Faculdade Sete Lagoas - FACSETE

Cléber Alencar Salles

IMPRESSORA 3D: MATERIALIZANDO O VIRTUAL

Poços de Caldas

2025

Cléber Alencar Salles

IMPRESSORA 3D: MATERIALIZANDO O VIRTUAL

Monografia apresentada ao Programa de Especialização em Implante e Prótese Dentária da – FACSETE – Núcleo Poços de Caldas-, como requisito parcial a obtenção do título de especialista em Prótese Dentária.
Orientador: Prof. Me. Giovanni Antônio Nícoli.

Poços de Caldas

2025

Sumário

Resumo 4
Abstract 5
1. Introdução 6
2. Materiais e Métodos 8
3. Resultados 9
3.1 Tecnologia de impressão 9
3.1.1 Tecnologia aditiva 9
3.1.2 Tecnologia redutiva 10
3.2 Tipos de impressoras 10
3.2.1 Estereolitografia (SLA, SL) Stereolithography 11
3.2.2 Jateamento de fotopolímero (PPJ) Photopolymer Jetting 11
3.2.3 Impressoras de aglutinantes em pó (PBP) Powder Binder Printer 12
3.2.4 Processamento digital de luz (DLP) Digital Light Processing 12
3.2.5 Sinterização seletiva a laser (SLS) Seletive Laser Sintering 13
3.2.6 Modelagem de deposição fundida (FDM) Fused Deposition Modeling 14
3.3 Tipos de resina líquida para impressão 17
3.4 Nível de precisão (acurácia) 18
3.5 Processamento pós impressão ou acabamento 19
4. Discussão 21
5. Conclusão 25
6. Referências Bibliográficas 26

Resumo

A velocidade do desenvolvimento das tecnologias e sistemas de software em conjunto com inúmeros fabricantes representam uma grande diversidade de modelos de impressora 3D, sendo essas, aditivas ou redutivas no campo da odontologia demonstrados atualmente em congressos científicos. Na década anterior, os custos das impressoras e de scanners eram relativamente altos para o padrão dos cirurgiões-dentistas, recentemente, com as inovações tecnológicas, se tornaram tangíveis para aqueles que querem fazer um trabalho de qualidade. O Brasil ainda não produz esses modelos de impressoras, mas em contrapartida, encontramos empresas brasileiras líderes em produção de resinas de qualidade para uso de impressão 3D. A era digital está cada vez mais presente na rotina dos consultórios dos cirurgiões-dentistas e laboratórios de próteses, os avanços do scaneamento intraoral em conjunto com a tomografia computadorizada de feixe cônico está presente e em franco crescimento. O uso da impressão 3D inclui a elaboração de guias de broca para implantes dentários a produção de modelos físicos para próteses, modelos ortodônticos, estruturas para implantes e mais recentemente há no mercado impressoras confeccionando restaurações como inlay, onlay, endocrown e facetas de resinas modificadas com incremento de cerâmicas em sua matriz foto polimerizáveis, trazendo agilidade e conforto ao paciente e ao cirurgião-dentista. A impressão 3D na tecnologia de adição tem perca mínima de material, em torno de 2%, quando comparada a tecnologia redutiva cuja perda é na proporção de 40%, em um mundo que a cada dia se preza pelo reaproveitamento de seus recursos naturais evitando o desperdício.

Palavras chaves: Impressão em 3D; Tecnologia Aditiva; Tecnologia Subtrativa; Materiais Odontológicos; Odontologia digital.

Abstract

The rapid advancement of technologies and software systems, in conjunction with the presence of numerous manufacturers, has resulted in a broad diversity of 3D printer models—whether based on additive or subtractive manufacturing—currently demonstrated in the field of dentistry at scientific conferences. In the previous decade, the costs associated with printers and scanners were relatively high for most dental practitioners; however, recent technological innovations have rendered these devices more accessible to professionals seeking to deliver high-quality outcomes. Although Brazil does not yet manufacture such printer models, the country hosts leading companies in the production of high-quality resins specifically developed for 3D printing applications. The integration of digital technologies is becoming increasingly prevalent in the daily practice of dental clinics and prosthetic laboratories. Advances in intraoral scanning, combined with cone beam computed tomography (CBCT), are well established and continue to expand significantly. Current applications of 3D printing include the fabrication of surgical drilling guides for dental implants, physical models for prosthetic planning, orthodontic models, implant frameworks, and, more recently, restorations such as inlays, onlays, endocrowns, and veneers produced using resin matrices modified with ceramic reinforcements in photo-polymerizable compositions. These innovations provide greater efficiency, precision, and comfort for both patients and practitioners. From a sustainability perspective, additive manufacturing in dentistry results in minimal material waste—approximately 5%—when compared to subtractive methods, which generate losses of approximately 35–40%. This characteristic is particularly relevant in the current global context, which emphasizes the conservation of natural resources and the reduction of waste.

Keywords; 3D Printing; Additive Technology; Substrative Technology; Dental Materials; Digital Dentistry

1. Introdução

A transformação da tecnologia e a integração de soluções digitais estão revolucionando áreas especializadas no campo da engenharia, arquitetura, medicina e na odontologia não seria diferente. O diagnóstico tradicionalmente realizado por imagens 2D está cada vez mais se movendo para a tecnologia 3D. Os avanços tecnológicos associados à aquisição de imagens por tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e dados de varredura de superfície óptica intraoral ou laboratorial melhoraram muito a eficiência, a precisão e a previsibilidade dos resultados odontológicos, com novos protocolos sendo adicionados tanto em clínicas especializadas em radiologia quanto em consultório particular. (Bosio, 2015; Vieira e Vinha, 2022)

Os desenvolvimentos de tecnologia de computadores e aplicativos de software são parte importante da onda de mudança tecnológica que levou concretização da impressão 3D. A tecnologia (CAD/CAM) Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing foram desenvolvidas para a área odontológica em meados da década de 80. (Teneva, et al; 2015, Dawood, et al; 2015)

O software CAD/CAM consiste em três componentes principais: 1) aquisição e digitalização de dados; 2) processamento e design de dados; 3) fabricação através da impressão 3D. Com a constante evolução dos softwares de computadores, os materiais odontológicos evoluíram ao longo do tempo, a tecnologia CAD/CAM se tornou cada vez mais popular, resultando em design e fresagem de coroas completas de alta qualidade e restaurações cerâmicas de múltiplas unidades. (Teneva, et al; 2015)

O mapeamento intraoral é coletado através de um scanner, que se obtém um arquivo no formato STL, com dados tridimensionais 3D da boca, processo alveolar, dentes e acidentes anatômicos com fidelidade nos detalhes eliminando os aspectos negativos das impressões odontológicas, que causam em grande parte dos pacientes o desconforto durante a moldagem (Mangano, et al; 2019). Com o scaneamento os dados STL são processados por vários softwares CAD disponíveis no qual obtém-se uma gama de dispositivos como guias de broca para implantes dentários, placas ortodônticas, placas para tratamento de bruxismo, estruturas protéticas (coroas ou próteses) e modelos de estudo ou de trabalho. (Nowak et al, 2017)

