo Material Extrusion (C. K. Chua et al., 2010).

2.5.3 Material Jetting

O Material Jetting (MJ) é um dos 7 tipos de tecnologias de FA em que gotículas de materiais de construção e suporte são injetadas seletivamente na plataforma de construção e curadas por luz UV ou calor para formar um objeto 3D (EPD, 2020). O material pode ser injetado continuamente ou somente quando necessário, ou seja, sob demanda para criar as peças.

O material é injetado numa plataforma de construção usando uma abordagem contínua ou Drop on Demand (DOD). O material é injetado na superfície ou plataforma de construção, onde se solidifica e o modelo é construído camada por camada, podemos observar o esquema na Figura 23. O material é depositado a partir de um bocal que se move horizontalmente pela plataforma de construção.

Como a maioria dos princípios de funcionamento das máquinas com tecnologia de FA, a deposição do material é controlada pelo movimento X, Y e Z, que varia ligeiramente de fabricante para fabricante para criar o objeto no espaço 3D (EPD, 2020). As máquinas variam em complexidade e nos métodos de controle da deposição de material. As camadas de material são então curadas ou endurecidas usando luz ultravioleta (Dufera & Srinivasulu Reddy, 2019).

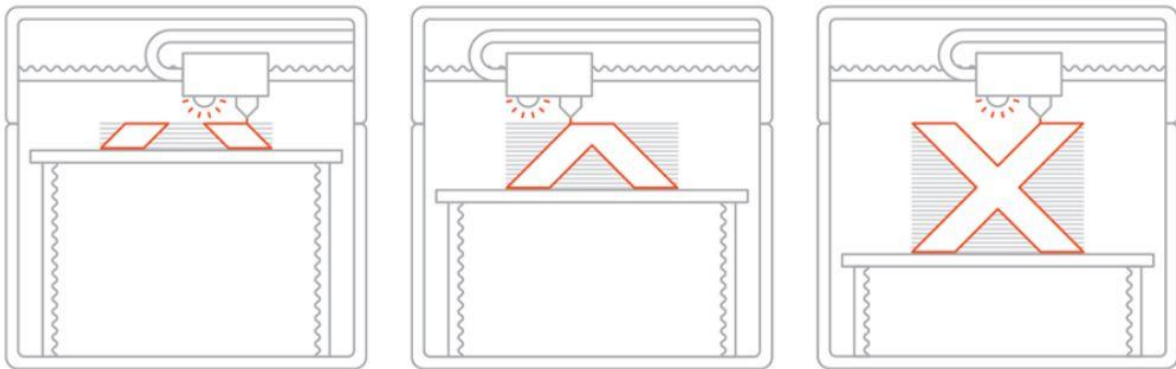


Figura 23 – Tecnologia Material Jetting (C. K. Chua et al., 2010).

Como o material deve ser depositado em gotas, o número de materiais disponíveis para uso é limitado. Devido à natureza viscosa e à natureza formadora de gotas dos polímeros, as ceras são geralmente os materiais usados.

Material Jetting constrói objetos num método semelhante a uma impressora de jato de tinta bidimensional (C. K. Chua et al., 2010). Vários materiais podem ser usados num processo e podem ser alterados durante a fase de construção. O material é lançado sobre a superfície da plataforma de construção em gotículas, que são formadas com um bocal oscilante. As gotículas são então carregadas e posicionadas sobre a superfície utilizando placas de desvio carregadas. Trata-se de um sistema contínuo que permite alto nível de controlo e posicionamento de gotas. As gotículas que não são utilizadas são recicladas de volta ao sistema de impressão.

Desde o início da tecnologia de jateamento de materiais na década de 1990, várias técnicas surgiram e progrediram para um estado desenvolvido (C. K. Chua et al., 2010).

A tecnologia de Material Jetting injeta camadas ultrafinas de material fotopolímero na base de construção, muito semelhante a uma impressora de jato de tinta normal e cada camada é imediatamente curada por uma luz UV (C. K. Chua et al., 2010). O material de suporte tipo gel está disponível para peças geométricas complexas que podem ser facilmente removidas manualmente, através de Aquablast ou então jato de água (C. K. Chua et al., 2010).

Na Figura 25 temos um esquema que nos permite compreender o funcionamento da tecnologia de Material Jetting. As impressoras têm cabeças de impressão, câmara de construção, recipiente de material e luz UV para curar as peças. A resina líquida dentro do recipiente é devidamente aquecida no início até atingir a viscosidade ideal adequada, depois a cabeça de impressão injeta milhares de gotículas minúsculas de fotopolímero na plataforma de construção XY. A luz UV cura o material depositado e solidifica-o e após essa a camada estar concluída, a base baixa para que seja possível criar outra camada por cima da concluída. Este processo repete-se até que a peça esteja concluída (C. K. Chua et al., 2010).

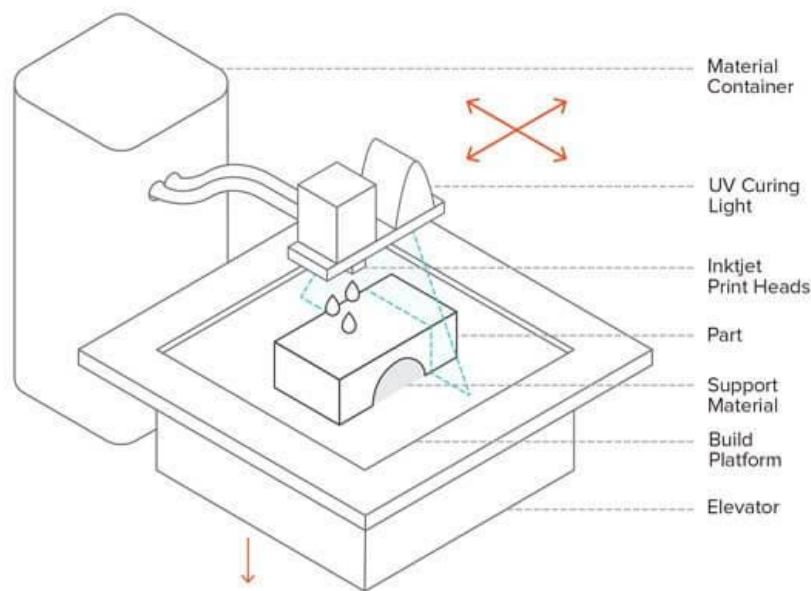


Figura 25 - Esquema Material Jetting (C. K. Chua et al., 2010).

A tecnologia de jato de nanopartículas usa uma metodologia de dispersão exclusiva para depositar o material na base de construção (EPD, 2020). Nanopartículas sólidas do material são contidas ou suspensas num líquido e depois são injetadas na plataforma de construção (EPD, 2020). Quando terminado o processo, o material de suporte é removido antes de passar por um processo simples de sinterização (EPD, 2020).

A tecnologia de NPJ funciona conforme os seguintes tópicos (XJet, 2022).:

- Nanopartículas sólidas em suspensão líquida são entregues em cartuchos selados;
- Cabeças de impressão com milhares de bicos de jato de tinta injetam simultaneamente milhões de gotas ultrafinas de materiais de construção e suporte na bandeja de construção do sistema em camadas ultrafinas;
- Após a fabricação da peça, a estrutura de suporte, feita de material solúvel especial, dissolve-se facilmente da peça acabada;

- As peças produzidas passam por um processo de sinterização durante a noite simples e relativamente curto.

Drop on demand, como o nome indica, deposita apenas pequenos pontos de material quando necessário, em vez de linhas contínuas e é usado normalmente para materiais líquidos viscosos (EPD, 2020). As gotículas são formadas e posicionadas na base de construção, de modo a construir o objeto que está a ser impresso, com mais gotículas adicionadas em novas camadas até que todo o objeto esteja concluído. Devido à natureza viscosa e à capacidade de se formar como gotas, polímeros e ceras são os materiais mais adequados e frequentemente usados (EPD, 2020). A viscosidade é o principal determinante do processo; é necessário reencher o reservatório rapidamente e isso, por sua vez, afeta a velocidade de impressão (EPD, 2020). Ao contrário de um fluxo contínuo de material, as gotas são dispensadas apenas quando necessário, libertadas por uma mudança de pressão no bocal dos atuadores térmicos ou piezoelétricos. As gotículas são depositadas por atuadores térmicos a uma velocidade muito rápida e usam uma resistência fina para formar a gota. O método piezoelétrico permite uma ampla gama de materiais e é muitas vezes considerado a melhor opção.

O material de suporte pode ser removido com uma solução de hidróxido de sódio ou jato de água (EPD, 2020). Devido à elevada precisão da tecnologia do processo, o nível de pós-processamento necessário para melhorar as propriedades é limitado e as qualidades funcionais e estéticas de uma peça são largamente determinadas durante a fase de impressão. A tecnologia de Material Jetting cura o material usando a luz UV e, portanto, não é necessário um processo de pós-cura (EPD, 2020). Ver Tabela 5.

Tabela 5 - Vantagens e Desvantagens da Tecnologia Material Jetting.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Peças altamente precisas com resolução de até 14 microns	Protótipos não funcionais, pois têm más propriedades mecânicas
Permite produzir peças lisas com superfícies comparáveis à moldagem por injeção e precisão dimensional muito alta	As propriedades mecânicas do material usado no Material Jetting degrada-se rapidamente com o tempo
Baixo desperdício	Máquinas dispendiosas
Capacidade multimaterial e multicolorida no mesmo volume de impressão	Embora seja mais fácil de remover, a maioria das peças geralmente requer material de suporte
Material Jetting tem propriedades mecânicas e térmicas homogêneas	Os materiais são limitados

2.5.4 Binder Jetting

O processo de Binder Jetting utiliza pó e binder. O binder atua como adesivo entre camadas de pó. O aglutinante é geralmente em forma líquida e o material de construção em pó. Uma cabeça de impressão move-se horizontalmente ao longo dos eixos x e y da máquina e deposita camadas alternadas do material de construção e do material de ligamento. Após cada camada, o objeto que está a ser impresso é reduzido na sua plataforma de construção, como vemos na Figura 26. Ver Tabela 6. Ver Tabela 6.

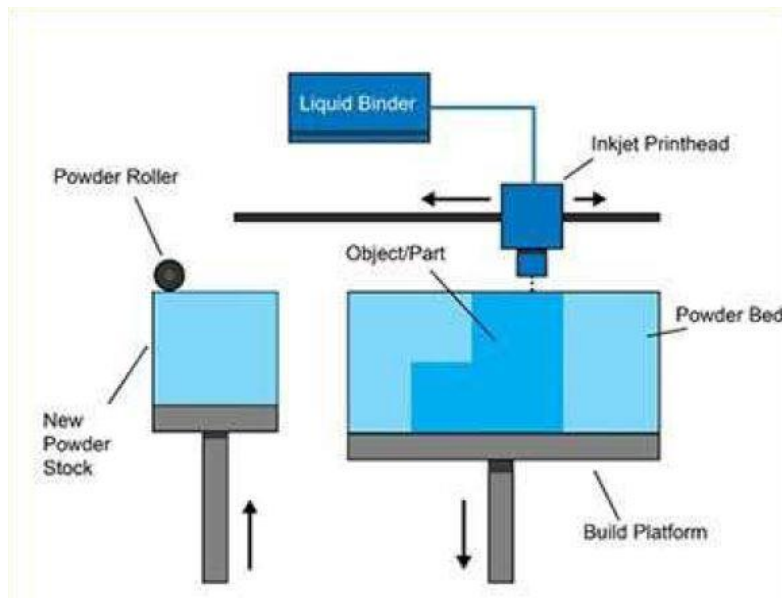


Figura 26 – Tecnologia Binder Jetting (C. K. Chua et al., 2010).

