



**POLITÉCNICO
DE LEIRIA**

ESCOLA SUPERIOR
DE ARTES E DESIGN

A digitalização corporal integrada no design de ortóteses

Sabrina Santos Rufino

Orientado por:

Professor João Vasco de Oliveira Mateus

Mestrado em Design para a Saúde e Bem-estar

Caldas da Rainha, Setembro de 2024

A digitalização corporal integrada no design de ortóteses

Sabrina Santos Rufino

Agradecimentos

Ao meu Orientador pela confiança e paciência nesta aventura.

Ao professor Renato pelo entusiasmo nestas explorações.

Ao LiDA pela disponibilização dos equipamentos técnicos utilizados no projeto.

Aos meus professores pelos ensinamentos.

Aos meus colegas que estiveram sempre disponíveis para ouvir devaneios, dúvidas e inquietações.

Ao Bruno pelo apoio incondicional.

E à Ana por ter sido a melhor companheira de caminho.

O meu sincero obrigado!

Palavras chave

Digitalização tridimensional;

Ortóteses;

Design para a Saúde;

Resumo

O presente trabalho visa explorar como a aplicação da digitalização corporal no design de ortóteses permite capturar com precisão a anatomia, facilitando o ajuste das ortóteses criando soluções mais personalizadas e eficazes para os pacientes.

Combinou-se o Human-Centered Design com exemplos de estudos de caso, analisando os processos empregues por empresas que utilizam *scanners* 3D e aplicando esses princípios a um caso prático, desde a captura de dados anatómicos até a modelação e prototipagem.

Os resultados indicam que a digitalização 3D é eficaz para capturar a morfologia do paciente, embora a qualidade do processo dependa da precisão dos *scanners* e da habilidade do operador. A integração da digitalização associada a tecnologias de fabricação aditiva pode reduzir custos e acelerar a produção, no entanto, ainda existem desafios a serem superados, como a posição do paciente durante a digitalização.

Assim, a digitalização corporal, junto com a impressão 3D, pode transformar o desenvolvimento de ortóteses, democratizar o acesso, tornando-as mais acessíveis e personalizadas.

Keywords

Three-dimensional scanning;

Orthotics;

Design for Health;

Abstract

This project aims to explore the potential of using body scanning in the design of orthotics. By accurately capturing the anatomy, this approach could facilitate the fitting of orthotics and ultimately lead to the creation of more personalized and effective solutions for patients.

The principles of human-centred design were integrated with case study examples to analyze the processes employed by companies utilizing 3D scanners. These principles were then applied to a practical case study, from the acquisition of anatomical data to modelling and prototyping.

The results demonstrate the efficacy of 3D scanning in capturing the patient's morphology, although the quality of the process is contingent upon the precision of the scanners and the proficiency of the operator. The integration of scanning with additive manufacturing technologies has the potential to reduce costs and accelerate production. However, challenges remain, including the positioning of the patient during scanning.

The combination of body scanning and 3D printing has the capacity to transform the development of orthotics, enhancing accessibility and personalization.

Índice

1. Introdução	10
2. Metodologia.....	12
3. Ortóteses.....	14
3.1 Definição de ortóteses	15
3.2 Funções das ortóteses.....	16
3.3 Tipologia das ortóteses.....	19
3.4 Desenvolvimento e produção de uma ortótese	21
Identificação das necessidades do paciente.....	21
Processo de desenvolvimento de ortóteses	22
Métodos de produção tradicionais.....	23
Métodos de produção inovadores.....	26
4. Captura de anatomia	28
4.1 Métodos tradicionais.....	29
Moldes.....	29
Medição direta	31
Conformação direta.....	32
4.2 Scanner 3D	34
Fotogrametria	34
Luz estruturada	35
Laser.....	37
Tomografia computadorizada.....	38
Scanner de contacto	39
4.3 Comparação de métodos	41

5. Casos de estudo	45
HEXR – Capacetes de bicicleta personalizados.....	47
Andiamo	48
Naked Prosthetics	49
6. Desenvolvimento de ortótese	50
6.1 Definição de especificações	52
6.2 Pesquisa de mercado.....	53
6.3 Conceito e restrições dimensionais	56
6.4 Adaptações de conforto, definição de bloqueio e definição da ortótese.....	64
6.5 Avaliação do design da ortótese.....	68
7. Conclusão	70
8. Referências.....	73

Índice de figuras

Fig.1 Tipologias de ortóteses	18
Fig.2 Ortótese standart.....	20
Fig.3 Ortótese personalizada.....	20
Fig.4 Processo de produção com termoplásticos de baixa temperatura	24
Fig.5 Processo de produção com termoplásticos de alta temperatura	25
Fig.6 Processo de produção com fabricação aditiva	26
Fig.7 Moldes para ortóteses.....	30
Fig.8 Instrumentos de medição.....	32
Fig.9 Digitalização com fotogrametria	35
Fig.10 Digitalização com luz estruturada.....	36
Fig.11 Digitalização com laser	37
Fig.12 Digitalização com tomografia computadorizada.....	39
Fig.13 HEXR - processo de desenvolvimento.....	47
Fig.14 Andiamo - ortóteses AFO e TO	48
Fig.15 Naked Prosthetics - processo de digitalização e prótese final.	49
Fig.16 Anatomia da Mão	52
Fig.17 Rizomed.....	53
Fig.18 JuzoPro Rhizo Soft	54
Fig.19 Manitec Fix Rizart Plus	54
Fig.20 GoScan Spark.....	57
Fig.21 Miraco 3D Scan.....	58
Fig.22 Aplicação Kiri Engine em uso.....	59

Fig.23 Resultado de digitalização com movimento	60
Fig.24 Resultado do scan Kiri Engine	60
Fig.25 Resultado do scan GoScan Spark	61
Fig.26 Resultado do scan Miraco	62
Fig.27 Malha corrigida	62
Fig.28 Desenhos de desenvolvimento da ortótese	64
Fig.29 Movimento do polegar	65
Fig.30 Processo de modelação da ortótese	66
Fig.31 Ortótese finalizada.....	67
Fig.32 Teste funcional com o paciente.....	68

1

Introdução

A digitalização corporal para a captura de dados anatômicos tem vindo a desenvolver-se significativamente nos últimos anos, tornando-se uma ferramenta crucial no design de dispositivos médicos, como as ortóteses. Esta tecnologia permite simular a utilização das ortóteses e ajustá-las à morfologia específica de cada paciente, resultando em soluções mais personalizadas e eficientes (Najafabadi et al., 2020). Deste modo, pretende-se explorar o papel da digitalização corporal no design de ortóteses, com o objetivo de criar produtos mais adaptados às necessidades individuais dos pacientes, melhorando o conforto e a funcionalidade. Apesar dos avanços tecnológicos, a personalização das ortóteses ainda enfrenta desafios. Os métodos tradicionais, são muitas vezes morosos, desconfortáveis para o paciente, e podem apresentar falhas de precisão (Barrios-Muriel et al., 2020). Além disso, todo o processo tende a ser dispendioso e produzir muito desperdício (Brognara et al., 2022). Neste contexto, o projeto propõe investigar como a digitalização tridimensional pode ser aplicada para o desenvolvimento de ortóteses personalizadas de forma mais eficiente e acessível, oferecendo uma alternativa aos métodos tradicionais.

Este documento inicia-se com a apresentação da metodologia utilizada na investigação, seguida de uma explicação sobre as ortóteses, as suas funções e tipos, bem como os diferentes métodos de produção. Em seguida, é abordado o tema da captura de anatomia, com uma análise dos diversos métodos, tecnologias de *scanners* 3D e a sua aplicabilidade. Para ilustrar o uso prático da digitalização corporal, são analisados três estudos de caso de empresas que utilizam esta tecnologia no desenvolvimento de ortóteses. Por fim, é descrita a aplicação prática da digitalização no desenvolvimento de uma ortótese personalizada, detalhando as várias fases do projeto, e uma reflexão sobre as vantagens e limitações desta abordagem.

2

Metodologia

O presente trabalho segue uma *framework* de *Human-Centered Design* (HCD), uma abordagem que coloca o humano no centro de todo o processo de design, garantindo que as soluções desenvolvidas se adaptam às suas necessidades, expectativas e limitações específicas. Para este fim, utilizou-se a metodologia de estudo de caso, que permite uma análise aprofundada de exemplos reais onde o uso da digitalização 3D contribui para o desenvolvimento de ortóteses personalizadas. Neste projeto, aplicaram-se ferramentas de digitalização tridimensional com *scanners* 3D a um caso de ortótese.

O processo metodológico começou com uma pesquisa inicial sobre ortóteses e os diferentes métodos de captura de anatomia. Foram explorados e comparados diversos métodos de captura de dados anatômicos, assim como diferentes tecnologias de digitalização 3D. Esta análise comparativa permitiu identificar as vantagens e limitações de cada abordagem. Na fase seguinte, foram selecionados três casos de estudo de empresas que utilizam *scanners* 3D, os quais foram analisados para compreender como a digitalização 3D é integrada nos processos de design e produção. Com base nos resultados da investigação inicial e nos estudos de caso, foi desenvolvido uma ortótese seguindo a metodologia proposta por Ricardo Duarte, (Duarte et al. 2019), estruturada em seis fases.

O processo começou com uma pesquisa de mercado para identificar soluções existentes, seguida pela fase conceptual e restrições dimensionais, onde se definiu o conceito inicial considerando as necessidades do paciente. Durante esta etapa, realizou-se um estudo exploratório com diferentes *scanners* 3D para avaliar sua precisão e adequação. Em seguida, foram feitas adaptações de conforto, definição dos pontos de bloqueio e desenvolvimento da versão final da ortótese, incluindo a prototipagem. A etapa final envolveu a avaliação do design, validada por meio de testes e *feedback* do paciente.

3

Ortóteses

3.1 Definição de ortóteses

Uma ortótese é definida como um dispositivo médico utilizado para a imobilização, estabilização de uma ou mais articulações, compensação e recuperação de déficits, prevenção de deformidades, promoção da cicatrização cutânea e reabsorção de edemas (Hsu et al., n.d.; Zhou et al., 2022). Dependendo do objetivo terapêutico, uma ortótese pode desempenhar funções tanto de reabilitação quanto de estabilização, sendo possível que a mesma ortótese seja aplicada em ambas as situações.

O termo “Ortótese” deriva do grego “*Orthós*,” que significa reto ou direito. Assim, o termo ortótese identifica dispositivos externos ao corpo que auxiliam no correto posicionamento corporal (Rezende, 2006). Por outro lado, o termo “Prótese” refere-se a um dispositivo médico que visa substituir uma parte do corpo, como é o caso de próteses de pernas, próteses ósseas, implantes, etc.

3.2 Funções das ortóteses

Devido à diversidade das ortóteses e suas aplicações, elas podem assumir diversas funções:

Redução da Dor

Ortóteses podem ser aplicadas para restringir o movimento ou mobilizar articulações, permitindo que estas alcancem o ângulo de movimento desejado e, assim, ajudando a reduzir a dor (Burns et al., 2006). Sendo especialmente útil em condições inflamatórias, onde o controle do movimento pode aliviar a tensão na área afetada.

Aumento da Mobilidade

Podem melhorar a mobilidade ao fornecer suporte e estabilidade, permitindo que o paciente se mova com mais segurança. Por exemplo, ortóteses das extremidades inferiores podem permitir que o utilizador caminhe de forma mais funcional e com menos esforço (Lusardi et al., 2013). Para pessoas com deficiência muscular ou neurológica, as ortóteses servem como auxílio na realização de atividades diárias, melhorando a qualidade de vida.

Estabilização e Proteção de Lesões

Ortóteses são frequentemente usadas para estabilizar e proteger lesões, prevenindo movimentos indesejados que possam deteriorar a condição ou promover o processo de cicatrização (Burns et al., 2006; Coppard & Lohman, 2015; Hernández-Secorún et al., 2021). Exemplos incluem ortóteses de estabilização de pulsos ou tornozelos em casos de torção excessiva.

Correção de Deformidades

Podem também ser usadas para alinhar e corrigir deformidades (Lusardi et al., 2013), como no caso dos capacetes ortopédicos utilizados para o tratamento da plagiocefalia (achatamento do crânio). Esses dispositivos, juntamente com o crescimento natural do bebê, podem corrigir a forma do crânio sem a necessidade de intervenção cirúrgica.

Apoio à Reabilitação

Ortóteses são essenciais no processo de reabilitação, ajudando na recuperação de lesões e cirurgias. Ao aplicar pressão controlada, promovem a reabsorção de edemas, equimoses e aliviam a dor (Ormseth et al., 2023). Esse apoio é vital para o sucesso terapêutico em várias patologias, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes.