Para passar do ambiente virtual para o real, a tecnologia CAD/CAM é usada para a concepção e produção de peças odontologicas, via métodos de impressão 3D ou fresadoras. (Mangano et al, 2018)

Com o mapeamento do arco do paciente, capturando todos os detalhes com um scanner intraoral, obtém-se o desenho assistido por computador (CAD), que projeta a estrutura digital 3D da peça e, por fim, a fabricação assistida (CAM), obtendo a linguagem digital que a impressora/fresadora utiliza para fabricar o componente. Desta forma, a tecnologia CAD/CAM pode criar rapidamente diversos tipos de trabalhos, com qualidade superior aos modelos produzidos por moldagem tradicional. (Martelli et al, 2016)

40 anos atrás nascia a criação de modelos de impressoras 3D, com a finalidade de aperfeiçoar as técnicas e desde então, vem se aprimorando os modelos, trazendo junto a otimização da produção com preços reduzidos, além da alta eficiência e qualidade. Em 1980 Chuck Hull nos traz o primeiro modelo de impressora 3D denominado estereolitografia (SLA), e, alguns anos depois lança o primeiro modelo comercial denominado SLA-1, tal tecnologia age através de laser ultravioleta para curar determinadas resinas, transformando-as do estado líquido para estado sólido. No ano de 1989 Carl Deckard dava vida a criação da sinterização seletiva a laser (SLS) a base de pó polimerizando através de um feixe de laser. (Huang et al, 2022)

Atualmente há no mercado impressoras com o processamento digital de luz (DLP), Digital Light Processing, possui resolução mais alta que a SLA, no qual age através da projeção de luz ultravioleta em um conjunto de micro espelhos ajustando-se, a área transversal e imprimindo a seção em uma única vez. Há também as impressoras (LCD) Liquid Crystal Display, tendo seu primeiro modelo lançado em 2019 denominado Phrozen-Sonic com máscara de alta translucidez permitindo uma maior penetração de luz, sua durabilidade está estimada em 50 horas de trabalhos devido ao aquecimento gerado pelos leds. (Borrello et al, 2018; Chen et al, 2021).

2. Materiais e Métodos

Para realização deste estudo, utilizou-se do método de revisão integrativa da literatura, com busca ativa realizada entre 2004 a 2023. Para o desenvolvimento, partiu-se da pergunta norteadora: quais os tipos de impressoras utilizadas na odontologia, os principais materiais utilizados para as impressões e suas finalidades. Para o desenvolvimento, seguiram-se as etapas: identificação do tema e seleção da hipótese ou questão de pesquisa, estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos, definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados, avaliação das pesquisas incluídas, interpretação dos resultados e apresentação da síntese de conhecimento.

A pesquisa dos artigos foi realizada por meio de consulta às bases bibliográficas eletrônicas, Medline, BVS (Biblioteca Virtual de Saúde), Scientific Eletronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico.

Para as buscas utilizou-se principalmente os termos em inglês " 3D printing", "Application of three-dimensional printers", " Three-dimensional printer models", "3D printing materials", e os termos em português "Tipos de impressora 3D usadas na odontologia", " aplicabilidade da impressão 3D", "Manufatura aditiva" sendo esses inseridos através do operador Grafia: booleano "and".

Os critérios de inclusão utilizados foram artigos nos idiomas: português e inglês, publicados entre 2004 a 2023. A exclusão dos artigos foi estabelecida mediante a indisponibilidade nas bases de dados, não resposta à pergunta norteadora e não enquadramento quanto ao objetivo proposto para este estudo.

Os artigos foram escolhidos e, a partir da leitura completa, foram colocados em categorias de análise conforme o conteúdo. Adotou-se ferramenta de coleta de dados que inclui informações relevantes para esta pesquisa, como tema, ano, autoria, periodicidade, objetivo, tipo de estudo e resultado.

Após realização das etapas da revisão integrativa propostas por Mendes et.al, encontraram-se quarenta e três artigos.

3. Resultados

3.1 Tecnologia de impressão

3.1.1 Tecnologia aditiva

A manufatura aditiva (MA) é comumente chamada de tecnologia de impressão tridimensional (3D). Existem outros sinônimos de MA na literatura de pesquisa, como fabricação aditiva, processos aditivos, técnicas aditivas, manufatura aditiva de camadas, manufatura de camadas, fabricação de forma livre, manufatura rápida, manufatura digital direta e prototipagem rápida (Guo e Leu, 2013). É denominado como processo de união de materiais para fazer objetos a partir de dados de modelos 3D, geralmente camada sobre camada, em oposição às metodologias de manufatura subtrativa. A tecnologia MA foi desenvolvida a mais de 40 anos e atingiu um nível de maturidade que pode ser convertido em aplicações comerciais e industriais, incluindo automotiva, aeroespacial, produtos de consumo e engenharia biomédica (Yang et al, 2020).

A manufatura aditiva pode produzir diretamente estruturas tridimensionais complexas com excelente precisão de fabricação, processo de produção simplificado, redução de recursos humanos e tempo de serviço nas peças personalizadas além da economia de materiais. (Prendergast et al, 2020). No campo odontológico, a tecnologia MA vem sendo cada vez mais utilizada e pesquisada no campo da cirurgia maxilofacial, guias cirúrgicos para confecção de protocolos, próteses totais ou parciais removíveis, alinhadores ortodônticos, guias para instalação de implantes dentários e a fabricação de coroas inlays e onlays. (Bhargav et al, 2018)

O uso da tecnologia MA levou ao desenvolvimento da odontologia de métodos empíricos puros tradicionais para digitalização e precisão. O uso generalizado da Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) pode reconstruir a anatomia maxilofacial e dentária tridimensional, o que melhora significativamente a qualidade do diagnóstico e do tratamento. (Huang, et al, 2022). Além disso, a bioimpressão usando MA que incorpora ingredientes ativos como células, matriz e fatores de crescimento tem mostrado um incrível potencial desenvolvimento no campo da regeneração de dentes, maxilares e tecidos periodontais (Green et al, 2016). No entanto, a bioimpressão ainda

está no estágio inicial e precisa de mais estudos para imitar a estrutura e a função complexas dos tecidos naturais no corpo humano. (Heid et al, 2020)

3.1.2 Tecnologia redutiva

A odontologia tem uma longa associação com a manufatura redutiva ou subtrativa mais comumente descrita como fresagem. A manufatura subtrativa é a remoção de material para formar um objeto. CAD/CAM é sinônimo de tecnologia odontológica moderna, para a fresagem de coroas ou guias para posicionar implantes em pacientes desdentados dentre muitas utilidades. (Miyazaki e Hotta, 2011)

