

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

Fernanda Guimarães de Azevedo Pereira

Impressão tridimensional de dentes e suas implicações na Odontologia legal

Juiz de Fora
2025

Fernanda Guimarães de Azevedo Pereira

Impressão tridimensional de dentes e suas implicações na Odontologia legal

Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Odontologia. Área de concentração: Clínica Odontológica.

Orientadora: Prof.^a Dra. Maria das Graças Afonso Miranda Chaves.

Coorientadora: Prof.^a Dra. Nádia Rezende Barbosa Raposo

Juiz de Fora
2025

Pereira, Fernanda Guimarães de Azevedo.

Impressão tridimensional de dentes e suas implicações na Odontologia legal/
Fernanda Guimarães de Azevedo Pereira. -- 2025.

84 f.: il.

Orientadora: Maria das Graças Afonso Miranda Chaves

Coorientadora: Nádia Rezende Barbosa Raposo

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora,
Faculdade de Odontologia. Programa de Pós-Graduação em
Odontologia, 2025.

1. Odontologia Legal. 2. Impressão Tridimensional. 3. Impressão
de dentes. I. Chaves, Maria das Graças Afonso Miranda, orient. II.
Raposo, Nádia Rezende Barbosa, coorient. III. Título.

Fernanda Guimarães de Azevedo Pereira

Impressão tridimensional de dentes e suas implicações na Odontologia legal

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Odontologia. Área de concentração: Clínica Odontológica.

Aprovada em 11 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria das Graças Afonso Miranda Chaves - Orientadora e Presidente da Banca
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof.^a Dr.^a Nádia Rezende Barbosa Raposo - Coorientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof. Dr. Warley Oliveira Silva - Membro Titular Interno
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof. Dr. Daniel Amaral Alves Marlière - Membro Titular Interno
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Prof. Dr. Rodrigo Máximo de Araújo - Membro Titular Externo
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Prof.^a Dr.^a Mônica Fernandes Gomes - Membro Titular Externo
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Juiz de Fora, 08/07/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Maria das Gracas Afonso Miranda Chaves, Professor(a)**, em 11/08/2025, às 13:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nadia Rezende Barbosa Raposo, Professor(a)**, em 11/08/2025, às 14:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Amaral Alves Marlière, Professor(a)**, em 11/08/2025, às 14:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Warley Oliveira Silva, Professor(a)**, em 11/08/2025, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Máximo de Araújo, Usuário Externo**, em 12/08/2025, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MONICA FERNANDES GOMES, Usuário Externo**, em 12/08/2025, às 16:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uffj (www2.uffj.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador 2489696 e o código CRC 1889D08E.

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha avó que me incentivaram incondicionalmente em todos os momentos difíceis da minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a oportunidade de conclusão desta etapa a DEUS por todas as oportunidades concedidas a mim, pela força e tranquilidade nos momentos de fraqueza e dificuldades.

Agradeço também aos meus pais e minha avó, que sempre primaram pela minha educação e foram grandes incentivadores do conhecimento.

Gostaria de expressar minha gratidão a minha orientadora, Prof.^a Dr.^a. Maria das Graças Afonso Miranda Chaves e minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Nádía Rezende Barbosa Raposo pela orientação e apoio ao longo deste doutorado. Suas dicas e conselhos foram, sem dúvida, essenciais para o meu crescimento acadêmico.

