



**Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"**

**ADRIANNI SANTELA DESIRÓ**

**Estudo sobre automatização do processo de criação de modelos de  
órteses em impressoras 3D**

**Assis/SP  
2023**



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

**ADRIANNI SANTELA DESIRÓ**

## **ESTUDO SOBRE AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE MODELOS DE ÓRTESES EM IMPRESSORAS 3D**

Projeto de pesquisa apresentado ao curso de do Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA e a Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, como requisito parcial à obtenção do Certificado de Conclusão.

**Orientando (a): Adrianni Santela Desiró**

**Orientador (a): Prof. Esp. Célio Desiró**

**Assis/SP  
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desiró, Adrianni.

**Estudo sobre automatização do processo de criação de modelos de órteses em impressora 3D** / Adrianni Santela Desiró. – Assis, 2023.

40p.

Trabalho de conclusão de curso (Ciência da Computação). - Fundação Educacional do Município de Assis–FEMA

Orientador: Prof. Esp. Célio Desiró

1. Impressora 3D. 2. Órteses, 3. Programação.

CDD:  
Biblioteca da FEMA

# ESTUDO SOBRE AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE MODELOS DE ÓRTESES EM IMPRESSORA 3D

ADRIANNI SANTELA DESIRÓ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação, avaliado pela seguinte comissão examinadora:

**Orientador:**

---

Prof. Esp. Célio Desiró

**Examinador:**

---

Prof. Dr. Luiz Ricardo Begosso

Assis/SP  
2023

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e familiares que sempre me incentivaram e me apoiaram.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente gostaria de agradecer meus familiares e amigos que sempre me apoiaram durante toda a minha jornada acadêmica.

Agradeço também aos meus professores da Fundação Educacional do Município de Assis (FEMA/IMESA), por fornecer recursos, instalações e um ambiente de aprendizado que foram fundamentais para minha formação.

Também gostaria de estender meus agradecimentos e demonstrar por meio deste, minha imensa gratidão ao meu orientador Prof. Esp. Célio Desiró onde seu valioso auxílio, orientações e insights críticas desempenharam um papel importante no desenvolvimento e aprimoramento deste trabalho.

## RESUMO

Este projeto explora a história e relevância das órteses, dispositivos de correção e suporte. Foca-se nas órteses de punho, que estabilizam e protegem essa região, mas apresenta limitações nas versões pré-fabricadas. O projeto propõe uma aplicação que automatiza a criação de órtese personalizadas em 3D, visando melhorar a experiência do usuário e do paciente.

A aplicação desenvolvida utiliza o Visual Studio e o Windows Forms .Net Framework para a interface, a biblioteca OpenTK para a projeção 3D, facilitando a visualização previa das órteses. Esta abordagem prevê benefícios na área da saúde ao oferecer órteses mais eficientes e personalizadas, melhorando a reabilitação e a qualidade de vida dos pacientes.

Além disso, a automatização possibilita futuras expansões para diferentes tipos de órteses. Em síntese, este projeto busca otimizar a confecção de órteses, unindo tecnologias modernas para impulsionar a reabilitação ortopédica.

Texto.

**Palavras-chave:** Impressora 3D; Órteses; Programação.

## ABSTRACT

This Project explores the history and relevance of orthoses, correction and support devices. It focuses on wrist orthoses, which stabilize and protect this region, but has limitations in prefabricated versions. The project proposes an application that automates the creation of customized orthoses in 3D, aiming to improve the user and patient experience.

The developed application uses Visual Studio and Windows Forms .Net Framework for the interface, the OpenTK library for 3D projection, facilitating the preview of the orthoses. This approach provides health benefits by offering more efficient and personalized orthoses, improving patients' rehabilitation and quality of life.

In addition, automation enables future expansions for different types of orthoses. In summary, this project seeks to optimize the manufacture of orthoses, combining modern technologies to boost orthopedic rehabilitation.

Texto em inglês.

**Keywords:** 3D Printer; Orthoses; Programming.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Componentes da impressora do tipo SLA .....	16
Figura 2: Componentes da impressora do tipo DLP .....	17
Figura 3: Componentes da impressora do tipo CLIP.....	18
Figura 4: Diagrama do processo de material jetting .....	19
Figura 5: Diagrama do processo de binder jetting.....	20
Figura 6: Esquemática do processo FDM.....	21
Figura 7: Esquemática do processo SLS.....	23
Figura 8: Esquemática do processo SLM.....	24
Figura 9: Esquemática do processo EBM.....	25
Figura 10: Esquemática do processo MJF .....	26
Figura 11: Esquemática do processo SL.....	26
Figura 12: Esquemática do processo DED.....	27
Figura 13: Exemplo de órtese para Punho feita de Tecido.....	29
Figura 14: Exemplo de órtese para Punho feita na Impressora 3D.....	29
Figura 15: Tela principal da aplicação.....	30
Figura 16: Moldes na folha A4.....	31
Figura 17: Órtese final feita na impressora 3D.....	32
Figura 18: Representação de um triângulo do arquivo STL.....	34
Figura 19: Representação de uma malha STL com sintaxe do arquivo STL-ASCII para o triângulo e Triângulo no formato STL.....	34
Figura 20: Estrutura de representação de arquivo STL binário.....	35
Figura 21: Exemplo de uma peça fatiada.....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

*AM – Additive Manufacturing*

*CAD – Desenho Assistido por Computador*

*STL – Standard Triangle Language*

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1. OBEJTIVOS	13
1.2. JUSTIFICATIVA	13
1.3. MOTIVAÇÃO	13
1.4. PERSPECTIVA DE CONTRIBUIÇÃO	13
1.5. METODOLOGIA	14
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	14
<b>2. IMPRESSORA 3D</b>	<b>15</b>
2.1. VAT PHOTOPOLYMERISATION (FOTOPOLIMERIZAÇÃO VAT)	15
2.1.1. Stereolithography (SLA)	15
2.1.2. Digital light processing (DLP)	16
2.1.3. Continuous Liquid Interface Production (CLIP)	17
2.2. MATERIAL JETTING (JATEAMENTO DE MATERIAL)	18
2.3. BINDER JETTING (JATO DE BINDER)	19
2.4. MATERIAL EXTRUSION (EXTRUSÃO DE MATERIAL)	20
2.4.1. Fused Deposition Modeling (FDM)	20
2.5. POWDER BED FUSION (FUSÃO DA CAMA DE ENERGIA)	22
2.5.1. Selective Laser Sintering (SLS)	22
2.5.2. Selective Laser Melting (SLM)	23
2.5.3. Electron Beam Melting (EBM)	24
2.5.4. Multi-jet Fusion (MJF)	25
2.6. SHEET LAMINATION (LAMINAÇÃO DE CHAPA)	26
2.7. DIRECTED ENERGY DEPOSITION (DEPOSIÇÃO DE ENERGIA DIRECIONADA)	27
<b>3. ÓRTESES</b>	<b>28</b>
3.1. ÓRTESES PARA PUNHO	28
<b>4. DESENVOLVIMENTO</b>	<b>30</b>
4.1. TELA PRINCIPAL	30
4.2. MOLDE	31
4.3. ÓRTESE FINAL	31
4.4. FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	32

4.4.1. Visual Studio .....	32
4.4.2. Windows Forms .Net Framework.....	32
4.4.3. Projeção 3D .....	33
4.4.4. Arquivo STL.....	33
5. CONCLUSÃO .....	36
REFERÊNCIAS.....	37

## 1. INTRODUÇÃO

As talas têm uma longa história que remonta aos anos 3.500 a 1.800 a.C, com os primeiros registros desses dispositivos aparecendo em um livro antigo dos povos hindus. Com o passar do tempo, houve avanços significativos nessa área, especialmente com os estudos de Hipócrates, que desenvolveu talas para correção de fraturas na área entre a tíbia e a fíbula, bem como na tróclea do tálus, constituindo-se em um exemplo de articulação. Esta mencionada previamente é uma das articulações mais complexas, visto que é essencial para nossa capacidade de sustentação e locomoção. Quando há problemas neurológicos ou traumáticos nessa área, indivíduos podem ter dificuldades em realizar suas atividades cotidianas. Neste caso, órtese para pés e tornozelos podem ajudar no tratamento desses pacientes (Júnior, Costa e Oliveira, 2021).

A impressora 3D é um equipamento capaz de construir objetos a partir da deposição de materiais em camadas, seguindo um caminho definido previamente em um modelo digital criado em softwares de CAD. Durante a impressão, a máquina extrude e deposita o material termoplástico fundido em camadas, uma sobre a outra, criando a forma desejada. Esse processo que permite a produção de peças mais complexas com facilidade, proporcionando liberdade de design e rapidez na fabricação (HIEMENZ, 2011).

De acordo com Munhoz et al. (2016) as fabricações das órteses são de forma manual sendo necessário que sejam feitas por profissionais qualificados. Graças aos avanços na área e da tecnologia, as órteses agora podem ser feitas com matérias mais resistentes e personalizadas usando impressoras 3D, possibilitando que o tempo de fabricação seja reduzido e a precisão melhorada, permitindo que a órtese se adapte perfeitamente a anatomia do paciente, proporcionando maior conforto (Júnior, Costa e Oliveira, 2021).