A odontologia moderna tem familiaridade com materiais projetados para trabalhar com CAD/CAM e está substituindo gradativamente as ligas metálicas de fundição. O uso desta tecnologia facilita a utilização de alguns materiais, que de outra forma seriam difíceis de trabalhar. Elimina técnicas de produção artesanal intensivas que necessitem de mão de obra, permitindo que o técnico odontológico concentre suas habilidades manuais em aspectos mais criativos do processo de fabricação, por exemplo, a estratificação estética da porcelana. (Venkatesh e Nandini, 2013)

A reconstrução ou restauração tem sua complexidade inata, exigindo a reprodução geométrica com um alto nível de precisão, embora os processos de fresamento CAD/CAM multieixo permitam isso até certo ponto, o processo é lento e desperdiçador, pois o material é fresado a partir de um bloco intacto, e a precisão é limitada pela complexidade do objeto, o tamanho da peça e as propriedades do material. A impressão 3D, no entanto, se destaca pela fabricação precisa e única de estruturas complexas em uma variedade de materiais com propriedades altamente desejáveis em odontologia e cirurgia. (Sykes et al, 2004; Sulaiman, 2020)

3.2 Tipos de impressoras

Existem diferentes tipos de tecnologias de impressão, cada uma com suas próprias vantagens e desvantagens. Infelizmente, uma característica comum dos equipamentos mais funcionais e produtivos é o custo elevado do equipamento, dos materiais e da manutenção frequentemente acompanhados pela necessidade de limpeza complicada, pós-processamento. (Dawood et al, 2015)

3.2.1 Estereolitografia (SLA, SL) Stereolithography

Em 1980 Chuck Hull apresenta o primeiro modelo de impressora 3D denominado estereolitografia (SLA, SL) tal tecnologia age através de laser ultravioleta de varredura para construir peças, camada por camada, em um tanque de resina fotopolimerizável. Cada camada é polimerizada pelo laser na superfície da resina líquida, em um ponto da plataforma de construção que desce, e outra camada de resina é polimerizada sobre a superfície. Esse processo é repetido até o termino da impressão.

Os suportes onde as impressões 3D ficam aderidas são gerados pelo próprio software CAD, possuem resistência à ação de limpeza e à gravidade, após a impressão os suportes são removidos do produto final. O pós-processamento envolve a remoção do excesso de resina por lavagem e a passagem em um forno ultravioleta (UV) para completar a cura da resina. (Huang et al, 2022)

O processo é caro quando usado para objetos grandes, mas essa tecnologia é comumente usada para a produção industrial de brocas para implantes impressas em 3D. (Dawood et al, 2015)

3.2.2 Jateamento de fotopolímero (PPJ) Photopolymer Jetting

Esta tecnologia usa materiais de resina fotopolimerizável e cabeças de impressão semelhantes as encontradas em uma impressora jato de tinta, mas consideravelmente mais caras, o depósito é feito em camadas de resina fotopolimerizáveis e, a cada passagem do cabeçote ocorre uma impressão. A tecnologia pode usar uma plataforma estacionária com a cabeça de impressão dinâmica ou uma cabeça de impressão estacionária e plataforma dinâmica.

Uma variedade de materiais pode ser impressa, incluindo resinas e ceras para fundição, bem como alguns materiais de borracha tipo silicone. Objetos com geometria complexa e detalhes delicados são possíveis nessa tecnologia devido a sua alta resolutividade que é apenas 16 mícrons. (Ibrahim et al, 2009)

A desvantagem é que o equipamento e os materiais de operação têm um custo elevado, e os materiais de suporte podem ser tenazes e bastante difícil de remover. Eles são úteis para imprimir modelos de estudo odontológico ou anatômico, mas os valores finais da peça se tornam mais caros quando produzidos dessa forma, outra utilidade é a produção de guias de instalação de implante podem ser produzidos de forma rápida e

barata, pois são de volume menor. Uma vantagem particular dessa tecnologia é a possibilidade de uso de múltiplas cabeças de impressão permitindo a impressão simultânea com diferentes materiais, e misturas graduadas de materiais, torna possível variar as propriedades do objeto impresso, que pode ter partes flexíveis e rígidas, por exemplo, para a produção guias de colagem de bráquetes ortodônticos na técnica indireta. (Etemad-Shahidi et al, 2020)

3.2.3 Impressoras de aglutinantes em pó (PBP) Powder Binder Printer

Esses aparelhos usam uma cabeça de jato de tinta modificada para imprimir, usa essencialmente, gotículas de líquido para infiltrar uma camada de pó, a impressão é realizada em camada por camada. Normalmente, um líquido pigmentado, sendo a água o principal ingrediente para molhar o pó e o agente aglutinador mais usado é o gesso Paris.

Novamente, um modelo é construído em camadas conforme deposita-se o pó incrementalmente, e uma nova camada fina de pó é depositada sobre a superfície. O modelo é suportado por pó não infiltrado, e assim nenhum material de suporte é necessário. O pós-processamento é delicado o modelo impresso é revestido com uma resina de cianoacrilato ou epóxi melhorando a resistência e a dureza da superfície.

Os materiais impressos são úteis como modelos de estudo ou protótipos visuais, mas a precisão é limitada e os modelos são bastante frágeis, apesar do pós-processamento. Uma vantagem particular dessa tecnologia está em sua capacidade de imprimir modelos em cores. Em uma perspectiva cirúrgica há desvantagem, os modelos não podem ser esterilizados ou manipulados diretamente na operação.

A precisão é inadequada para aplicações protéticas. O equipamento bem como os materiais são de menor custo, mas ainda possuem valores expressivos. Como o material principal é o gesso Paris, há alguma compatibilidade em ter o aparelho situado em uma sala de gesso de laboratório odontológico. (Ciuffolo et al, 2006)

3.2.4 Processamento digital de luz (DLP) Digital Light Processing

A impressão ocorre pelo processamento digital da luz (DLP), a impressora projeta a luz ultravioleta em um conjunto de micro espelhos de auto ajuste focado na plataforma de impressão polimerizando a resina líquida. (Chen et al, 2021)

O sistema óptico da impressora DLP, possuí projetor afastado da área de impressão, o projetor é de LED e está dimensionado para imprimir até 50.000 mil horas sem precisar de grandes manutenções, e na grande maioria essas cinquenta mil horas são apenas manutenção como troca tubo de teflon a lubrificação de guias e limpeza da impressora, as vantagens dessa impressora são o fato delas oferecerem a melhor acurácia precisão e resolução das impressões, porém seu custo inicial é mais elevado comparado a LCD, Liquid Crystal Display mas, se tiver maior quantidade de trabalhos a ser realizado esse valor é diluído e passa a ser mais econômico. (Chen et al, 2021)

3.2.5 Sinterização seletiva a laser (SLS) Seletive Laser Sintering

Esta tecnologia está disponível desde meados da década de 1980. Um laser de varredura funde um pó de material fino, para construir estruturas camada por camada, à medida que a resina polimeriza uma nova camada de pó é depositada uniformemente sobre a superfície. Essa técnica possuí alto nível de resolução, pode ser obtida camadas de até (60 μm), e como as estruturas impressas são suportadas pelo pó circundante, nenhum material de suporte é necessário. (Melchels et al, 2010; Huang et al, 2022)