RESUMO

Com o crescente aumento dos diferentes tipos de acidentes, a Odontologia legal assumiu um papel importante nos processos de identificação, principalmente quando a integridade do corpo humano fica comprometida. Sabe-se que cada arcada dentária possui uma singularidade, assim a avaliação dos elementos dentários é de extrema importância para a identificação *postmortem*. No Brasil ainda existem poucos estudos que utilizem a técnica de impressão tridimensional na área da odontologia legal. O objetivo desse estudo é verificar se a tecnologia de impressão tridimensional tem potencial para reproduzir um protótipo fidedigno da anatomia dental a partir de imagens digitais. Foram selecionadas imagens dentárias de incisivos, caninos, pré-molares e molares, em formato próprio para impressão 3D. Estas imagens digitais, foram mensuradas através do software Meshmixer, e modeladas através do software específico para serem impressas tridimensionalmente. Esse estudo passou por duas fases: a primeira para testar as tecnologias disponíveis através da impressão de uma pequena amostra de dentes e uma segunda fase que definiu a tecnologia que seria utilizada para impressão e medição de um maior volume de dentes. Foram analisadas e mensuradas 14 imagens de dentes unitários com coroa e raiz dentária, a partir destas imagens foram impressas 20 unidades de cada dente nas duas hemiarcadas (superior e inferior) direitas, totalizando 280 dentes impressos. Esses dentes impressos foram mensurados através de um paquímetro e foi efetuado uma análise desses dados. Em apenas 12,5% das comparações efetivas, isto é, 11 elementos dentários, a diferença entre a medição realizada no molde impresso e a medição digital não foi significativa. A análise inferencial por meio do teste de hipóteses adotado indica diferenças estatisticamente não-significativas em 11 das 88 comparações efetivamente realizadas. As medições via paquímetro realizadas nos dentes impressos foram significativamente diferentes dos valores entregues pelo software digital. Essas diferenças indicaram que a impressão 3D utilizando a tecnologia de estereolitografia mascarada (MSLA) teve imprecisões dimensionais que impactaram estatisticamente, sua caracterização como alternativa a métodos tradicionais.

Palavras-chave: Odontologia, Impressão tridimensional, dente.

ABSTRACT

With the growing number of different types of accidents, forensic dentistry has taken an important role in identification processes, especially when the integrity of the human body is compromised. It is known that each dental arch is unique, so the evaluation of dental elements is extremely important for post-mortem identification. In Brazil, there are still few studies using the three-dimensional printing technique in the field of forensic odontology. The aim of this study was to verify whether three-dimensional printing technology has the potential to reproduce a reliable prototype of dental anatomy from digital images. Dental images of incisors, canines, premolars and molars were selected in a format suitable for 3D printing. These digital images were measured using Meshmixer software and modeled using specific software to be printed three-dimensionally. This study went through two phases: the first to test the available technologies by printing a small sample of teeth and a second phase that defined the technology that would be used to print and measure a larger volume of teeth. Fourteen images of single teeth with crown and root were analyzed and measured. From these images, 20 units of each tooth were printed in the two right hemi-arches (upper and lower), for a total of 280 printed teeth. These printed teeth were measured using a caliper and the data analyzed. In only 12.5% of the actual comparisons, 11 dental elements, the difference between the measurement made on the printed mold and the digital measurement was not significant. Inferential analysis using the hypothesis test adopted indicates statistically non-significant differences in 11 of the 88 comparisons made. The caliper measurements taken on the printed teeth were significantly different from the values delivered by the digital software. These differences indicated that 3D printing using Modified Stereolithography (MSLA) technology had dimensional inaccuracies that statistically impacted its characterization as an alternative to traditional methods.