Tabela 6 - Vantagens e Desvantagens Binder Jetting.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
As peças podem ser feitas em várias cores	Nem sempre adequado para peças estruturais, devido ao uso de material ligante
Utiliza uma variedade de materiais: metal, polímeros e cerâmica	O pós-processamento adicional pode adicionar um tempo significativo ao processo geral
O processo é geralmente mais rápido do que outros	
O método de dois materiais permite muitas combinações diferentes de ligante-pó e várias propriedades mecânicas	

2.5.5 Powder bed fusion

Os métodos de Powder Bed Fusion (PBF) utilizam um feixe de elétrons ou uma fonte de laser para derreter e fundir o material em pó juntos (Figura 27). Todos os processos PBF envolvem a propagação do material em pó sobre camadas anteriores. Existem mecanismos diferentes para permitir isto, incluindo um rolo ou uma lâmina (C. K. Chua et al., 2010). Ver tabela 7.

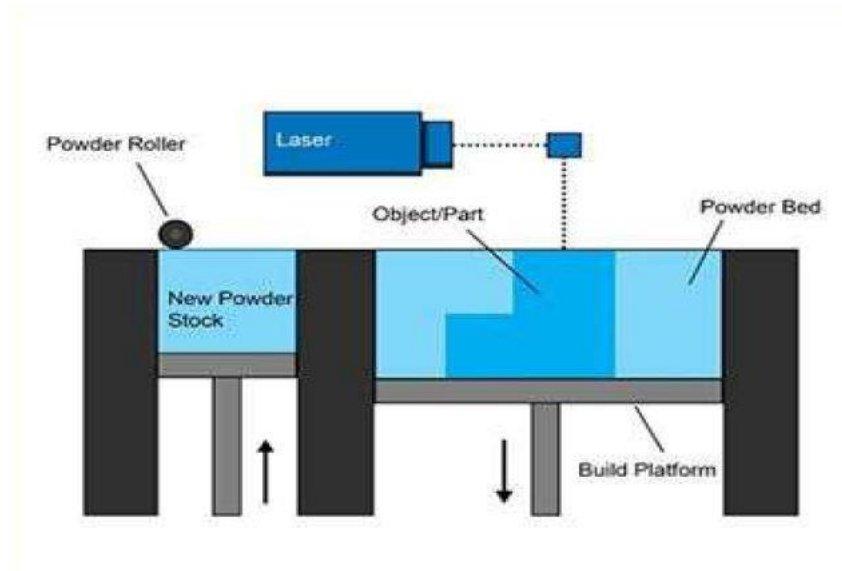


Figura 27 – Power Bed Fusion (C. K. Chua et al., 2010).

Tabela 7 - Vantagens e Desvantagens Powder bed fusion.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Não exige estruturas de suporte. O pó atua como suporte natural, o que permite maior liberdade geométrica.	A superfície do objeto tende a ser porosa
Versátil, havendo vários materiais disponíveis em pó	Este tipo de tecnologia apenas é aconselhado para espaços apropriados e preparados
	No caso de serem mal manuseados, algumas matérias têm tendência a explodir devido à camara selada de hidrogénio que a impressora contém

2.5.6 Vantagens e desvantagens do FA

É possível verificar que apesar de cada tecnologia ter as suas vantagens e desvantagens, estas trazem muitas mais valias ao processo de produção. No âmbito das vantagens do uso do FA foram estabelecidos “9 princípios da impressão 3D” sendo eles (Lipson & Kurman, 2013):

1. Complexidade de fabricação sem custo: enquanto nas tecnologias de fabricação tradicionais, o aumento da complexidade da peça significa também um aumento do seu custo de produção, no FA o preço irá manter-se o mesmo.
2. Variedade: A impressão 3D oferece variações de forma sem custo acrescido, constituindo uma vantagem em relação a tecnologias de fabrico convencionais. Em processos convencionais de manufatura, a alteração do design de um objeto implica, em muitos casos, custos substanciais, tais como a reprogramação das máquinas, a paralisação da produção durante a adaptação, a modificação de moldes e os custos associados à adaptação da linha de produção ao novo design. Ao adotar a impressão 3D como método de produção, a modificação do design de um produto é efetuada sem custos significativos, além do tempo dedicado ao novo projeto.

Este aspeto torna-se especialmente relevante no ambiente académico, onde a agilidade e a capacidade de realizar modificações sem impacto significativo nos custos são fatores críticos para a experimentação e inovação em projetos de pesquisa e desenvolvimento.
3. Eliminação do processo de montagem: o FA cria peças interligadas o que permite a redução do número de componentes e deste modo poupa-se o tempo de montagem e os custos associados ao mesmo.
4. Zero lead time: é possível a redução do tempo de aprovisionamento pois sendo detentor de uma impressora, é possível criar as peças quando necessitar. Deste modo reduz-se o custo de transportes de mercadoria bem como os de retenção de stock.
5. Design ilimitado: consiste na criação de peças com formas totalmente livres, considerando também a necessidade de suportes.
6. Fabricação compacta e portátil: algumas máquinas de impressão 3D podem ser transportadas permitindo que as peças sejam impressas nos locais precisos. A impressora consegue criar modelos tão grandes quanto a sua plataforma base.
7. Menos desperdício por produto: uma vez que a impressão 3D nos permite criar objetos na sua forma final, permite poupar nos processos de acabamento utilizados no fabrico tradicional.
8. Multimaterial: já é possível a realização de produtos com mais que um material, mas com o desenvolvimento das tecnologias, este processo cada vez será mais otimizado.

O FA é uma tecnologia muito importante na criação de novos produtos, devido á prototipagem rápida, que nos permite criar o modelo, conhecer a peça, melhorar as suas fraquezas e assim poder fabricar o modelo final com um maior nível de perfeição e poupando os custos associados aos erros de fabricação. Nas Figuras 28 e 29 podemos observar gráficos que nos comprovam que no início da criação de um produto há pouca informação sobre o mesmo. Analisamos os custos comprometidos, referem-se aos gastos que uma empresa já se comprometeu a fazer, mas ainda não pagou e custos incorridos, que são os gastos que a empresa já fez e pelos quais já pagou ou irá pagar. Esses custos refletem despesas reais que já ocorreram. Através da prototipagem rápida, é possível saber mais sobre o produto no início, corrigindo os erros principais mais antecipadamente, sendo então possível concluir que o uso do FA tem um papel importante na criação de novos produtos (W. H. Cubberly, 1983).

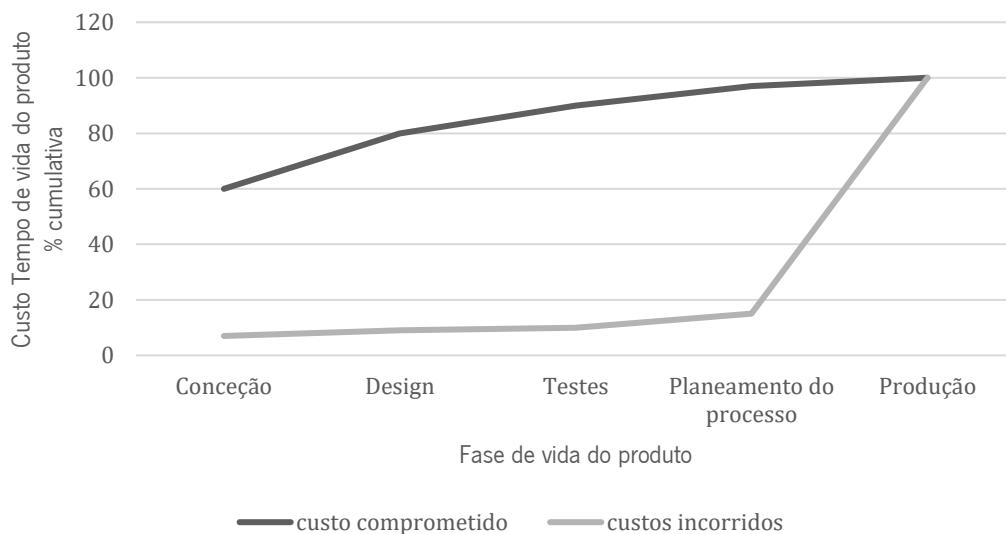


Figura 28- Custos Incorridos VS Custos Comprometidos. Adaptado de (W. H. Cubberly, 1983).

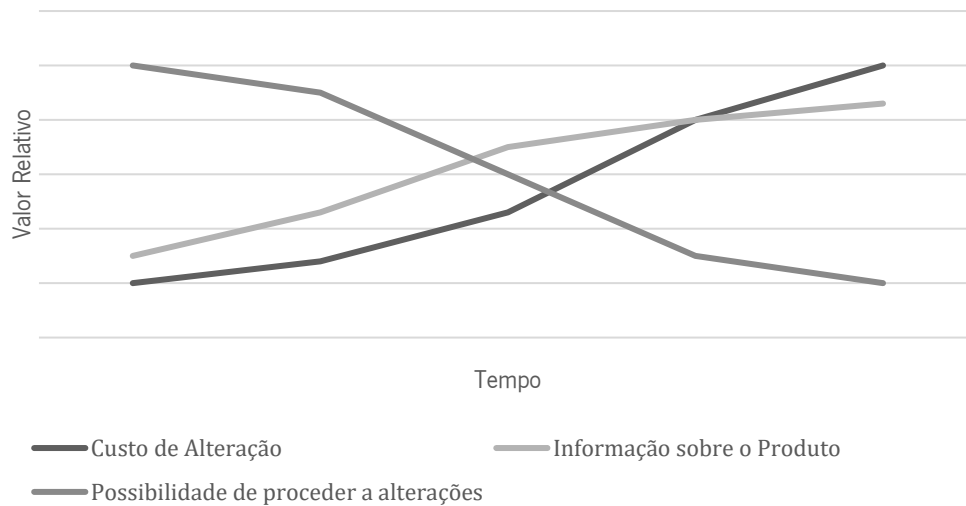


Figura 29 - Custo de alterações durante a fase desenvolvimento VS Informação. Gráfico apenas representa a tendência no comportamento. Adaptado de (W. H. Cubberly, 1983).

O FA também apresenta algumas desvantagens, inclusive a limitação de produção de peças de dimensões pequenas e médias (Chua & Leong, 2014).

1. Volumes de produção reduzida: a tecnologia ainda não permite que seja possível a produção em série, principalmente devido ao tempo de produção de cada peça.
2. Propriedades mecânicas: devido ao facto de serem produzidos camada sobre camada, existem métodos de ligação entre elas que podem criar defeitos na peça. Alguns materiais apresentam comportamento ortotrópico, e com propriedades mecânicas baixas na direção normal à plataforma de impressão.
3. Necessidade de acabamento: em algumas tecnologias do FA, as peças necessitam de acabamento superficial para não ficarem com qualidade inferior comparativamente a outros processos.
4. Materiais limitados: em comparação a outras tecnologias de fabrico, o FA está mais relacionado a gamas de polímeros, algumas cerâmicas e metais (incluindo ligas).