Os polímeros usados nesse processo possuem têm altos pontos de fusão (acima da temperatura de esterilização em autoclave) e excelentes propriedades térmicas, tornando os objetos feitos desta forma úteis como modelos de estudo anatômico, guias de corte e perfuração, modelos dentários e para protótipos de engenharia/design. No entanto, alguns dos materiais são difíceis de perfurar e preparar, e a tecnologia é cara para comprar, manter e executar, exigindo, portanto, grandes quantidades de ar comprimido. Os materiais são intrinsecamente empoeirados, pode haver algumas restrições perante o órgão de saúde e segurança. (Ibrahim et al, 2008)

Os materiais disponíveis incluem nylon, que é talvez o material elastomérico mais versátil e flexível, e misturas de nylon contendo metal. Uma possibilidade interessante para implantes médicos é o uso de ”polyether ether ketone” (PEEK), embora isso exija altas temperaturas e controle complexo. (Tan et al, 2005)

A capacidade de impressão 3D em metais é incrivelmente empolgante no mundo odontológico. Há uma ampla gama de metais e ligas metálicas disponíveis, incluindo titânio, ligas de titânio, ligas de cobalto-cromo e aço inoxidável. Dentaduras parciais impressas em 3D e estruturas de próteses já estão sendo feitas dessa forma, bem como

para base de protocolos, essa tecnologia pode ser combinada com processos de fresagem para fornecer conexões de alta precisão. A tecnologia é amplamente a mesma que a descrita para polímeros acima, mas esses aparelhos também são descritos por diferentes fabricantes como "fusão seletiva a laser" ou "sinterização direta a laser de metal".

A execução da impressão 3D em si pode ser direto, mas o pós-processamento definitivamente não é direto, e os pós metálicos finos e resíduos de nanopartículas ainda mais finas representam um desafio a saúde e a segurança. Embora a impressora em si possa ser facilmente acomodada no laboratório odontológico, o equipamento de pós-produção associado ocupa pelo menos o mesmo espaço. Embora em teoria o uso de uma máquina para imprimir diferentes materiais possa parecer viável, na prática é extremamente difícil limpar completamente uma máquina, e certamente alternar entre um metal implantável e um material restaurador não é nada prático.

Na produção em pequenos lotes, a tecnologia é cara e a fundição continua a ter muitas atrações. No entanto, em uma grande máquina dedicada, é possível imprimir simultaneamente 400–500 copings de coroa em um período de 24 horas. Além disso, os copings podem ser impressos em materiais de menor custo que são tradicionalmente mais difíceis de trabalhar do que ligas de ouro, como o cobalto-cromo, mas que oferecem boas resistências de ligação de porcelana e excelentes propriedades mecânicas.

Em aplicações cirúrgicas, a tecnologia permite produzir lotse simples de implantes para aplicações ortopédicas e implantes dentários, sendo considerada útil na produção de cranioplastias de titânio em cirurgia oral e maxilofacial. (Lin et al, 2013; Schepers et al, 2013)

3.2.6 Modelagem de deposição fundida (FDM) Fused Deposition Modeling

A Modelagem de deposição fundida (FDM) é uma das primeiras tecnologias de impressão 3D e foi usada pelo autor para produzir seu primeiro modelo médico em 1999. Uma impressora FDM é essencialmente uma pistola de cola robótica; uma extrusora atravessa uma plataforma estacionária ou uma plataforma se move abaixo de uma extrusora estacionária. Os objetos são "fatiados" em camadas pelo software e as coordenadas são transferidas para a impressora. Os materiais devem ser termoplásticos por definição. (Torabi et al, 2015)

Um material atualmente utilizado é o polímero biodegradável ácido polilático, materiais similares têm sido usados na composição de estruturas de camadas na

"bioimpressão" uma área popular na pesquisa de engenharia de tecidos. A construção de geometrias complexas geralmente requer o assentamento de estruturas de suporte que podem ser formadas do mesmo insumo ou de um segundo insumo estabelecido por uma segunda extrusora - que, por exemplo, pode extrudar um material de suporte solúvel em água. A precisão dependerá da velocidade de deslocamento da extrusora, do fluxo de material e do tamanho de cada "degrau". (Chia e Wu, 2015)

Este é o processo usado pela maioria das impressoras 3D "caseiras" com o custo acessível, no qual, permite imprimir modelos anatômicos brutos sem muita complexidade, por exemplo, é possível imprimir uma mandíbula edêntula, embora imprimir uma maxila detalhada seja uma tarefa difícil. Impressoras FDM mais caras e precisas estão disponíveis e têm aplicação na criação de modelos de estudo anatômico. (Van Bael, et al 2015)

RESINA FOTOPOLIMERIZÁVEL

Técnica de Estereolitografia (SLA) - Polímero fotossensível	
Requer laser de varredura em um tanque de polímero líquido que cura camada por camada	
Vantagens	***Desvantagens***
De rápida construção. Alta resolução. Pode criar estruturas mais complexas. Custo reduzido em grandes quantidades.	Tecnologia de custo elevado. Polímeros líquidos foto polimerizáveis. Não pode ser esterilizado por aquecimento. Pode causar irritação ao contato com a pele e por inalação. Validade e vida útil limitados. Necessário remover o material de suporte.
Técnica de Fotojato - Polímero fotossensível	
Injetado em uma cabeça de impressão tipo jato de tinta na plataforma de construção, cura camada por camada na plataforma de descida incremental	
Vantagens	***Desvantagens***
Construção relativamente rápido. Alta resolução. Alta qualidade. Variedade de resinas disponível (cores, propriedades físicas, elasticidade, etc.) Tecnologia de custo acessível.	Material de custo elevado. Material de suporte tenaz de difícil remoção. Não pode ser esterilizado por aquecimento. Material de suporte pode causar irritação ao contato com a pele.
Técnica DLP (Processamento Digital de Luz) - Polímero fotossensível	
Uso de plataforma de elevação incremental, construído de cabeça para baixo e curado camada por camada por uma fonte de luz de projetor.	
Vantagens	***Desvantagens***
Construção relativamente rápido e precisa. Superfícies lisas. Tecnologia de custo acessível.	Material de custo elevado. Material semelhantes a cera de fundição. Não pode ser esterilizado por aquecimento. Pode causar irritação ao contato com a pele. Necessário remover o material de suporte. Vida útil e no tanque são limitadas.

AGLUTINANTE EM PÓ

Técnica com Material Cimentício ou Gesso	
Fixação por gotas de água colorida da cabeça de impressão tipo jato de tinta. Construída camada por camada em um leito de pó, em uma plataforma de descida incremental	
Vantagens	***Desvantagens***
Construção relativamente rápido. Material seguro. Material e tecnologia de custo acessível. Impressões coloridas.	Baixa resolução. Baixa resistência. Não pode ser esterilizado por aquecimento. Não pode ser esterilizado por encharcado.