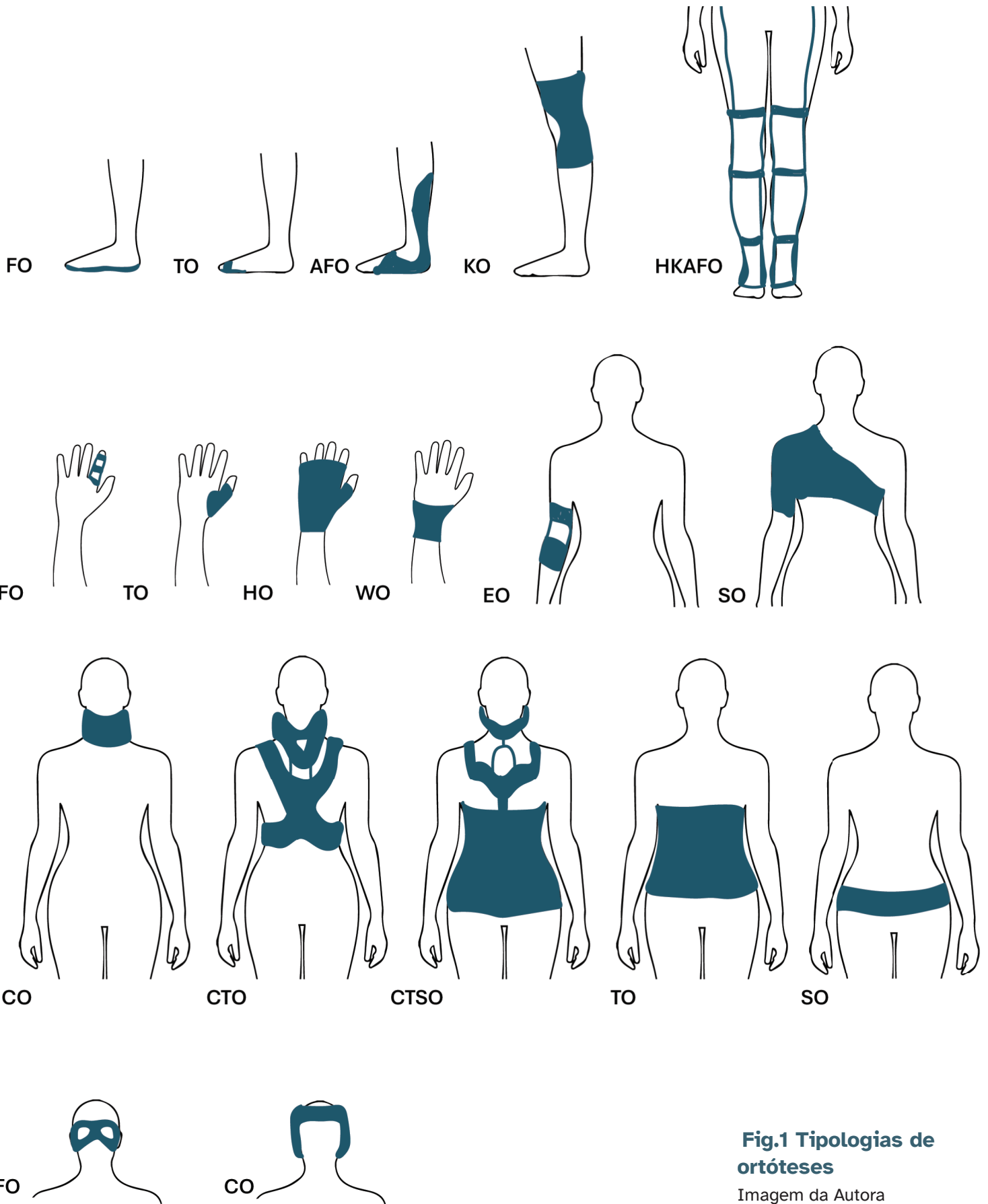


Fig.1 Tipologias de ortóteses

Imagem da Autora

3.3 Tipologia das ortóteses

Existem várias formas de definir as tipologias de ortóteses, seja pela articulação, classificando-as como articulares ou não articulares (ASHT Splint Nomenclature Task Force & American Society of Hand Therapists., 1992) pelo objetivo, como mobilização, estabilização ou reabilitação, ou ainda pela localização da ortótese no corpo. Nos últimos anos, tem sido mais comum utilizar essa última classificação, conforme proposto pela Organização Internacional de Standardização, que diferencia as ortóteses de acordo com sua localização. Assim, as ortóteses podem ser divididas em quatro categorias principais: ortóteses dos membros inferiores; ortóteses dos membros superiores; ortóteses espinhais e ortóteses de cabeça (International Organization for Standardization, 2020). Embora essas ortóteses se refiram a uma parte específica do corpo, elas podem ou não cobrir a região completa.

No caso das ortóteses de membros inferiores, incluem-se ortótese para: dedos do pé, TO; ortótese do pé, FO; ortótese tornozelo-pé, AFO; ortótese do joelho, KO; ortótese joelho-tornozelo-pé, KAFO; ortótese da anca, HO; ortótese da anca-joelho, HKO; ortótese da anca-joelho-tornozelo-pé, HKAFO.

Nas ortóteses de membros superiores: ortótese do dedo, FO; ortótese do polegar, TO; ortótese da mão, HO; ortótese pulso-mão, WHO; ortótese do cotovelo, EO; ortótese cotovelo-pulso-mão, EWHO; ortótese do ombro, SO; ortótese ombro-cotovelo, SEO; ortótese ombro-cotovelo-pulso-mão, SEWHO.

As ortóteses espinhais abrangem: ortótese cervical, CO; ortótese cervico-torácica, CTO; ortótese cérvico-torácica-lumbo-sacral, CTLSO; ortótese torácica, TO; ortótese toraco-lombo-sacral, TLSO; ortótese lombo-sacral, LSO; ortótese sacroilíaca, SIO.

Por fim, as ortóteses da cabeça incluem: ortótese da facial, FO; ortótese craniana, CO (International Organization for Standardization, 2020).

Outra forma de caracterizar a ortótese é pela sua tipologia de produção, uma vez que estas podem ser pré-fabricadas e como tal utilizam medidas padrão, ou personalizadas. Uma ortótese pré-fabricada é considerada “*off-the-shelf*” pronto a utilizar ou padronizada e pode ser ajustada com facilidade, sem necessidade de treinamento especializado, como no caso de ajustes simples de tiras e fechos.

Por outro lado, uma ortótese personalizada é desenvolvida especificamente para um paciente. Dispositivos “*off-the-shelf*” são geralmente indicados em situações de lesões agudas ou quando o tamanho do paciente se enquadra nas faixas padrão de pequeno, médio ou grande. No entanto, quando o diagnóstico é mais complexo ou a anatomia do paciente exige um cuidado mais especializado, um dispositivo pré-fabricado pode não atender adequadamente a essas necessidades, e nesse caso opta-se por fabricar uma ortótese personalizada (Chen et al., 2016; Coppard & Lohman, 2015; Lusardi et al., 2013).



Fig.2 Ortótese standart

Imagem de MedicalExpo
retirado de : t.ly/5KEHE

Fig.3 Ortótese personalizada

Imagem de The London
Orthotic Consultancy
retirado de t.ly/qbhGq

3.4 Desenvolvimento e produção de uma ortótese

Para desenvolver uma ortótese é necessária uma equipa multidisciplinar nas diversas fases. Essa abordagem permite combinar o conhecimento médico com as necessidades específicas do paciente, as tecnologias utilizadas e os materiais apropriados.

Inicialmente, é necessário realizar um levantamento das necessidades, sejam elas de um paciente específico ou de uma determinada condição médica. Com base nessas informações, é desenhado um modelo que considera as metas terapêuticas e as exigências particulares dos pacientes. Em seguida, a ortótese é prototipada e testada utilizando diversos materiais. Este protótipo é então avaliado em testes clínicos para garantir sua eficácia e segurança.

No caso de ortóteses personalizadas, a anatomia do paciente é cuidadosamente capturada e a ortótese é adaptada para garantir um ajuste perfeito, maximizando o conforto e a funcionalidade para o utilizador.

Identificação das necessidades do paciente

Ortóteses são utilizadas em diversos contextos. Por isso, para cada situação, é necessário realizar uma análise completa, que considere a condição de saúde e o contexto do paciente, garantindo que a adesão terapêutica seja positiva. Quando o profissional de saúde prescreve a utilização de uma ortótese, ele comunica o tipo de dispositivo necessário para atender às necessidades específicas do paciente. A prescrição deve incluir informações sobre a necessidade de uma ortótese feita sob medida ou de quaisquer ajustes que devam ser realizados, o tempo de uso, assim como a necessidade de uma ortótese estática ou articulada (Webster & Murphy, 2019).

Processo de desenvolvimento de ortóteses

No desenvolvimento de ortóteses, o design é uma componente crucial que começa com a compreensão das necessidades específicas dos pacientes. É essencial identificar os requisitos clínicos, as limitações físicas e as preferências pessoais de cada indivíduo para assegurar que o dispositivo final corresponde adequadamente às suas necessidades terapêuticas e funcionais. Com base nessa avaliação inicial do profissional de saúde, o design da ortótese é ajustado para atingir as metas de tratamento estabelecidas. Durante esse processo, são considerados fatores como o objetivo da ortótese, por exemplo, imobilização, suporte ou reabilitação, os materiais utilizados, que podem variar em termos de durabilidade, flexibilidade e conforto, e a tipologia de produção, que pode incluir métodos tradicionais ou avançados, como a fabricação aditiva ou a moldagem sob medida. A seleção adequada de materiais é particularmente importante, pois influencia diretamente o conforto, a eficácia e a aceitação do paciente. Além disso, a escolha do processo de fabricação impacta a precisão e o custo do dispositivo, uma vez que uma ortótese à medida terá um custo maior do que uma ortótese convencional.

Produção de ortóteses

O processo de produção de ortóteses é altamente dependente da tipologia do dispositivo e da sua aplicação, uma vez que cada tipo de ortótese é projetado para atender a necessidades particulares. As diferenças na função e nos requisitos terapêuticos influenciam diretamente os materiais escolhidos e o método de fabricação adotado.

Materiais

Para atender a essas diversas demandas, são utilizados vários materiais que oferecem as propriedades necessárias para o desempenho eficaz da

ortótese. No início do século XX, as ortóteses eram fabricadas em metal, pele ou tecido; no entanto, com os avanços tecnológicos, novos materiais mais resistentes, leves e com propriedades mecânicas mais adequadas ao uso médico surgiram, nomeadamente ligas metálicas como aço, alumínio e titânio; polímeros como o polipropileno, polietileno ou policarbonato, e compósitos, que permitem a fabricação de ortóteses mais duradouras, resistentes e eficazes (Lunsford & Contoyannis, 2019; Lusardi et al., 2013).

Na escolha dos materiais, os profissionais devem ter uma compreensão profunda dos princípios mecânicos, tais como forças, deformação e falhas estruturais sob carga, e das suas aplicações, para garantir que os dispositivos sejam duradouros, funcionais e seguros para o paciente. A seleção adequada dos materiais e dos métodos de fabricação é crucial, considerando que existem atualmente diversos tratamentos aos quais os materiais podem ser submetidos, para aprimorar as suas propriedades mecânicas. A escolha desses elementos é essencial para garantir o desempenho otimizado dos dispositivos e a sua durabilidade, tendo em conta as exigências específicas de cada aplicação (Lunsford & Contoyannis, 2019).

Métodos de produção tradicionais

O método de produção de ortóteses varia dependendo da sua tipologia, ou seja, se as ortóteses são personalizadas ou padronizadas. No caso das ortóteses padronizadas, as medidas anatómicas são baseadas em médias populacionais, permitindo ajustes posteriores para uma melhor adaptação ao paciente. Esse processo facilita a produção em massa mais industrializada. Em contraste, as ortóteses personalizadas necessitam de produção em menor escala devido à necessidade de seguir fielmente a anatomia individual do paciente.

O método tradicional de fabricação de ortóteses é relativamente moroso e depende consideravelmente do trabalho manual para ajustar a forma e as dimensões da ortótese de acordo com o corpo do paciente (Choo et al., 2020). Nos métodos de produção tradicionais, destacam-se a utilização de termoplásticos de baixa e alta temperatura.

Termoplásticos de baixa temperatura

Para ortóteses de termoplásticos de baixa temperatura, a placa de termoplástico é primeiramente cortada, aquecida a 60-70°C, moldada no paciente, após a proteção adequada da pele para evitar queimaduras, e ajustada, sendo então finalizada com fechos, como Velcro, para garantir que ela se encaixe de forma segura. Neste processo de fabricação, tanto o design como a fabricação e o ajuste ocorrem em simultâneo. No entanto, as limitações dos materiais utilizados e dos métodos de fabricação podem dificultar o ajuste perfeito e a funcionalidade ideal. Isso pode levar a problemas como desconforto e a aparência pouco atrativa, o que, por sua vez, pode diminuir a disposição do paciente em usar a ortótese conforme o prescrito, comprometendo a adesão ao tratamento (Paterson et al., 2015; Supan, 2019).

Fig.4 Processo de produção com termoplásticos de baixa temperatura

Retirado de Dr. Borst's Occupational Therapy Classroom em: t.ly/8RW2Z



Termoplásticos de alta temperatura

No caso dos termoplásticos de alta temperatura, primeiramente obtém-se algumas medidas do membro e um molde de gesso do paciente, que serve de base para posterior conformação da ortótese. A partir desse molde, produz-se um molde positivo da parte do corpo que, após ser processado, com o uso de lixas ou limas, pode ser modificado, caso seja necessário acrescentar algum elemento ou ajustar a anatomia. Quando o molde está completo, uma placa de termoplástico é aquecida e conformada ao molde de gesso, podendo ser utilizado vácuo. Após o arrefecimento, a ortótese é cortada de acordo com a configuração desejada, recebendo acabamentos, como o tratamento das superfícies e arestas. Em seguida, são adicionados os elementos necessários, como peças de ligação ou fivelas de ajuste. A última fase envolve o teste da ortótese com o paciente e, se necessário, a realização de ajustes adicionais (Chen et al., 2016; Iglesias Calcedo, 2024; Štefanovič et al., 2021).

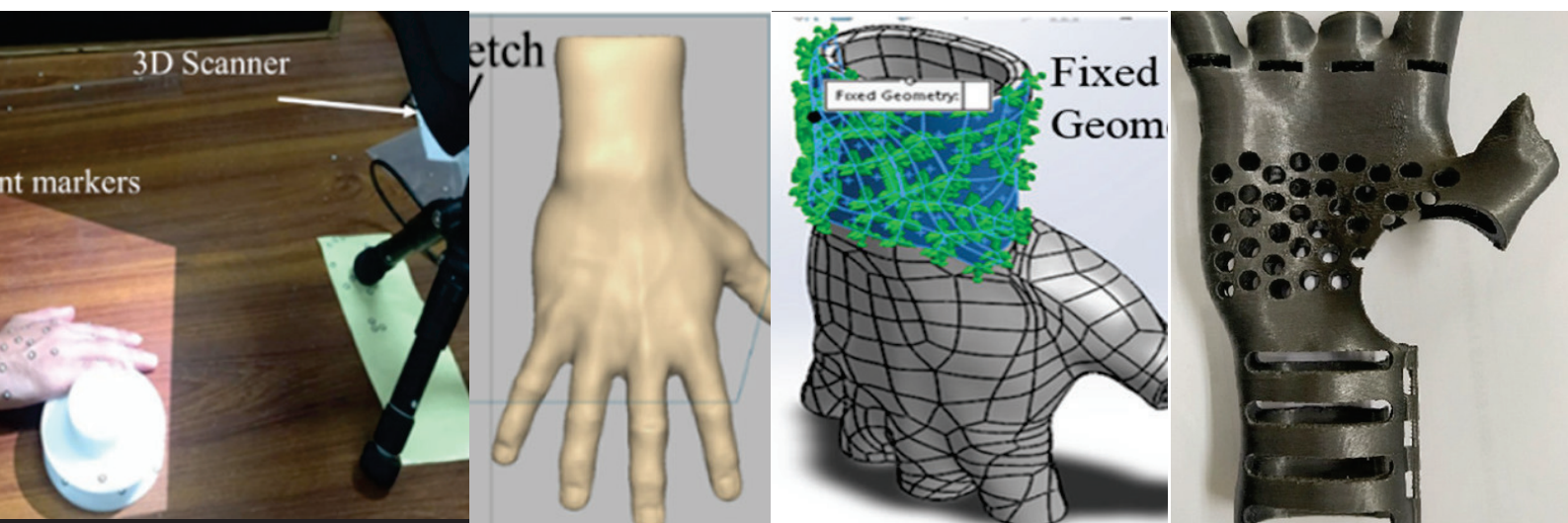
Fig.5 Processo de produção com termoplásticos de alta temperatura

Retirado de Northwest Orthotics & Prosthetics em : t.ly/Yr1NI



Métodos de produção inovadores

No que diz respeito à produção de ortóteses efetuadas com termoplásticos, metais e outros materiais, os métodos tradicionais ainda dependem amplamente do trabalho manual para ajustes e acabamentos. No entanto, com o avanço de novas tecnologias como o CAD, Computer-Aided Design, e a manufatura assistida por computador, CAM, o processo de produção de algumas ortóteses tem sido significativamente otimizado (Supan, 2019).