2.5.7 Seleção da tecnologia a utilizar

A escolha da tecnologia de FA para a criação do produto baseou-se numa análise meticulosa das diversas opções disponíveis, considerando especialmente a complexidade intrínseca da peça. O requisito primordial consistia na fabricação de dois corpos distintos: um com características de dureza para conferir rigidez à peça e outro com propriedades maleáveis destinadas a atuar como amortecimento, visando reduzir lesões nas mãos do atleta durante impactos.

Diante desta demanda específica, a tecnologia selecionada foi a **Material Jetting**. Esta escolha fundamentou-se em diversos fatores que tornam a Material Jetting a opção mais adequada para atender aos requisitos complexos do produto em questão.

A capacidade da Material Jetting de imprimir objetos com diferentes propriedades de material em uma única peça foi um dos fatores cruciais. Com a Material Jetting, é possível integrar materiais de diferentes durezas em áreas específicas da peça, proporcionando a combinação ideal entre rigidez e maleabilidade. Essa capacidade de impressão multimaterial permitirá atender às exigências específicas do produto, criando uma solução integrada que atende tanto às necessidades de rigidez quanto às de amortecimento.

Além disso, a precisão e a resolução fina da Material Jetting contribuem para a produção de peças com detalhes intrincados, o que é essencial para garantir a eficácia funcional e ergonômica do produto final. Essa tecnologia oferece a versatilidade necessária para a concepção de um produto personalizado que se adapte às especificidades anatômicas e às preferências individuais dos atletas.

3 Key user

3.1 O que é um key user?

No contexto acadêmico, um "key user" é usado para descrever um participante-chave que desempenha um papel crucial na pesquisa, fornecendo insights valiosos, informações ou acesso a recursos essenciais para o estudo.

Seguem-se alguns pontos a serem considerados ao entender o que é um "key user" numa tese de investigação:

1. Participante essencial: Geralmente é uma pessoa ou grupo de pessoas que têm um conhecimento profundo ou experiência relevante sobre o tópico de estudo. São escolhidos porque têm informações vitais que são necessárias para a pesquisa.
2. Entrevistas ou colaborações: Podem ser entrevistados ou podem colaborar ativamente. As suas perspectivas e informações podem ser fundamentais para responder às perguntas de pesquisa ou para validar hipóteses.
3. Acesso a recursos: Em alguns casos, os "key users" podem fornecer acesso a recursos, dados, documentos ou pessoas que não estão prontamente disponíveis de outra forma.
4. Valiosos insights: Eles podem oferecer insights profundos, experiência prática ou conhecimento especializado que contribui significativamente para o desenvolvimento da pesquisa ou para a compreensão do tópico de estudo.
5. Validação: Os "key users" podem ser usados para validar ou refutar hipóteses, teorias ou descobertas da investigação, tornando-se uma parte importante do processo de pesquisa.
6. Variedade de contextos: Dependendo da natureza da pesquisa, os "key users" podem variar, incluindo, por exemplo, especialistas da indústria, profissionais de campo, pacientes em estudos médicos, etc.

Em resumo, numa dissertação de investigação, um "key user" é um participante estratégico que desempenha um papel crucial na coleta de dados, validação de informações ou fornecimento de conhecimentos específicos necessários para a pesquisa. A escolha e a identificação desses "key users" são fundamentais para o sucesso e a relevância da pesquisa.

3.2 Quem é o key user?

Ao longo de todo o projeto foi possível conhecer alguns atletas que se mostraram disponíveis para colaborar nesta investigação. Para além de longas conversas com agentes diretamente ligados ao atletismo, o Filipe Carneiro, João Correia, Mamudo Baldé e Rafael Neto foram as principais personagens que com o seu testemunho no atletismo, contribuíram com informações muito pertinentes que permitiram ao projeto crescer e avançar numa perspetiva muito positiva. Estes key users são apresentados nas Figuras 36, 37, 38 e 39.



Figura 36 - Filipe Carneiro, 30 anos



Figura 37 - João Correia, 39 anos



Figura 38- Mamudo Baldé, 17 anos



Figura 39- Rafael Neto, 19 anos

3.3 Reunião de dados: Questionários

Na pesquisa da dissertação, abordei cuidadosamente o grupo de key users como parte do processo de reunião de dados e desenvolvimento da pesquisa. A inclusão desses key users desempenhou um papel fundamental

no enriquecimento da qualidade e na profundidade do estudo.

Após a identificação dos key users, foi estabelecido um processo de recolha de dados que incluiu entrevistas (Tabela 8) e observações diretas. Essas interações permitiram explorar conhecimentos, percepções e experiências detalhadas em relação à prática de atletismo adaptado.

Tabela 8- Resumo das questões.

	Filipe	João	Mamudo	Rafael
Idade	30	39	17	19
Gênero	Masculino	Masculino	Masculino	Masculino
Desde quando praticam	2008	1999	2020	2018
Tipo de proteção de mão que usam	Soft Gloves	Soft Gloves (já usou solid Gloves)	Soft Gloves	Solid Gloves
Modificam as luvas	Não	Não	Não	Sim
Acessibilidade de compra	Não	Não	Não	Não
Suor afeta a corrida?	Não	Não	Não	Não

Durante o processo de entrevistas com key users, um dos participantes revelou utilizar luvas fabricadas através do FA. Esta revelação proporcionou uma valiosa perspectiva prática, destacando alguns desafios significativos enfrentados pelo utilizador. Entre os principais problemas mencionados, destacaram-se:

1. Preço:

O key user expressou preocupações quanto ao custo associado à aquisição das luvas fabricadas por FA. A questão financeira emergiu como um fator crítico, evidenciando a necessidade de abordar considerações económicas na produção de equipamentos desportivos personalizados.

2. Dificil Acesso:

O participante enfatizou as dificuldades enfrentadas para obter acesso às luvas produzidas por FA. Essa questão ressalta a importância de considerar a acessibilidade e disponibilidade desses produtos no mercado, garantindo que estejam acessíveis aos atletas que deles necessitam.

3. Necessidade de Personalização com Borrachas Internas:

Uma observação crucial feita pelo key user foi a necessidade de personalização adicional das luvas como podemos comprovar com o registo fotográfico abaixo inserido (Figura 40). Especificamente, mencionou a inserção de borrachas no interior das luvas, desempenhando o papel de amortecedores. Essa adaptação tinha como objetivo evitar lesões durante impactos, ressaltando a importância de incorporar características de amortecimento no design de produtos, visando maximizar a segurança e o conforto do atleta.



Figura 40 - Exemplo de uma luva modificada.

Esses insights fornecidos pelo key user oferecem uma compreensão valiosa das experiências práticas dos atletas com produtos fabricados por FA. Essas considerações, envolvendo preço, acessibilidade e personalização, serão cuidadosamente integradas no desenvolvimento da proposta, assegurando que o produto final atenda não apenas às expectativas de desempenho, mas também às necessidades práticas e económicas dos usuários finais.

4 Requisitos

Com o propósito de tornar a pega num produto correspondente às necessidades dos vários utilizadores, 15 requisitos apresentados na tabela 11 foram captados em conversas com os mesmos. Após serem descritos e simplificados, foram apresentados os requisitos em formato de tabela para que os atletas pudessem avaliar consoante as suas considerações de 0 a 5, sendo que 0 equivale a nada importante e o 5 corresponde a muito importante. Podendo observar na Tabela 9 os resultados apurados.

Tabela 9 – Avaliação de requisitos.

Requisitos	Nível importância (0-5)
Proteção para um desportista	5
Proteção de mão	5
Melhorar a performance do atleta	5
Reduzir processos/gastos de fabrico	4
Prevenir lesões	4
Impulsionar as rodas da cadeira (aderência)	5
Ser leve	4
Simplicidade de utilização (ser intuitivo)	4
Modelo universal que possibilite adaptar-se à mão do atleta	2
Não criar dificuldade durante a competição	4
Confortável	4
Design apelativo	3
Boa relação qualidade / preço	5
Minimizar os esforços	4
Durabilidade do produto	5

5 Metodologia para desenvolvimento do produto

No processo de desenvolvimento de produtos, a utilização de uma metodologia é fundamental para garantir que o produto final atenda às necessidades do mercado e dos consumidores, seja eficiente e inovador.

O ponto de partida para o desenvolvimento de qualquer produto é a identificação de necessidades do mercado ou de oportunidades não atendidas. Neste projeto, a metodologia desempenhou um papel crucial, auxiliando na recolha e análise de informações que revelaram requisições não satisfeitas.

Uma metodologia eficaz também ajuda a definir objetivos claros e um escopo bem delimitado para o desenvolvimento do produto. No início do projeto, estabeleceu-se metas quantitativas e qualitativas específicas a alcançar.

A metodologia orienta as fases de desenvolvimento, desde a conceção até à prototipagem e a produção, fornecendo um conjunto de diretrizes e processos bem definidos para cada etapa.

Uma das vantagens mais notáveis da metodologia foi a maneira como incentiva a criatividade e a busca constante de melhorias e novas ideias. Essa abordagem permitiu o desenvolvimento de um produto inovador que atendeu às necessidades dos atletas de maneira única.

No final, a aplicação desta metodologia resultou num produto que não apenas cumpriu, mas também superou as metas e expectativas.

1. Passo 1 – Medidas das mãos

Para realizar a modelação do produto, foi necessário projetar um procedimento para que pudesse ser aplicado individualmente às mãos de cada atleta.

Em discussão com o atleta utilizado como key user, foi decidido utilizar as medidas da mão, mais especificamente, a largura de 4 dedos (excluindo o polegar), largura do indicador, largura do médio e comprimento do polegar.

Este procedimento de medição deverá ser feito através de um paquímetro para obter medidas mais precisas. O key user não tinha acesso a nenhum paquímetro e, por isso, utilizou uma fita-métrica o que levou a que o produto necessitasse de alguns ajustes após a primeira impressão.

a. Largura de 4 dedos



Figura 30 - Exemplificação de medição.

Através da largura dos 4 dedos é possível saber a largura da luva na zona de pega. Assim sendo, esta fica ajustada à medida da mão, evitando que a pega contenha material em excesso, que significa mais peso da luva.

b. Comprimento polegar

O comprimento do polegar define a dimensão da pega relativamente à sua largura, visto que este dedo é o fundamental para dar o impulso da cadeira, e por isso é o único dedo que fica esticado.



Figura 31- Exemplificação de medição.

c. Largura do indicador



Figura 32- Exemplificação de medição.

A largura do indicador é importante, visto que é o dedo que suporta também o impulso dado na cadeira de rodas. É entre o polegar e o indicador que o aro se coloca, e por isso este dedo tem de manter o conforto na pega e encaixar na perfeição.

d. Largura do médio



Figura 33 - Exemplificação de medição.

Por fim temos a largura do médio, que é tão importante quanto a medição do indicador pois, é o dedo que oferece suporte ao indicador para que este consiga aplicar a força necessária no aro. O médio e o indicador ficaram reservados e separados dos restantes dedos porque, são os membros que necessitam de mais conforto e suporte.

2. Passo 2 - Utilização do software Rhinoceros 7

O segundo passo é a modelação do produto no programa Rhinoceros 7, através do comando SubD Tools, utilizando as medições facultadas pelo atleta para criar os contactos da pega com a mão o mais confortável e adequada possível.



Figura 34 – Renders do produto através do programa Keyshot.