KEYWORDS: Dentistry, three-dimensional printing, teeth

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Hemi arcada superior e inferior lado direito	17
Figura 2-Incisivo Central superior direito	19
Figura 3-Canino Inferior direito	20
Figura 4-Primeiro Pré-Molar superior direito	21
Figura 5-Segundo Pré-molar superior direito	21
Figura 6- Molares superiores e inferiores direito	22
Figura 7-Esquema das tecnologias e técnicas de impressão 3D	31
Figura 8-Esquema das diferentes técnicas	34
Figura 9-Esquema do processo FDM.....	36
Figura 10-Esquema da impressão dos dentes	43
Figura 11-Impressora Anycubic Photon Mono 2	44
Figura 12-Resina Standart Anycubic branca	44
Figura 13-Anycubic Wash and Cure 3.0.....	45
Figura 14-Dentes impressos através de diferentes tecnologias	47
Figura 15-Mensuração dos dentes no software Meshmixer	48
Figura 16-Comprimento dos dentes 11,12 e 13.	50
Figura 17-Altura da coroa dos dentes 11 e 15	51
Figura 18-Distância Mésio distal do dente 11.....	51
Figura 19-Altura da raiz dentária dos dentes 11 e 15.....	52
Figura 20-Altura das raízes do dente 17	52
Figura 21-Distância da furca do dente 46.....	53
Figura 22-Impressão 3D através da Impressora Anycubic Photon Mono 2.....	53
Figura 23-Dentes impressos das hemiarcadas	55
Figura 24-Dentes impressos e separados por tipo dentário.	55
Figura 25-Pré Molares numerados de 1 a 20.	56
Figura 26-Mensuração do Comprimento total de uma unidade de dente impresso ..	56
Figura 27-Mensuração das medidas méso-distais.	57
Figura 28-Mensuração da coroa e da raiz dentária	57
Figura 29-Altura da coroa dentária do primeiro pré-molar inferior	58
Figura 30-Altura das raízes vestibular e palatina do primeiro molar superior direito .	59
Figura 31-Distância da Coroa até a região de furca	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Análise das dimensões dentárias dos dentes impressos pelo processo de MSLA.....	49
Tabela 2-Dados (desvio padrão) analisados pelo intraobservador da amostra dos incisivos e caninos superiores e inferiores.	60
Tabela 3-Dados (desvio padrão) analisados pelo intraobservador da amostra dos pré-molares e molares.	61
Tabela 4-Análise odontométrica da imagem digital, dos dentes impressos (Incisivos e Caninos) e sua tendência de erro.	62
Tabela 5-Análise odontométrica da imagem digital, dos dentes impressos (pré-molares e molares) e sua tendência de erro.	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
3D	Tridimensional (do inglês <i>Three Dimensional</i>)
CAD	Design Guiado por Computador (do inglês <i>Computer Aided Design</i>)
CAM	Manufatura Auxiliada por Computador (do inglês <i>Computer Aided Manufacturing</i>)
CBCT	Tomografia computadorizada de feixe cônico (do inglês <i>Cone Beam computed tomography</i>)
DICOM	Comunicação de Imagens Digitais em Medicina (do inglês <i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>)
DLP	Fotopolimerização por projeção (do inglês <i>Digital Light Processing</i>)
FDM	Fusão e Deposição do Material (do inglês <i>Fused Deposition Modeling</i>)
LCD	Visor de cristal líquido
MSLA	Estereolitografia Mascarada (do inglês <i>modified Stereolithography</i>)
SLA	Estereolitografia (do inglês <i>Stereolithography</i>)
SLS	Sinterização seletiva a laser (do inglês <i>Selective Laser Sintering</i>)
SSL	Estereolitografia por Escaneamento (do inglês <i>Scanning based Stereolithography</i>)
STL	<i>Standard Tessellation Language</i>
PLA	Ácido Polilático (do inglês <i>Poly Lactic Acid</i>)
PSL	Estereolitografia por Projeção (do inglês <i>Projection-based Stereolithography</i>)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 ANATOMIA DOS DENTES	17
2.1.1 INCISIVOS	18
2.1.2. CANINOS	19
2.1.3 PRÉ-MOLARES	20
2.1.4 MOLARES	22
2.2 RADIOLOGIA ODONTOLÓGICA	23
2.3 IMAGINOLOGIA ODONTOLÓGICA DIGITAL	24
2.4 IDENTIFICAÇÃO HUMANA ATRAVÉS DA DENTIÇÃO	25
2.5 MENSURAÇÃO DIGITAL DE DENTES	27
2.6 IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL	28
2.7 TECNOLOGIAS E MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPRESSÃO 3D	30
2.7.1 TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D	30
2.7.1.1 TECNOLOGIAS DE FUSÃO EM LEITO DE PÓ	31
2.7.1.1.1 TÉCNICA SLM	31
2.7.1.1.2 TÉCNICA SLS	32
2.7.1.2 TECNOLOGIAS POR FOTOPOLIMERIZAÇÃO	32
2.7.1.2.1 TÉCNICA SLA	32
2.7.1.2.2 TÉCNICA MSLA	33
2.7.1.2.3 TÉCNICA DLP	34
2.7.1.2.4 TÉCNICA LCD	35
2.7.1.3 TECNOLOGIA POR MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO (FDM) ...	36
2.7.2 MATERIAIS DE IMPRESSÃO 3D	37
2.7.2.1 ÁCIDO POLILÁTICO (PLA)	37
2.7.2.2 ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)	38
3 OBJETIVOS	39
3.1 OBJETIVO GERAL	39
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
4 METODOLOGIA	40
4.1 IMAGENS DIGITAIS E SOFTWARES	43
4.2 IMPRESSORA 3D E PROCESSO TECNOLÓGICO	43
4.3 MENSURAÇÕES DENTÁRIAS	45