Pensando nessa facilidade o presente artigo tem como objetivo estudar a possibilidade de desenvolvimento de uma aplicação que possa automatizar o processo de criação de modelos de órteses produzidas em impressoras 3D. A partir da coleta de informações precisas sobre a anatomia do paciente, a aplicação permitirá gerar uma visualização prévia do modelo da órtese, para que o próprio paciente possa visualizar e aprovar antes de ser impressa. Esse processo pode contribuir para um resultado mais eficiente e preciso na produção de órteses, trazendo maior conforto e satisfação ao paciente.

## 1.1. OBEJTIVOS

O presente trabalho tem como objetivo estudar a possibilidade de desenvolvimento de uma aplicação que possa automatizar o processo de criação de modelos de órteses produzidas em impressoras 3D. A partir da coleta de informações precisas sobre a anatomia do paciente, a aplicação permitirá gerar uma visualização prévia do modelo da órtese, para que o próprio paciente possa visualizar e aprovar antes de ser impressa. Esse processo pode contribuir para um resultado mais eficiente e preciso na produção de órteses, trazendo maior conforto e satisfação ao paciente.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

De acordo com Munhoz et al. (2016) as fabricações das órteses são de forma manual sendo necessário que sejam feitas por profissionais qualificados. Graças aos avanços na área e da tecnologia, as órteses agora podem ser feitas com matérias mais resistentes e personalizadas usando impressoras 3D, possibilitando que o tempo de fabricação seja reduzido e a precisão melhorada, permitindo que a órtese se adapte perfeitamente a anatomia do paciente, proporcionando maior conforto. (Júnior, Costa e Oliveira, 2021)

## 1.3. MOTIVAÇÃO

A motivação deste trabalho consiste em promover o aprendizado durante o processo de pesquisa e implementação de uma aplicação, visando melhorar a experiência de pacientes que dependem de órteses. Além disso, busca-se auxiliar os profissionais qualificados para oferecer um atendimento de excelência a esses pacientes.

## 1.4. PERSPECTIVA DE CONTRIBUIÇÃO

Espera-se que o presente trabalho possa contribuir com a área da Saúde, em principal a área de Fisioterapia, proporcionando mais agilidade no processo para criação das órteses e para que os pacientes possam ter a melhor qualidade e conforto durante o seu uso.

## 1.5. METODOLOGIA

A metodologia empregada para o presente trabalho consistirá no levantamento bibliográfico, onde será explorada a área da fisioterapia responsável pela aplicação de órteses, o estudo sobre métodos de impressão, materiais e modelos de impressoras 3D e produção de arquivos STL, a realização do desenvolvimento da aplicação juntamente com os testes da mesma e, finalmente, a conclusão que mostrará se o desenvolvimento da aplicação teve bons resultados.

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será composto dos seguintes capítulos:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Neste capítulo é contextualizada a área de estudo que apresentará a introdução, os objetivos, justificativas, motivação, perspectiva de contribuição e metodologia para o desenvolvimento deste trabalho.
- **Capítulo 2 – Impressão 3D:** Neste capítulo, apresenta sobre modelos de impressoras 3D.
- **Capítulo 3 – Órteses:** Neste capítulo, se descreve sobre a área responsável pela aplicação de órteses.
- **Capítulo 4 – Desenvolvimento:** Neste capítulo, serão apresentados o desenvolvimento detalhado da aplicação.
- **Capítulo 5 – Conclusão:** Neste capítulo, apresentam-se as conclusões obtidas a partir da realização deste trabalho.
- **Referências**

## **2. IMPRESSORA 3D**

Neste capítulo será abordado os modelos de impressoras 3D especificando o método que utilizam e irá ser descrito os tipos de matérias que podem ser utilizados em sua impressão. Embora seja um tema relativamente novo no mercado, a tecnologia de impressoras 3D vem sendo estudada desde 1945.

### **2.1. VAT PHOTOPOLYMERISATION (FOTOPOLIMERIZAÇÃO VAT)**

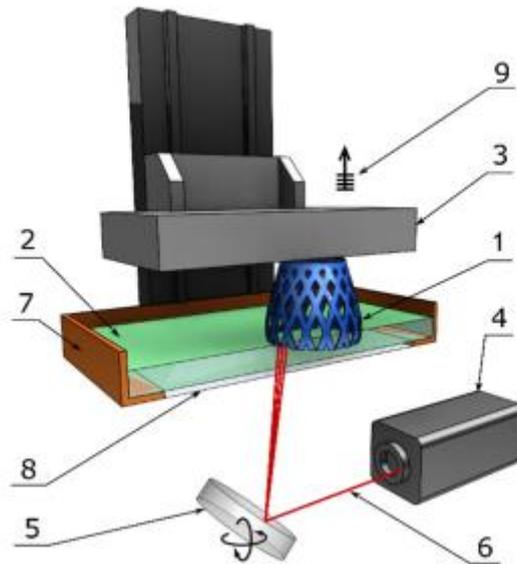
A Fotopolimerização Vat se refere a um conjunto de tecnologias de impressão 3D que utilizam um processo de transformação de líquido para sólido, no qual a fotopolimerização é controlada por computador e usada para criar objetos sólidos a partir de uma cuba de resinas líquidas expostas a luz. Dessa forma, a partir do CAD, é possível produzir objetos tridimensionais com grande precisão e detalhamento, utilizando a luz como elemento chave no processo de solidificação das resinas (X, A e P.R, et al, 2020).

Para esse processo, através da aplicação de luz de cura ocorre a polimerização da resina líquida, formando cadeias de polímeros ou reticulando-as para produzir uma resina sólida. Os fotoiniciadores, presentes na resina, são ativados pela luz fotoativadora, liberando espécies criativas que catalisam a formação de cadeias entre monômeros e oligômeros. Esse processo é irreversível, impedindo que os protótipos sejam revertidos para a forma líquida. Com base nesse princípio, as camadas sucessivas de resina são gradualmente construídas a partir de um arquivo STL fatiado, resultando em um objeto 3D completo e preciso (Pagac, Hajnys, Ma, et al, 2021).

#### **2.1.1. Stereolithography (SLA)**

O processo de impressão 3D SLA é altamente valorizado pela sua precisão e exatidão, sendo comumente utilizado quando a forma, o ajuste e a montagem são críticos. As peças produzidas através do SLA possuem tolerâncias tipicamente inferiores a 0,05 mm e oferecem um acabamento superficial mais suave em comparação com outros processos de fabricação aditiva. A tecnologia SLA é altamente versátil e pode ser aplicada em diversas áreas onde a precisão é crucial (ENDEL A, 2023).

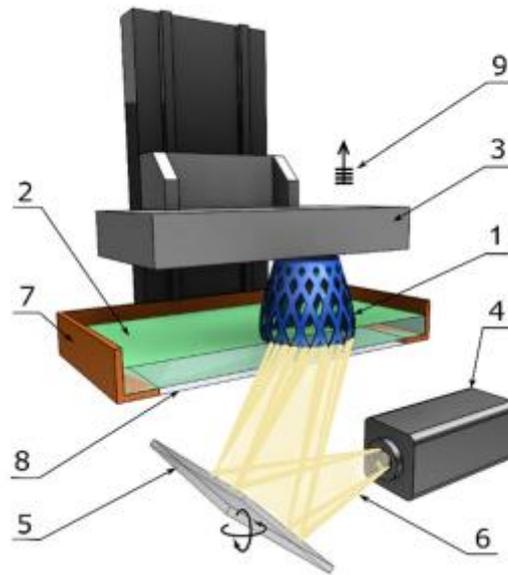
O processo de impressão 3D SLA envolve o uso de um tanque de resina fotopolimerizável e uma plataforma móvel que é controlada por um sistema de computador. Enquanto a plataforma se move para cima e para baixo dentro do tanque, um laser é usado para curar a resina de acordo com o modelo digital fatiado em camadas. À medida que cada camada é curada, a plataforma se move para a próxima camada, construindo gradualmente o objeto desejado (Pagac, Hajnys, Ma, et al, 2021). Dependendo do tamanho, orientação e impressão do objeto é necessário colocar estruturas de suporte (ENDEL B, 2023).



**Figura 1:** Componentes da impressora do tipo SLA: 1-Peça impressa, 2-Resina líquida, 3-Plataforma de construção, 4-Fonte de luz UV, 5-Espelho de varredura, 6-Feixe de laser, 7-Tanque de resina, 8-Janela e 9-Eleva camada por camada (Pagac, Hajnys, Ma, et al, 2021).