3. Passo 3 – Testes

Após a modelação, o protótipo é impresso em PLA, para avaliar questões de dimensionamento. Sendo o PLA um material acessível e o Material Extrusion uma tecnologia rápida, este é o processo mais adequado para realização destes testes. Este protótipo é testado pelo utilizador e após a aprovação, passamos para o próximo passo, como vemos na Figura 35.



Figura 35 - Exemplificação de validação.

4. Passo 4 – Impressão através da tecnologia e materiais selecionados

Após finalizar a modelação com as dimensões precisas, o projeto avança para a etapa de processamento, utilizando a tecnologia de impressão disponibilizada pelo DoneLab. Nessa fase, o produto é meticulosamente impresso utilizando os materiais previamente especificados, neste caso permitindo a obtenção de diferentes durezas conforme as exigências especificadas pelos atletas.

A máquina Material Jetting, com sua capacidade de imprimir detalhes intrincados e variar as características físicas do material, desempenha um papel fundamental na concretização deste equipamento de proteção. A impressão em múltiplas durezas não apenas atende aos rigorosos requisitos de desempenho, mas também assegura um ajuste personalizado para uma experiência ótima do usuário.

Com a conclusão destes quatro passos essenciais, o produto atinge seu estado final, estando pronto para ser entregue ao utilizador final. Este processo integrado, desde a modelação até a impressão avançada, reflete o compromisso com a excelência e a precisão na entrega de um equipamento de proteção que não apenas atende, mas supera as expectativas dos atletas.

6 Materiais e Métodos

A escolha da tecnologia de FA para a criação do produto baseou-se numa análise metódica das diversas opções disponíveis, considerando especialmente a complexidade intrínseca da peça. O requisito primordial consistia na fabricação de dois corpos distintos: um com características de dureza para conferir rigidez à peça e outro com propriedades maleáveis destinadas a atuar como amortecimento, visando reduzir lesões nas mãos do atleta durante impactos.

Diante desta demanda específica, a tecnologia selecionada foi a **Material Jetting**. Esta escolha fundamentou-se em diversos fatores que tornam a Material Jetting a opção mais adequada para atender aos requisitos complexos do produto em questão.

A capacidade da Material Jetting de imprimir objetos com diferentes propriedades de material em uma única peça foi um dos fatores cruciais. Com a Material Jetting, é possível integrar materiais de diferentes durezas em áreas específicas da peça, proporcionando a combinação ideal entre rigidez e maleabilidade. Essa capacidade de impressão multimaterial permitirá atender às exigências específicas do produto, criando uma solução integrada que atende tanto às necessidades de rigidez quanto às de amortecimento.

Além disso, a precisão e a resolução fina da Material Jetting contribuem para a produção de peças com detalhes intrincados, o que é essencial para garantir a eficácia funcional e ergonômica do produto final. Essa tecnologia oferece a versatilidade necessária para a concepção de um produto personalizado que se adapte às especificidades anatômicas e às preferências individuais dos atletas.

Para realizar a seleção de materiais para concretização da pega, foi necessário obter os dados do equipamento disponibilizado pelo DONE Lab para concretização do projeto, neste caso a Material Jetting Stratasys Objet Connex 500. Após isso foi selecionado qual o material mais adequado para realização da pega, tendo em conta as características necessárias para que o produto não falhe a nível de propriedades mecânicas e físicas.

Através do site da Stratasys, foi possível conhecer todos os materiais, como mostra a Tabela 10 que a empresa dispõe, compatíveis com o equipamento.

Tabela 10 - Materiais Compatíveis com a Material Jetting Stratasys Objet Connex 500 (Stratasys, 2022).

Nome	Descrição
RGD720	O material de impressão RGD720 3D é um fotopólio translúcido e multiusos com alta estabilidade dimensional e suavidade superficial.
Elastico™	Elástico Stratasys é um fotopolímero Material Jetting superior, ideal para verificação avançada de design e prototipagem rápida.
DRAFTWHITE™	O DraftWhite™ é um material branco rígido, direcionado para aplicações médicas de material único, tais como ortopedia e craniomaxillofacial.
DraftGrey	A DraftGrey é a forma mais barata e rápida de ser modelo nas impressoras Stratasys Material Jetting, imprimindo a 2x a velocidade do que o normal e perfeito para modelação de conceito.
Rigur	O material de impressão Rigur 3D é um polipropileno simulado avançado, oferece durabilidade e um acabamento suave que parece e se comporta como polipropileno.
Biocompatible	Os materiais de impressão biocompatíveis da stratasys produzem modelos mais precisos, visitas mais rápidas ao paciente, custos mais baixos e uma maior variedade de soluções médicas e dentárias.
VeroUltra™	O material de impressão 3D VeroUltra de Stratasys oferece um mundo de cor. Para opacidade, cor e contraste, procure veroUltra para fornecer modelos profissionais a cores.
TissueMatrix	O material de impressão 3D mais macio comercialmente disponível permite criar modelos que se sentem e se comportam como tecidos de órgãos nativos quando a força é aplicada.
Durus	O material de impressão Durus 3D é o material original simulado de polipropileno e apresenta grande resiliência de impacto e um alongamento ao intervalo de 44%.
TANGO	O material de impressão Tango 3D simula revestimentos de toque suave, superfícies não-deslizantes, ambientes de borracha ou sobremolding para prototipagem realista.
High Temperature	O material de impressão 3D de alta temperatura é forte e rígido, ideal para peças estáticas ou peças de teste térmico que requerem alta resistência ao calor.
VERO	O material de impressão Vero 3D, vívido e multicolorido, combina detalhes finos com força e versatilidade, ideais para prototipagem rápida e ferramenta.
VEROCLEAR	O material de impressão 3D VeroClear simula PMMA, ou acrílico, e é ideal para prototipagem de produtos claros como alternativa ao vidro.

VeroVivid Color Family	Com a capacidade de simular mais de 500.000 cores e tonalidades ilimitadas, a família VeroVivid adiciona uma cor impressionante a todas as peças impressas em 3D e protótipos.
Agilus30™ Colors	As cores Agilus30 são materiais de impressão 3D flexíveis. Materiais de impressão 3D semelhantes a borracha com controlo total do nível da costa que permite a impressão 3D de várias cores.
Dental Materials	Os materiais de impressão 3D dentários capacitam laboratórios dentários com três materiais flexíveis de impressão 3D especialmente concebidos para a impressão que tornam as pequenas características em grande detalhe.
VeroUltraClear & VeroUltraClearS	VeroUltraClear melhora em VeroClear na simulação de acrílico e é útil para protótipos de vidro, polímeros transparentes ou embalagens transparentes.
Digital ABS Plus	O ABS Plus digital cria peças e ferramentas realistas e precisas que proporcionam alta resistência ao impacto com resistência a altas temperaturas e acabamento superior.
VeroFlex	O material de impressão 3D VeroFlex oferece rigidez e flexibilidade ideais para todas as fases de prototipagem de design e fabrico de óculos.
Biocompatible Digital ABS Plus	MED Digital ABS Plus™ é projetado para simular plásticos ABS padrão, combinando resistência a alta temperatura com dureza
Vero™ContactClear	O Vero™ContactClear da Stratasys oferece um material rígido e transparente de prototipagem rápida que é biocompatível.
Agilus30	O material de impressão 3D Agilus30 é um fotopolímero em borracha capaz de flexões repetidas com resistência ao rasgo superior.
GelMatrix	O material Unique GelMatrix e os padrões de depósito do GelSupport™ permitem imprimir estruturas vasculares pequenas, grandes e complexas e de remoção fácil de material de suporte interno.
RadioMatrix	Este material oferece o poder de criar modelos médicos que exibem características radio-realistas em raio-X e TC.

Perante a análise de todos os materiais que dispõem, foram selecionados 2 que obtiveram as melhores características comparadas aos materiais que já são utilizados.

De seguida, as propriedades mecânicas de ambos foram analisadas para conseguir concluir qual seria o material mais indicado a utilizar, como podemos ver na Tabela 11.

Tabela 11- Comparação de Propriedades Mecânicas (Stratasys, 2022).

Propriedades	Norma	Agilus30 (Valor)	Tango (Valor)
Tensão de Cedência	ASTM D-412	2.4 – 3.1 MPa (348 – 450 psi)	0.8-1.5 MPa (115-220 psi)
Deformação	ASTM D-412	220 – 270%	170-220%
Conjunto de compressão	ASTM D-395	6 – 7%	4-5%
Deformação	ASTM D-624	4 – 7 Kg/cm (22 – 39 lb/in)	2-4 Kg/cm (18- 22 lb/in)
Dureza	ASTM D-2240	30 – 35 Scale A	26-28 Scale A
Densidade polimérica	ASTM D-792	1.14 – 1.15 g/cm ³	1.12-1.13 g/cm ³

Para determinar qual é o melhor material entre o Agilus30 e o Tango com base nas propriedades mecânicas fornecidas, é importante considerar a aplicação específica em que esses materiais serão utilizados.

Segundo as informações fornecidas, relativamente à força de tração, o Agilus30 tem uma força de tração significativamente maior, variando de 2.4 a 3.1 MPa, em comparação com o Tango, que varia de 0.8 a 1.5 MPa. Isso indica que o Agilus30 é mais resistente à tração, tornando-o mais adequado para aplicações que exigem alta resistência a cargas de tração.

Alongamento de rutura, o Agilus30 também supera o Tango em termos de alongamento de rutura, variando de 220% a 270%, enquanto o Tango varia de 170% a 220%. Isso significa que o Agilus30 é mais elástico e capaz de resistir a maiores deformações antes de se romper.

Relativamente à resistência à tração de rasgo, mais uma vez, o Agilus30 supera o Tango, variando de 4 a 7 Kg/cm, em comparação com o Tango, que varia de 2 a 4 Kg/cm. Isso torna o Agilus30 mais adequado para aplicações que envolvem a resistência ao rasgo.

Na dureza, o Agilus30 possui uma dureza ligeiramente maior, variando de 30 a 35 na escala A, enquanto o Tango varia de 26 a 28 na mesma escala. No entanto, a diferença não é muito significativa.

Finalmente, a densidade polimérica é semelhante para ambos os materiais, com o Agilus30 variando de 1.14 a 1.15 g/cm³ e o Tango variando de 1.12 a 1.13 g/cm³.

Relativamente à resistência à tração de rasgo, mais uma vez, o Agilus30 supera o Tango, variando de 4 a 7 Kg/cm, em comparação com o Tango, que varia de 2 a 4 Kg/cm. Isso torna o Agilus30 mais adequado para aplicações que envolvem a resistência ao rasgo.

Na dureza, o Agilus30 possui uma dureza ligeiramente maior, variando de 30 a 35 na escala A, enquanto o Tango varia de 26 a 28 na mesma escala. No entanto, a diferença não é muito significativa.

Finalmente, a densidade polimérica é semelhante para ambos os materiais, com o Agilus30 variando de 1.14 a 1.15 g/cm³ e o Tango variando de 1.12 a 1.13 g/cm³.

Com base nas propriedades mecânicas fornecidas, e comparando o material que é utilizado nas proteções atualmente, **o Agilus30 foi o material preferido.**

7 Conceitos

Para iniciar a fase da realização de conceitos, foi feita uma pesquisa sobre o que é usado pelos atletas atualmente. Como podemos ver na Figura 41, estes são os modelos existentes em FA utilizados pelos atletas em Portugal. São compradas através do site How iRoll Sports – Adaptive Sports Equipment for Adaptive Athletes e custam cerca de 200 € o par (estas são encomendadas pelos atletas ou os seus respetivos treinadores). O site disponibiliza uma tabela (Tabela 12) com várias medidas diferentes de partes da mão, para que cada utilizador possa escolher o tamanho que melhor se irá encaixar. Após escolherem o tamanho, o site também disponibiliza várias cores para que o atleta possa escolher a que mais se identificar.