O CAD permite a criação de modelos tridimensionais precisos com base em medições exatas da anatomia do paciente. Essa tecnologia facilita a realização de modificações rápidas e eficientes, ajustando parâmetros que influenciam rigidez e flexibilidade para atender às necessidades específicas dos pacientes (Supan, 2019). Isso garante um melhor ajuste e funcionamento da ortótese, além de reduzir significativamente o tempo de produção. Com os avanços na fabricação aditiva, as ortóteses impressas em 3D, frequentemente produzem resultados biomecânicos e cinemáticos semelhantes ou até superiores aos das ortóteses fabricadas por métodos tradicionais, além de oferecerem maior satisfação e conforto ao

Fig.6 Processo de produção com fabricação aditiva

Imagens retiradas de (Jan et al., 2023)

paciente (Choo et al., 2020). Graças às tecnologias de fabricação aditiva é possível produzir esses produtos com uma estrutura mais complexa sem que o seu custo seja muito elevado uma vez que a complexidade não é a base do preço final, mas sim o material utilizado, além disso, elimina-se a necessidade de produção de moldes (Štefanovič et al., 2021).

A combinação dos métodos CAD/CAM e da fabricação aditiva está a transformar este campo, abrindo caminho para o desenvolvimento de dispositivos altamente personalizados e funcionais, adaptados às necessidades individuais dos pacientes (Supan, 2019).

4

**Captura de
anatomia**

4.1 Métodos tradicionais

Moldes

A utilização de moldes é uma técnica fundamental na captura da anatomia tridimensional do paciente, especialmente em casos de deformidades complexas, como por exemplo da coluna vertebral. Este método, além de capturar com precisão as medidas físicas do tronco e os pontos anatômicos correspondentes, é essencial para garantir que a ortótese seja eficaz e confortável.

Existem diversas técnicas de moldagem utilizadas, cada uma com variações nas etapas ou na ordem dos passos realizados. Apesar dessas variações, o objetivo final é sempre o mesmo: adquirir um molde tridimensional preciso do paciente. Por exemplo, a técnica de moldagem com gesso é ainda amplamente utilizada, envolve a aplicação de ligaduras de gesso no corpo do paciente para criar um molde negativo, que é posteriormente preenchido com gesso líquido para formar um modelo positivo. Este modelo positivo é então modificado manualmente pelo técnico para ajustar e corrigir as imperfeições anatômicas antes de ser utilizado na fabricação da ortótese final (Fisk et al., 2017). Um exemplo é o molde para uma ortótese cervico-toraco-lombo-sacral, CTLSO, onde o paciente é preparado com uma malha tubular, seguido de marcações anatômicas, aplicação de ligaduras de gesso e pressão em pontos específicos para capturar a forma exata e corrigir parcialmente a deformidade. Após o endurecimento do gesso, o molde é cortado com uma serra e cuidadosamente removido, preservando a forma capturada (Fisk et al., 2017).

Outra técnica comum é o uso de uma caixa de espuma para capturar uma impressão negativa do pé do paciente. Neste método, o paciente coloca o pé numa caixa de espuma enquanto o profissional aplica pres-

são ao longo do eixo tibial, empurrando o calcanhar e a parte anterior do pé para dentro da espuma. A impressão resultante serve como um molde negativo, que é então preenchido com gesso para criar um modelo positivo. Este método é menos técnico e mais eficiente em termos de tempo comparado à moldagem com gesso, sendo frequentemente utilizado para a fabricação de ortóteses de pé (Lusardi et al., 2013).



Fig.7 Moldes para ortóteses

À esquerda - molde com espuma; À direita - molde com gesso.

Imagens retiradas de:
(Lusardi et al., 2013)

Existem casos, onde, devido à complexidade da anatomia é necessário a utilização de outro material, em alguns casos, podem ser utilizados moldes de alginato uma vez que este material permite obter a anatomia de maneira confortável, rápida e com pouco investimento. No entanto, devido à sensibilidade do alginato à temperatura e à humidade, é importante que o molde positivo seja criado o mais rápido possível após a moldagem inicial, para evitar deformações. Também é possível utilizar silicone para a criação de moldes, mas, ao contrário do alginato, o silicone não é afetado pela humidade e oferece um elevado nível de precisão, capturando detalhes finos da anatomia. No entanto, este tem um tempo de secagem mais lento, o que exige que o paciente permaneça imóvel durante o processo de moldagem. Embora esses processos sejam mais comumente usados na medicina dentária, existem ortóteses que, devido

à sua complexidade, requerem o uso desses tipos de moldes para garantir um ajuste e funcionalidade adequados (Santos et al., 2024).

Medição direta

Na prática clínica, os profissionais de saúde utilizam uma série de dispositivos de medição, incluindo paquímetros, compassos, antropômetros e fitas métricas, para obter dimensões como o comprimento do membro, a circunferência e pontos de referência anatómicos específicos. Por exemplo, o antropômetro é preferido pela sua precisão na medição das dimensões lineares, enquanto as fitas métricas circunferenciais são utilizadas para avaliar o perímetro dos membros em vários pontos. Estas medições são cruciais para a concepção de ortóteses que se adaptem à anatomia do doente, ou para ajustar ortóteses já existentes.

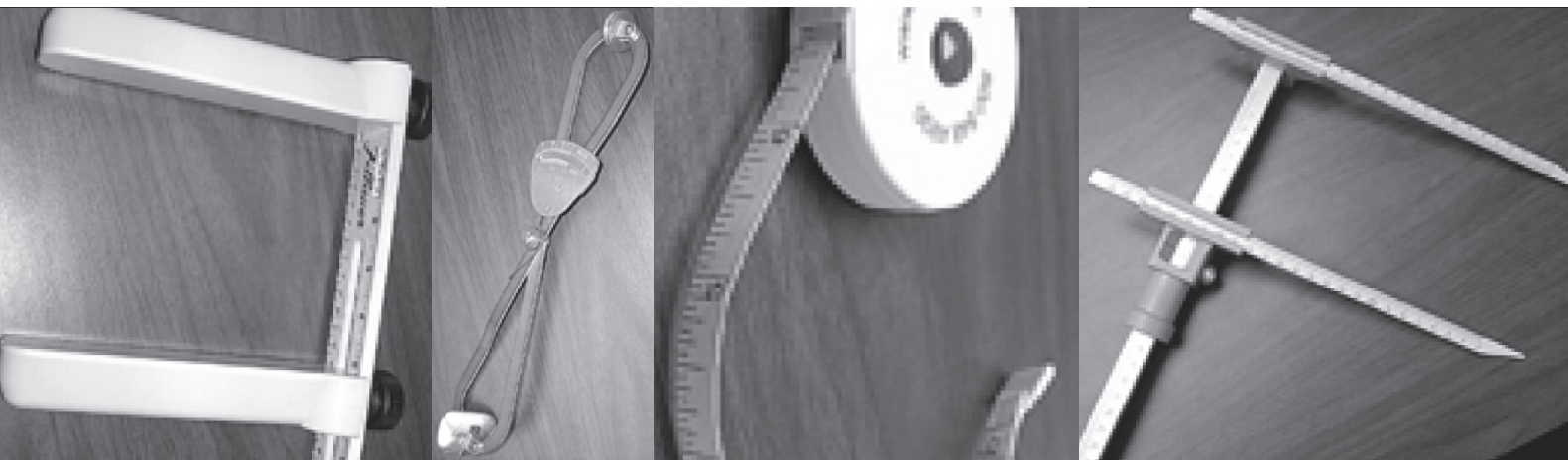
O estudo da precisão e fiabilidade das medições realça a importância da seleção de ferramentas apropriadas para o desenvolvimento de ortóteses. Dispositivos como o compasso de espessura, utilizado para medição de circunferências por exemplo em ortóteses cranianas (Maedomari et al., 2023), e a fita métrica padrão demonstraram fornecer medições precisas, que são vitais para a criação de dispositivos ortopédicos personalizados, adaptados às necessidades individuais. Por outro lado, as ferramentas que carecem de exatidão, como o paquímetro VAPC¹ ou compasso de pontas direitas, podem conduzir a erros significativos, comprometendo, em última análise, a eficácia da ortótese (Antunes, 2021; Geil, 2005).

Além disso, a técnica utilizada durante a medição desempenha um papel fundamental para garantir a consistência e a precisão. Os profissionais devem ser treinados para segurar os instrumentos paralelamente ao membro e para enrolar as fitas métricas perpendicularmente ao eixo longo do membro, esta atenção ao detalhe minimiza a variabilidade e

1. Vertical Anterior-Posterior Caliper

aumenta a fiabilidade das medidas obtidas (Geil, 2005).

Mesmo com os avanços tecnológicos, estes métodos ainda são utilizados para obter medidas essenciais no ajuste das ortóteses. No entanto, a utilização exclusiva desses métodos nem sempre garante um ajuste ideal da ortótese.



Conformação direta

Apesar da utilização de termoplásticos de baixa temperatura ser uma das possibilidades na produção de ortóteses, esta técnica também é utilizada para a captura de anatomia. O processo envolve aquecer o termoplástico até que este se torne maleável, permitindo que seja moldado diretamente sobre a pele do paciente. O material é então conformado à área desejada, como um membro ou outra parte do corpo, e, à medida que arrefece, endurece, formando um molde negativo da anatomia. Este molde negativo pode, posteriormente, ser utilizado para criar réplicas anatómicas ou servir como base para a produção de ortóteses.

Este método permite que a ortótese seja moldada diretamente no paciente, ajudando a capturar os contornos e dimensões específicas da sua

Fig.8 Instrumentos de medição

Da esquerda para a direita: antropómetro; compaço de espessura; fita métrica; paquímetro VAPC;

Retirado de (Geil, 2005)

anatomia. Assim, facilita um ajuste que considera as características anatômicas individuais do paciente, sendo uma abordagem prática em ambientes onde a rapidez e a precisão são importantes. A utilização deste método para o desenvolvimento de ortóteses permite que estas sejam criadas no momento e ajustadas de acordo com o *feedback* do paciente, não necessitando de fases adicionais (Paterson et al., 2015).

4.2 Scanner 3D

Com os avanços tecnológicos, os *scanners* 3D têm sido cada vez mais utilizados para capturar a morfologia dos pacientes. Nos últimos anos, esses dispositivos permitiram diversas aplicações, desde a arquitetura, para captura de detalhes e topografia, até à engenharia, na produção de peças. Consequentemente, existem várias tipologias de *scanners* 3D, que utilizam tecnologias diferentes e possuindo características específicas.

Fotogrametria

A fotogrametria é um processo que utiliza várias fotografias para criar desenhos ou imagens mensuráveis, podendo gerar uma nuvem de pontos 3D a partir das fotografias 2D, quando estas são capturadas de diferentes ângulos e com significativa sobreposição do objeto.

Este método é particularmente útil para documentar grandes áreas, como edifícios ou terrenos, onde o uso de *scanners* a laser terrestres seria mais demorado e complicado. Existem duas categorias principais de fotogrametria: aérea e terrestre de curta distância, ambas utilizam abordagens semelhantes para capturar e processar dados.

O sucesso da fotogrametria depende da capacidade do *software* de processamento de imagens, utilizando técnicas como *Multiview Stereo* (MVS) e *Structure from Motion* (SfM). O MVS é uma técnica que usa correspondências de características idênticas entre duas ou mais fotografias para determinar a forma 3D mais provável que originou essas imagens a partir de uma série de fotos sobrepostas, bem como dos parâmetros da câmara, como a distância focal da lente, para construir uma imagem 3D. A técnica SfM vai mais além, utilizando algoritmos para calcular a localização da câmara e criar uma imagem final bem definida e à escala

(Confalone et al., 2023).

A fotogrametria é geralmente mais rápida e menos dispendiosa que outros métodos, exigindo apenas uma câmara e *software* para processar as imagens.

Fig.9 Digitalização com fotogrametria

Imagem de University of british columbia em : t.ly/Rt-CK



Luz estruturada

Structured light scanning é um termo amplo que descreve o processo de registo da forma de um objeto através da projeção de um padrão de luz sobre o objeto e da deteção das deformações nesse padrão causadas pela geometria da superfície (Ebrahim, 2015).

O padrão de luz projetado é gerado por uma combinação de lentes, grades óticas e obturadores. Um detetor integrado no *scanner* capta as mudanças no padrão de luz conforme ele interage com a superfície do objeto. Uma câmara de alta velocidade, ou um par de câmaras, deslocadas da fonte de luz no *scanner*, capturam múltiplos quadros por segundo para registar as deformações da grade de luz causadas pela geometria da superfície do objeto. O *software* do *scanner* então calcula a distância para os diversos pontos capturados, criando uma imagem 3D da superfície. À medida que o *scanner* se move sobre o objeto, múltiplos quadros são analisados e combinados para formar uma imagem digital 3D com-

pleta do objeto (Confalone et al., 2023).

Nos *scanners* de luz estruturada, a resolução da câmara, ou o número de pixels, é um fator importante no sentido em que, câmaras com maior definição permitem que o *scanner* distinga mais detalhes aumentando a precisão.

Embora estes *scanners* sejam eficazes em várias aplicações, existem algumas limitações, no sentido em pode ser difícil medir o interior de pequenos orifícios ou fendas estreitas, uma vez que a superfície adjacente pode bloquear a linha de visão da câmara, mesmo que a luz projetada consiga penetrar no interior. Saliências na superfície também podem causar sombras, dificultando a deteção de anomalias resultando em lacunas nos dados coletados.

Além disso, características da superfície, como reflexividade, cor ou translucidez, podem representar desafios semelhantes. Cantos e arestas podem criar múltiplos caminhos para a luz alcançar a câmara ou permitir reflexões parciais que poderão desvirtuar os resultados. Este “ruído” nos dados pode ser corrigido durante a fase de pós-processamento do projeto (Georgopoulos et al., 2010).