### 2.1.2. Digital light processing (DLP)

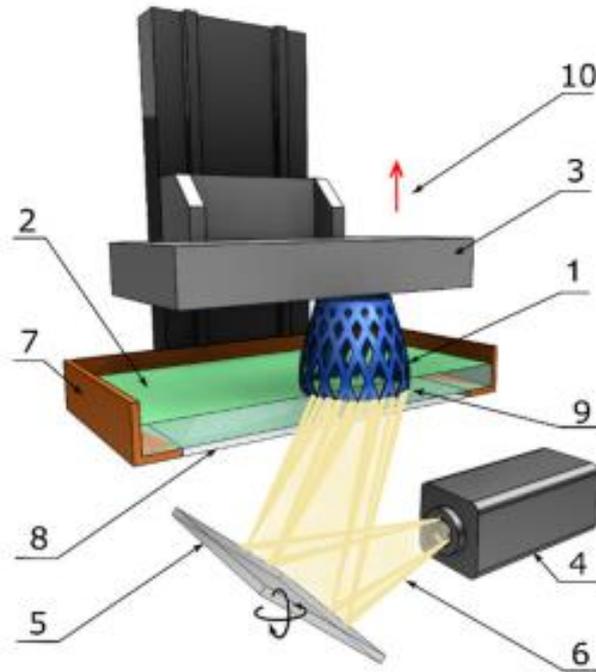
O DLP (Processamento de Luz Digital) é uma tecnologia de impressão 3D que usa polímeros fotossensíveis e luz para criar objetos. A principal diferença entre o DLP e o SLA é a fonte de luz utilizada - o DLP usa lâmpadas de arco em vez de um laser. O processo de cura é feito por meio de um projetor de luz digital que expõe totalmente cada camada à luz de polimerização. Comparado ao SLA, o DLP é mais rápido e a precisão da parte impressa depende da resolução do projetor, resultando em uma aparência pixelizada em cada camada (ENDEL B, 2023).



**Figura 2:** Componentes da impressora do tipo DLP: 1-Peça impressa, 2-Resina líquida, 3-Plataforma de construção, 4-Fonte de luz UV, 5-Projetor digital, 6-Feixe de laser, 7-Tanque de resina, 8-Janela e 9-Eleva camada por camada (Pagac, Hajnys, Ma, et al, 2021).

### 2.1.3. Continuous Liquid Interface Production (CLIP)

O processo de fabricação aditiva CLIP é baseado na inibição da fotopolimerização de radicais livres na presença de oxigênio atmosférico. Uma janela permeável ao oxigênio no fundo do tanque de resina permite a formação de uma "zona morta", uma região de resina líquida não curada, que permite a fabricação contínua de peças sem camadas visíveis. Ao contrário de outras tecnologias, como o DLP, a placa de construção não se move para cima e para baixo a cada camada, permitindo um crescimento contínuo da peça. A resolução na direção de construção é determinada pelas condições de corte da peça e pela altura de absorção óptica da resina, eliminando o tradicional trade-off entre velocidade e espessura da camada. Isso permite que as peças sejam criadas sem camadas, proporcionando uma maior precisão e velocidade na produção (Pou, Riveiro e Davim, 2021).

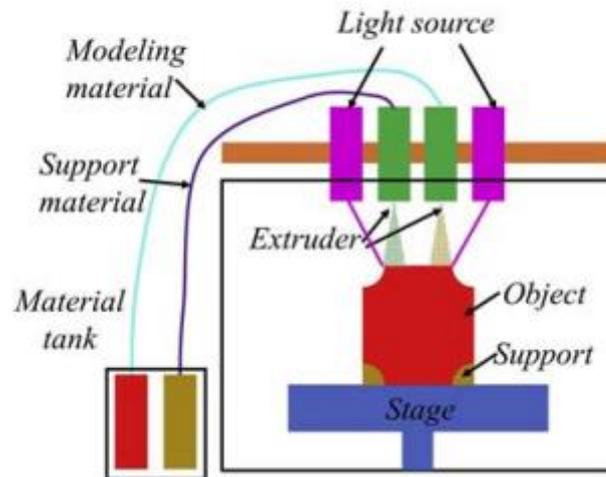


**Figura 3:** Componentes da impressora do tipo CLIP: 1-Peça impressa, 2-Resina líquida, 3-Plataforma de construção, 4-Fonte de luz UV, 5-Projetor digital, 6-Feixe de laser, 7-Tanque de resina, 8-Janela permeável ao oxigênio, 9-Zona morta e 10-Elevação contínua (Pagac, Hajnys, Ma, et al, 2021).

## 2.2. MATERIAL JETTING (JATEAMENTO DE MATERIAL)

O processo de jateamento de materiais é semelhante à impressão a jato de tinta bidimensional, porém, ao invés de tinta, são utilizados materiais líquidos que são pulverizados em gotículas. Durante o processo, é necessário utilizar um material de suporte que possa ser impresso simultaneamente ao material de modelagem e que possa ser dissolvido posteriormente em um solvente (Pou, Riveiro, Davim, 2021).

Um rolo e uma unidade Wiper são usados para nivelar as camadas impressas e evitar o excesso de material. Ao mesmo tempo, é aplicado um processo de cura com luz ultravioleta (UV) para endurecer as camadas depositadas e formar a peça final, onde as resinas usadas nas impressoras de jato de material geralmente possuem uma Tg de cerca de 50°C, o que pode resultar em propriedades viscoelásticas em peças impressas à temperatura ambiente (Mora, Pugno e Misseroni, 2022).



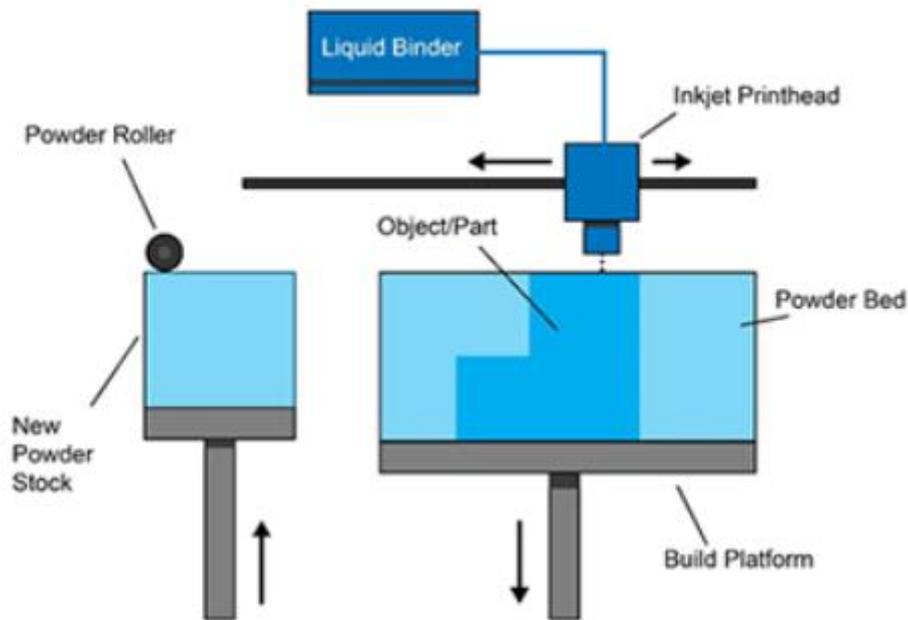
**Figura 4:** Diagrama do processo de material jetting (Mora, Pugno e Misseroni, 2022).

### 2.3. BINDER JETTING (JATO DE BINDER)

A Binder Jetting é uma tecnologia de impressão 3D que foi criada no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) em 1993 por Emanuel Sachs. O processo envolve o uso de um pó, como o gesso, e um aglutinante de glicerina/água que é aplicado por meio de cabeças de impressão de jato de tinta de bolha térmica. A empresa Z Corporation (Z Corp.) comercializou essa tecnologia sob o nome de "impressão 3D", adicionando capacidade de impressão em cores à plataforma (Mostafaei, Elliott, Barnes, et al, 2021).

De acordo com Pou, Riveiro e Davim (2021) o método de jateamento de ligante envolve a utilização de dois leitos: um leito de pó e um leito de construção. Durante a operação, o pó armazenado no leito de pó é espalhado na mesa de construção no leito de construção por um rolo. Em seguida, um aglutinante líquido é aplicado de forma seletiva na área do pó e da camada consolidada através da cabeça de impressão. Depois que essa camada é concluída, a plataforma de construção desce para a próxima espessura de camada e outra camada de pó é pulverizada sobre a camada anteriormente depositada pelo rolo. Em seguida, o pó é novamente consolidado de forma seletiva pelo aglutinante. Esse processo é repetido, camada por camada, até que a geometria pretendida seja impressa. Depois da impressão, a parte impressa (também chamada de parte verde) é removida do pó não aderido. Posteriormente, a peça é sinterizada em um forno para que o aglutinante

possa ser queimado. Normalmente, a temperatura de remoção do aglutinante fica entre 200 e 600 graus Celsius.