A pega é feita em PLA, com uma estrutura de favo de mel para que a pega seja mais leve, mas mantenha a resistência. É uma forma arejada para que a mão do atleta não sue muito, apenas o polegar fica mais fechado, mas para isso existem uns rasgos que servem de respiros para o dedo. É uma forma funcional, mas desprovida de design numa questão estética. Para além disso também exige que o utilizador aplique borrachas em volta da pega, principalmente nas zonas de contacto entre a mão e a pega, e a pega e o aro, para criar a aderência necessária. Ainda é acrescentado um elástico de forma a segurar a pega à mão, para prevenir que esta caia durante a prova.



Figura 41 - Pegas utilizadas atualmente (HIRS, 2022a).

Tabela 12 - Tamanhos Predefinidos (Adaptado de (HIRS, 2022a)).

Tamanho	Comprimento Do Polegar (cm)	Largura De Dois Dedos (cm)	Largura Da Palma (cm)
1	5-6	3-4	7-8
2	5-6	3-4	7,25-8,25
3	5-6	3-4	8,25-8,5
4	6-7	4-4,25	8,5-8,75
5	6-7	4-4,25	8,75-9
6	6,5-7,5	4-4,25	9-9,25
7	6,5-7,5	4,25-4,5	9,25-9,5
8	7-8	4,5-4,75	9,5-9,75
9	7-8,25	4,5-4,75	9,75-10
10	7,25-8,5	4,75-5	10-10,25

*nem todas as medidas se vão alinhar, a medida importante é o polegar

Surgiu para download (WSU, 2022) uma modelação que foi impressa para conseguir analisar questões de ergonomia, dimensões e encaixes. Através do programa Rhinoceros conseguiu-se visualizar a modelação e escalar para os tamanhos mais adequados (Figura 42).

Este passo foi fundamental para dar seguimento à criação de conceitos novos, tendo em conta os requisitos já definidos.

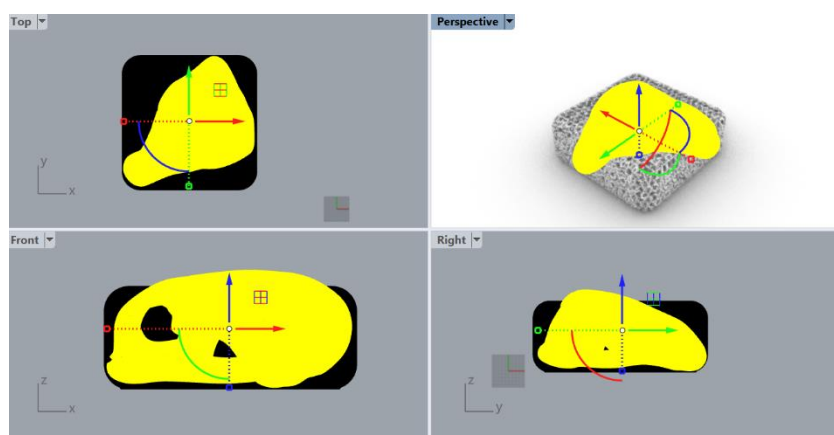


Figura 42 - Peça aberta no programa Rhinoceros.

Dado seguimento a todo o estudo efetuado, o próximo passo passa por desenhar e modelar todos os conceitos, tendo em conta os requisitos exigidos pelos atletas, o que já existe no mercado e a tecnologias disponibilizadas para que tal produto seja exequível. Para isso a principal inspiração surgiu sempre do produto

que os atletas usam atualmente (Figura 41), sendo que o objetivo é não divergir sobre a principal função, mas sim tornar o produto funcional, visualmente agradável e otimizar o produto de modo a favorecer a corrida dos atletas.

A escolha de imprimir todos os protótipos através de uma impressora 3D em PLA revela uma abordagem pragmática e eficiente durante a fase de desenvolvimento. O PLA, sendo um material acessível e económico, proporcionou a capacidade de visualizar claramente a evolução de cada conceito. Essa escolha estratégica permitiu uma iteração ágil, possibilitando ajustes e refinamentos de maneira rápida e acessível. A utilização do PLA como material de impressão serviu como uma ferramenta eficaz para avaliar visualmente cada estágio do processo de design, facilitando a compreensão das melhorias e aprimoramentos ao longo do desenvolvimento dos protótipos.

1. Conceito 1

O primogênito conceitual foi meticulosamente delineado com a finalidade de dimensionar a peça de acordo com as medidas específicas da mão do key user. Neste contexto, o realce recai primordialmente na funcionalidade da concepção, afastando o design estético para um segundo plano. O propósito primário centrou-se na precisão das dimensões de cada segmento da pega, visando criar encaixes apropriados que se adequassem aos tamanhos específicos necessários. Este enfoque estratégico fundamentou-se na obtenção de uma adaptação personalizada e ergonomicamente otimizada, alinhada às características anatómicas específicas do key user.

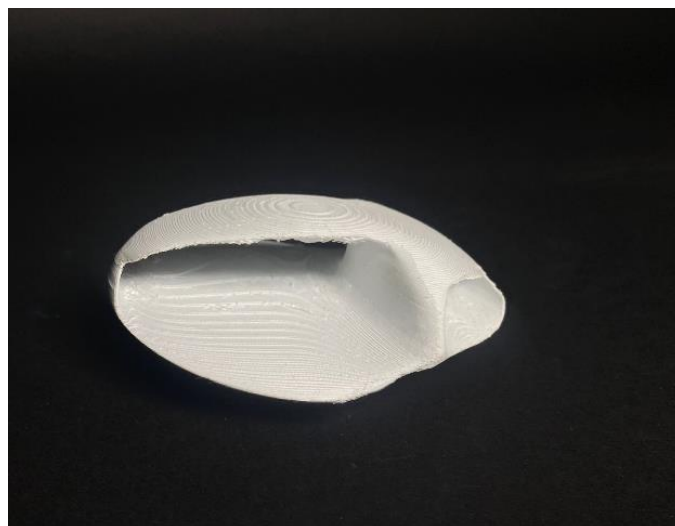


Figura 43 - Protótipo 1

2. Conceito 2

No segundo conceito, foi tentada a exploração da forma, incorporando curvaturas adicionais e ajustando as dimensões com a finalidade de conferir maior conforto ao consumidor final.

Este estágio da concepção foi dedicado a uma abordagem mais estética, priorizando a ergonomia e a satisfação do utilizador como elementos fundamentais. O refinamento das curvas e ajustes dimensionais visa não apenas otimizar a funcionalidade, mas também aprimorar a experiência tátil e visual do consumidor, contribuindo para uma solução mais completa e adaptada às expectativas estéticas e ergonómicas.



Figura 44 - Protótipo 2

3. Conceito 3

A transição do segundo para o terceiro conceito revelou um progresso significativo no que respeita à harmonização da forma, bem como aprimoramentos nos encaixes dos dedos. Após um diálogo direto com o atleta, observou-se que, embora o produto fosse considerado intuitivo, diversas características foram identificadas como inadequadas. Destacam-se as seguintes críticas: a falta de ergonomia, a insuficiente aderência devido à superfície arredondada na área de contato com o aro, deficiências no design e limitações na área de proteção. Essas avaliações do atleta ofereceram insights valiosos, ressaltando a necessidade de revisões específicas para otimizar a experiência do utilizador, tanto em termos de usabilidade quanto de segurança e design estético. Esse feedback direto será incorporado no processo evolutivo do design, visando alcançar um produto final que atenda integralmente às necessidades e expectativas do utilizador.



Figura 45 - Protótipo 3

4. Conceito 4

O quarto conceito foi submetido a uma análise focada na otimização de material, caracterizado pela remoção de elementos considerados excedentes, com o objetivo de conferir à pega o menor peso possível. Durante esse processo, tanto o design quanto as curvaturas foram alvo de modificações substanciais, visando proporcionar maior ergonomia e harmonização à peça. A abordagem adotada concentrou-se na simplificação do produto, eliminando qualquer elemento percebido como não essencial, ao mesmo tempo em que se buscava melhorar a adaptação ergonômica e a estética geral da peça. Este experimento representa um compromisso estratégico entre eficiência de material, desempenho ergonômico e estético, e será avaliado à luz dos objetivos estabelecidos para garantir uma solução equilibrada e otimizada.



Figura 46 - Protótipo 4

5. Conceito 5

O quinto conceito assemelha-se consideravelmente ao quarto, distinguindo-se apenas pela sua impressão numa escala maior. Contudo, durante esse processo de ampliação, uma quantidade excessiva de área foi removida, resultando numa regressão no requisito de proteção. Esta modificação inadvertida levou a uma exposição ainda maior da mão, comprometendo a eficácia do produto em termos de segurança. A avaliação do key user revelou que o protótipo, embora tenha mantido razoáveis características de design, ergonomia e aderência, foi considerado insatisfatório no que concerne à proteção. Esses comentários críticos incentivaram a continuação da evolução dos protótipos, com o intuito de corrigir as deficiências identificadas e alcançar um equilíbrio eficaz entre todos os requisitos do produto.



Figura 47 - Protótipo 5

6. Conceito 6

No sexto conceito, a forma foi sujeita a adaptações visando aumentar a área de proteção sem comprometer o consumo excessivo de material. Em comparação com o protótipo anterior, observou-se uma melhoria significativa no que diz respeito à proteção e aderência. Contudo, aspetos como design e ergonomia ainda apresentaram margem para aprimoramentos, de acordo com a avaliação realizada. Esta iteração representou um avanço substancial na otimização da função de proteção, mas sugere a necessidade de refinamentos adicionais para atingir um equilíbrio ideal entre todos os requisitos do produto. Essas considerações críticas orientarão o desenvolvimento subsequente, visando alcançar uma solução final que concilie efetivamente todos os parâmetros estabelecidos.



Figura 48 - Protótipo 6

7. Conceito 7

Insatisfeitos com os resultados obtidos, particularmente no que concerne às questões estéticas, empreenderam-se estudos adicionais de forma. O objetivo primordial era buscar uma maior harmonização da forma, através da criação de curvas mais suaves, visando o desenvolvimento de uma peça funcional e dotada de design apurado. Contudo, durante esse processo, constatou-se que o protótipo resultante apresentava dimensões demasiado reduzidas, necessitando, portanto, de um redimensionamento. Este desafio inesperado destacou a complexidade inerente ao equilíbrio entre estética, funcionalidade e proporções adequadas, orientando o processo de refinamento para garantir que as qualidades estéticas desejadas não comprometam a funcionalidade ou ergonomia da peça.



Figura 49 - Protótipo 7

8. Conceito 8

O oitavo conceito representou um avanço significativo na melhoria da ergonomia em comparação ao modelo anterior. Através de ajustes dimensionais criteriosos, procurou-se otimizar o conforto oferecido a quem utiliza o produto. O key user considerou-o o melhor até então, especialmente em termos ergonômicos. No entanto, destacou a necessidade de incorporar mais zonas de encaixe na pega, sugerindo que essa modificação poderia aprimorar ainda mais a experiência do usuário. Esse valioso feedback orientará os próximos passos do desenvolvimento, com foco na otimização da interação entre o produto e o utilizador para alcançar um equilíbrio ideal entre ergonomia, conforto e funcionalidade.