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
5 RESULTADOS.....	47
5.1 MENSURAÇÃO DAS IMAGENS DIGITAIS.....	50
5.2 PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D	53
5.3 MENSURAÇÕES DOS DENTES IMPRESSOS ATRAVÉS DO PAQUÍMETRO .	56
5.4 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS.....	60
6 DISCUSSÃO	65
7 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICE 1	74
APÊNDICE 2.....	79

1 INTRODUÇÃO

Desastres em massa (soterramentos por terremoto, chuvas torrenciais e deslizamentos de terra) têm acontecido com maior frequência em todo o território nacional e são ocasionados por fatores naturais e por fatores humanos (ou antrópicos), que resultam em muitos casos fatais (ARAUJO et al., 2013; BRITO et al., 2013; COUTINHO et al., 2013). Nestas situações, a identificação humana através de características odontológicas é de grande utilidade, visto que cada indivíduo possui características que lhe são particulares, permitindo assim seu reconhecimento post mortem pela arcada dentária (ALVES et al., 2022, BRITO et al., 2013; SILVA et al., 2011). A identificação *post mortem*, às vezes, pode ficar comprometida pela destruição dos tecidos moles, mas os elementos dentários possuem grande resistência em situações como a putrefação e as energias lesivas, como os traumas e as energias físicas e químicas (COUTINHO et al., 2013; ALVES et al., 2022; SILVA et al., 2011).

Pelo fato de os dentes humanos possuírem uma singularidade (FRANCO et al., 2014; TREVISOL et al., 2021), alguns dados podem ser coletados através da arcada dentária, como a ancestralidade, gênero, altura e idade dos indivíduos, além da análise de procedimentos odontológicos realizados ante *mortem* e anormalidades morfológicas (TREVISOL et al.; 2021). Outros métodos de identificação através da odontologia podem fornecer dados adicionais como a rugoscopia palatina, queilosopia, tomografias computadorizadas, exames radiográficos e documentação ortodôntica (ALVES et al., 2022; SILVA et al., 2011). Porém, podem surgir alguns desafios para a identificação desses indivíduos que sofreram alguma fatalidade como, as limitações das radiografias e suas distorções, além de fragmentações ou perdas de elementos dentários (FRANCO et al., 2014; TREVISOL et al., 2021).

Muitas vezes o elemento dentário é removido para a análise do DNA, no entanto esse processo acaba destruindo o dente e a sua reconstrução em 3D poderá ser utilizada para análise futura em audiências judiciais, já que muitos países como Reino Unido e Alemanha estão aceitando em tribunais para resolução de casos (JONHSON et al., 2022; JANI et al., 2020; NEWCOMB et al., 2017). Assim a impressão 3D na odontologia legal começa a ganhar importância, não somente auxiliando na reconstrução óssea/dentária, mas também poderá minimizar a

contaminação de potenciais riscos biológicos a quem manusear remanescentes ósseos, como na COVID 19 (JANI et al., 2020).

Nesses casos, a impressão tridimensional pode ser uma ferramenta de extrema importância no auxílio da odontologia legal (JONHSON et al., 2022; JONHSON et al., 2021; JANI et al., 2020; NEWCOMB et al., 2017), já que sua aplicabilidade pode otimizar os processos de diferentes maneiras, analisando detalhes e características da anatomia do paciente (JOHNSON et al., 2021; JOHNSON et al., 2019). Por isso seu uso não se restringe somente a reconstrução da anatomia facial para solução de crimes ou acidentes, mas também poderá auxiliar historiadores, antropólogos e arqueólogos a analisar e compreender a evolução humana (JANI et al., 2020).