**Figura 5:** Diagrama do processo de binder jetting (ENDEL C, 2023).

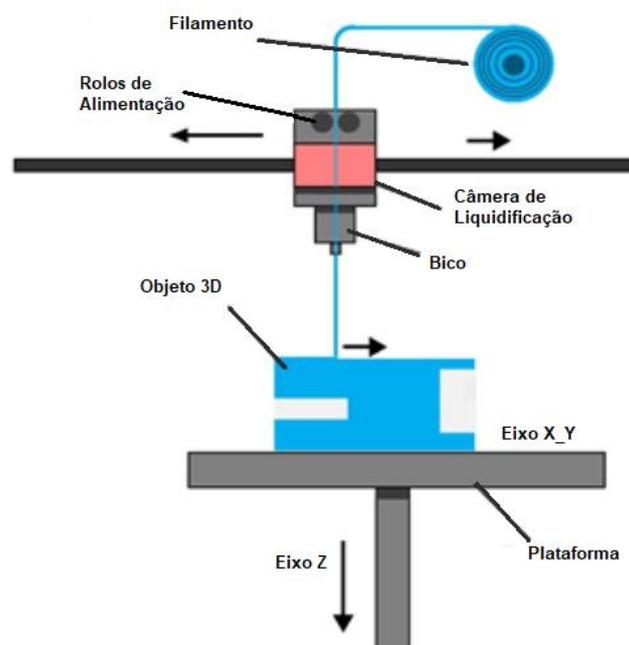
## 2.4. MATERIAL EXTRUSION (EXTRUSÃO DE MATERIAL)

A extrusão de material é uma técnica de AM que utiliza um filamento de polímero aquecido e continuamente alimentado por um bico de extrusão para depositar material na plataforma do edifício, camada por camada. Esse processo também é conhecido como tecnologia de deposição de material fundido (FDM), que é uma das tecnologias de AM que usa termoplásticos como material de construção (Pou, Riveiro e Davim, 2021).

### 2.4.1. Fused Deposition Modeling (FDM)

O processo de Fabricação por Deposição de Material Fundido (FDM) utiliza um filamento de plástico que é puxado de um carretel e passa por um bocal de extrusão que controla o fluxo de material, permitindo a deposição seletiva do material em camadas sucessivas para a construção do objeto (ENDEL B, 2023).

Na imagem 6, é possível visualizar uma esquemática do processo do FDM, que consiste em um filamento de material termoplástico sendo alimentado para dentro da câmara de fusão por meio de rolos de alimentação. A câmara de fusão é equipada com resistências térmicas posicionadas ao seu redor, que elevam a temperatura do material acima do seu ponto de amolecimento para possibilitar a sua fusão e deposição camada por camada. Para a criação dessas camadas, o bico se desloca ao longo dos eixos x e y depositando o material e a cada camada a plataforma se desloca ao longo do eixo z até a finalização do objeto (Cunico, 2015).



**Figura 6:** Esquemática do processo FDM (ENDEL C, 2023).

Entre os materiais utilizáveis para a impressão FDM, estão:

- **ABS:** Um dos polímeros mais economicamente vantajosos e amplamente produzidos. Ele combina de forma orgânica as propriedades da OS, SAN e BS, apresentando características de dureza e rigidez. Ele exibe uma tonalidade opaca, com excelente força de impacto, estabilidade dimensional, propriedades elétricas, resistência ao desgaste e a produtos químicos (Guey, 2020).
- **PLA:** Um dos filamentos que consiste em um material biodegradável, sendo elaborado a partir de recursos vegetais renováveis. Ele se destaca por sua notável compatibilidade, capacidade degradável e suas propriedades mecânicas e físicas,

se adaptando bem ao processo de moldagem termoplástica sendo de manipulação descomplicada. O PLA exibe um brilho e transparência com uma boa força e ductilidade de tração (Guey, 2020).

- **PETG:** Recém-chegado no mercado, o PETG vem sendo uma alternativa ao ABS tanto no mercado brasileiro quanto no internacional. Isso se deve à sua resistência térmica e mecânica comparável ao ABS dispensando a necessidade de uma mesa aquecida. Adicionalmente, a contrário do PLA, durante o processo de impressão 3D, ele não exala o aroma característico de plástico queimado (Guey, 2020).

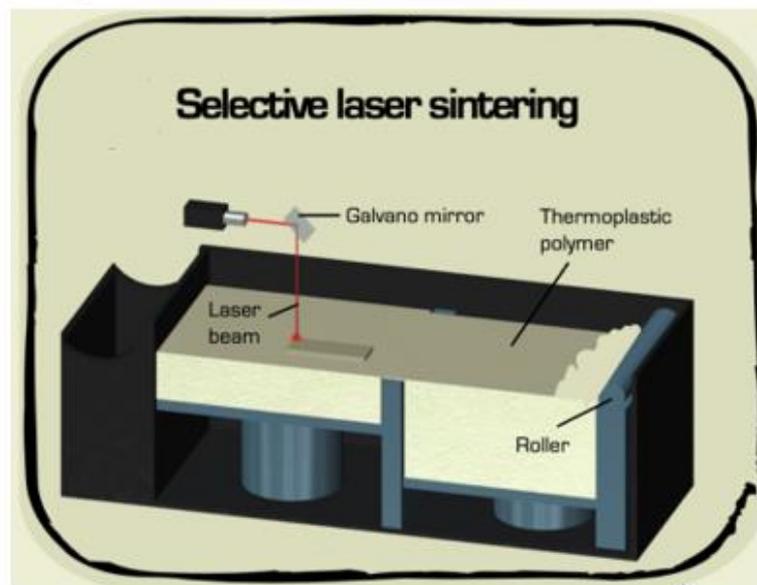
## 2.5. POWDER BED FUSION (FUSÃO DA CAMA DE ENERGIA)

A Fusão da cama de energia é uma técnica de impressão 3D que utiliza uma fonte de energia concentrada, como um laser ou feixe de elétrons, para fundir seletivamente partículas de pó e criar objetos sólidos. Esse método é conhecido por sua capacidade de produzir estruturas complexas e detalhadas, pois as partículas de pó soltas dentro da plataforma atuam como um suporte garantindo a integridade dos objetos em impressão evitando também que não se deformem ou sejam danificados durante a construção das camadas (Awad, Fina, Goyanes, et al, 2021).

### 2.5.1. Selective Laser Sintering (SLS)

O método SLS utiliza um laser de alta potência para sintetizar seletivamente o material em pó. Nessa técnica, o processo de tratamento térmico é aplicado ao material durante o processo de sintetização e transforma os pós em sólidos coerentes em temperaturas abaixo de seus pontos de fusão (Shirazi, Gharehkhani, Mehrali, et al, 2015).

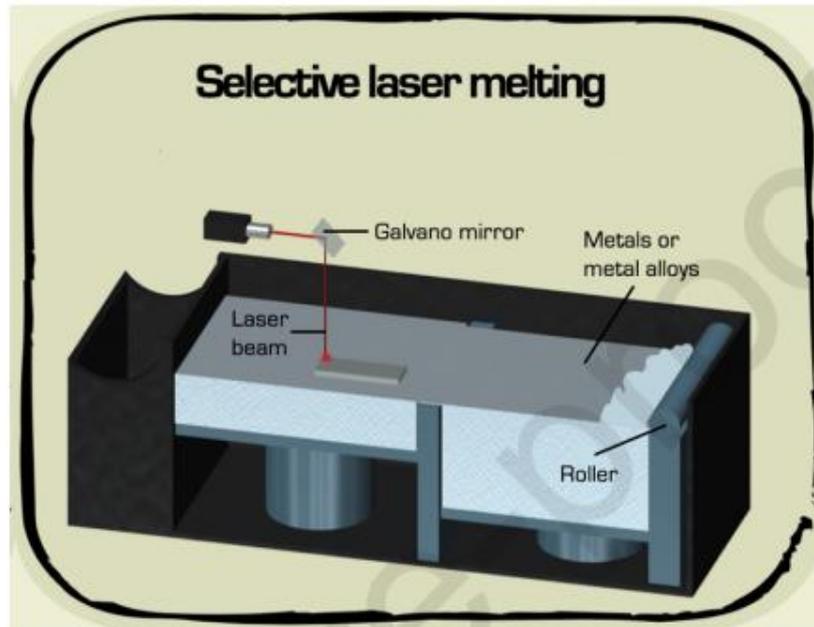
O processo se dá pelas camadas finas que são dispersas pela área de construção fornecida pela plataforma de alimentação, após cada camada formada o feixe de laser varre os pós seletivamente e fundindo a camada de partícula. Em seguida, o pistão de fabricação pode se mover para baixo na espessura necessária para a qual a próxima camada fina de partículas de pó será dispersada na área de construção por um rolo de pó, assim repetidamente até a finalização do objeto (Mehrpooya, Tuma, Vaneker, et al, 2022).