Figura 50 - Protótipo 8

9. Conceito 9

O nono conceito, finalmente, apresenta a forma mais harmonizada, proporcionando melhor ergonomia, conforto aprimorado e uma estética mais apelativa. Entretanto, apesar dessas melhorias substanciais, não atendeu completamente às medidas do atleta, devido à má utilização de uma fita métrica em vez de um paquímetro durante o processo de medição. Como resposta a esse desafio, foram necessários pequenos ajustes e a subsequente impressão de um novo protótipo. Esse episódio destaca a importância crítica da precisão nas medições durante o desenvolvimento do protótipo, reforçando a necessidade de procedimentos meticulosos para assegurar que o produto final corresponda de maneira precisa às necessidades anatômicas do atleta.



Figura 51 – Protótipo 9

10. Conceito 10

Finalmente, o conceito 10, uma versão refinada do 9, foi ajustado precisamente às dimensões da mão do key user. Este conceito não apenas atende aos requisitos essenciais, mas também se destaca pelas suas curvas ergonomicamente projetadas. O atleta avaliou este produto como sendo ergonomicamente confortável, apresentando um design diferenciado, uma aderência satisfatória ao aro, intuitividade e fornecendo a proteção necessária às mãos do utilizador. Esse feedback positivo destaca o sucesso do processo de desenvolvimento, culminando em um produto que não apenas cumpre as expectativas práticas, mas também oferece uma experiência aprimorada em termos de conforto, funcionalidade e estética.



Figura 52 – Protótipo 10

8 Testes usabilidade

Ao mesmo tempo da concepção dos protótipos, estes foram sendo avaliados e classificados numa tabela (tabela 15) tendo como termo de comparação uma Solid Glove, que era utilizada pelo key user em provas de alta competição.

Para que fosse possível validar o funcionamento do produto, foram realizados testes de usabilidade com o atleta para qual a pega foi desenhada. Foram selecionados apenas 5 protótipos para avaliação, visto serem os protótipos que assinalaram uma evolução significativa de conceito para conceito. Para melhor compreensão da ergonomia, o produto foi sujeito a uma avaliação (Tabela 13) de 1 a 5, sendo o 1 o pior e o 5 o melhor, dada pelo atleta envolvido, relativamente às seguintes características: 1- Proteção. Entender se a pega tem a cobertura necessária das zonas da mão que ficam expostas a lesões; 2- Produto intuitivo. Ou seja, que tenha uma fácil interpretação sem causar conflito; 3- Conforto - ergonomia. Avaliar o conforto do produto relativamente às posições da mão e entender se esta encaixa na perfeição; 4- Aderência da forma. Perceber se efetivamente, a forma ergonómica do produto permite aderência suficiente para empurrar o aro em diferentes velocidades; 5- Qualidade. Compreender as sensações que o produto transmite ao atleta, como o seu design (esteticamente e funcionalmente) e se o produto transmite confiança durante o seu uso.

Os modelos foram avaliados no momento da realização de cada protótipo, e o atleta teve como termo de comparação a Solid Glove, produto em FA que utilizava em alta competição.

Tabela 13- Quadro de avaliação dos protótipos.

Características	Protótipo 3	Protótipo 5	Protótipo 6	Protótipo 8	Protótipo 10
Proteção	3	3	4	4	5
Produto intuitivo	5	5	5	5	5
Conforto - ergonomia	1	2	3	3	4
Aderência	2	2	3	5	5
Design	1	3	4	4	5

1-péssimo 2- insuficiente 3- suficiente 4- bom 5- excelente

Apenas cinco dos dez conceitos foram submetidos ao atleta designado como key user para avaliação e comparação. A decisão de enviar apenas os cinco conceitos mais apropriados para testes demonstra um cuidadoso processo de seleção, visando otimizar a eficiência e concentrar recursos na avaliação dos protótipos mais promissores. Essa abordagem estratégica permite uma análise mais focada e detalhada, potencializando a obtenção de insights valiosos a partir da avaliação do atleta. A escolha criteriosa dos conceitos enviados contribuirá para uma avaliação mais precisa e informada, orientando o desenvolvimento futuro com base nas respostas e observações obtidas.

O conceito número 10 emergiu como o protótipo ideal, segundo a avaliação do atleta, uma vez que se ajustou perfeitamente à mão, proporcionando conforto e aderência. Além disso, foi destacado como intuitivo e apresentando a qualidade necessária para conferir estabilidade durante a prática desportiva. Essa conclusão positiva, baseada na experiência direta do atleta com o protótipo, valida o sucesso do processo de desenvolvimento, indicando que o conceito atendeu de maneira integral aos requisitos práticos e ergonômicos estabelecidos durante a fase de design.

A ausência de um contato direto dificultou a documentação fotográfica dos testes, sendo registrados apenas por escrito todos os comentários relevantes relativos aos conceitos. Apesar dessa limitação na recolha de dados visuais, as observações e insights expressos pelo key user por meio da comunicação escrita serão fundamentais para a análise e aprimoramento contínuo dos conceitos, visando a maximização da adequação às necessidades e preferências.

9 Produto final – Validação e Testes

Na condução de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, é de fundamental importância garantir que os conceitos e produtos em desenvolvimento atendam às necessidades e expectativas do público-alvo. Neste contexto, a validação de protótipos desempenha um papel crítico na seleção do conceito final a ser prosseguido. Este capítulo destaca o processo de validação e testes de protótipos e a seleção do conceito número 10, realizado em colaboração com um membro do público-alvo para o qual a peça foi desenhada.

No âmbito do projeto de pesquisa, foram desenvolvidos diversos protótipos conceituais, cada um representando uma abordagem única para atender a uma necessidade específica do público-alvo. Os protótipos foram criados com base numa análise aprofundada das necessidades do usuário e em princípios de design centrados no usuário. Essa fase envolveu a exploração de diferentes ideias, materiais, funcionalidades e formas.

Para a validação do protótipo selecionado dentro dos 10 realizados, um membro representativo do público-alvo foi selecionado como key user. Este atleta tinha conhecimento relevante e experiência na área do atletismo, o que o tornou uma escolha ideal para avaliar a eficácia e a usabilidade dos protótipos. A participação ativa do usuário garantiu que a validação refletisse de forma precisa as necessidades e preferências do grupo mais amplo.

O protótipo mais promissor, escolhido pelo atleta, juntamente com a antiga pega do mesmo foram avaliadas em comparação. Cada uma foi avaliada em termos de usabilidade, eficácia, estética e adequação às necessidades identificadas anteriormente. O método de classificação utilizada foi idêntico à utilizada no ponto anterior, referente à avaliação e comparação de protótipos.

Foram realizadas sessões de teste, nas quais o utilizador interagiu com as pegas e forneceu feedback detalhado sobre a sua experiência. Essa abordagem permitiu uma avaliação abrangente e comparativa, e assim dar a validação necessária do produto final.

Após a avaliação, o conceito realizado emergiu como a escolha preferida pelo key user. Este conceito demonstrou um equilíbrio excepcional entre usabilidade, estética e funcionalidade, atendendo efetivamente às necessidades identificadas. A contribuição do key user na seleção do conceito foi inestimável, como podemos ver na Tabela 14, garantindo que o projeto seguisse na direção certa.

Tabela 14 - Quadro de avaliação do protótipo - preenchido pelo key user.

Características	Protótipo 10	Pega Utilizada
Proteção	5	5
Produto intuitivo	5	5
Conforto - ergonomia	5	3
Aderência	5	4
Design	5	3

1-péssimo 2- insuficiente 3- suficiente 4- bom 5- excelente

Esta abordagem assegurou que o desenvolvimento do produto fosse fundamentado nas necessidades e preferências reais do público, fortalecendo a base para o sucesso do projeto.

O produto final, fruto de uma jornada intensiva de pesquisa, prototipagem e iteração, foi submetido a uma série de validações e testes rigorosos, visando assegurar não apenas a eficácia, mas também a adequação às necessidades específicas dos desportistas para os quais foi concebido.

A metodologia adotada para a validação e testes envolveu uma abordagem colaborativa, com a participação ativa de atletas de corrida em cadeira de rodas ao longo das diversas fases do desenvolvimento. Estabeleceu-se uma parceria estreita com um key user, cujo papel fundamental consistiu em fornecer feedback contínuo durante as iterações do produto.

A validação inicial do produto baseou-se em análises ergonômicas e simulações de movimentos específicos da prática desportiva em questão. Os resultados obtidos indicaram que o design atendia às expectativas em termos de conforto, ajuste e liberdade de movimento, elementos cruciais para a performance desportiva.

Os testes subsequentes envolveram sessões práticas, nas quais o key user utilizou o equipamento durante treinos simulados. Durante essas etapas, foram avaliados não apenas os aspectos ergonômicos, mas também questões de design e a capacidade do equipamento de proteger eficazmente as mãos dos atletas em condições diversas.

O feedback qualitativo recolhido ao longo dessas experiências práticas foi complementado por medições quantitativas, garantindo uma abordagem abrangente na avaliação do desempenho do produto. Observou-se uma ressonância positiva, destacando a aceitação do equipamento como uma adição valiosa à sua prática desportiva.

No entanto, enquanto nos preparamos para a fase final de testes, um evento inesperado ocorreu. Nosso estimado key user, peça fundamental na validação do produto, enfrentou uma significativa pioria na sua condição física, lamentavelmente impossibilitando sua participação nos testes finais programados para esta fase da dissertação.

Este imprevisto impõe uma limitação na conclusão dos testes finais conforme inicialmente planejado. Contudo, os resultados obtidos até o momento, aliados à confiança expressa pelos atletas envolvidos, sustentam a validade e a eficácia do produto desenvolvido.

Dessa forma, a conclusão desta fase da dissertação representa não apenas a culminação de esforços e dedicação, mas também um ponto de partida para futuras investigações e melhorias no design de equipamentos desportivos inclusivos. A jornada até aqui percorrida reforça a importância da colaboração direta com os utilizadores finais na criação de soluções que verdadeiramente atendam às suas necessidades.

À medida que esta dissertação chega ao seu término, mantemos a convicção de que o produto desenvolvido contribui de maneira significativa para o aprimoramento da experiência desportiva dos atletas de corrida em cadeira de rodas. Agradecemos a todos os envolvidos nesse percurso e reafirmamos o nosso compromisso com a busca contínua por inovações que promovam inclusão e excelência no desporto adaptado.

10 Conclusão

Ao longo desta dissertação o foco foi o **design e desenvolvimento de um equipamento de proteção destinado a atletas de corrida em cadeira de rodas através do FA**. Analisou-se com precisão as necessidades destes atletas, que apontaram para o difícil acesso a este tipo de proteções, o preço de compra, a necessidade de personalizar após a compra, entre outros.

O projeto foi concebido em colaboração com o DONE Lab, um laboratório especializado em FA. Conclui-se que o melhor processo a utilizar seria **Material Jetting**, uma decisão fundamentada na sua capacidade de imprimir estruturas complexas com diferentes durezas no mesmo produto que embora não testadas no projeto, são uma necessidade dos atletas. Permite assim criar num só produto, uma camada interna rígida, capaz de dar resistência à pega e uma camada maleável na parte externa do produto, funcionando como amortecimento, impedindo lesões dos atletas. A maior vantagem da utilização do FA passa por ser a personalização de cada produto para cada atleta.