PÓ SINTETIZADO

Técnica de Sinterização Seletiva a Laser (SLS) para Polímeros	
Construção de camada por camada em leito em pó. Câmara de construção aquecida aumenta a temperatura do material próximo ao ponto de fusão, no qual o laser de varredura irá sintetizar camada por camada em um leito descendente.	
Vantagens	***Desvantagens***
Diversidade de materiais: nylon, elastômeros e compósitos. Processo auto suportável. Dureza e precisão. Podem ser autoclavados. Pode ter funcionalidade mecânica completa. Custo reduzido em grandes quantidades.	Tecnologia de custo elevado. Requer ar comprimido, controle climático. Superfície áspera. A granel reduz o custo. Risco de inalação.
Técnica de Sinterização Seletiva a Laser (SLS) para Metais e Ligas Metálicas ou Fusão Seletiva a Laser (SLM) ou Sinterização Direta a Laser de Metal (DMLS)	
Pó metálico sinterizado por laser de varredura, construída camada por camada em uma câmara de construção fria sobre uma plataforma.	
Vantagens	***Desvantagens***
Alta resistência. Controle da porosidade. Diversidade de materiais: titânio e suas ligas, cromo-cobalto, aço inoxidável. Ligas metálicas são recicláveis. Construção de detalhes finos.	Tecnologia de custo extremamente elevado. Material de custo moderadamente elevado. Risco de explosão. Superfície áspera. Poeira e condensado de nanopartículas apresentam risco para a saúde. Requer pós-processamento elaborado. Requer tratamento térmico para aliviar as tensões internas. Material de suporte de difícil remoção. Processo relativamente lento.
Técnica de Fusão por feixe de elétrons (EBM, Arcam)	
Pó sintetizado camada por camada pró feixe de elétrons de varredura em plataforma de construção descendente. Câmara de construção aquecida	
Vantagens	***Desvantagens***
Uso de temperatura elevadas, não requer suporte de tratamento térmico. Peças densas. Porosidade controlada. Velocidade rápida.	Baixa resolução. Risco de explosão. Superfície áspera. Tecnologia de custo extremamente elevado. Material de custo moderadamente elevado. Pó apresenta risco para a saúde

TERMOPLÁSTICO

Técnica de Modelagem de Deposição Fundida (FDM)	
Material termoplástico extrudado através do bico na plataforma de construção. Primeira Tecnologia 3DP usada nas impressões domésticas	
Vantagens	***Desvantagens***
Alta porosidade. Resistencia mecânica variável. Material e equipamentos de custo baixo a médio. Baixa precisão nos equipamentos de baixo custo. Alguns materiais podem ser esterilizados por aquecimento.	Material de baixo custo, limitado a termoplásticos. Complexidade de formas limitadas para materiais biológicos. Necessário remover o material de suporte.

Fonte: adaptado de Dawood et al, 2015

3.3 Tipos de resina líquida para impressão

A composição das resinas compostas constitui de duas matérias principais, uma inorgânica e outra orgânica, posteriormente são agregadas a essas matrizes catalizadores, estabilizantes e pigmentos. Resina composta direta são aplicadas na cavidade oral em consultórios odontológicos, podendo ser modeladas e polimerizadas intraoralmente; resinas compostas indiretas são de uso laboratorial podendo ser blocos para serem fresados ou pré-polimerizados, superando algumas deficiências dos compósitos diretos, como contração de polimerização, monômeros lixiviáveis e propriedades mecânicas aprimoradas. As resinas compostas fresáveis requerem etapas mínimas de pós-processamento, polimento, mas possivelmente seja necessário a adição de corantes fotopolimerizáveis para caracterização de cor para produzir restaurações como facetas, inlays, onlays e coroas o mais próximo do natural. (Sulaiman, 2020)

Com a evolução das impressoras as matérias primas utilizadas para a impressão 3D evoluíram também, hoje no mercado existem uma gama de tipos por exemplo: Resina 3D Bio Crown Diamond®, resina de alta tecnologia com elevado padrão estético e funcional, biocompatível e radiopaca proporcionando resultados impressionantes em durabilidade, precisão e estética. Resina 3D Bio Guide® indicada para confecção de guias cirúrgicas com excelente definição, resolução baixa contração e repetibilidade, facilita a inserção de anilha diretamente após a impressão e pós-processamento. Resina 3D Bio Splint® é uma resina biocompatível indicada para impressão 3D de retentores (splints) e placas

miorrelaxantes. Altamente transparente, a Bio Splint proporciona impressões com resistência e dureza ideais. A Resina 3D Bio Prov ®é uma resina biocompatível Classe II desenvolvida para impressão 3D de coroas provisórias. Proporciona uma impressão 3D com excelente definição, alta resolução e baixa contração. A Resina 3D Bio IBT® é biocompatível de Classe I para impressão 3D de guias para colagem indireta de bráquetes. As guias impressas proporcionam a colagem de bráquetes com mais precisão e em apenas uma única etapa, reduzindo em até 75% do tempo de cadeira e proporcionando mais tecnologia e conforto ao paciente. A Resina 3D Gengiva® é indicada para impressão 3D de modelos gengivais funcionais em um fluxo de trabalho digital em conjunto com as modelos e troqueis. Ela possibilita a impressão 3D de partes do modelo que necessitam de cortes e flexibilidade, como perfil de emergência em modelos de implante. Ela é ideal também para simulação de gengivas em modelos de prótese dentária. A Resina 3D Castable II® é uma resina com alta carga de cera especial para impressoras 3D e que garante uma aplicação segura e encaixes excelentes. Desenvolvida especialmente para fundição em odontologia. Proporciona resultados precisos e sem distorções, mesmo para modelos extremamente delicados e complexos. A Resina 3D Bio Denture® de Classe II e biocompatível para impressão 3D de todos os tipos de bases de próteses totais. Com máxima resistência mecânica à flexão, estabilidade de cor, inodoro e insípido, ela possui também ótima durabilidade.(Makertechlabs.com.br)

Ainda é possível encontrar outros materiais almejados para impressão associadas aos sistemas CAD/CAM sendo eles, o polímero de alto desempenho contando com uma estrutura resistente e biocompatível; metais contando com baixos custos e sendo resistentes à corrosão; cerâmica de silicato contando com propriedades comparáveis a dentina e ao esmalte, entretanto são mais frágeis. Em casos estéticos geralmente é utilizada cerâmica reforçada com leucita; cerâmica de dissilicato de lítio empregadas no uso de facetas, tendo uma espessura específica dependendo das áreas de suporte de carga. (Sulaiman, 2020)