A precisão dos modelos impressos depende de uma variedade de fatores como a imagem e sua resolução, o tipo de tecnologia empregada (processos tecnológicos empregados e seus parâmetros empregados na impressão), materiais empregados (tipos de filamentos ou resinas utilizadas), assim como as características do objeto (tamanho, textura) (JONHSON et al., 2022; JONHSON et al., 2021; JONHSON et al., 2019; JANI et al., 2020; NEWCOMB et al., 2017).

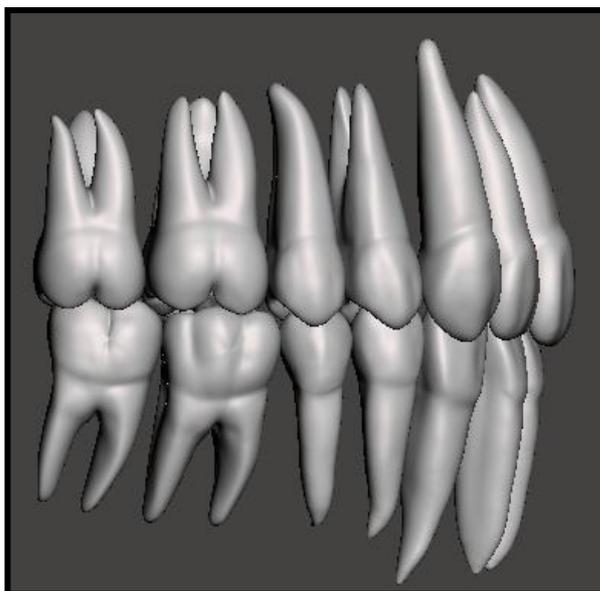
Portanto, este estudo pretende avaliar a eficácia desse processo, através da impressão 3D de elementos dentários e se poderá auxiliar na prática forense, acelerando os processos de identificação humana após desastres, já que essa metodologia ainda não é comumente utilizada e há poucos estudos acerca do tema os quais utilizam imagens dentárias em 3D em contexto forense, e são praticamente nulos os utilizados em estudos populacionais, existindo, de fato, uma grande incógnita sobre a sua utilidade na análise dentária com fins identificativos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ANATOMIA DOS DENTES

O dente é uma estrutura mineralizada composta por duas porções anatômicas distintas: a coroa anatômica e a raiz. Os seres humanos são difiodontes, ou seja, apresentam duas dentições: a decídua e a permanente, os quais são divididos em quadrantes ou hemi arcos, totalizando quatro. A primeira dentição apresenta 20 dentes, compostos por: dois incisivos, 1 canino e 2 molares, por hemiarcada. Já na dentição permanente encontram-se 32 dentes, pois além dos 2 incisivos, 1 canino e dois molares, temos 2 pré-molares e 1 terceiro molar podendo estar presente ou não em cada hemi arcada (COSTA et al., 2003). A Figura 1 demonstra duas hemi arcadas, uma superior e outra inferior ambas do lado direito.

Figura 1-Hemi arcada superior e inferior lado direito



Fonte: a autora (2025).

A coroa dos dentes é dividida em 6 faces: vestibular, lingual, mesial, distal, oclusal e cervical. De acordo com Costa e colaboradores (2003) a definição de cada face é descrita como:

- Face vestibular: definida como a face voltada para o vestibulo bucal;

- Face Lingual: definida como a face voltada para a língua, em dentes inferiores e para o palato, em dentes superiores;
- Face Mesial: é o lado do dente mais próximo do plano mediano;
- Face Distal: é o lado mais afastado do plano mediano;
- Face Oclusal ou margem oclusal: é o lado que entra em contato com o dente antagonista e
- Face Cervical: é a face virtual, pois somente é vista quando se separa as duas partes anatômicas dos dentes, a coroa da raiz.