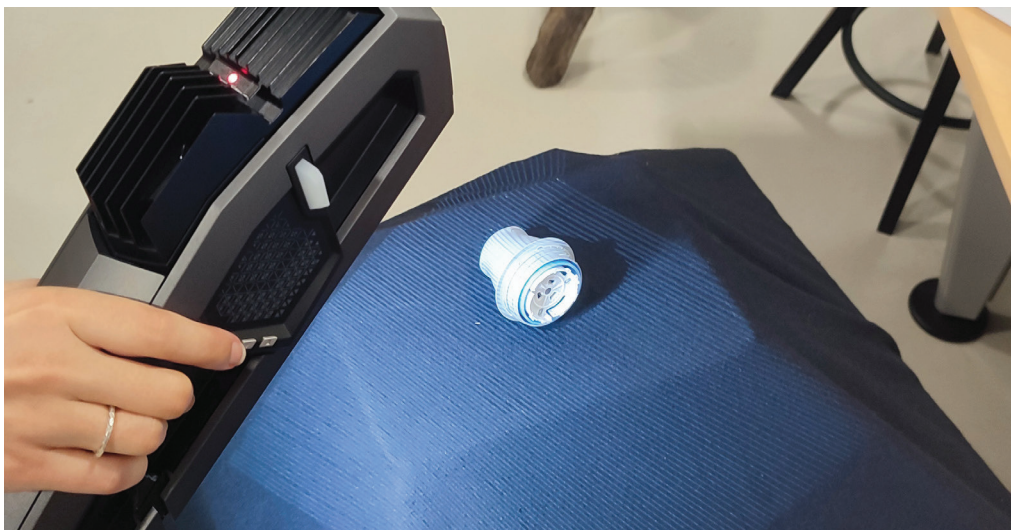


Fig.10 Digitalização com luz estruturada

Imagem de Ana Cação

O laser é uma tecnologia utilizada para capturar digitalmente a geometria de objetos e superfícies em três dimensões com alta precisão. Este processo envolve o uso de feixes de laser que são projetados sobre a superfície do objeto. Ao refletir, esses feixes são capturados por sensores que calculam a distância entre o *scanner* e a superfície, criando um modelo digital do objeto.

Existem diferentes tipos de *scanners* 3D a laser, incluindo *scanners* de tempo de voo, *scanners* de triangulação a laser, e *scanners* de fase de deslocamento. Cada um desses métodos tem as suas próprias vantagens e aplicações específicas, mas todos compartilham a capacidade de capturar rapidamente milhões de pontos de dados, resultando em nuvens de pontos que representam a superfície do objeto digitalizado (Ebrahim, 2015).

Fig.11 Digitalização com laser

Imagem de Artec 3D em: t.ly/BAAtZr



Estes scanners são amplamente utilizados na indústria da manufatura, arquitetura, conservação de património e saúde. São ideais para capturar formas complexas e detalhadas, especialmente em levantamentos arquitetónicos e na digitalização de artefactos históricos, permitindo a preservação precisa sem contacto físico e evitando danos. Apesar das suas inúmeras vantagens, pode apresentar desafios, como a dificuldade

em capturar superfícies espelhadas ou transparentes. No entanto, com a contínua evolução da tecnologia e o desenvolvimento de novos *softwares* e técnicas de processamento de dados, essas limitações estão a ser superadas (Confalone et al., 2023).

Tomografia computadorizada

A tomografia computadorizada (*CT scan*) é uma tecnologia amplamente utilizada para a captura de imagens tridimensionais detalhadas da anatomia do paciente. Este método envolve o uso de raios X para capturar imagens de cortes transversais do corpo, que são então processadas por um computador para criar uma representação 3D completa das estruturas internas.

Durante um exame de tomografia computadorizada, o paciente é posicionado numa mesa que se move através de um anel, que contém o tubo de raios X e os detectores. À medida que a mesa avança, o tubo de raios X gira ao redor do paciente, emitindo feixes de raios X em ângulos variados. Os detectores registram a quantidade de raios X que passa através do corpo, e essas informações são utilizadas para gerar imagens seccionadas do corpo do paciente.

Essas secções, que podem ter espessura milimétrica, são então combinadas por *software* especializado para criar uma imagem tridimensional detalhada das estruturas internas, incluindo ossos, órgãos, vasos sanguíneos e tecidos moles. A precisão e o nível de detalhe proporcionados pelos *CT scans* tornam-nos uma ferramenta indispensável em várias áreas da medicina.

O uso de *CT scans* para a captura de anatomia tridimensional é particularmente valioso em situações onde é necessário um conhecimento

detalhado da anatomia interna do paciente. Por exemplo, em procedimentos cirúrgicos complexos, as imagens 3D obtidas por CT permitem aos cirurgiões planejar a intervenção com maior precisão, minimizando riscos e melhorando os resultados (Computed Tomography (CT), n.d.).

Fig.12 Digitalização com tomografia computadorizada

Retirado de UC Davis Health em : t.ly/ynu3F



Scanner de contacto

A Máquina de Medição por Coordenadas (CMM) tem sido o padrão de referência em metrologia² industrial devido à sua alta precisão. Este dispositivo mede a geometria física de um objeto utilizando uma sonda que, ao tocar na superfície do objeto, regista um ponto de dados nas coordenadas XYZ (Ebrahim, 2015).

A CMM é montada numa base rígida e estável, geralmente feita de granito ou aço, para evitar interferências de movimento ou vibrações externas durante as medições. Acima dessa base, uma ponte móvel e um braço vertical permitem que a sonda se desloque ao longo de três eixos, capturando dados muito precisos da superfície do objeto (Confalone et al., 2023).

Existem diferentes tipos de CMM's, como o tipo de ponte, gantry, canti-

2. Ciência que trata da medição das grandezas físicas, dos sistemas de unidades, dos instrumentos de medida e dos métodos e técnicas operatórias. Porto Editora – *metrologia* no Dicionário infopédia da Língua Portuguesa

lever, e braço horizontal, cada um projetado para atender necessidades específicas de medição em indústrias que produzem peças com diferentes características e tamanhos. Independentemente do tipo, todas as CMMs operam num sistema de coordenadas tridimensional (Confalone et al., 2023). Com este tipo de scanners apenas se obtém informação do ponto de contacto, podendo ser gerado um modelo 3D a partir desses pontos (Tóth & Živčák, 2014).

Apesar do seu rigor, a medição tende a ser muito lenta e não é adequada para objetos delicados, uma vez que o contacto da sonda pode deformar ou danificar o objeto. Por isso, é utilizada na indústria principalmente para a inspeção de peças rígidas (Ebrahim, 2015).

Com o avanço contínuo da tecnologia, os métodos de digitalização 3D têm-se tornado cada vez mais rigorosos, rápidos e acessíveis. As diferentes técnicas, desde a fotogrametria e a luz estruturada até aos *scanners* a laser e tomografia computadorizada, oferecem soluções variadas para capturar a morfologia de objetos e pacientes com alta precisão. Atualmente, é comum a combinação de várias tecnologias num único processo de digitalização, explorando os pontos fortes de cada método para superar limitações específicas. Essa evolução permite não só uma maior versatilidade na aplicação dos *scanners* 3D em diversas indústrias, como também uma melhoria significativa na qualidade e eficiência dos dados obtidos, ampliando as possibilidades de utilização e garantindo resultados mais precisos e confiáveis.

4.3 Comparação de métodos

A captura de anatomia para o desenvolvimento de dispositivos personalizados, como ortóteses e próteses, como anteriormente apresentado, pode ser realizado por meio de diversos métodos, cada um com suas próprias vantagens e desvantagens, dependendo das necessidades específicas do paciente e das características da ortótese a ser fabricada.

A medição direta é um método simples e acessível, que não requer equipamentos sofisticados e pode ser realizado com alguma rapidez. No entanto, a precisão desse método é limitada, dependendo muito da habilidade do técnico e da sua capacidade de interpretar corretamente as medições. Isso pode levar a variações nos resultados, tornando-o inadequado para capturar detalhes finos ou para aplicações onde a alta precisão é necessária (Geil, 2005).

Os moldes oferecem um nível maior de detalhe e, por não exigirem um grande investimento em materiais ou formação técnica, são um dos métodos mais utilizados. Contudo, o processo de moldagem pode ser desconfortável para o paciente e requer tempo adicional para a criação do modelo final. Além disso, materiais como alginato e gesso são suscetíveis a deformações se não forem manuseados adequadamente, dependendo da aptidão do técnico podendo comprometer a precisão do molde. Esses materiais também necessitam de um ambiente sem humidade para armazenamento adequado e podem ter um peso considerável (Farhan et al., 2021).

A conformação direta, por sua vez, permite que a ortótese seja moldada diretamente no paciente, garantindo um ajuste rápido, imediato e personalizado. No entanto, a precisão desse método também depende fortemente da habilidade do técnico. Além disso, as limitações dos ma-

teriais e dos processos de fabricação podem comprometer o ajuste e a funcionalidade do dispositivo. Isso pode afetar a adesão terapêutica do paciente, uma vez que dispositivos mal ajustados podem causar desconforto, má estética, e até mesmo problemas como pressão excessiva em proeminências ósseas, levando ao desenvolvimento de úlceras por pressão (Paterson et al., 2015).

No que toca à digitalização 3D foram apresentadas uma variedade de técnicas como *scanners* de contacto, fotogrametria, *scanners* a laser, luz estruturada e tomografia computadorizada. Cada uma dessas tecnologias possui características únicas. Os *scanners* de contacto, como as Máquinas de Medição por Coordenadas (CMM), são extremamente precisos e ideais para medir superfícies rígidas, mas são lentos e inadequados para objetos delicados além de serem dispendiosos (Pham & Hieu, 2008; Ter Haar et al., n.d.). A fotogrametria, por outro lado, é uma solução mais económica, mas pode oferecer menor precisão, especialmente em áreas pequenas ou complexas, e a sua qualidade depende muito da experiência do utilizador, da qualidade e capacidade de processamento do *software* utilizado (Ciobanu et al., 2013).

Os *scanners* a laser são valorizados pela sua capacidade de capturar detalhes finos e formas complexas com alta precisão, no entanto, dependendo da tipologia de laser, pode ser mais difícil obter detalhes em objetos próximos. Além disso, enfrentam desafios ao lidar com superfícies espelhadas ou transparentes e tendem a ser mais dispendiosos (Ebrahim, 2015; Confalone et al., 2023). A luz estruturada oferece uma combinação de precisão e velocidade, sendo eficaz em diversas aplicações, embora possa ter dificuldade em capturar pequenos orifícios ou fendas e não apresenta resultados muito promissores quando utilizado no exterior e é necessário um investimento considerável (Confalone et al.,

2023). Já a tomografia computadorizada é especialmente útil para obter imagens tridimensionais detalhadas de estruturas internas, mas envolve altos custos e alguma exposição à radiação (Stephen Hughes, 2011).

Assim, a escolha do método de captura de anatomia depende das necessidades específicas de cada situação. Com o avanço contínuo da tecnologia, é possível combinar diferentes métodos para aproveitar os pontos fortes de cada um, garantindo resultados mais precisos e eficientes. No entanto, diversos estudos concluíram que os métodos de digitalização 3D apresentam resultados mais promissores em termos de rapidez e precisão em comparação com os métodos tradicionais (Farhan et al., 2021; Lee et al., 2014; Resende et al., 2021; Rocuts et al., 2024; Silva et al., 2024). No que diz respeito ao conforto dos pacientes, a utilização de *scanners* permite um procedimento mais confortável e menos invasivo (Roberts et al., 2016), mantendo o rigor necessário para o desenvolvimento da ortótese e permitindo a utilização de processos de fabricação aditiva, com novos materiais, novas estruturas e design inovador.

Métodos Tradicionais

Medição Direta

Simple e acessível;
Não requer equipamentos sofisticados;
Rápido;

Moldes

Maior nível de detalhe;
Não exige grande investimento (quer de materiais ou de formação);

Conformação direta

A ortótese é produzida no momento;
Ajuste rápido e imediato da ortótese;

Scanner 3D

Fotogrametria

Requer menor investimento económico;

Luz estruturada

Rápido e preciso;
Eficaz em diversas aplicações;

Laser

Captura detalhes finos com alta precisão;

Scanner de contacto

Extremamente preciso;

Tomografia computadorizada

Permite imagens tridimensionais detalhadas de estruturas internas;

Vantagens

Desvantagens

Precisão limitada;
Depende da habilidade do técnico;
Inadequado para capturar detalhes finos;

Pode ser desconfortável para o paciente;
Podem sofrer deformações;
Difícil de armazenar;

Depende da experiência do técnico;
O design está limitado às características do material;
Casos de dor ou lesão podem dificultar o processo;

Depende da capacidade de processamento do *software* e da experiência do utilizador;
Menor precisão;

Dificuldade em capturar pequenos orifícios ou fendas;
Inadequado para o exterior;
Requer um investimento económico considerável;

Dificuldade em digitalizar superfícies espelhadas ou transparentes;
Requer um maior investimento económico;

Lento e inadequado para objetos delicados;
Dispendioso de adquirir;

Envolve altos custos e alguma exposição à radiação;

Casos de estudo

5

Este capítulo foca-se na aplicação prática da digitalização 3D no desenvolvimento de produtos personalizados, com ênfase em ortóteses e próteses. O objetivo é explorar como a integração de tecnologias de digitalização tridimensional, alinhada com uma abordagem centrada no ser humano, pode revolucionar o processo de design, tornando-o mais eficiente, acessível e adaptado às necessidades individuais dos utilizadores.

Resultante da pesquisa efetuada, foram selecionados três casos de estudo — Andiamo, Naked Prosthetics e HEXR — que exemplificam a implementação de *scanners* 3D para personalizar produtos de saúde. Cada um destes casos oferece uma perspetiva única sobre a utilização da digitalização 3D para capturar a anatomia do paciente, apresentando diferentes formas de abordar a digitalização e eliminando a necessidade de métodos tradicionais, como a medição e os moldes.

A análise destes casos de estudo permitiu compreender os desafios, as decisões críticas e os benefícios da adoção de tecnologias 3D em produtos que se encontram no mercado, fornecendo uma base sólida para a aplicação desta metodologia a um novo projeto de desenvolvimento de uma ortótese. Assim, este capítulo procura não apenas validar o papel do designer no processo de desenvolvimento de produtos utilizando digitalização 3D, mas também destacar as oportunidades e limitações desta abordagem, contribuindo para a evolução das práticas no design de soluções personalizadas.

H E X R

HEXR – Capacetes de bicicleta personalizados

3. Fonte:

<https://www.npdevices.com/>

HEXR³ é uma empresa britânica que identificou a falta de ajuste nos capacetes de ciclismo tradicionais, o que compromete a proteção e o conforto dos ciclistas. Para resolver este problema, desenvolveu capacetes personalizados, utilizando uma combinação de digitalização 3D e impressão 3D. A personalização começa com a digitalização 3D da cabeça do cliente, realizada com recurso a um kit de digitalização, que utiliza uma touca com marcações para auxiliar a orientação e a marcação de pontos, conectado a um smartphone ou caso o utilizador assim o prefira pode deslocar-se a locais parceiros onde um técnico fará a digitalização. Os dados obtidos são usados para criar um modelo digital, que é então impresso em 3D com uma estrutura interna de favo de mel em nylon, garantindo leveza, durabilidade e absorção superior de impacto.