**Figura 7:** Esquemática do processo SLS (Awad, Fina, Goyanes, et al, 2021).

### 2.5.2. Selective Laser Melting (SLM)

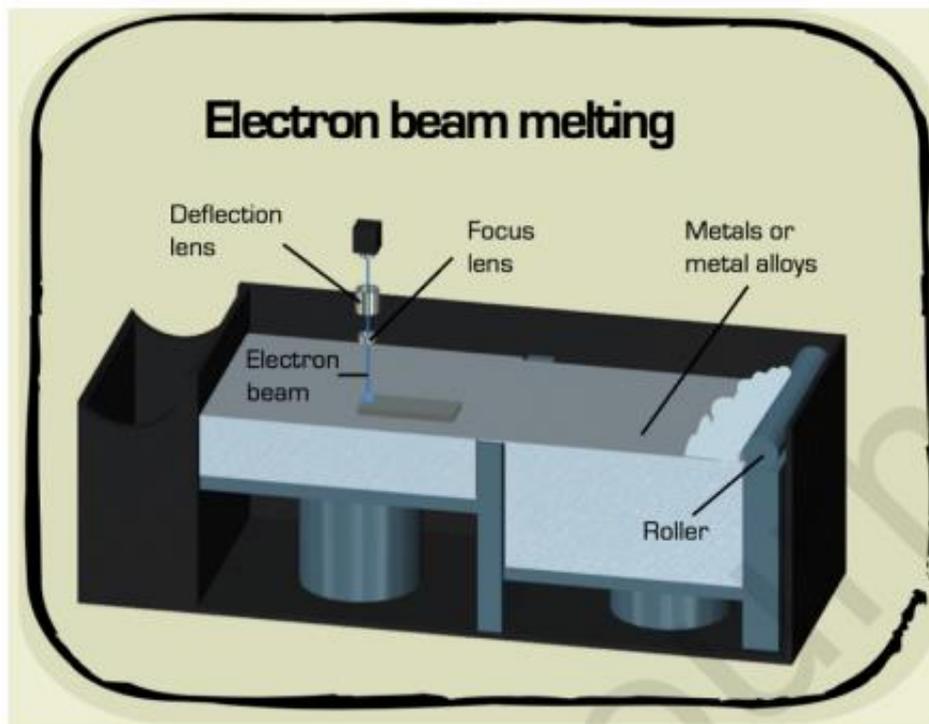
O método SLM é semelhante ao método SLS, mas com a diferença de que ele utiliza uma fonte de energia que funde completamente o pó em um estado homogêneo, enquanto no SLS o pó é apenas parcialmente fundido. O SLM é uma tecnologia confiável que permite a produção de peças com alta densidade, que podem ser submetidas a processos adicionais, como tratamento térmico ou fabricação híbrida, no entanto é importante observar que as tolerâncias e os acabamentos superficiais podem ser mais limitadas. Com isso o SLM é ideal para ligas metálicas, como aço inoxidável, alumínio e titânio (Mehrpuoya, Tuma, Vaneker, et al, 2022).



**Figura 8:** Esquemática do processo SLM (Awad, Fina, Goyanes, et al, 2021).

### 2.5.3. Electron Beam Melting (EBM)

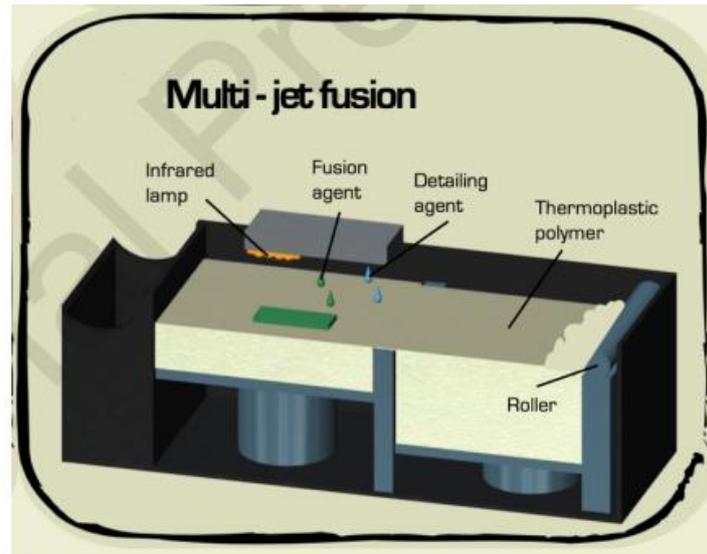
O processo do método EBM é descrito como um processo em que o pó é derretido pelo uso de um feixe de elétrons de alta energia em vez de um feixe de laser. Para evitar a contaminação e oxidação do pó o processo é feito em um ambiente a vácuo, aonde consiste em camadas finas de material em pó fornecidas por funis de pó que são espalhadas pela placa de construção por um ancinho, posteriormente são pré-aquecidos para evitar fenômenos de sopro de pó e esferoidização. Este método é somente utilizado por materiais do tipo metal (Mehrpourya, Tuma, Vaneker, et al, 2022).



**Figura 9:** Esquemática do processo EBM (Awad, Fina, Goyanes, et al, 2021).

#### 2.5.4. Multi-jet Fusion (MJF)

O processo MJF envolve a fusão seletiva de um leito de material por meio da adição de um agente de ligação e uma fonte de calor, geralmente luz ultravioleta (UV) ou infravermelha (IR). A impressão começa com a aplicação de uma camada uniforme de pó pré-aquecido no leito, um agente de fusão é então aplicado seletivamente pela cabeça de impressão, onde as partículas do pó precisam ser derretidas. Em seguida, um agente de detalhamento é depositado ao redor dos contornos da peça para melhorar a resolução e garantir a precisão das arestas. A lâmpada de luz IR/UV move-se sobre o leito de pó, aquecendo as regiões com o agente de fusão, fazendo com que as partículas nesses locais sejam derretidas e fundidas juntas, faz-se isso até que a peça final seja completamente formada (Mehrpooya, Tuma, Vaneker, et al, 2022).

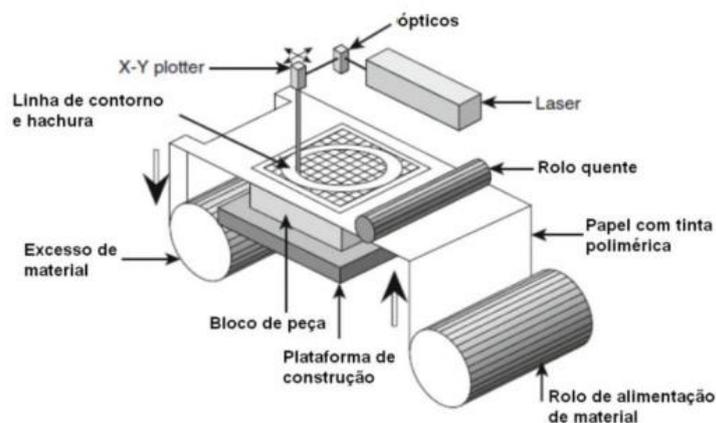


**Figura 10:** Esquemática do processo MJF (Awad, Fina, Goyanes, et al, 2021).

## 2.6. SHEET LAMINATION (LAMINAÇÃO DE CHAPA)

A técnica de laminação de chapa é um método em que folhas de papel ou plástico são cortadas e coladas para criar objetos 3D. Esse processo envolve a sobreposição gradual e a colagem das camadas por meio de resinas térmicas. À medida que cada camada é finalizada, a plataforma é movida no eixo z para permitir a construção de novas camadas e a aderência entre a camada atual e as folhas anteriores (Cunico, 2015).

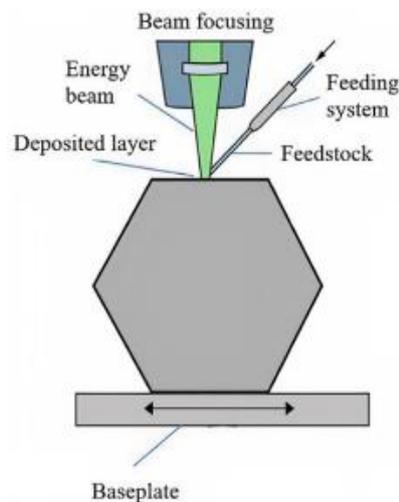
Durante o processo, um rolo é usado para comprimir a camada em fabricação contra as camadas anteriores, promovendo a aderência por meio da aplicação de pressão e calor. Esse método permite a criação de objetos tridimensionais por meio da montagem folha a folha (Sheet-to-Sheet) ou camada a camada das folhas laminadas (Cunico, 2015).



**Figura 11:** Esquemática do processo SL (Cunico, 2015).

## 2.7. DIRECTED ENERGY DEPOSITION (DEPOSIÇÃO DE ENERGIA DIRECIONADA)

O método de fabricação aditiva conhecido como “Deposição com Energia Direcionada” (DED), compreende duas técnicas distintas: a alimentação por pó ou por filamento. Utilizando o processo de alimentação por pó, o sistema funciona ao projetar o material em pó diretamente sobre a peça enquanto um laser incide tanto sobre o substrato como sobre o material que é depositado. Já utilizando o processo de filamento, o fio é introduzido e fundido para conectar as camadas da peça através do processo de soldagem. A impressora constrói camada por camada, onde a fonte de energia direcionada controla a fusão do material, garantindo precisão e adesão adequada entre as camadas (Kabuchi e Ribeiro, 2020).



**Figura 12:** Esquemática do processo DED (Dezaki, Serjouei, et al, 2022).

### 3. ÓRTESES

Órteses são dispositivos auxiliares, cujo nome tem origem grega com os termos “orthos” e “titheme”, que significam “correção” e “colocação”, respectivamente. Esses dispositivos podem ser temporários ou permanentes e têm capacidade de restringir, facilitar movimentos específicos ou transferir a carga de uma área do corpo para outra (Vasconcelos e Matiello, 2020).