O material escolhido, **Agilus30**, demonstrou-se não apenas compatível com os equipamentos selecionados para impressão (Stratasys Objet Connex 500), mas também com características superiores quando comparamos com os materiais utilizados nas proteções atualmente utilizadas.

O produto final seguiu uma metodologia traçada onde iniciou com a **medição das mãos do atleta para quem estamos a produzir**, nomeadamente a largura da mão, do indicador e do médio e o comprimento do polegar (esta medição deve ser feita através de um paquímetro para obter números mais precisos e evitar falhas de dimensionamento). Seguido da **modelação do produto**, tendo em conta as medidas da mão do atleta, juntamente com os encaixes corretos dos dedos, sendo o polegar num compartimento e o indicador junto com o médio separados do anelar e mindinho (requisitos dos atletas para melhor técnica de propulsão). Na parte externa que entra em contacto com o aro, o produto tem uma curvatura propositada que permite encaminhar a mão de modo a encaixar no sítio correto. Posto isto, segue-se para a impressão em PLA para **testes de dimensionamento** e caso o produto cumpra com todos os requisitos, inicia-se a fase final de **impressão na tecnologia e materiais selecionados**.

O desenvolvimento do produto foi minucioso, levando em consideração não apenas a funcionalidade, mas também a ergonomia e a adaptabilidade às demandas específicas dos atletas em questão. A colaboração próxima com atletas de corrida em cadeira de rodas desempenhou um papel crucial, culminando na **validação bem-sucedida do produto**.

Contudo, enfrentou-se uma reviravolta inesperada na fase final da investigação onde o key user, cujo envolvimento foi vital para a validação e os testes finais, viu a sua condição física deteriorar-se de maneira significativa o que impõe a impossibilidade de realizar os testes finais conforme planeado, deixando uma conclusão baseada na validação intermediária do produto.

Não obstante, acredita-se firmemente que o produto desenvolvido representa uma solução ideal para as necessidades dos atletas de corrida em cadeira de rodas. Os feedbacks positivos obtidos até o momento, juntamente com a confiança expressa pelos atletas consultados, sustentam a eficácia do produto em atender aos requisitos impostos.

Ao encerrar esta dissertação, reconheceu-se que a busca por soluções inovadoras no design de equipamentos desportivos é uma jornada contínua. Embora os testes finais tenham sido impedidos pelas circunstâncias adversas, acredita-se que o trabalho realizado até agora serve como um ponto de partida sólido para futuras pesquisas e melhorias. A ênfase na utilização de tecnologias avançadas de FA reforça o compromisso com a vanguarda da inovação na área desportiva inclusiva.

11 Perspetivas Futuras

Medições Precisas da Mão. Investir em medições mais precisas da mão, utilizando instrumentos como o paquímetro, ou até o Scan3D, para evitar a impressão excessiva de protótipos. A precisão nas medições contribuirá para o desenvolvimento mais eficiente e personalizado dos produtos, reduzindo a necessidade de iterações desnecessárias.

Impressão através de Material Jetting com Material Agilus30. Explorar a impressão 3D utilizando a tecnologia Material Jetting com o material Agilus30. Esta abordagem pode oferecer propriedades específicas desejadas, como flexibilidade e durabilidade, proporcionando uma resposta mais eficaz às exigências de proteção e desempenho necessárias para o produto final.

Testes em Modo de Competição no Terreno. Realizar testes práticos com atletas em condições reais de competição no terreno. Essa etapa é crucial para validar a eficácia do produto em situações dinâmicas e competitivas, permitindo ajustes finos com base nas experiências reais dos atletas durante a prática desportiva.

Essas perspetivas futuras visam aprimorar a precisão do processo de desenvolvimento, explorar materiais específicos para as necessidades do produto e validar a eficácia do produto em cenários reais de competição. Essas abordagens estratégicas contribuirão para o contínuo refinamento do produto, garantindo sua adaptação ideal às demandas práticas e ergonómicas dos atletas.

12 Referências

- AFA. (2013). Adapted Track & Field. In *Athletics For All*.
- AMS. (2019). 3D-printed glove to aid assembly workers. *Automotive Manufacturing Solutions*.
<https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/additive/3d-printing/3d-printed-glove-to-aid-assembly-workers/39218.article>
- ASTM. (2012). *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. ASTM International.
- Auerbach, A. (2021). Paralympic Athlete 3D Prints Adaptive Sports Equipment. *All 3DP*.
<https://all3dp.com/4/paralympic-athlete-3d-prints-adaptive-sports-equipment/>
- C. K. Chua, K. F. Leong, & C. S. Lim. (2010). *Rapid Prototyping: Principles and Applications* (3rd Edition).
- Castelão, A. R. da P. (2018). *Estudo do Acabamento Superficial e dos Desvios Dimensionais em Provetes Produzidos por Manufatura Aditiva*.
- Chua, C. K. C., & Leong, K. F. (2014). *3D Printing and Additive Manufacturing Principles and Applications* (4th Edition).
- Cooper, R. A. (1990). Wheelchair racing sports science : A review. *Department Veterans Affairs Journal of Rehabilitation Research and Development*, 27(3), 295–312.
<https://doi.org/10.1682/JRRD.1990.07.0297>
- Côté-Leclerc, F., Boileau Duchesne, G., Bolduc, P., Gélinas-Lafrenière, A., Santerre, C., Desrosiers, J., & Levasseur, M. (2017). How does playing adapted sports affect quality of life of people with mobility limitations? Results from a mixed-method sequential explanatory study. *Health and Quality of Life Outcomes*, 15(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S12955-017-0597-9/FIGURES/1>
- Covill, D., King, R., Townsend, J., Brickley, G., & Drouet, J.-M. (2020). Development of Customised Wheelchair Racing Gloves Using Digital Fabrication Techniques. 44.
<https://doi.org/10.3390/proceedings2020049044>
- Douger. (2020, January 29). *How To Make Wheelchair Racing Gloves With Aquaplast*.
- Duarte, A. (2016). 3D printed wheelchair racing gloves. *Patient Innovation*. <https://patient-innovation.com/post/1178>
- Dufera, S., & Srinivasulu Reddy, K. (2019). *Additive Manufacturing Technologies*.
<https://www.researchgate.net/publication/334545466>

- EPD. (2020). Material Jetting. Engineering Product Design. <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/material-jetting/>
- Fagher, K., & Lexell, J. (2014). Sports-related injuries in athletes with disabilities. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(5), e320–e331. <https://doi.org/10.1111/SMS.12175>
- Fonseca, M. (2023). Atletismo em Cadeira de Rodas. Miguel Fonseca Portefólio. https://www.facebook.com/photo/?fbid=768272031971591&set=a.768279831970811&locale=pt_PT
- FPDPD. (2017). Modalidades de Atletismo. Federação Portuguesa de Desporto Para Pessoas Com Deficiência. <https://fpdd.org/modalidades-atletismo/>
- HIRS. (2022a). RS Glove. How I Roll Sports.
- HIRS. (2022b). Soft Gloves. How I Roll Sports. <https://howirollsports.com/shop/harness-wheelchair-racing-gloves/>
- Karman. (2022). Gloves for Wheelchair Users. Karman. <https://www.karmanhealthcare.com/wheelchair-gloves-for-users/>
- Laferrier, J. Z., Rice, I., Pearlman, J., Sporer, M. L., Cooper, R., Liu, T., & Cooper, R. A. (2012). Technology to improve sports performance in wheelchair sports. *Sports Technology*, 5(1–2), 4–19. <https://doi.org/10.1080/19346182.2012.663531>
- Lai, E. (2018). Australia Races for Commonwealth Games Gold with 3D Printed Gloves. 3D Printing Industry. <https://3dprintingindustry.com/news/australia-races-commonwealth-games-gold-3d-printed-gloves-131879/>
- Levy, G. N., Schindel, R., & Kruth, J. P. (2003). Rapid Manufacturing and Rapid Tooling With Layer Manufacturing (LM) Technologies, State of the Art and Future Perspectives. *CIRP Annals*, 52(2), 589–609. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60206-6](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60206-6)
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *The new world of 3D Printing* (John Wiley & Sons, Ed.).
- Mendoza, H. R. (2015). 3D Printed Gloves for Wheelchair Racing Introduce Student to Making. 3D Print. <https://3dprint.com/81545/3d-printed-wheelchair-gloves/>
- NR. (2016). Improve Hand Function After Stroke. NeuroRehab. <https://www.neurorehabdirectory.com/improve-hand-function-stroke/>
- Pyykkö, H., Suoheimo, M., & Walter, S. (2021). Approaching sustainability transition in supply chains as a wicked problem: Systematic literature review in light of the evolved double diamond design process model. *Processes*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/pr9122135>

- Reeves, P. (2009). Additive Manufacturing – A supply chain wide response to economic uncertainty and environmental sustainability (The Silversmiths & Derbyshire, Eds.; Econolyst Limited).
- Rice, I., Dysterheft, J., Bleakney, A. W., & Cooper, R. A. (2015). The Influence of Glove Type on Simulated Wheelchair Racing Propulsion: A Pilot Study. *International Journal of Sports Medicine*, 37(1), 30–35. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555926>
- Stratasys. (2022). Stratasys - polyjet materials. <https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/polyjet-materials/agilus30-colors/>
- Taylor, D., & Williams, T. (1995). Sports injuries in athletes with disabilities: Wheelchair racing. *Paraplegia*, 33(5), 296–299. <https://doi.org/10.1038/sc.1995.67>
- Vanlandewijck, Y., Theisen, D., & Daly, D. (2001a). Wheelchair Propulsion Biomechanics Implications for Wheelchair Sports.
- Vanlandewijck, Y., Theisen, D., & Daly, D. (2001b). Wheelchair Propulsion Biomechanics Implications for Wheelchair Sports.
- W. H. Cubberly. (1983). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook* (Society of Manufacturing Engineers, Ed.; Desk Edition).
- Wong, K. v., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012, 1–10. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- WSU. (2022). 3D Printed Wheelchair Racing Gloves (Push Gloves). Wichita State University. <https://www.instructables.com/3D-Printed-Wheelchair-Racing-Gloves-Push-Gloves/>
- XJet. (2022). NanoParticle Jetting. www.xjet3d.com

13 Apêndices

13.1 Apêndice I – Questionário 1

1. Nome / Idade / Género
 - a. Filipe Carneiro, 30 anos, masculino
 - b. João Correia, 39 anos, masculino
 - c. Mamudo Baldé, 17 anos, masculino
 - d. Rafael Neto, 19 anos, masculino
2. Desde quando praticam?
 - a. Desde 2008
 - b. Desde 1999
 - c. Desde 2020
 - d. Desde 2018
3. Que tipo de proteção de mão usam?
 - a. Soft Gloves
 - b. Soft Gloves
 - c. Soft Gloves
 - d. Solid Gloves



Figura 53 - Pega utilizada pelo atleta entrevistado

4. Adaptam o tipo de proteção que usam?
 - a. Não
 - b. Não

- c. Não
- d. Sim



Figura 54 - Registo das modificações que o atleta faz nas luvas.

4.1. Se sim, porquê?

- a. x
- b. x
- c. x
- d. Não estão devidamente ajustadas e quando há impacto entre a luva e a cadeira estas magoam as mãos.



Figura 55 - Zona contacto entre os dedos e a pega.