3.4 Nível de precisão (acurácia)

Segundo pesquisa de Morón-Conego e colaboradores de 2022, modelos digitais de arco completo com scanbodies de 15 pacientes foram impressos com 5 impressoras 3D diferentes, duas industriais a de sistema 3D Project MJP2500 (3DS) e Objet30 OrthoDesk

(Obj) e três impressoras de mesa odontológicas NextDent 5100 (ND), Formlabs Form 2 (FL) e Rapidshape D30 (RS), num total de 225 modelos impressos foram analisados. Concluiram que houve diferenças estatisticamente significativas em termos de precisão e exatidão, dos modelos de arco completo de pacientes entre as cinco impressoras 3D diferentes, tanto impressoras industriais quanto impressoras de mesa odontológicas. A tecnologia de impressão multijet, que é normalmente usada com impressoras 3D industriais, apresentou melhores resultados do que as tecnologias DLP e SLA usadas em impressoras 3D de mesa odontológicas. Pode concluir neste estudo também que a tecnologia de impressão Multijet, que conta com máquinas maiores e mais caras apresentou melhores resultados, tendo maior resolução e velocidade, que as tecnologias DLP e SLA utilizadas em impressoras 3D de mesa odontológicas. Entretanto as impressoras SLA obtiveram melhores resultados em questão de veracidade em relação às DLP, contando com maior precisão para obtenção de medidas da arcada completa, envolvendo uma espessura reduzida, para o ponto de polimerização a laser. Já em questão de precisão a DLP se sobressai já que são reduzidos os erros com impressões repetidas através de seu projetor curando camada por camada. (Morón-Conejo et al, 2022)

Estudos que relatam a precisão de modelos de impressão 3D são escassos e pouco diferem um modelo do outro em questão, não sendo consideradas significativas as diferenças existentes entre ambos. Alguns modelos de impressão digital foram testados tendo em média sua acurácia de aproximadamente 20 a 60 μm. (Morón-Conejo et al, 2022)

3.5 Processamento pós impressão ou acabamento

Esse processo compreende uma fase de remoção da estrutura de suporte e limpeza da peça a fim de conferir o acabamento final e correção eventual de erros, aumentar a precisão de algumas geometrias, suavizar as superfícies obtidas ou remover marcas de suportes. Dentre os principais modelos podemos falar sobre a estereolitografia (SLA) na qual, o pós-processamento envolve a remoção do excesso de resina por lixamento e polimento e complementado por um processo de endurecimento em forno UV. Já os modelos impressos em processamento de luz digital (DLP), após serem confeccionados devem passar por um banho de álcool e água, podendo posteriormente ser exposto à luz solar ou até mesmo uma luz ultravioleta. Na sinterização seletiva a laser (SLS), após a

formação do objeto, a plataforma se eleva e então faz-se a remoção do pó e logo em seguida um acabamento manual. Por fim, há casos que as peças são impressas por etapas, requerendo uma montagem, e para questões estéticas podem precisar de maquiagem ou pinturas. (Oropallo e Piegl, 2016; De Araújo e Drozda, 2019)

A esterilização é uma etapa vital principalmente em peças odontológicas antes de seu uso clínico, tanto a esterilização por calor seco quanto a esterilização por vapor (autoclave) mostraram-se eficientes (Konieczny, et al., 2020; Tian, et al., 2021).

4. Discussão

O uso da tecnologia CAD/CAM está tornando-se comum nas clínicas odontológicas bem como nos laboratórios de próteses odontológicas, os equipamentos de scanners e as impressoras 3D estão com valores mais acessíveis e mais modernas, com resultados excelentes. Deve-se destacar também que a comunicação entre o cirurgião-dentista e laboratório está mais eficiente e rápida por meio da internet, e canais de comunicação como o WhatsApp e Instagram oferecem cursos online a todo momento fomentando ainda mais o desenvolvimento da tecnologia digital, há também nesses referidos grupos, profissionais que compartilham informações e experiências facilitando o trabalho do dia a dia.

Os aparelhos e tecnologias de impressão 3D já estão disponíveis há mais de três décadas, e com os recentes desenvolvimentos e o acesso à tecnologia de scanner e software de design auxiliado por computador, começaram a tornar o uso desta tecnologia mais prático. O marketing comercial influenciou e ainda influência de sobremaneira o público alvo "cirurgiões-dentistas e protéticos", a sua conscientização de um trabalho mais moderno e tecnológico, otimizando o tempo profissional reduzindo os custos, criando oportunidades e possibilidades facilitando o trabalho e garantindo melhoria na qualidade de vida de pessoas com problemas bucais. (Dawood et al, 2015)

Trabalhos publicados por (Huang et al, 2022) confirmam os de (Vieira, 2022), dados coletados pelo scanner associados com a tomografia computadorizada de feixe cônico melhoraram a eficiência, precisão e a previsibilidade dos resultados odontológicos clínicos.

Segundo (Teneva, et al; 2015), a concretização da impressão 3D só ocorreu graças aos desenvolvimentos das tecnologias de computadores e aplicativos de software CAD, na visão de (Nowak et al, 2017) com esses dados processados pode se obter uma infinidade de dispositivos com aplicabilidade na clínica odontológica exemplo: guias cirúrgicos para implantes dentários, modelos ortodônticos, placas para tratamento de bruxismo, estruturas protéticas (coroas ou próteses) e modelos de estudo ou de trabalho.

Segundo Dawood e col. 2015, a técnica diminuiu consideravelmente as intervenções humanas no desenvolvimento das peças limitando-nos apenas a pequenos acabamentos manuais, entregando as peças com maior rapidez. São vários os tipos de

tecnologias viáveis para os mais diversos procedimentos no mercado, contando com vantagens e desvantagens como tudo, vale avaliar o que ficaria melhor a ser aplicado em cada caso, entretanto, e infelizmente as melhores opções geralmente vem acompanhadas de altos custos tanto para os equipamentos, quanto para a manutenção e materiais, sem contar com a preocupação de se manter o procedimento realizado com saúde e segurança.

De acordo com a revisão de Etemad em 2020, em que avaliou a precisão de modelos odontológicos de arcada completa impressas com as impressoras SLA e DLP conclui que a tecnologia DLP são mais precisas, e complementa que há necessidade do desenvolvimento de protocolos padronizados, a fim de evitar possíveis resultados inesperados, contribuindo assim com o conhecimento dos materiais.

Os autores (Huang et al, 2022), descrevem que em 1980 Chuck Hull apresenta o primeiro modelo de impressora 3D denominado estereolitografia (SLA), líquidos foto polimerizáveis armazenados em um tanque recebem a incidência de feixes de laser de varredura que cura camada por camada, tem como vantagem: rápida construção, alto nível de resolução, criação de estruturas mais complexas. Segundo (Ibrahim et al 2008) essa tecnologia é desvantajosa devido ao alto preço da impressora assim como a sua manutenção e execução, A Estereolitografia só passa ser vantajosa quando aplicada em escala industrial com a produção de grandes quantidades reduzindo custos.