As órteses são consideradas uma valiosa “ferramenta de trabalho” do reabilitador e devem ser vistas como um complemento ao tratamento, visando auxiliar na reabilitação física e contribuir para recuperação mais segura, rápida e eficaz em pacientes com alterações estruturais e funcionais nos sistemas esqueléticos e Neuromotor. Para alcançar esses objetivos, é fundamental prescrever órteses adequadas e no momento oportuno, considerando as necessidades específicas de cada paciente. Além disso, a decisão de utilizar as órteses temporariamente ou permanentemente será baseada na natureza e na gravidade da condição do indivíduo em questão (Carvalho, 2013).

#### 3.1. ÓRTESES PARA PUNHO

As órteses para punho, considerada órteses de membro superior, são dispositivos responsáveis por estabilizar/imobilizar o membro, corrigir deformidades, prevenir agravos, proteger estruturas e articulações. Essas órteses são especialmente recomendadas para pacientes que apresentem lesões que podem impossibilitar atividades do dia a dia, como comer, vestir e atividades esportivas e de lazer (Vasconcelos e Matiello, 2020).

No mercado, é possível encontrar órteses pré-fabricadas feitas de tecido, destinadas a estabilizar o punho. No entanto, muitas delas não seguem adequadamente a restrição da flexão das articulações metacarpo-falangianas dos dedos quatro e cinco. Esse cenário compromete parcialmente a capacidade funcional da mão, e é essencial evitar essa limitação (Carvalho, 2013).



**Figura 13:** Exemplo de órtese para punho feita de tecido (Perrin, 2014).

Por outro lado, nos dias atuais há a possibilidade da sua confecção ser feita de maneira mais eficiente e sob medidas, usando materiais termoplástico tornando possível a confecção em impressoras 3D. De acordo com Vasconcelos e Matiello (2020), essas novas tecnologias permitem o desenvolvimento único e diversos dessas peças, tornando-as mais resistentes e duráveis, além de ser possível personalizá-las para que atenda às necessidades e particularidades de cada caso.

De acordo com Schmitz (2019), os resultados positivos derivados da criação de órteses mais apropriadas são observados principalmente na extensão do período em que o paciente faz uso da órtese. Esse aprimoramento contribui para a melhoria do processo de reabilitação. A evidência indica que aqueles que utilizam órteses convencionais tendem a usá-la por até 7 horas a menos em comparação com indivíduos que optam por órteses feitas a partir da tecnologia 3D.



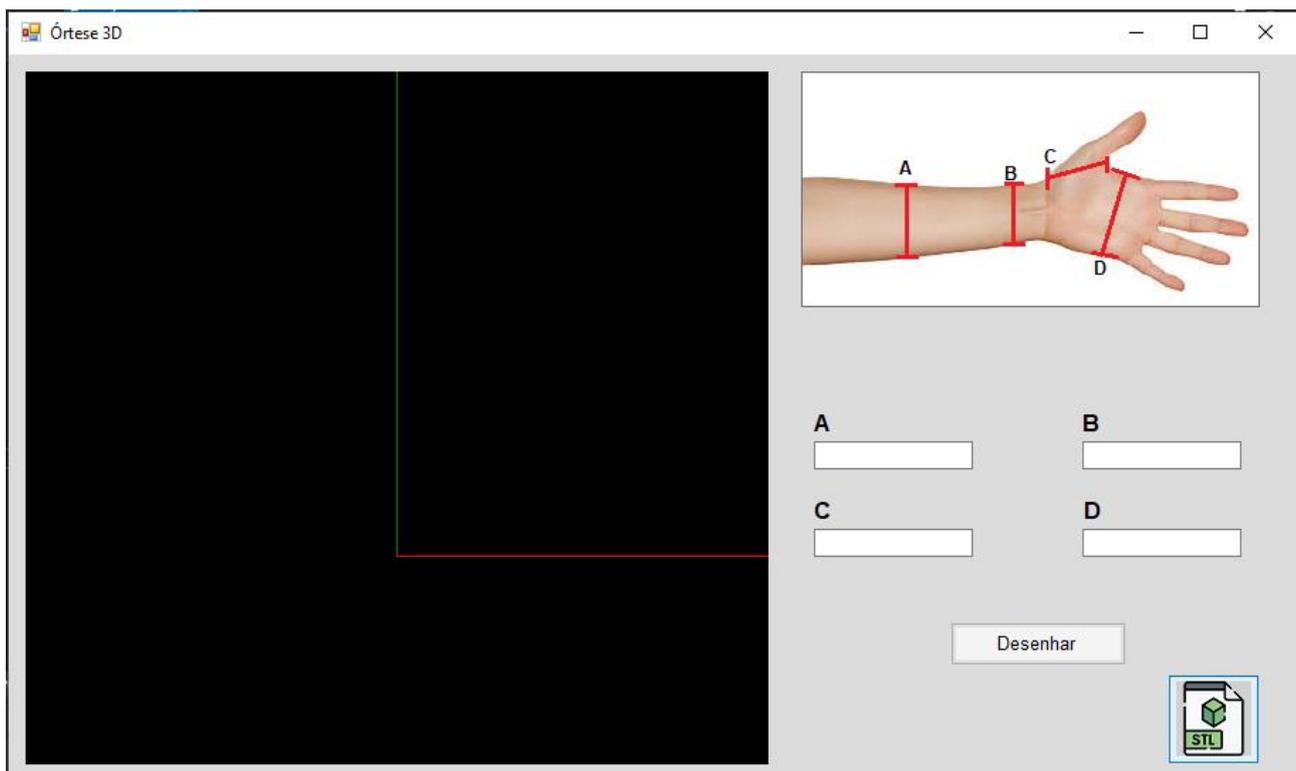
**Figura 14:** Exemplo de órtese para punho feita na impressora 3D (Paterson, et al, 2015).

## 4. DESENVOLVIMENTO

No presente projeto será desenvolvida uma aplicação desktop para realizar através dos dados informados a projeção de uma órtese de punho em 3D, visando melhorar a experiência do usuário e do paciente em questão, onde a partir da projeção da imagem poder gerar o arquivo STL (formato para impressora 3D).

### 4.1. TELA PRINCIPAL

A princípio foi desenvolvido uma tela principal contendo uma tela para a exibição da órtese em 3D juntamente com os campos a serem preenchidos com os tamanhos obtidos do punho e mão do paciente.

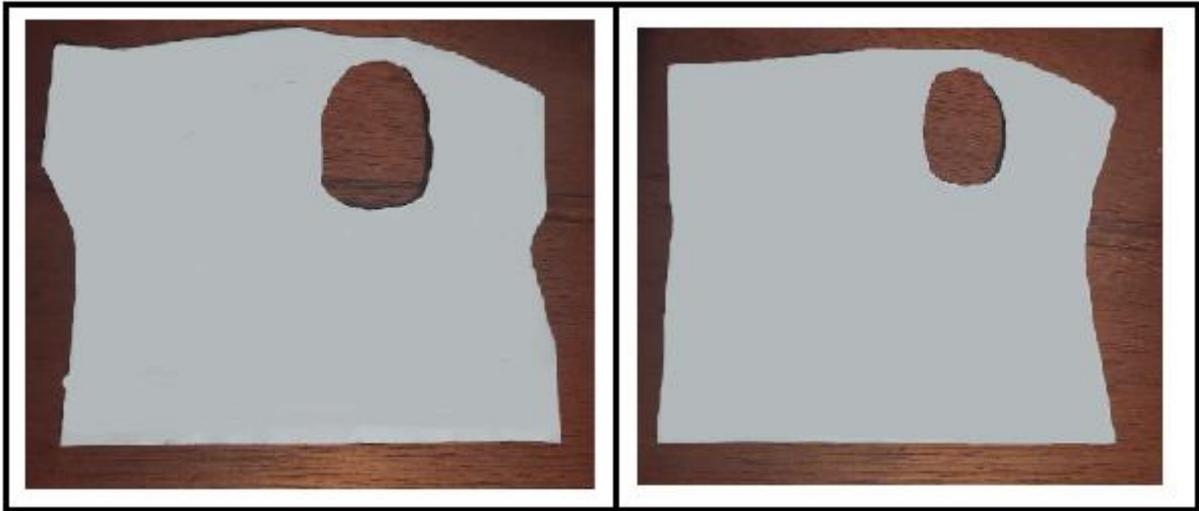


**Figura 15:** Tela principal da aplicação.

De acordo com a Figura 15, uma imagem foi inserida para facilitar a compreensão e identificação das dimensões a serem obtidas do paciente. Cada uma dessas dimensões está relacionada ao tamanho completo da circunferência da área em questão.

## 4.2. MOLDE

A projeção das órteses em 3D obtidas por meio dos campos a serem preenchidos, foi baseada nos moldes tirados de diferentes tipos de mãos e punhos.



**Figura 16:** Moldes na folha A4.

Os moldes tirados com as folhas A4 demonstrado na Figura 16 foram utilizadas para adquirir os parâmetros essenciais que serviram como base para a realização da projeção precisa da órtese.

## 4.3. ÔRTESE FINAL

A impressor 3D do tipo FDM foi importante para a fabricação da órtese final. O uso do molde permitiu uma precisão na criação da órtese, garantindo um ajuste perfeito para o paciente. Na figura 17, é demonstrado o modelo impresso com o material PLA, que oferece uma combinação ideal de durabilidade e leveza.



**Figura 17:** Órtese final feita na impressora 3D.

#### 4.4. FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

Neste subcapítulo serão descritas as ferramentas principais que serão usadas no processo de criação da aplicação.