Durante o desenvolvimento, a HEXR enfrentou desafios como garantir que o processo de digitalização pudesse ser realizado por clientes sem experiência técnica, resolvendo-os com um kit que oferece orientações claras para garantir a qualidade dos dados capturados. O uso destas tecnologias demonstra que é possível obter uma digitalização corporal bem-sucedida por qualquer pessoa, desde que as ferramentas adequadas sejam fornecidas. No entanto, a simplicidade do objeto a ser digitalizado, como a cabeça com a touca, é um fator que facilita a precisão do processo.

Fig.13 HEXR - processo de desenvolvimento

Retirado de HEXR disponível em t.ly/W81Gc



Andiamo

A Andiamo⁴ é uma startup britânica que procura transformar o processo tradicional de fabricação de ortóteses especialmente para crianças com necessidades específicas. Inspirada pela experiência dos fundadores com o seu filho, que enfrentou um processo longo e desconfortável para obter uma ortótese, a Andiamo utiliza a digitalização 3D para capturar com rigor a anatomia dos pacientes e a impressão 3D para fabricar ortóteses. A escolha destas tecnologias foi fundamental para garantir a personalização, precisão e conforto, substituindo métodos tradicionais de moldes e acelerando o processo de produção. No desenvolvimento, surgiram desafios com a captura precisa da anatomia de pacientes com deformidades complexas e a necessidade de ajustar a quantidade de material para garantir a leveza e segurança das ortóteses. Estas dificuldades foram superadas com ajustes no *software* e um trabalho de equipa entre os profissionais de saúde e os técnicos de produção, assegurando que os modelos fossem otimizados e estivessem em conformidade com as indicações médicas. Este caso destaca a importância de integrar soluções tecnológicas intuitivas para produzir dispositivos médicos personalizados de forma rápida e económica. A Andiamo demonstra como processos inovadores podem reduzir custos e diminuir o tempo de entrega das ortóteses, melhorando significativamente o seu acesso e a qualidade de vida dos pacientes.

4. Fonte:
<https://andiamo.io/>



**Fig.14 Andiamo -
ortóteses AFO e
TO**

Retirado de Aleto Design disponível em t.ly/WrD0D

Naked Prosthetics

5. Fonte:

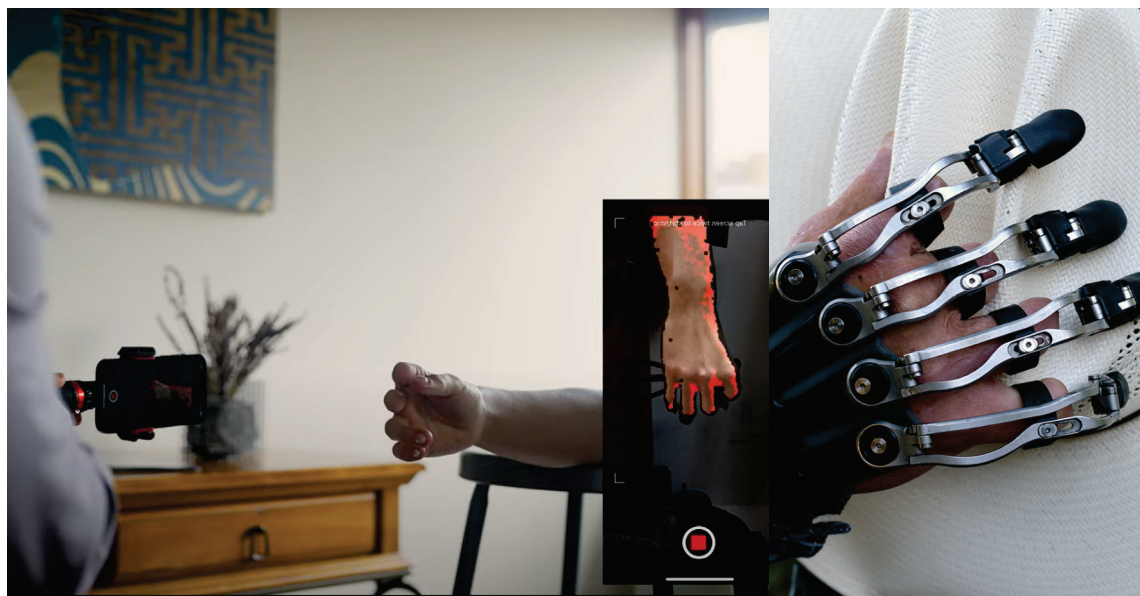
<https://www.npdevices.com/>

Naked Prosthetics⁵ é uma empresa norte-americana especializada em próteses de dedos utilizando digitalização 3D para capturar com precisão a anatomia dos membros residuais dos pacientes. Esse processo permite criar próteses altamente funcionais e ajustadas às necessidades específicas de cada usuário, fabricadas com impressão 3D e polímeros de alta resistência.

Todo o processo de medição para a criação de próteses personalizadas é realizado através da digitalização 3D do membro residual. A empresa utiliza uma aplicação de digitalização 3D para capturar a anatomia exata do paciente, eliminando a necessidade de medições manuais adicionais. Este método permite criar um modelo digital detalhado do membro residual, que é então usado para adaptar a prótese de forma precisa. A digitalização 3D garante uma captura abrangente das características anatômicas do paciente, resultando em próteses que oferecem um ajuste personalizado, conforto e funcionalidade aprimorados.

Fig.15 Naked Prosthetics - processo de digitalização e prótese final

Retirado de Naked prosthetics disponível em t.ly/zWUtm



6

**Desenvolvimento
de ortótese**

Este capítulo aborda a aplicação da digitalização corporal no processo de design de ortóteses com o objetivo de compreender o papel do designer neste contexto. O projeto centra-se numa abordagem de *Human-Centered Design* que foi implementada para garantir que o paciente estivesse no centro do processo, desde a recolha de dados anatómicos até à fase de prototipagem e validação respeitando as suas preferências e o seu nível de atividade.

No desenvolvimento da ortótese adaptou-se a metodologia de Ricardo Duarte (Duarte et al., 2019). Dada a tipologia da ortótese a desenvolver decidiu-se fundir algumas fases numa só de modo a tornar o processo de desenvolvimento mais fluido. Assim, foi dividido em cinco fases:

- 1 - Definição de especificações;
- 2 - Pesquisa de mercado;
- 3 - Conceito e restrições dimensionais;
- 4 - Adaptações de conforto, definição dos pontos de bloqueio e desenvolvimento do design final;
- 5 - Avaliação da ortótese.

A digitalização corporal foi então aplicada durante a fase de conceito e restrições dimensionais, onde foram testadas diferentes tecnologias de *scanners* 3D para determinar a melhor abordagem para capturar a anatomia do paciente. Nas fases subsequentes, o foco foi na adaptação do design para proporcionar conforto, funcionalidade e um ajuste preciso. Finalmente, a ortótese foi prototipada e validada com base no *feedback* do paciente, assegurando que o design cumprisse seus objetivos terapêuticos e ergonómicos.

6.1 Definição de especificações

Para o desenvolvimento da ortótese, foi selecionado o caso do Paciente A que apresenta uma lesão na articulação carpometacarpal do polegar causada por esforço repetitivo, resultando em dor durante o movimento. Após consulta com um profissional de saúde, foi recomendado o uso de uma ortótese de polegar para imobilização, visando reduzir a dor e o desconforto. Apesar da lesão ser considerada pouco severa, não exigindo uma ortótese feita sob medida, optou-se por desenvolver uma solução ajustada às especificidades do paciente, utilizando a digitalização corporal para captar com precisão a sua anatomia.

A especificação dada pelo profissional de saúde destaca que a ortótese deve proporcionar imobilização adequada da articulação da base do polegar e pode ser utilizada durante todo o dia em caso de dor [sic] ⁶. Assim, o objetivo do projeto é criar uma ortótese que ofereça um ajuste preciso, conforto e funcionalidade. Tendo em conta que o paciente mantém um estilo de vida ativo e que necessita da funcionalidade da mão para o seu trabalho, a ortótese deve permitir o movimento dos restantes dedos e ponta do polegar.

6. De acordo com o testemunho do paciente

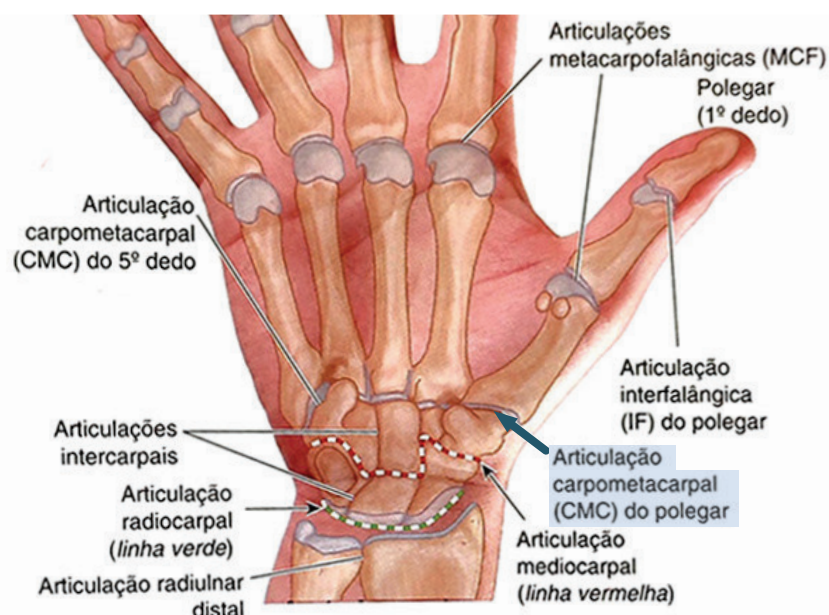


Fig.16 Anatomia da Mão

Retirado de (Moore et al., 2014) pg.783

6.2 Pesquisa de mercado

Nesta fase, foi realizada uma pesquisa de mercado para identificar soluções existentes que atendessem aos requisitos da ortótese de imobilização. Como o paciente é ativo e pretende manter um nível cómodo de atividade com a mão lesionada, a ortótese precisa permitir o livre movimento dos restantes dedos e não ser excessivamente volumosa. Foram identificadas três ortóteses que se destacam pela simplicidade, baixo volume e capacidade de imobilizar a articulação lesionada, possibilitando liberdade de movimentos da mão: Rhizomed, a JuzoPro Rhizo Soft e Manutec Fix Rizart Plus.



Fig.17 Rizomed

Retirado de Medi disponível em : t.ly/rd1wP

7. Fonte: t.ly/IuUTr

8. Valores consultados a 20/09/2024 em : t.ly/dsUID e t.ly/16FC4

A Rhizomed⁷ é uma ortótese rígida da marca MEDI, feita com uma estrutura de alumínio que mantém o polegar na posição correta. É ajustada com velcro na ponta do polegar e no pulso. Está disponível em quatro tamanhos, definidos pela distância do ponto central da palma da mão até à articulação do final do polegar, com preços que variam entre 48.02 € e 70,01 €⁸.



Fig.18 JuzoPro Rhizo Soft

Retirado de Juzo disponível em: t.ly/GhURQ

A JuzoPro Rhizo Soft⁹ oferece uma combinação de suporte rígido reforçado com alumínio e materiais acolchoados. Possui uma estrutura aberta que permite ventilação, tornando a ortótese menos quente. O dispositivo inclui alças ajustáveis, que permitem adaptar o nível de compressão e suporte conforme necessário. A ortótese é ajustada com tiras de velcro no meio do polegar e na mão, permitindo o movimento livre do pulso. Está disponível em dois tamanhos, definidos pela circunferência da articulação do meio do polegar, com preços entre 35,90 € e 48,20 €¹⁰.

9. Fonte: t.ly/wXxTi

10. Valores consultados a 20/09/2024 em: t.ly/8rUHH e t.ly/cE9IR



Fig.19 Manitec Fix Rizart Plus

Retirado de Orliman disponível em: t.ly/EWA69

A ortótese Manitec Fix Rizart Plus¹¹, da Orliman, é feita de material termoforrável, ajustando-se ao contorno da mão e proporcionando conforto ao utilizador. A sua estrutura rígida oferece uma imobilização eficaz, enquanto as alças de velcro permitem ajus-

11. Fonte: t.ly/dssCU

12 Valores consultados a 20/09/2024 em : t.ly/5qPW6 e t.ly/p-Oi

tes precisos para garantir estabilidade e conforto durante o uso. Além de oferecer suporte e imobilização, permite o movimento livre dos restantes dedos e do pulso. O material respirável contribui para o conforto durante períodos prolongados de utilização, e o seu acabamento acolchoado minimiza a irritação da pele. Está disponível em três tamanhos, de acordo com a largura da mão, e tem um valor comercial entre 35,03€ e 49,95€ ¹².

Apesar de existirem várias opções no mercado para diferentes tipos de lesão, a maioria destas ortóteses não permite uma adaptação personalizada à anatomia do paciente, limitando-se a ajustes de alguns parâmetros, o que, para a maioria das lesões ligeiras da articulação, pode ser suficiente para a imobilização. No entanto, quando se trata da personalização desta tipologia de ortótese, não foram identificadas soluções personalizadas especificamente direcionadas para esta finalidade. É importante destacar que o custo destas ortóteses tende a ser elevado. Assim, a impressão 3D abre caminho para a produção de ortóteses mais acessíveis, oferecendo uma alternativa mais económica e personalizada.

6.3 Conceito e restrições dimensionais

Na segunda fase, avançou-se para a definição do conceito e das restrições dimensionais da ortótese. O objetivo principal foi desenvolver uma ortótese que limitasse o movimento do polegar, garantindo a sua imobilização. Em termos anatómicos, procurou-se que esta se encaixasse confortavelmente entre o polegar e os restantes dedos. Embora a digitalização tenha sido feita em toda a mão, o foco principal foi dado à área do polegar.

Para garantir a melhor adaptação a este projeto, foram testados três scanners com características diferentes. O GoScan Creaform e o Miraco da Revopoint foram disponibilizados pelo Laboratório de Investigação em Design e Arte (LiDA). O objetivo foi identificar a tecnologia de digitalização mais adequada ao projeto. A mão foi digitalizada numa posição que fosse confortável para o paciente, permitindo a imobilização eficaz do polegar, mas garantindo que a ponta do polegar pudesse ser utilizada em tarefas quotidianas.

Como anteriormente referido os *scanners* 3D variam em termos de funcionalidades, preço e formas de operação, o que torna importante a avaliação de diferentes opções para identificar a solução mais adequada para uma situação específica, assim, foram utilizados três *scanners* diferentes para aferir qual seria a melhor solução.