Outra forma de impressão 3D mas não muito utilizada na odontologia é a sinterização seletiva a laser, é um processo de fabricação que une partículas de materiais em pó, geralmente metais ou cerâmicas através do calor, sem que o material atinja o ponto de fusão, segundo (Melchels et al, 2010) essa técnica possuí alto nível de resolução, pode ser obtida camadas de até (60 μm), ela tem como vantagens: alta resistência, controle de porosidade, construção de detalhes finos, pode ser usado uma diversidade de materiais como titânio e suas ligas, cromo-cobalto e aço inoxidável e sendo desvantajoso devido: custo extremamente elevado, risco de explosão, superfície áspera, poeira e condensação de nanopartículas apresentam risco para a saúde, requer pós-processamento elaborado e é um processo relativamente lento.

Segundo (Chen et al, 2021), atualmente no mercado as impressoras mais utilizadas na odontologia para a impressão 3D são as de processamento digital de luz (DLP), estas apresentam melhor acurácia e resolução, construção dos projetos relativamente rápidos, superfícies lisas, mas possuem as desvantagens: material de custo elevado, o objeto impresso não pode ser esterilizado por aquecimento, pode causar irritação ao contato com a pele e necessidade de remover o material do suporte. (Borrello et al, 2018) mostrou

também acreditar na alta resolução das impressoras DLP, e acredita que a técnica se mostrará ainda mais promissora no futuro. (Sulaiman, 2020) relata que os tipos de resinas líquidas associadas a tecnologia CAD/CAM tem tido bons resultados, além de utilizar materiais sofisticados que contam com a diminuição de resíduos não recicláveis, fazendo assim bem ao meio ambiente também, entretanto ele ressalta a necessidade de pesquisas aprofundadas a fim de explorar melhor os materiais. (Chen et al, 2021), relata que as impressoras DLP apresentam melhor acurácia e resolução, porém seu custo inicial é mais elevado comparado a LCD, Liquid Crystal Display mas, se tiver maior quantidade de trabalhos a ser realizado esse valor é diluído e passa a ser mais econômico.

Etemad-Shahidi e col. em 2020 descrevem que as impressões por Jateamento de Polímeros são consideravelmente mais caras devido aos valores do equipamento como do material de uso para a impressão, tornando a produção com custo alto. Uma vantagem particular dessa tecnologia é o uso de múltiplas cabeças de impressão permitindo a impressão simultânea de diferentes materiais, incluindo resinas e ceras para fundição bem como alguns materiais de borracha tipo silicone afirma (Ibrahim et al, 2009).

As Impressoras de Aglutinantes em Pó, são interessantes para o uso em laboratórios protéticos por usar o gesso como principal matéria imprima para a confecção das peças, porém possui baixa resolução, baixa resistência e não pode ser esterilizado segundo (Ciuffolo et al, 2006).

Em uma revisão de literatura, Torabi e col. em 2015 demonstraram que o auxílio do computador na construção de peças odontológicas o tempo é reduzido pela eliminação de etapas e com alta precisão e com reprodutibilidade pertinente é possível imprimir diferentes tipos de próteses dentárias para diferentes aplicações. Ainda em seu estudo considera a Modelagem de Deposição Fundida foi uma das primeiras tecnologias de impressão 3D, o material termoplástico é extrudado através do bico na plataforma de construção, possuem como vantagens: alta porosidade, resistência mecânica variável, material e equipamento de baixo custo e alguns materiais podem ser esterilizados por aquecimento. Desvantagens: equipamento limitado apenas para materiais termoplásticos, resolução deficiente a certos modelos de alta complexidade anatômica e necessidade de remoção do material de suporte.

Quanto a acurácia, Morón e col. em 2023 em seu trabalho de pesquisa considerou que a impressora Multijet da linha industrial apresentou melhores resultados que as impressoras de mesa odontológicas, entretanto melhores protocolos de comparação entre modelos devem ser desenvolvidos, a fim de serem feitas comparações mais justas.

Etemad e col. 2020, complementa a necessidade do desenvolvimento de protocolos padronizados, a fim de evitar possíveis resultados inesperados, contribuindo assim com o conhecimento sobre os materiais.

Segundo Tian e col., 2021, as peças depois de impressas passam por um processo de acabamento, conferindo a elas uma melhor precisão e isso ocorre através de lixamento, polimento ou se necessário passar por um processo de cura ultravioleta. Quando e mesma for de uso na área da saúde ou odontológicos há a necessidade de lavagem e esterilização.

5. Conclusão

Esta revisão tem como objetivo fornecer uma visão geral prática e científica das tecnologias de impressão 3D, nela resumimos os tipos e as características das tecnologias de impressão 3D utilizadas na odontologia, com as suas vantagens e desvantagens.

O fluxo de trabalho com a aplicação da impressão 3D apresenta muitos pontos positivos para a clínica odontológica, melhorando a comunicação com o paciente, reduzindo o número de sessões clínicas, previsibilidade do caso e melhora da técnica.

A impressão 3D torna possível fazer com precisão peças de formas geométricas complexas e únicas a partir de dados digitais, em uma variedade de materiais, localmente ou em laboratórios.

Embora as impressoras 3D estejam se tornando mais acessíveis, o custo de operação, materiais, manutenção e a necessidade de operadores qualificados também devem ser cuidadosamente considerados, bem como a necessidade de pós-processamento e adesão a protocolos rígidos de saúde e segurança. Apesar dessas preocupações, está claro que a impressão 3D terá um papel cada vez mais importante a desempenhar na odontologia.

O grande potencial de crescimento da tecnologia está relacionado com a capacidade do profissional em se familiarizar com a técnica e para isso é necessária uma curva de aprendizado, em que o profissional se atualize sobre o assunto.

Porém testes, avaliações, melhora em pós-processamento e consideração a criação de protocolos realizados com saúde e segurança devem fazer parte de toda essa evolução.

6. Referências Bibliográficas

ABEL, Alisson Gabriel Leandro. Impressoras 3D na odontologia: uma revisão integrativa.

ACHARYA, Aditya et al. Assessment of knowledge, awareness and practices toward the use of 3D printing among dental laboratory technicians in Karnataka, India: A cross-sectional study. **Journal of Oral Biology and Craniofacial Research**, v. 13, n. 4, p. 476-481, 2023.

BHARGAV, Aishwarya et al. Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 106, n. 5, p. 2058-2064, 2018.

BORRELLO, Joseph et al. 3D printing a mechanically-tunable acrylate resin on a commercial DLP-SLA printer. **Additive manufacturing**, v. 23, p. 374-380, 2018.

BOSIO, Jose A. Will I ever be a good teacher?. **The Angle Orthodontist**, v. 85, n. 6, p. 1080-1081, 2015.

CHEN, Hsuan et al. Comparison of flexural properties and cytotoxicity of interim materials printed from mono-LCD and DLP 3D printers. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 126, n. 5, p. 703-708, 2021.