##### 4.4.1. Visual Studio

Em 1997, a Microsoft introduziu uma ferramenta inovadora chamada Visual Studio. Essa plataforma abrangente possibilita aos desenvolvedores escrever, editar, depurar e criar código, consolidando todo o ciclo de desenvolvimento em uma única interface integrada.

De acordo com o site Microsoft (2023), o Visual Studio oferece suporte a diversas linguagens, como C++, C#, JavaScript, TypeScript, Python, entre outras, tornando-o uma escolha flexível e versátil para a comunidade de programadores.

##### 4.4.2. Windows Forms .Net Framework

O Windows Forms é uma biblioteca de classes da plataforma .NET da Microsoft, projetada para simplificar o desenvolvimento de aplicativos de desktop com interface gráfica do usuário. Ele fornece um conjunto de controles e componentes que permitem criar interfaces de usuário ricas e interativas de forma relativamente direta (Microsoft, 2023).

### 4.4.3. Projeção 3D

Para a realização da projeção 3D da órtese foi utilizado a biblioteca OpenTK (Open Toolkit), no qual fornece uma série de classes e métodos que simplificam as chamadas de função do OpenGL (Open Graphics Library), considerada uma API de baixo nível para realizar renderização de gráficos 2D e 3D em computadores. Desenvolvida e mantida pelo grupo Khronos, a OpenGL proporciona uma plataforma funcional para o desenvolvimento de aplicativos gráficos e interativos (OpenTK, 2023).

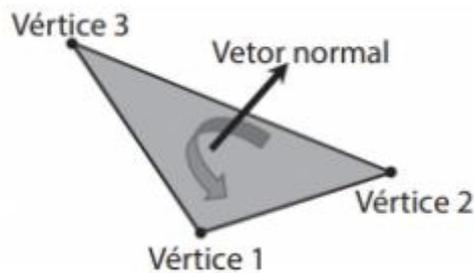
Optar pelo uso do OpenTK proporcionou a exploração das capacidades do OpenGL, o que teve um impacto direto na rapidez com que o desenvolvimento progrediu. Isso, por sua vez, simplificou a elaboração de uma experiência visual e interativa para os usuários da aplicação.

A união desses elementos abre possibilidades para a criação de ambientes tridimensionais, permitindo uma visualização precisa e detalhada da órtese em diferentes ângulos e perspectivas.

### 4.4.4. Arquivo STL

Desenvolvido em 1988 por Albert Consulting Group, sob demanda da 3D System Inc. dos Estados Unidos, o formato de arquivo STL se caracteriza por ser uma forma simples e robusta de representar modelos tridimensionais através de uma malha triangular que recobre todas as superfícies de um objeto. Ele é considerado um padrão de facto da indústria de equipamento de AM, pois é ele que oferece a possibilidade de ser interpretada por qualquer sistema de AM independente dos recursos ou sistema operacional (Volpato, 2017).

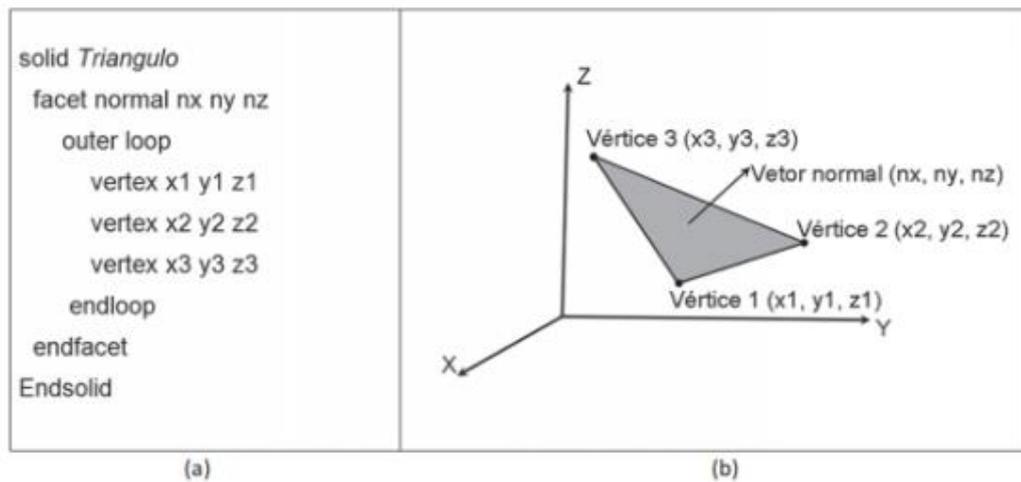
Para efetuar a representação da estrutura da malha triangular, o arquivo deve incluir os dados das coordenadas nas direções X, Y e Z, juntamente como vetor normal que caracteriza cada triângulo, conforme exemplificado na Figura 17 (Lira, 2021).



**Figura 18:** Representação de um triângulo do arquivo STL (Lira, 2021).

A exportação dos dados STL pode ser representado de dois formatos:

- **STL-ASCII** (American Standard Code for Information Interchange): Trata-se de uma representação em forma de código que possa ser interpretado de forma fácil e inteligível, composta por elementos como letras, dígitos, sinais de pontuação, códigos de controle outros símbolos. Também é utilizado para referir-se a um arquivo de texto que foi editado sem qualquer formatação adicional (como acentuação, negrito, sublinhado, variação de fontes etc.) (Lira, 2021).



**Figura 19:** (a) Representação de malha STL com sintaxe do arquivo STL (ASCII) para o triângulo, (b). Triângulo no formato STL (Volpato, 2017).

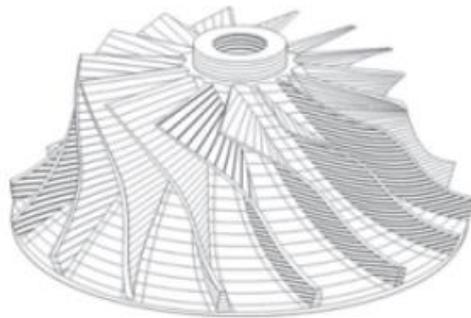
- **STL-Binário:** É um tipo de codificação em que os números são representados por pares de dígitos, usado para guardar informações dentro dos computadores, como imagens, sons e arquivos feitos em planilhas (Lira, 2021). Essa codificação binária faz com que os arquivos ocupem menos espaço, mas são difíceis para a compreensão humana. Esse formato inclui uma parte no começo do arquivo com informações sobre ele, seguida por partes que representam triângulos, como mostrado na Figura 19 (Volpato, 2017).

	<i>Tipo de dado</i>	<i>Tamanho</i>
<i>Cabeçalho:</i>		
<i>Descrição</i>	<i>Ascii</i>	<i>80 bytes</i>
<i>nº de triângulos</i>	<i>nº inteiro sem sinal</i>	<i>4 bytes (long)</i>
<i>Dados:</i>		
<i>Vértice 1</i>	<i>3x Flutuante</i>	<i>12 bytes</i>
<i>Vértice 2</i>	<i>3x Flutuante</i>	<i>12 bytes</i>
<i>Vértice 3</i>	<i>3x Flutuante</i>	<i>12 bytes</i>
<i>Normal</i>	<i>3x Flutuante</i>	<i>12 bytes</i>
<i>Atributo</i>	<i>nº inteiro sem sinal</i>	<i>2 bytes (para representar cores)</i>

**Figura 20:** Estrutura de representação de arquivo STL binário (Volpato, 2017).

Um aspecto crucial a ser destacado é que, não importa qual método de representação seja empregado na criação do arquivo STL, será sempre indispensável submeter o modelo tridimensional da peça ao processo de “fatiamento”.

Esse procedimento ocorre por meio de um software especializado, onde o modelo sólido é dividido em camadas sucessivas. Sendo fundamental esse processo para a preparação do arquivo de impressão, pois cada camada representa um nível de altura que a impressora 3D irá construir, garantindo a precisão e a fidelidade do objeto final.



**Figura 21:** Exemplo de uma peça fatiada (Lira, 2021).

## 5. CONCLUSÃO

Este projeto teve como proposta estudar sobre como poderia ser feita a automatização do processo de criação de modelos de órteses em impressoras 3D, buscando entender e adquirir conhecimento necessário sobre o tema. Por meio do conhecimento adquirido, também foi proposto o desenvolvimento de uma aplicação que permite que a partir dos dados especificados de cada paciente, seja possível visualizar uma órtese de punho personalizada. Além disso, ela oferece a capacidade de gerar um arquivo STL, pronto para ser usada na impressão 3D da órtese projetada.

A abordagem adotada pode desencadear uma motivação substancial no campo da saúde. Através desta aplicação, percebe-se que as órteses ou talas, frequentemente produzidas manualmente, podem beneficiar-se da evolução e compreensão das tecnologias 3D para que se possa aprimorar sua confecção, oferecendo um processo mais eficiente e eficaz para os pacientes que requerem o uso das órteses.

Além de trazer praticidade para os profissionais na área, a implementação dessa abordagem também promove benefícios ambientais nos processos de fabricação das órteses. Isso não apenas resultará em economia de custos, mas também contribuirá para uma maior sustentabilidade e espera-se uma ampliação da durabilidade das órteses e um maior conforto para os pacientes em uso contínuo no dia a dia.