O **GO! SCAN Spark**¹³ da Creaform é um *scanner* que necessita de ligação a um computador para a visualização da digitalização em tempo real e possui um *software* próprio para o tratamento dos dados capturados. Este *software* permite um elevado nível de detalhe e controle sobre a digitalização, tornando-o uma ferramenta poderosa para capturar geo-

13. Fonte: t.ly/UMIAs

metrias complexas e características anatómicas específicas. O *scanner* emite um padrão de 99 linhas de luz branca durante o processo de digitalização, o que possibilita uma captura precisa das superfícies podendo ter uma precisão até 0,05mm e um alcance entre 100 a 4000 milímetros.

Devido ao seu design inovador e funcional, foi reconhecido com o prêmio Red Dot Award em 2019 e, apesar das suas vantagens em termos de precisão e facilidade de uso, o GoScan Creafom é um investimento significativo, com um preço aproximado de 30.000 euros. No entanto, o seu desempenho e a qualidade dos dados capturados tornam-no uma ferramenta valiosa em projetos que exigem um elevado grau de detalhe e precisão.

Fig.20 GoScan Spark

Retirado de Creafom em : t.ly/kHTp8



14. Fonte: t.ly/ljF3j

O segundo *scanner* testado foi o **Miraco¹⁴**, desenvolvido pela Revopoint, que se destaca pela sua relação qualidade-preço. Com um valor inferior a 2000 euros, o Miraco Plus oferece uma solução eficiente para a captura de detalhes finos em diversos objetos. Utiliza uma combinação de fotogrametria e luz estruturada, proporcionando uma elevada precisão, com uma resolução de até 0,02 mm e um alcance entre 100 e 1000 milímetros. Esta capacidade torna-o adequado para uma ampla gama de aplicações que exigem um elevado nível de detalhe, desde a captura de pequenas peças até a digitalização de formas mais complexas.

Uma das principais vantagens do Miraco Plus é o facto de não necessitar de estar permanentemente conectado a um computador, uma vez que possui um ecrã integrado que permite a visualização em tempo real da digitalização e ajustes imediatos. Este recurso oferece flexibilidade e portabilidade, permitindo a utilização em diferentes ambientes. O *scanner* é utilizado com um *software open source* intuitivo, compatível com diversos sistemas operativos e disponível em formato de aplicação, facilitando o tratamento e exportação dos dados digitalizados de forma eficiente e acessível.



Fig.21 Miraco 3D Scan

Retirado de Revopoint em : t.ly/mNgP0

Por fim, testou-se o **Kiri Engine**¹⁵, uma aplicação que cria modelos 3D através de fotogrametria, transformando fotografias em malhas 3D. O processo é rápido e eficiente, permitindo que os utilizadores obtenham um modelo 3D em apenas alguns minutos, desde a digitalização até à geração do modelo final. Além disso, a aplicação oferece ferramentas de edição, refinamento e personalização, possibilitando ajustes diretamente na plataforma.

15. Fonte: <https://www.kiriengine.app/>

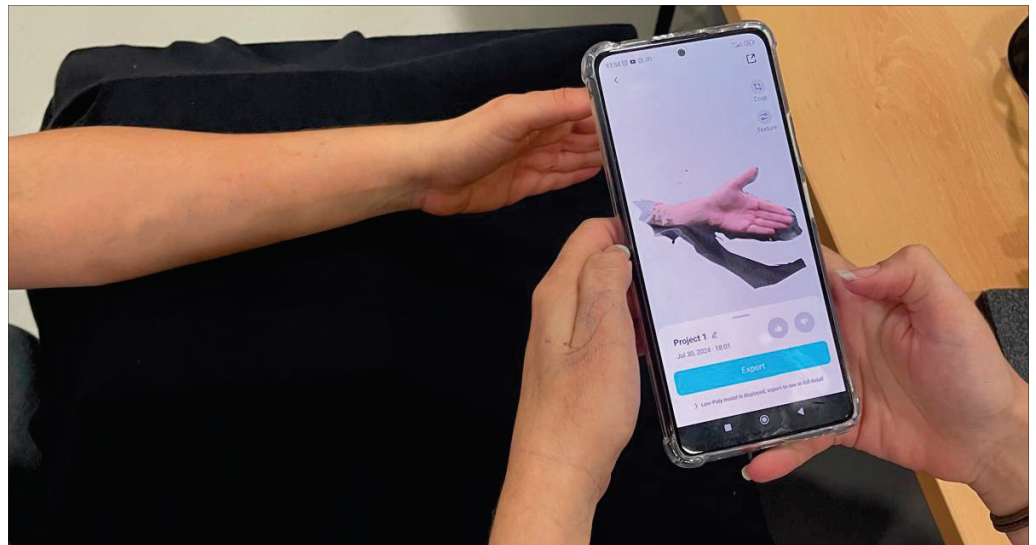
Como a aplicação permite a exportação em diversos formatos de ficheiros torna-se compatível com a maioria dos *softwares* que trabalham com malhas 3D. Um dos seus pontos fortes é o facto de não necessitar de requisitos especiais de hardware, tornando-a uma opção acessível para

uma vasta gama de utilizadores tanto de Android como de iOS.

A versão comercial tem um custo até 90 euros, no entanto neste projeto utilizou-se a versão experimental para a realização de testes.

Fig.22 Aplicação Kiri Engine em uso

Fotografia de Cátia Ferreira



Durante o processo de digitalização, surgiram dificuldades significativas, principalmente no que diz respeito do manter a mão numa posição estática. Embora o braço estivesse apoiado, a falta de suporte para a mão tornou o processo mais complexo. Inicialmente, tentou-se movimentar a mão enquanto o *scanner* permanecia fixo, mas logo se percebeu que, ao mover a mão, a posição dos dedos se alterava ligeiramente, o que gerava ruído e consequentes imprecisões na digitalização.

Diante desse problema, optou-se por manter a mão o mais estática possível, assegurando uma posição confortável para o paciente, e realizar a digitalização de forma rápida. Quanto maior o tempo de digitalização, maior a probabilidade de ocorrer movimento, o que comprometia a precisão dos dados capturados. Assim, a estratégia focou-se na rapidez e estabilidade durante o processo.



Fig.23 Resultado de digitalização com movimento

Imagem da Autora

No que diz respeito aos resultados, a digitalização realizada com o Kiri Engine apresentou o menor rigor, devido ao facto de terem sido tiradas apenas 31 fotografias, um pouco mais do que número mínimo necessário para criar uma nuvem de pontos. O processamento da malha revelou-se demorado, o que dificultou a identificação imediata de erros e falhas na digitalização. Além disso, verificou-se algum ruído no plano de fundo, bem como uma falta de definição em certas áreas. Como observado na imagem, os restantes dedos apareceram fundidos, e o modelo apresenta uma textura irregular.

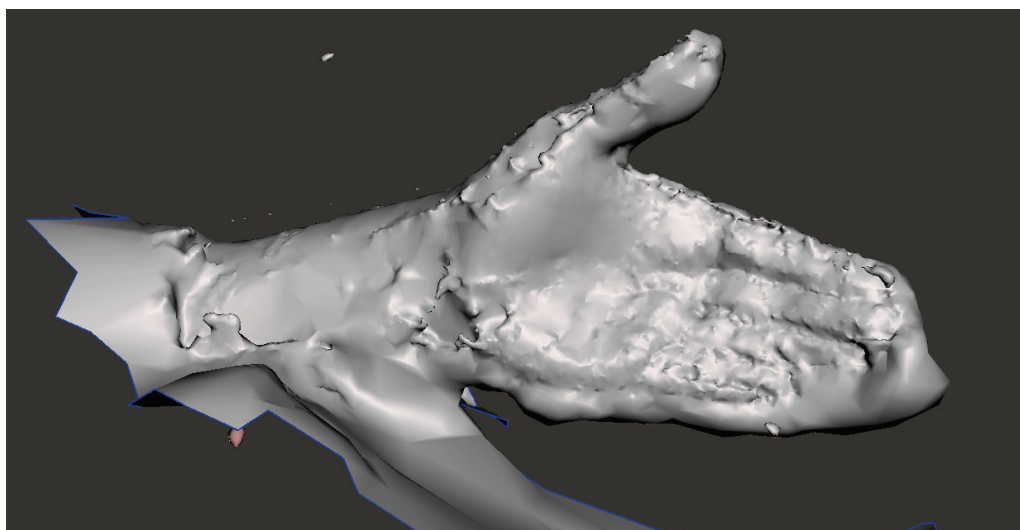


Fig.24 Resultado do scan Kiri Engine

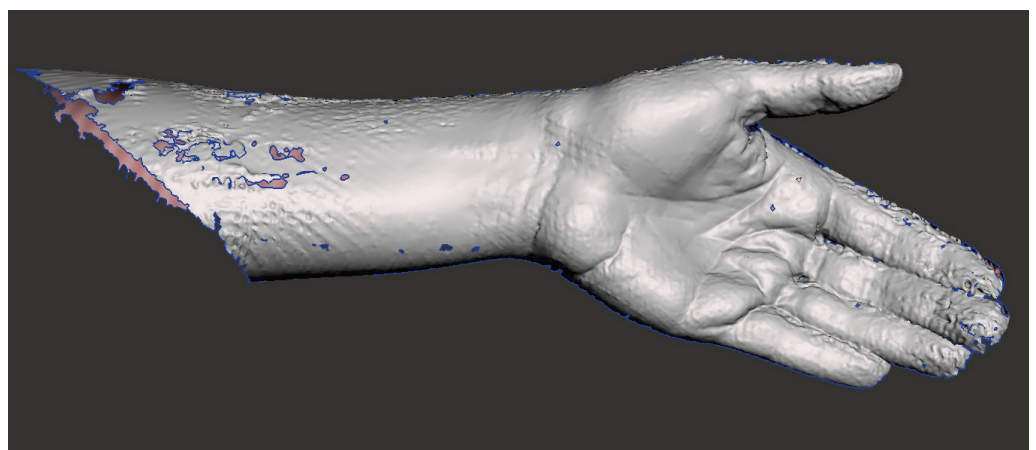
Imagem da Autora

Apesar destes constrangimentos, é importante considerar que, com uma área do corpo mais estabilizada, seria possível capturar mais imagens, o que resultaria num modelo mais preciso e detalhado. Isso demonstra que, embora o Kiri Engine tenha suas limitações, com ajustes e um cenário mais controlado, pode fornecer resultados satisfatórios em aplicações menos exigentes.

Quanto à digitalização realizada com o *scanner* Creafom, o processo foi mais ágil, embora tenha sido necessário realizar alguns testes prévios para determinar a melhor abordagem. Nos primeiros *scans*, a quantidade de ruído gerado impediu a sua utilização mas, após ajustes, foi possível obter um modelo final que capturava a anatomia da mão com um grau de detalhe muito satisfatório. Apenas restou algum ruído, que pode ser corrigido durante o pós-processamento. Contudo, após análise detalhada, percebeu-se que a extensão do polegar em relação à restante mão era insuficiente, o que comprometeria a eficácia da imobilização da ortótese.

Fig.25 Resultado do scan GoScan Spark

Imagem da Autora



Por outro lado, a digitalização com o Miraco, da Revopoint, apresentou bons resultados, embora algumas partes do polegar não tenham sido completamente digitalizadas. Ao tentar continuar o processo, a posição da mão já não era a mesma, o que impossibilitou a continuidade da digitalização. Apesar disso, foi possível, no pós-processamento, preencher

imperfeições e suavizar a malha de modo a torná-la utilizável.

Dessa forma, e considerando a forma da mão, optou-se por usar a digitalização obtida com o Miraco, apesar de necessitar de ajustes durante o pós-processamento para garantir a sua adequação ao projeto.



Fig.26 Resultado do scan Miraco

Imagem da Autora

O pós-processamento da digitalização foi realizado inicialmente utilizando o programa do próprio *scanner* para preencher e corrigir imperfeições no modelo. Após essa etapa, o modelo foi exportado para o *software Autodesk Meshmixer*, onde a malha foi suavizada, garantindo que a forma final estivesse pronta para ser utilizada na fase seguinte do desenvolvimento da ortótese. Esta etapa foi essencial para melhorar a qualidade do modelo digital, tornando-o mais adequado para o processo de design e prototipagem.

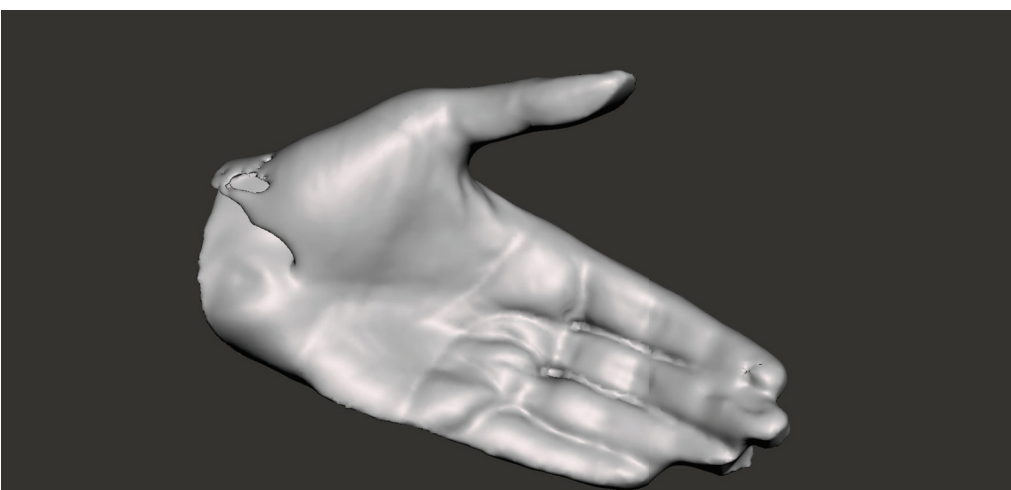


Fig.27 Malha corrigida

Imagem da Autora

Scanner	Tecnologia	Alcance/ precisão	Resultados
GO! SCAN Spark	Luz Estruturada	100 - 4000 mm 0.05mm	Bom grau de detalhe; Posição do polegar incorreta; Algum ruído;
Miraco	Luz Estruturada e Fotogrametria	100 - 1000 mm 0.02mm	Bom grau de detalhe; Posição do polegar correta; Falhas na digitalização;
Kiri Engine	Fotogrametria	---	Falta de definição da forma; Muito ruído;