5. Fácil acesso à luva?

- a. Não

- b. Não
 - c. Não
 - d. Não
6. Se não, porquê?
- a. Não existe em Portugal, têm que ser encomendadas do Canadá, muitas vezes ficam presas em alfandegas e são caras
 - b. Preços muito elevados
 - c. É a associação que fornece, sendo que há poucas ajudas e pouco investimento, tornam-se produtos com unidades muito reduzidas e utilizadas por vários atletas
 - d. É a associação que fornece, sendo que há poucas ajudas e pouco investimento, tornam-se produtos com unidades muito reduzidas e utilizadas por vários atletas
7. Quando usa a luva qual é o aspeto da mão? Sua? O suor pode afetar a performance?
- a. Pouco suada, não afeta na corrida
 - b. Pouco suada, não afeta na corrida
 - c. Pouco suada, não afeta na corrida
 - d. Pouco suada, não afeta na corrida

13.2 Apêndice II – Materiais Material Jetting



Figura 56 - Exemplo material. (Stratasys, 2022)



Figura 57, 58 e 59 - Exemplo de material. (Stratasys, 2022)

13.3 Apêndice III – Fotos Protótipos



Figura 60 – Protótipo 4.

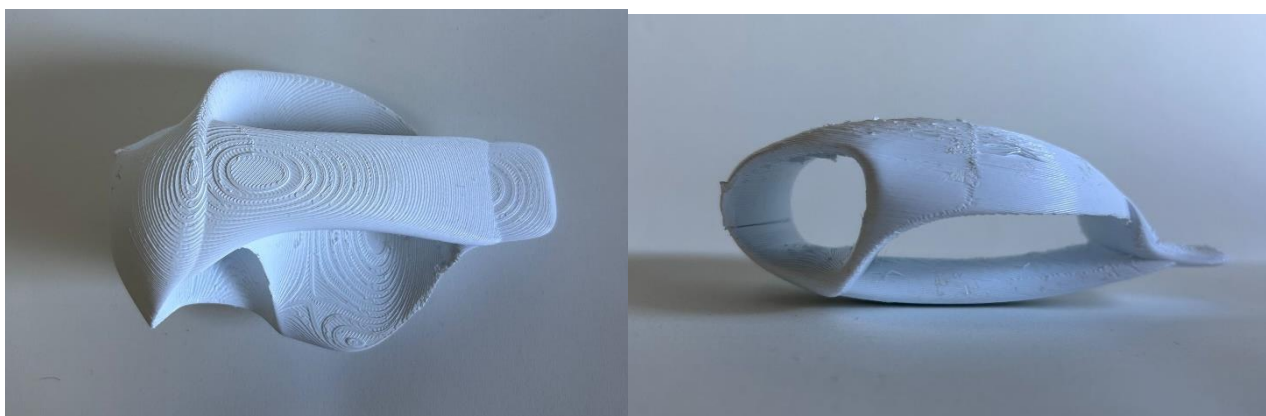


Figura 61 – Protótipo 4.

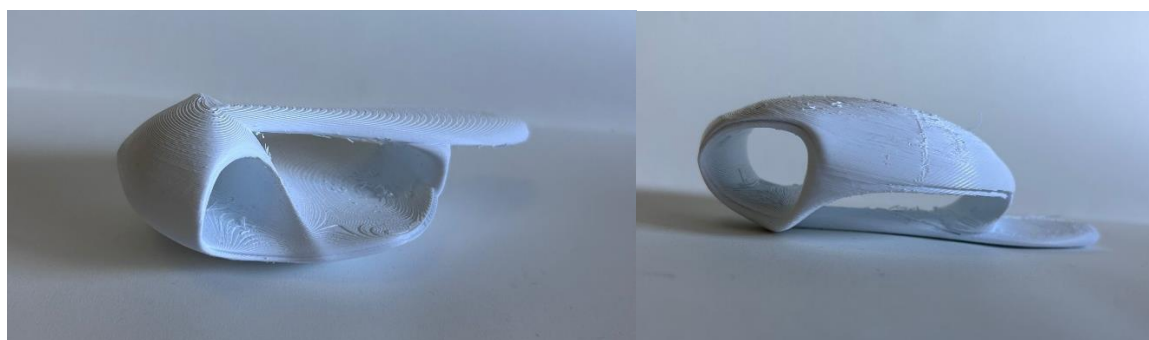


Figura 62 – Protótipo 6.

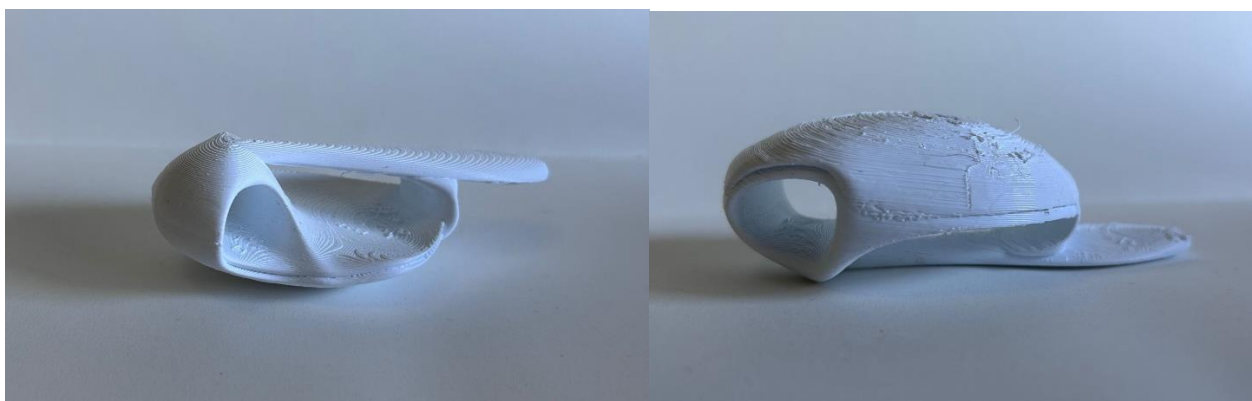


Figura 63 – Protótipo 7.



Figura 64 – Protótipo 5.



Figura 65 – Protótipo 9.

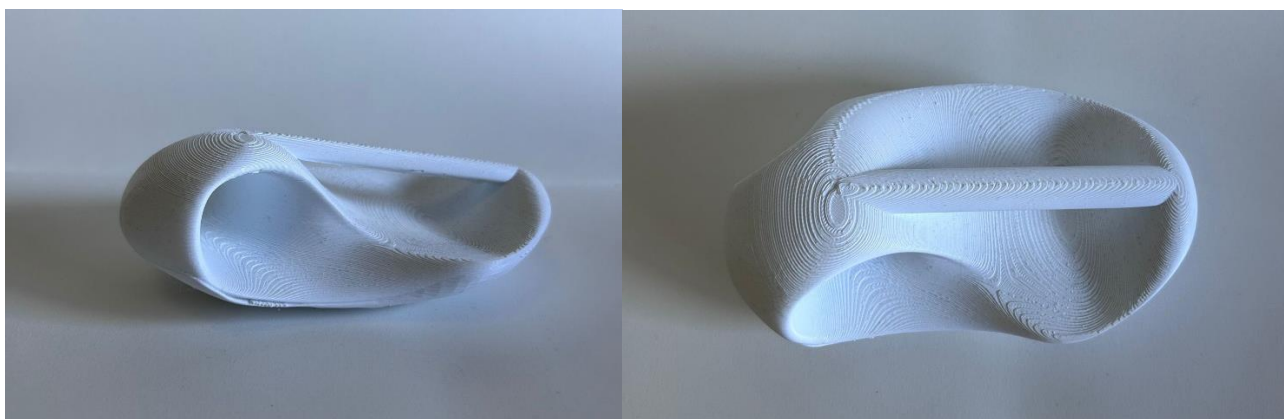


Figura 66 – Protótipo 8.

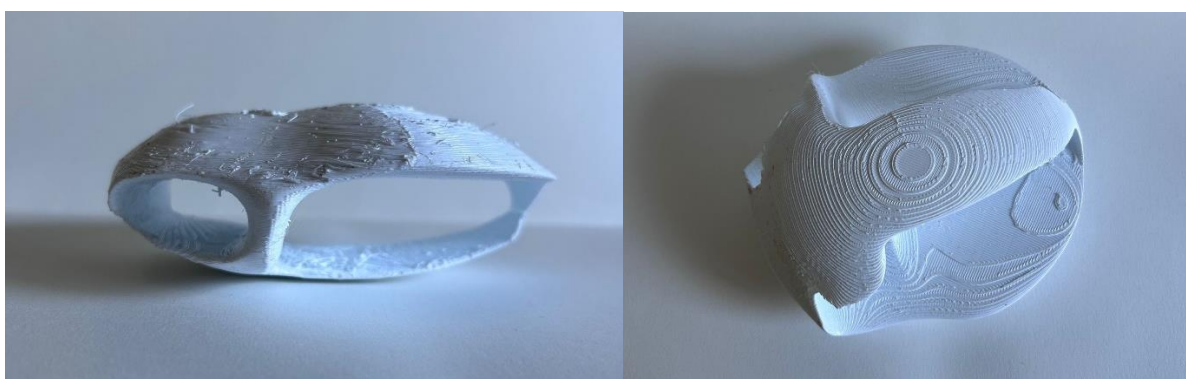


Figura 67 – Protótipo 2.

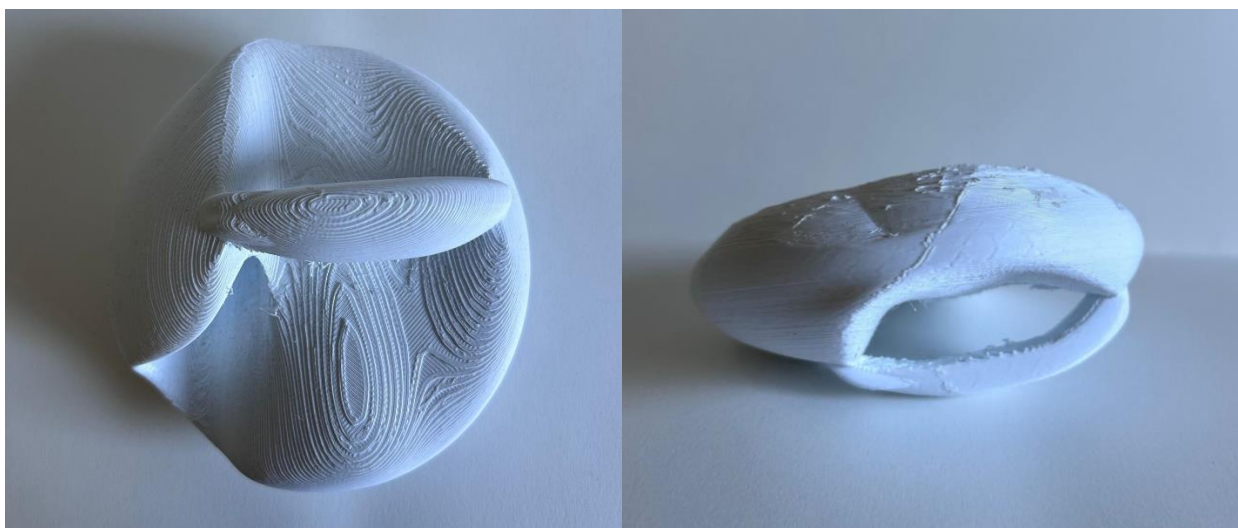


Figura 68 – Protótipo 3.