Atualmente, a aplicação se concentra na criação de órteses de punho. Uma extensão natural seria nos trabalhos futuros expandir sua funcionalidade para permitir a geração de outros tipos de órtese, como órteses de tornozelo, joelho ou cotovelo. Isso ampliaria a utilidade da aplicação, atendendo a uma variedade de necessidades ortopédicas.

Também pode ser investigado a possibilidade de otimizar a aplicação para funcionar com diferentes modelos de impressoras 3D e tipos de filamentos. Isso permitirá uma maior flexibilidade na escolha dos recursos de impressão e material, levando a órtese ainda mais adaptadas às necessidades dos pacientes.

## REFERÊNCIAS

- Awad, F. Fina, A. Goyanes, S. Gaisford, A.W. Basit, Advances in powder bed fusion 3D printing in drug delivery and healthcare, *Advanced Drug Delivery Reviews* (2021), doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.04.025>
- CARVALHO, José A. **Órteses: um recurso terapêutico complementar - 2a ed.** 2013. *E-book*. ISBN 9788520454954. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520454954/> . Acesso em: 22 jul. 2023.
- CUNICO, Marlon Wesley Machado. Impressoras 3D: O novo meio Produtivo. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang\\_pt&id=CybwCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=Impressora+3D+material+extrusion&ots=0VPut0mxLu&sig=MnN4j2186VOxuDGM4SF4Bfs3ns4#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=CybwCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=Impressora+3D+material+extrusion&ots=0VPut0mxLu&sig=MnN4j2186VOxuDGM4SF4Bfs3ns4#v=onepage&q&f=true) ,(1rd edição). Concep3D, 2015.
- ENDEL A, Stereolithography. <https://www.3dsystems.com/stereolithography> .Acesso em março de 2023.
- ENDEL B: What is 3D Printing. <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/> .Acesso em março de 2023.
- ENDEL C: About Additive Manufacturing - The 7 Categories of Additive Manufacturing. <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/> .Acesso em março de 2023.
- Guey, William. Tipos de materiais de Impressão 3D e suas aplicações. Disponível em: <https://www.printit3d.com.br/post/tipos-de-materiais-de-impress%C3%A3o-3d-e-suas-aplica%C3%A7%C3%B5es>. PRINT IT3D, 2020.
- HIEMENZ, Joe. 3D printing with FDM: How it Works. Stratasy Inc, v. 1, p. 1-5, 2011.
- JÚNIOR, Rui Araújo; COSTA, Diogo Pontes; OLIVEIRA, Nadja Maria da Silva. **Sitematização e Desenvolvimento um Órtese Customizada Impressa em 3D do Tipo AFO**. Educação Gráfica, Brasil, Bauru, v. 25, Nº. 2. Agosto de 2021. Pg. 88 – 108. [https://www.researchgate.net/profile/Diogo-Costa-18/publication/355174225\\_SISTEMATIZACAO\\_E\\_DESENVOLVIMENTO\\_UMA\\_ORTESE\\_CUSTOMIZADA\\_IMPRESSA\\_EM\\_3D\\_DO\\_TIPO\\_AFO\\_SYSTEMATIZATION\\_AND\\_DEVELOPMENT\\_OF\\_A\\_CUSTOM\\_3D\\_PRINTED\\_ORTHOSES\\_OF\\_THE\\_AFO\\_TYPE/links/61642fc10bf51d48176de619/SISTEMATIZACAO-E-DESENVOLVIMENTO-UMA-ORTESE-CUSTOMIZADA-IMPRESSA-EM-3D-DO-TIPO-AFO-SYSTEMATIZATION-AND-DEVELOPMENT-OF-A-CUSTOM-3D-PRINTED-ORTHOSES-OF-THE-AFO-TYPE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Diogo-Costa-18/publication/355174225_SISTEMATIZACAO_E_DESENVOLVIMENTO_UMA_ORTESE_CUSTOMIZADA_IMPRESSA_EM_3D_DO_TIPO_AFO_SYSTEMATIZATION_AND_DEVELOPMENT_OF_A_CUSTOM_3D_PRINTED_ORTHOSES_OF_THE_AFO_TYPE/links/61642fc10bf51d48176de619/SISTEMATIZACAO-E-DESENVOLVIMENTO-UMA-ORTESE-CUSTOMIZADA-IMPRESSA-EM-3D-DO-TIPO-AFO-SYSTEMATIZATION-AND-DEVELOPMENT-OF-A-CUSTOM-3D-PRINTED-ORTHOSES-OF-THE-AFO-TYPE.pdf)
- Kabuchi, Thais A. F., Ribeiro, Rosinei B. Manufatura aditiva em matérias metálicas, seus processos e aplicações – um ensaio teórico. 2022. 10. Tese (Mestrado) – Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa – São Paulo SP, 2022.

LIRA, Valdemir M. **Processos de fabricação por impressão 3D: Tecnologia, equipamentos, estudo de caso e projeto de impressora 3D**. Editora Blucher, 2021. *E-book*. ISBN 9786555062960. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555062960/>. Acesso em: 14 ago. 2023.

Mehrpouya, M., Tuma, D., Vaneker, T., Afrasiabi, M., Bambach, M. and Gibson, I. (2022), "Multimaterial powder bed fusion techniques", *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 28 No. 11, pp. 1-19. <https://doi.org/10.1108/RPJ-01-2022-0014>

Microsoft. **Guia da área de trabalho (Windows Forms .NET)**. Disponível em <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/desktop/winforms/overview/?view=netdesktop-7.0&source=recommendations>. Acesso em 10 de ago. de 2023.

Microsoft. **O que é o Visual Studio?**. Disponível em <https://learn.microsoft.com/pt-br/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2022>. Acesso em 10 de ago. de 2023.

Mohammadreza Lalegani Dezaki, Ahmad Serjouei, Ali Zolfagharian, Mohammad Fotouhi, Mahmoud Moradi, M.K.A. Ariffin, Mahdi Bodaghi. A review on additive/subtractive hybrid manufacturing of directed energy deposition (DED) process. *Advanced Powder Materials*, Volume 1, Issue 4. 2022

Mora; Samantha, Pugno; Nicola M. e Misseroni, Diego. 3D printed architected lattice structures by material jetting. *Materials Today*, v. 59, p. 3-4, 2022.

Mostafaei, Amir; Elliott, Amy M.; Barnes, John E.; et al. Binder jet 3D printing—Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges. *Progress in Materials Science*, v. 119, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apmate.2022.100054>

MUNHOZ, Rodrigo; MORAES, Cícero André C.; TANAKA, Harki; KUNKEL, et al. **A digital approach for design and fabrication by rapid prototyping of orthosis for developmental dysplasia of the hip**. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 32, n. 1, p. 63–73, 2016. <https://www.scielo.br/j/reng/a/JfDqTS3TgxN3HbtDgvd4VWJ/?format=pdf&lang=en>

OpenTK. **OpenGL**. Disponível em <https://opentk.net/learn/chapter1/0-opengl.html>. Acesso em 13 de ago. de 2023.

Pagac, M.; Hajnys, J.; Ma, Q.-P.; Jancar, L.; Jansa, J.; Stefek, P.; Mesicek, J. A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing. *Polymers* 2021, 13, 598. <https://doi.org/10.3390/polym13040598>

PATERSON, A. M. J.; BIBB, R. J.; CAMPBELL, R. I.; BINGHAM, G. Comparing Additive Manufacturing Technologies for Customised Splints. *Rapid Prototyping Journal*, v. 21, n. 3, p. 230 – 243, 2015.

PERRIN, David H. **Bandagens funcionais e órteses esportivas**. Grupo A, 2014. *E-book*. ISBN 9788582710135. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582710135/> Acesso em: 09 ago. 2023

Pou, Juan; Riveiro, André e Davim, J. Paulo. *Additive Manufacturing*, p. 1-166, 2021.

SCHMITZ, Cristiane. Proposta de protocolo para o desenvolvimento e avaliação de órtese customizada de punho-mão utilizando tecnologias 3D. 2019. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Shirazi, S.F.S., Gharekhani, S., Mehrali, M., Yarmand, H., Metselaar, H.S.C., Kadri, N.A. and Osman, N.A.A. (2015), Powder bed fusion Mehrshad Mehrpouya et al. Rapid Prototyping Journal Volume 28 · Number 11 · 2022 · 1–19 17 “A review on powder-based additive manufacturing for tissue engineering: selective laser sintering and inkjet 3D printing”, Science and Technology of Advanced Materials, Vol. 16 No. 3.

VASCONCELOS, Gabriela S.; MATIELLO, Aline A. **Órtese e prótese**. Grupo A, 2020. *E-book*. ISBN 9786581492779. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786581492779/> . Acesso em: 22 jul. 2023.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. Blucher, 2017. *E-book*. ISBN 9788521211518. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521211518/>. Acesso em: 14 ago. 2023.

X. Xu, A. Awad, P.R. Martinez, et al., Vat photopolymerization 3D printing for advanced drug delivery and medical device applications, Journal of Controlled Release (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.10.008>