CHIA, Helena N.; WU, Benjamin M. Recent advances in 3D printing of biomaterials. **Journal of biological engineering**, v. 9, n. 1, p. 4, 2015.

CIUFFOLO, Fabio et al. Rapid prototyping: a new method of preparing trays for indirect bonding. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v. 129, n. 1, p. 75-77, 2006.

COSTA, Luana Santos; CAVALCANTE, Weber Céo; CERQUEIRA, Arlei. Fluxo de trabalho em planejamento virtual de cirurgia. **Clinical Orthodontics**, v. 21, n. 2, 2022.

DAWOOD, Andrew et al. 3D printing in dentistry. **British dental journal**, v. 219, n. 11, p. 521-529, 2015.

DE ARAÚJO, Juliana Norenberg; DROZDA, Fabiano Oscar. Avaliação do desgaste de peças produzidas por manufatura aditiva FDM. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 32099-32110, 2019.

ETEMAD-SHAHIDI, Yasaman et al. Accuracy of 3-dimensionally printed full-arch dental models: a systematic review. **Journal of clinical medicine**, v. 9, n. 10, p. 3357, 2020.

GREEN, David W.; LEE, Jung-Seok; JUNG, Han-Sung. Small-scale fabrication of biomimetic structures for periodontal regeneration. **Frontiers in Physiology**, v. 7, p. 6, 2016.

GUO, Nannan; LEU, Ming C. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. **Frontiers of mechanical engineering**, v. 8, n. 3, p. 215-243, 2013.

HEID, Susanne; BOCCACCINI, Aldo R. Advancing bioinks for 3D bioprinting using reactive fillers: A review. **Acta biomaterialia**, v. 113, p. 1-22, 2020.

HUANG, Gan et al. Main applications and recent research progresses of additive manufacturing in dentistry. **BioMed research international**, v. 2022, n. 1, p. 5530188, 2022.

IBRAHIM, D. et al. Dimensional accuracy of selective laser sintering and three dimensional printing of models for craniomaxillary anatomy reconstruction. **J Cranio Maxil Surg**, v. 36, p. 443, 2008.

IBRAHIM, Danilo et al. Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet™ models in the reproduction of mandibular anatomy. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 37, n. 3, p. 167-173, 2009.

KONIECZNY, Bartłomiej et al. Challenges of Co–Cr alloy additive manufacturing methods in dentistry—the current state of knowledge (systematic review). **Materials**, v. 13, n. 16, p. 3524, 2020.

LIN, Wei-Shao et al. Additive manufacturing technology (direct metal laser sintering) as a novel approach to fabricate functionally graded titanium implants: preliminary investigation of fabrication parameters. **International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, v. 28, n. 6, 2013.

MANGANO, Carlo et al. Combining intraoral scans, cone beam computed tomography and face scans: the virtual patient. **Journal of Craniofacial Surgery**, v. 29, n. 8, p. 2241-2246, 2018.

MANGANO, Francesco Guido et al. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. **BMC oral health**, v. 19, n. 1, p. 101, 2019.

MARTELLI, Nicolas et al. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: a systematic review. **Surgery**, v. 159, n. 6, p. 1485-1500, 2016.

MELCHELS, Ferry PW; FEIJEN, Jan; GRIJPMA, Dirk W. A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. **Biomaterials**, v. 31, n. 24, p. 6121-6130, 2010.

MIYAZAKI, Takashi; HOTTA, Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. **Australian dental journal**, v. 56, p. 97-106, 2011.

MORÓN-CONEJO, Belén et al. Accuracy of five different 3D printing workflows for dental models comparing industrial and dental desktop printers. **Clinical Oral Investigations**, v. 27, n. 6, p. 2521-2532, 2023.

MUKHERJEE, Esha et al. Monitoring the calibration of in-office 3D printers. **Dentistry journal**, v. 11, n. 1, p. 20, 2023.

NOWAK, Roxana et al. An in-vitro study comparing the accuracy of full-arch casts digitized with desktop scanners. **Quintessence International**, v. 48, n. 8, 2017.

OROPALLO, William; PIEGL, Les A. Ten challenges in 3D printing. **Engineering with Computers**, v. 32, n. 1, p. 135-148, 2016.

PRENDERGAST, Margaret E.; BURDICK, Jason A. Recent advances in enabling technologies in 3D printing for precision medicine. **Advanced Materials**, v. 32, n. 13, p. 1902516, 2020.

SCHEPERS, Rutger H. et al. Fully 3-dimensional digitally planned reconstruction of a mandible with a free vascularized fibula and immediate placement of an implant-supported prosthetic construction. **Head & neck**, v. 35, n. 4, p. E109-E114, 2013.

SCHWEIGER, Josef; EDELHOFF, Daniel; GÜTH, Jan-Frederik. 3D printing in digital prosthetic dentistry: an overview of recent developments in additive manufacturing. **Journal of clinical medicine**, v. 10, n. 9, p. 2010, 2021.

SILVA, Pedro Coelho et al. Impressão 3D: Um guia prático. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 84478-84493, 2020.

SULAIMAN, Taiseer A. Materials in digital dentistry—A review. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 32, n. 2, p. 171-181, 2020.

SYKES, Leanne M. et al. Applications of rapid prototyping technology in maxillofacial prosthetics. **International Journal of Prosthodontics**, v. 17, n. 4, 2004.

TAN, K. H. et al. Fabrication and characterization of three-dimensional poly (ether-ether-ketone)/-hydroxyapatite biocomposite scaffolds using laser sintering. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine**, v. 219, n. 3, p. 183-194, 2005.

TANEVA, Emilia; KUSNOTO, Budi; EVANS, Carla A. 3D scanning, imaging, and printing in orthodontics. **Issues in contemporary orthodontics**, v. 148, n. 5, p. 862-7, 2015.

TIAN, Yueyi et al. A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications. **Scanning**, v. 2021, n. 1, p. 9950131, 2021.

TORABI, Kianoosh; FARJOOD, Ehsan; HAMEDANI, Shahram. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. **Journal of Dentistry**, v. 16, n. 1, p. 1, 2015.

VAN BAEL, Simon et al. The effect of pore geometry on the in vitro biological behavior of human periosteum-derived cells seeded on selective laser-melted Ti6Al4V bone scaffolds. **Acta biomaterialia**, v. 8, n. 7, p. 2824-2834, 2012.

VENKATESH, K. Vijay; NANDINI, V. Vidyashree. Direct metal laser sintering: a digitised metal casting technology. **The Journal of Indian Prosthodontic Society**, v. 13, n. 4, p. 389-392, 2013.

VIEIRA, Jaqueline Lino; VINHA, Thais da Costa. ODONTOLOGIA DIGITAL CONTEMPORÂNEA. **Revista Científica Unilago**, *[S. l.]*, v. 1, n. 1, 2022.

YANG, Hui et al. Six-sigma quality management of additive manufacturing. **Proceedings of the IEEE**, v. 109, n. 4, p. 347-376, 2020.