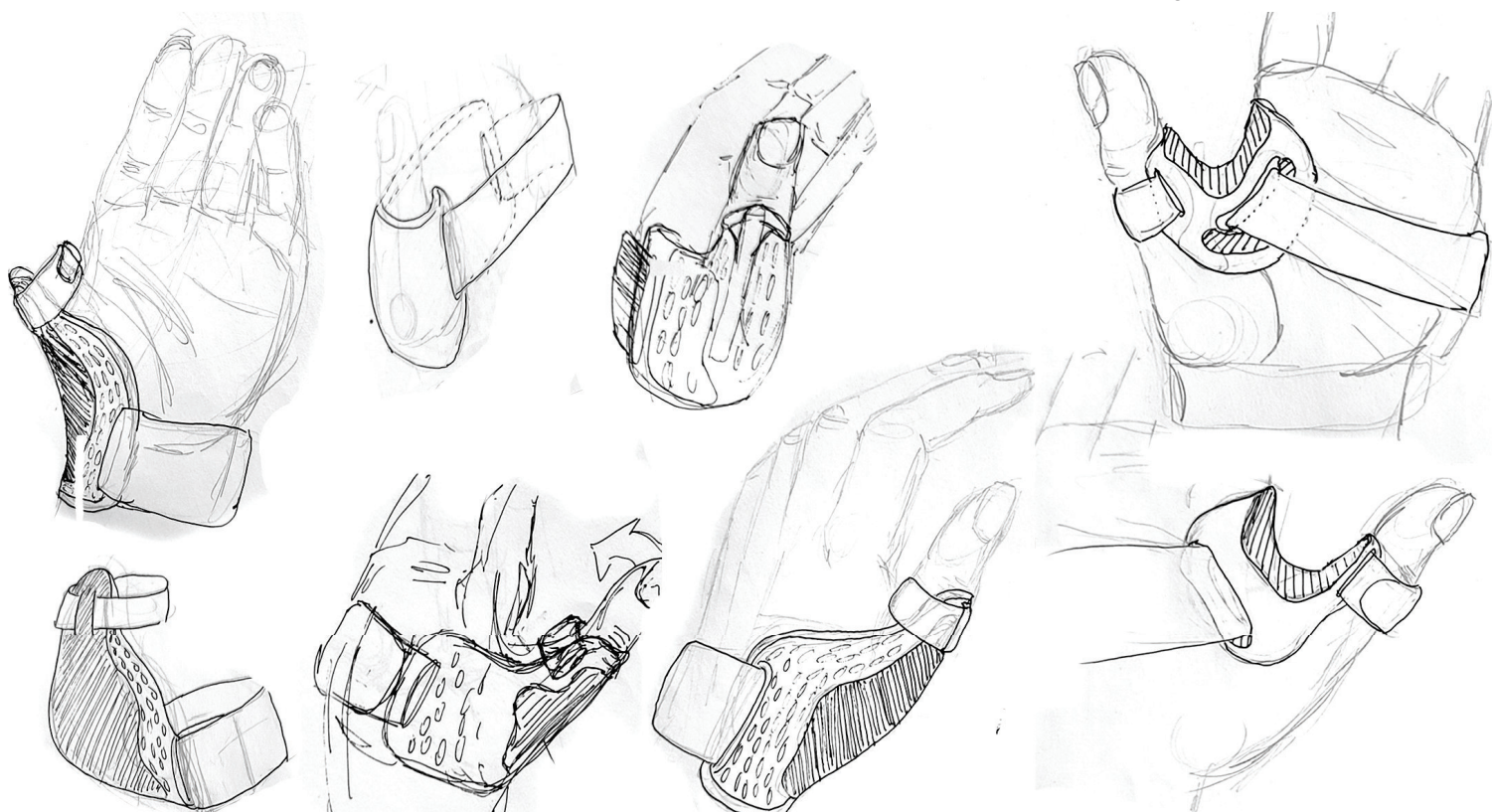
6.4 Adaptações de conforto, definição de bloqueio e definição da ortótese

O processo de design iniciou-se com a criação de esboços baseados nas referências do estudo de mercado e nas preferências do paciente. Durante esta fase, foram desenhados vários conceitos, sempre com o objetivo de utilizar a menor quantidade de material possível, garantir a imobilização necessária e proporcionar conforto ao utilizador. No entanto, percebeu-se que, ao desenhar a ortótese apenas na parte posterior do polegar, os movimentos de oposição e reposição não estavam a ser imobilizados de forma eficaz.

Diante desta limitação, o design foi reformulado para imobilizar o polegar através do espaço entre o polegar e os restantes dedos. Essa abordagem permitiu uma imobilização mais eficaz dos movimentos, mantendo o conforto e a funcionalidade desejada para o paciente.

Fig.28 Desenhos de desenvolvimento da ortótese

Imagem da Autora



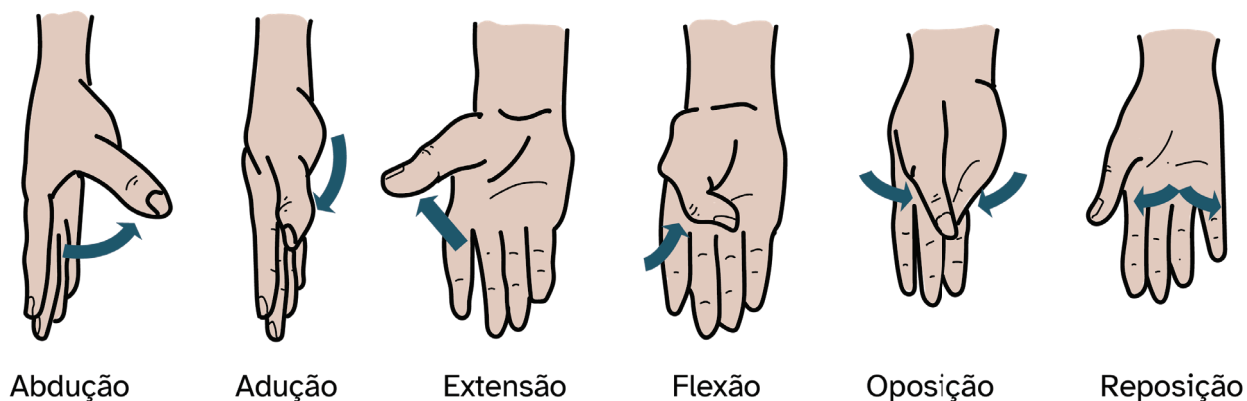


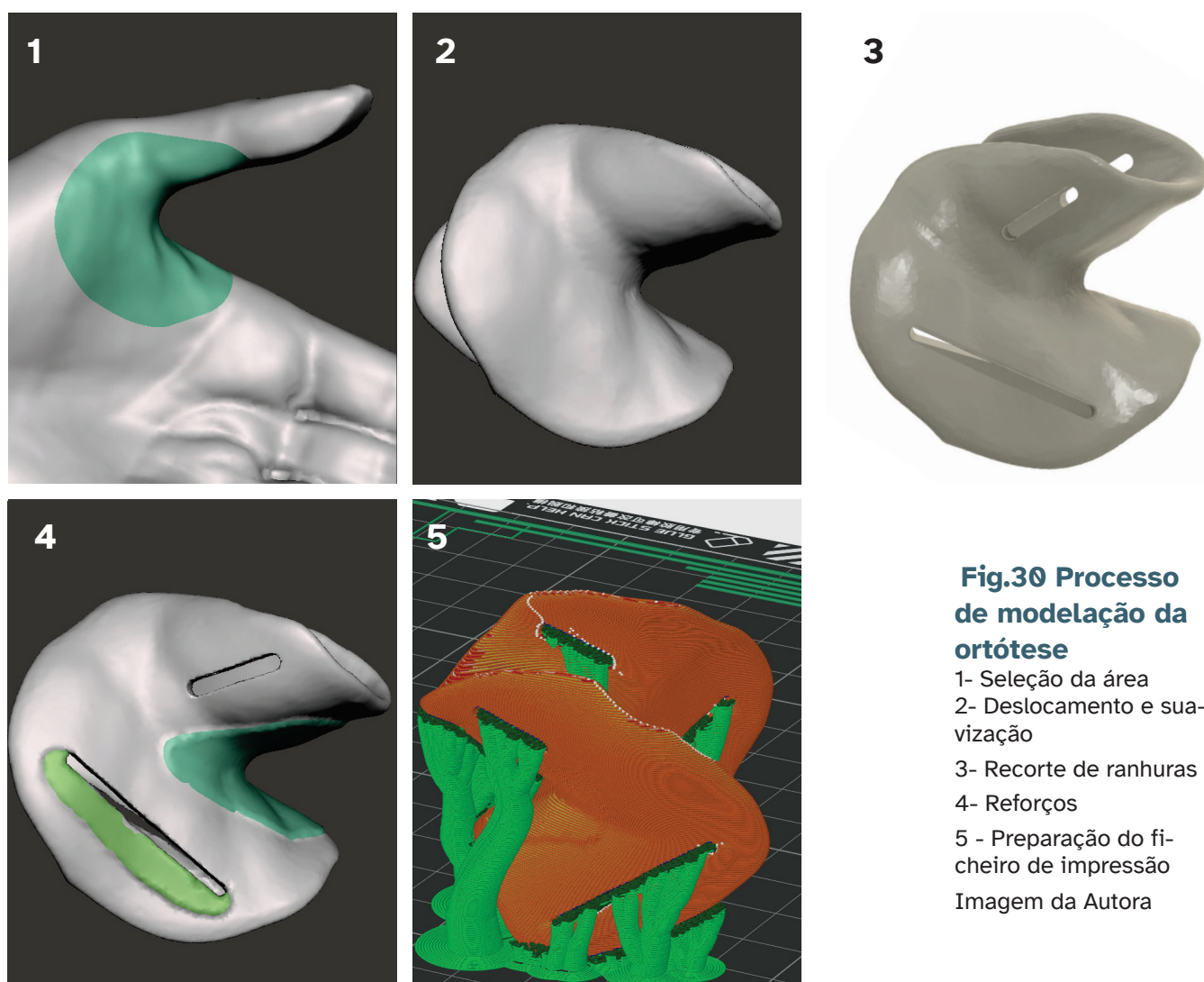
Fig.29 Movimento do polegar

Imagem da Autora adaptado de (Moore et al., 2014) pg.769

Outra preocupação importante no design da ortótese foi garantir a sua resistência, uma vez que, ao ser demasiado frágil, poderia ceder aquando da aplicação de força durante o movimento. Tendo em conta que se prevê imprimir a ortótese em filamento de ácido poliláctico (PLA), reforçaram-se as zonas mais sujeitas a forças, nomeadamente a área entre o polegar e os restantes dedos, assim como a ranhura da abertura inferior, para assegurar que o polegar estivesse devidamente imobilizado.

Com o design final definido, iniciou-se a fase de modelação. A partir da digitalização da mão do paciente, assegurou-se o correto encaixe e conforto. Utilizou-se o programa *Autodesk Meshmixer* para seleccionar a área da ortótese e foi criado um deslocamento de 2 mm, deixando espaço entre a mão e a ortótese, já considerando uma possível taxa de expansão do material. Suavizaram-se as arestas mais acentuadas e criou-se um segundo deslocamento de 2,5 mm, conectando-se ao primeiro. Após corrigir eventuais erros, o modelo foi exportado para o *software* de modelação 3D, *Autodesk Fusion 360*, onde se recortaram as ranhuras das fivelas. De volta ao *Autodesk Meshmixer*, seleccionaram-se as áreas a fortalecer e aplicou-se um terceiro deslocamento de 0,5 mm, suficiente para proporcionar um reforço adicional sem comprometer a flexibilidade da ortótese.

Por fim, o ficheiro foi preparado para impressão 3D foi preparado no *software* específico da impressora, *Bambu Studio*, onde se configuraram suportes em árvore para garantir um acabamento adequado. Definiu-se uma espessura de camada de 0.28mm e o modelo foi impresso na impressora *Bambu Lab X1 Carbono*. O processo de impressão durou 44 minutos, utilizando 14.4 gramas de PLA *Extrafil Branco* da marca *Filamentum* tendo um custo total de material gasto de 0.35€.



Após a impressão, foram adicionadas fivelas de aperto com elástico nas ranhuras desenhadas para o efeito, de forma a auxiliar na imobilização, mantendo, no entanto, a liberdade de movimento dos restantes dedos. Estas fivelas são ajustadas através de tiras de velcro, permitindo uma regulação precisa conforme necessário. Sendo que a ortótese foi feita sob medida para a mão do paciente, prevê-se que não necessite de suporte adicional para manter o polegar na posição correta, estando completa para o teste com o paciente.

Fig.31 Ortótese finalizada

Imagem de Pedro Cá

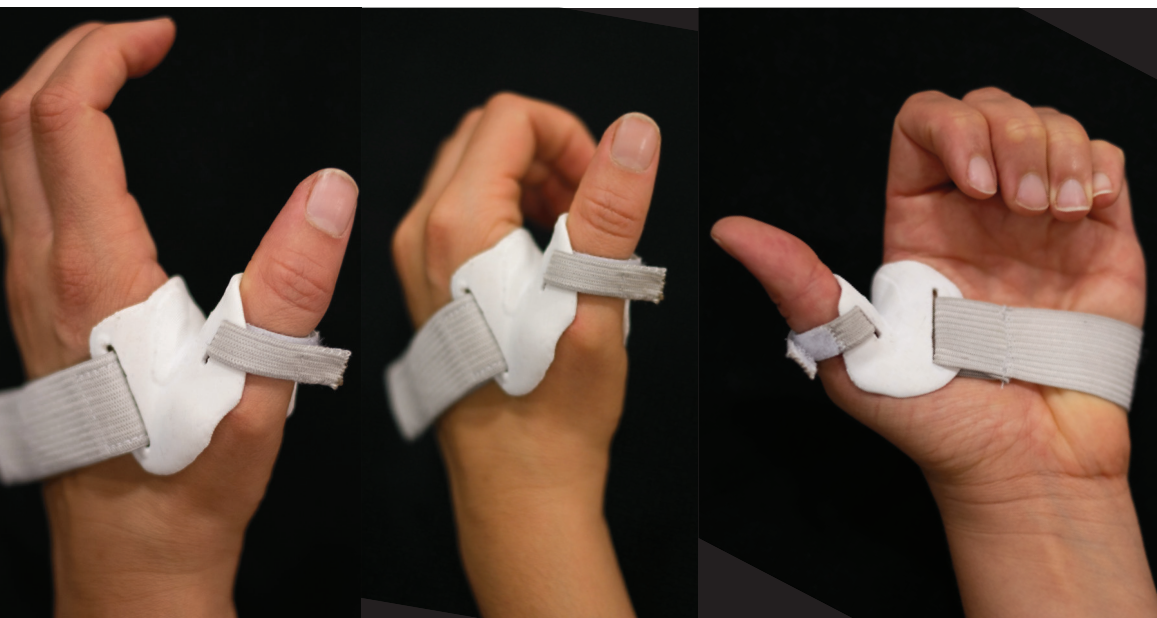


6.5 Avaliação do design da ortótese

Nesta última fase, a ortótese foi colocada à prova com o paciente para avaliar a sua adequação e funcionalidade. A primeira impressão foi bastante positiva, com o paciente relatando que o encaixe era perfeito e que o polegar estava devidamente imobilizado. Para verificar a eficácia da imobilização, testaram-se os seis diferentes tipos de movimentos do polegar anteriormente mencionados. Observou-se que com a ortótese, não era possível realizar esses movimentos, confirmando o sucesso da imobilização. Além disso, os restantes dedos conseguiram mover-se sem grandes dificuldades, validando a funcionalidade da ortótese ao permitir o movimento livre da mão, exceto o polegar, como era pretendido.