2.1.1 INCISIVOS

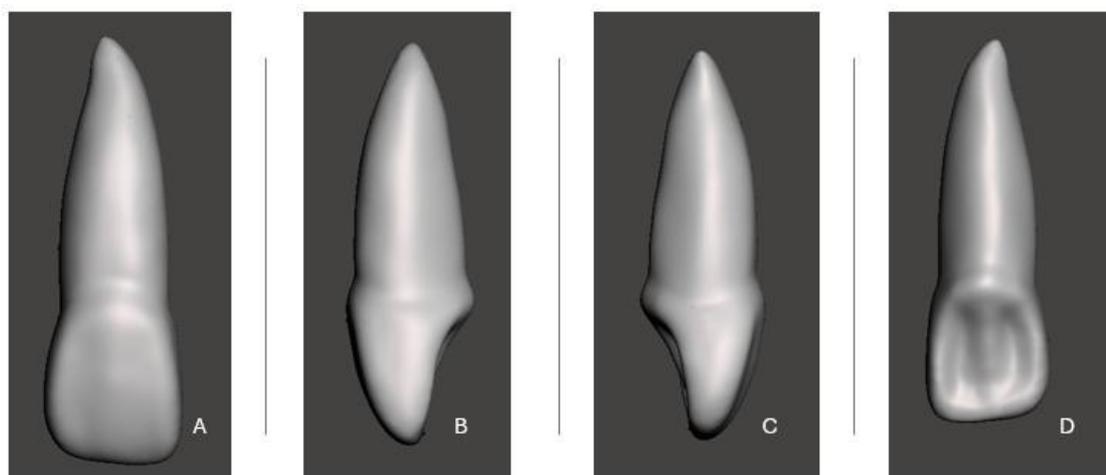
Encontramos 4 incisivos inferiores e 4 incisivos superiores, sendo dois centrais e dois laterais. O incisivo central superior é maior que o incisivo lateral superior enquanto na arcada inferior ocorre o oposto, o incisivo lateral é maior. No entanto considerando o volume, os incisivos superiores são similares em volume com os caninos. O dente com menor volume e comprimento total é o incisivo central inferior (COSTA, 2003).

Os incisivos centrais inferiores são muito semelhantes aos laterais inferiores, entretanto são mais largos no sentido méso-distal, no entanto a margem mesial do central é menor que a distal devido ao desgaste pela oclusão. O que ocorre no sentido oposto, na margem distal do lateral. E a raiz do lateral é mais longa que a do central (COSTA, 2003).

Já os incisivos centrais superiores possuem as seguintes características: comprimento cérvico-oclusal é maior que o comprimento méso-distal, sua face vestibular é convexa no terço cervical, tendendo ao plano no terço oclusal, a face lingual é côncava nos dois terços oclusais e depois convexa no terço cervical e possui um tubérculo dentinário geralmente deslocado no sentido distal. Sua raiz tem forma cônica e seu comprimento é maior que a coroa. Já os laterais são similares ao centrais pois sua face vestibular também possui o comprimento cérvico-oclusal maior que o comprimento méso-distal, no entanto sua face vestibular é mais convexa que o Incisivo central superior e na sua face lingual apresenta o forame cego (depressão abaixo do tubérculo dentinário) e sua raiz é delgada no sentido méso-distal e seu

ápice é desviado distalmente (COSTA, 2003; GOULART, 2019). A Figura 2 representa um exemplo do Incisivo Central superior.

Figura 2-Incisivo Central superior direito



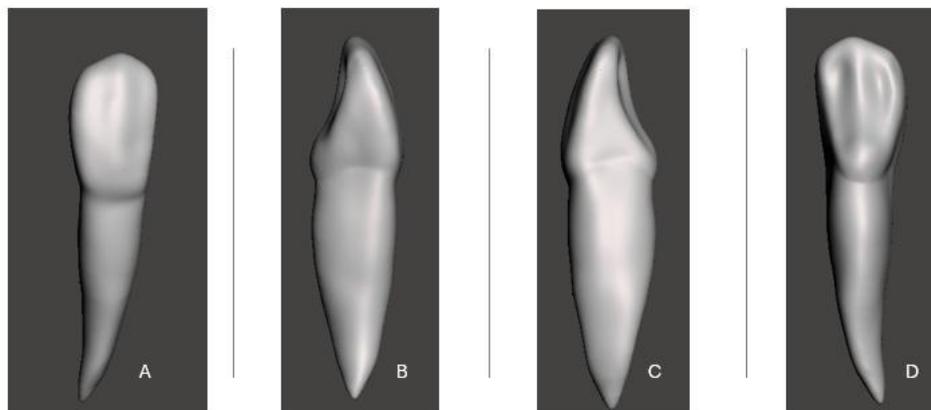
Legenda: A-Vestibular, B-Mesial, C-Distal, D- Palatina.