Fig.32 Teste funcional com o paciente

Imagem da Autora



Em termos de *feedback* do utilizador, este destacou que a colocação e a remoção da ortótese são bastante intuitivas, o que facilita o uso diário. O ajuste foi considerado adequado, adaptando-se de forma eficiente à anatomia da mão, proporcionando conforto durante o uso.

Além disso, o facto de a ortótese ser de dimensões reduzidas foi apontado como um fator positivo, tornando-a mais apelativa e discreta, sem comprometer a sua funcionalidade.

Relativamente ao comportamento do material, este correspondeu às expectativas, demonstrando a resistência necessária para o uso diário. A zona reforçada da ortótese cumpriu eficazmente o seu papel, eliminando a necessidade de incluir estruturas de alumínio, como é comum nas ortóteses disponíveis no mercado. Além disso, o material não sofreu deformações com o calor da mão ou o manuseamento constante. Apesar de existirem materiais certificados para uso médico que oferecem diversas opções, a ortótese foi impressa em filamento de PLA branco, o que, devido à rugosidade resultante da impressão, tende a acumular sujidade proveniente da gordura das mãos, exigindo maior cuidado na limpeza. O facto de ser de pequena dimensão facilita e torna a sua utilização intuitiva.

Apesar do *feedback* inicial ser positivo, é essencial obter uma avaliação após um período de uso mais prolongado. Esse acompanhamento é fundamental para avaliar não só o nível de conforto da ortótese ao longo do tempo, mas também para verificar se há resultados terapêuticos eficazes, como a redução da dor na articulação. Com esse *feedback* contínuo será possível validar a eficácia do design e do material utilizados, assegurando que a ortótese cumpre os objetivos terapêuticos pretendidos.



Conclusão

Um dos principais objetivos deste projeto foi compreender como a digitalização corporal pode ser aplicada no design de ortóteses. Através desta investigação, verificou-se que existem diferentes tipologias de digitalização 3D, e que estas tecnologias estão cada vez mais acessíveis, tanto em termos de facilidade de uso quanto de custo. Essa acessibilidade permite que empresas e instituições ampliem o uso da digitalização no desenvolvimento de ortóteses, promovendo uma personalização mais eficiente para o paciente. A digitalização não só possibilita o ajuste preciso da ortótese às características anatômicas do paciente, como também permite a modificação direta da malha digital antes da produção, otimizando o processo. No entanto, a qualidade da digitalização e da impressão 3D depende fortemente da competência do operador e da posição escolhida para digitalizar, o que pode influenciar tanto a precisão e consequentemente a funcionalidade da ortótese final.

A combinação da digitalização 3D com a fabricação aditiva permite desenvolver ortóteses de forma mais rápida e com um custo significativamente inferior às opções convencionais disponíveis no mercado, aumentando assim o acesso a ortóteses personalizadas e beneficiando um maior número de pacientes. No entanto, essa abordagem pode não ser aplicável a todas as tipologias de ortóteses, devido a requisitos mecânicos e estruturais específicos, além da dificuldade em produzir dispositivos volumosos. Para garantir a eficácia e segurança do tratamento, é importante que o desenvolvimento dessas soluções conte com aprovação e acompanhamento especializado do profissional de saúde. Ainda que as digitalizações realizadas durante este projeto não tenham sido perfeitas, demonstrou-se que é possível utilizar parte dos dados obtidos e trabalhar a malha posteriormente. Contudo, o uso de *softwares* para tratamento e modelação das malhas exige um conhecimento técnico prévio que nem sempre está ao alcance de todos os profissionais.

Em suma, a integração de tecnologias de digitalização corporal e impressão 3D no design de ortóteses mostrou-se uma estratégia promissora, oferecendo melhorias significativas na personalização e eficácia das soluções. Além disso, esta abordagem, com o devido acompanhamento técnico tem o potencial de democratizar o acesso a ortóteses personalizadas, tornando o processo mais rápido e economicamente viável.

Linhas futuras de investigação poderão centrar-se na aplicação da digitalização corporal a diferentes tipos de ortóteses, bem como em casos de deformações mais severas. Adicionalmente, a integração de inteligência artificial poderá ser explorada com o objetivo de otimizar os processos de digitalização e modelação, aprimorando assim a personalização e a eficácia das ortóteses.

Referências

8

Antunes, A. R. F. (2021). Bertillonage na Universidade de Coimbra: Estudo museológico dos instrumentos científicos da Bertillonage no MCUC. Bertillonage Na Universidade de Coimbra: Estudo Museológico Dos Instrumentos Científicos Da Bertillonage No MCUC. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/93351>

ASHT Splint Nomenclature Task Force, & American Society of Hand Therapists. (1992). Splint Classification System. American Society of Hand Therapists.

Barrios-Muriel, J., Romero-Sánchez, F., Alonso-Sánchez, F. J., & Salgado, D. R. (2020). Advances in Orthotic and Prosthetic Manufacturing: A Technology Review. *Materials* 2020, Vol. 13, Pag. 295, 13(2), 295. <https://doi.org/10.3390/MA13020295>

Brogna, L., Fantini, M., Morellato, K., Graziani, G., Baldini, N., & Cauli, O. (2022). Foot Orthosis and Sensorized House Slipper by 3D Printing. *Materials* (Basel, Switzerland), 15(12). <https://doi.org/10.3390/MA15124064>

Burns, J., Crosbie, J., Ouvrier, R., & Hunt, A. (2006). Effective Orthotic Therapy for the Painful Cavus Foot: A Randomized Controlled Trial. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 96(3), 205–211. <https://doi.org/10.7547/0960205>

Chen, R. K., Jin, Y. an, Wensman, J., & Shih, A. (2016). Additive manufacturing of custom orthoses and prostheses—A review. *Additive Manufacturing*, 12, 77–89. <https://doi.org/10.1016/J.ADDMA.2016.04.002>

Choo, Y. J., Boudier-Revéret, M., & Chang, M. C. (2020). 3D printing technology applied to orthosis manufacturing: narrative review. *Annals of Palliative Medicine*, 9(6), 4262–4270. <https://doi.org/10.21037/APM-20-1185>

Ciobanu, O., Ciobanu, G., & Rotariu, M. (2013). Photogrammetric Scanning Technique and Rapid Prototyping Used for Prostheses and Orthoses Fabrication. *Applied Mechanics and Materials*, 371, 230–234. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.371.230>

Computed Tomography (CT). (n.d.). retirado a 21 de Fevereiro de 2024, de <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/computed-tomography-ct>

Confalone, G., Smits, J., & Kinnare, T. (2023). 3D scanning for advanced manufacturing, design, and construction. em: *3D Scanning for Ad-*

vanced Manufacturing, Design, and Construction. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119758532>

Coppard, B., & Lohman, H. (2015). *Introduction to Orthotics, A clinical reasoning and Problem-solving approach* (4^o ed.). Elsevier Mosby.

Duarte, R., Nadeau, J. P., Ramos, A., & Mesnard, M. (2019). Design Method to Structure Orthosis Design: Camptocormia Postural Brace Case Study. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3513947>

Ebrahim, M. A-B (2015). 3D Laser Scanners' Techniques Overview. *International Journal of Science and Research*, 4(10). <https://www.researchgate.net/publication/282753883>

Farhan, M., Wang, J. Z., Bray, P., Burns, J., & Cheng, T. L. (2021). Comparison of 3D scanning versus traditional methods of capturing foot and ankle morphology for the fabrication of orthoses: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/S13047-020-00442-8>

Fisk, J. R., Lonstein, J. E., & Malas, B. S. (2017). *Spinal Orthotics*. www.exceed-worldwide.org/atlas-of-spinal-orthotics

Geil, M.D. (2005). Consistency and accuracy of measurement of lower-limb amputee anthropometrics. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 42(2), 131-140. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2004.05.0054>

Georgopoulos, A., Ioannidis, C., & Valanis, A. (2010). Assessing the performance of a structured light scanner. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII. http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner

Hernández-Secorún, M., Montaña-Cortés, R., Hidalgo-García, C., Rodríguez-Sanz, J., Corral-De-toro, J., Monti-Ballano, S., Hamam-Alcober, S., Tricás-Moreno, J. M., & Lucha-López, M. O. (2021). Effectiveness of Conservative Treatment According to Severity and Systemic Disease in Carpal Tunnel Syndrome: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 1-34. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18052365>

Hsu, J. D., Michael, J. W., Fisk, J. R., & American Academy of Orthopaedic Surgeons. (n.d.). *AAOS atlas of orthoses and assistive devices*. 652. Retirado a 2 de Agosto de 2024, em https://books.google.com/books/about/AAOS_Atlas_of_Orthoses_and_Assistive_Dev.html?hl=pt-PT&id=m-FmoyOesaIMC

Iglesias Calcedo, A. (2024). Progressive customized orthosis design and development: elbow spasticity case. <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/218180>

International Organization for Standardization. (2020). ISO 8549-3:2020, Prosthetics and orthotics. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8549:-3:ed-2:v1:en>

Lee, Y. C., Lin, G., & Wang, M. J. J. (2014). Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/S13047-014-0044-7/FIGURES/3>

Lunsford, T. R., & Contoyannis, B. (2019). *Materials Science. Atlas of Orthoses and Assistive Devices*, Fifth Edition, 7-41. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48323-0.00002-0>

Lusardi, M., Jorge, M., & Nielsen, C. (2013). *Orthotics & prosthetics in rehabilitation* (3^o ed.). Elsevier Saunders.

Maedomari, T., Miyabayashi, H., Tanaka, Y., Mukai, C., Nakanomori, A., Saito, K., Kato, R., Noto, T., Nagano, N., & Morioka, I. (2023). Cranial Shape Measurements Obtained Using a Caliper and Elastic Bands Are Useful for Brachycephaly and Deformational Plagiocephaly Screening. *Journal of Clinical Medicine*, 12(8), 2787. <https://doi.org/10.3390/JCM12082787>

Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2014). *Anatomia Orientada para a Clínica* (7th ed.).

Najafabadi, D. F., Rezaie, M. R., & Forghany, S. (2020). The Validity and Reliability of a low-cost handheld 3D *Scanner* for Use in Orthotics and Prosthetics. *Journal of Rehabilitation Sciences & Research*, 7(1), 8-14. <https://doi.org/10.30476/JRSR.2019.82703.1034>

Ormseth, B. H., Livermore, N. R., Schoenbrunner, A. R., & Janis, J. E. (2023). The Use of Postoperative Compression Garments in Plastic Surgery—Necessary or Not? A Practical Review. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*, 11(9), E5293. <https://doi.org/10.1097/GOX.00000000000005293>

Paterson, A. M., Bibb, R., Campbell, R. I., & Bingham, G. (2015). Comparing additive manufacturing technologies for customised wrist splints. *Rapid Prototyping Journal*, 21(3), 230-243. <https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2013-0099>

Pham, D. T., & Hieu, L. C. (2008). Reverse Engineering–Hardware and Software. Springer Series in Advanced Manufacturing, 33–70. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-856-2_3

Porto Editora – metrologia no Dicionário infopédia da Língua Portuguesa. Porto: Porto Editora. Disponível em <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/metrologia>

Resende, C. C. D., Barbosa, T. A. Q., Moura, G. F., Tavares, L. do N., Rizzante, F. A. P., George, F. M., Neves, F. D. das, & Mendonça, G. (2021). Influence of operator experience, scanner type, and scan size on 3D scans. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(2), 294–299. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.12.011>

Rezende, J. (2006). Prótese, prótese, ortótese. *Revista de patologia tropical*, 35(1), 71–72.

Roberts, A., Wales, J., Smith, H., Sampson, C. J., Jones, P., & James, M. (2016). A randomised controlled trial of laser scanning and casting for the construction of ankle-foot orthoses. *Prosthetics and Orthotics International*, 40(2), 253–261. <https://doi.org/10.1177/0309364614550263>

Rocuts, A., Avella-Molano, B., Behr, A., Lakhani, F., Bolds Ii, B., Riveros-Amado, M., & Riveros-Perez, E. (2024). Comparison of two 3D scanning software to identify facial features: a prospective instrument to predict difficult airway. *Perioperative Medicine* 2024 13:1, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/S13741-024-00362-2>

Santos, P. G. S. T. dos ., Silva, M. C. D. da ., Félix, L. C. de L. ., Nascimento, M. E. M. C. do ., Silva , I. A. E. ., Marques Filho, E. de Q. ., Ataíde Filho, A. C. de .. (2024). Alginate versus addition silicone: What is the best material for removable partial dentures? *Research, Society and Development*, 13(7), e1513746223–e1513746223. <https://doi.org/10.33448/RSD-V13I7.46223>

Silva, R., Silva, B., Fernandes, C., Morouço, P., Alves, N., & Veloso, A. (2024). A Review on 3D Scanners Studies for Producing Customized Orthoses. *Sensors* 2024, Vol. 24, Pag. 1373, 24(5), 1373. <https://doi.org/10.3390/S24051373>

Štefanovič, B., Danko, M., Michalíková, M., Bednarčíková, L., Rajtúková, V., Tóth, T., Trebuňová, M., Hudák, R., Živčák, J., Štefanovič, B., Danko, M., Michalíková, M., Bednarčíková, L., Rajtúková, V., Tóth, T., Trebuňová, M., Hudák, R., & Živčák, J. (2021). Orthoses Development Using Modern Technologies. *Prosthetics and Orthotics*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95463>

Stephen Hughes. (2011). CT Scanning in Archaeology. In *computed tomography : special applications* (pp. 57-70). INTECH Open Access Publisher. https://books.google.com/books/about/Computed_Tomography.html?id=NLqZDwAAQBAJ

Supan, T. J. (2019). Principles of Fabrication. *Atlas of Orthoses and Assistive Devices*, 5^a ed., 42-48.e1. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48323-0.00003-2>

Ter Haar, F. B., Cignoni, P., Min, P., & Veltkamp, R. C. (n.d.). A comparison of systems and tools for 3d scanning.

Tóth, T., & Živčák, J. (2014). A Comparison of the Outputs of 3D Scanners. *Procedia Engineering*, 69, 393-401. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.03.004>

Webster, J., & Murphy, D. (2019). *atlas of orthoses and assistive devices* (5^a ed.). Elsevier.

Zhou, C., Yang, Z., Li, K., & Ye, X. (2022). Research and Development of Ankle-Foot Orthoses: A Review. *Sensors* (Basel, Switzerland), 22(17). <https://doi.org/10.3390/S22176596>