Fonte: a autora (2025).

2.1.2. CANINOS

Encontramos 4 dentes caninos na arcada humana sendo 2 superiores e dois inferiores. O canino superior é o dente que possui maior comprimento total quando comparados aos outros, sua face vestibular é mais convexa no terço cervical (pentagonal), as distâncias cérvico oclusal e méso-distal se equivalem, na sua face lingual, possui a crista lingual que se divide em duas fossas, sua raiz é robusta, longa e irregularmente oval. Os caninos inferiores quando comparados com os superiores são menores, ou seja, sua distância cérvico-oclusal é maior que a méso-distal a face vestibular é inclinada para o lado lingual e sua raiz é achatada no sentido méso-distal e se apresenta bifida no terço apical (COSTA, 2003). A Figura 3 apresenta as faces do canino inferior.

Figura 3-Canino Inferior direito

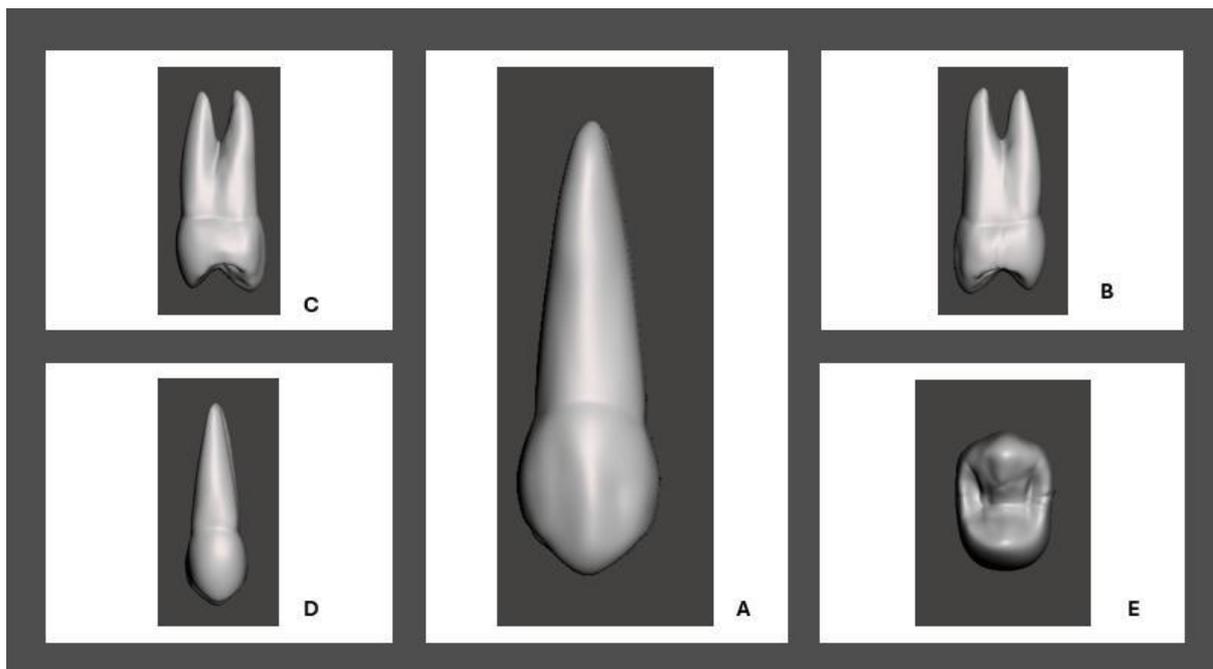


Legenda: A-vestibular, B-mesial, C-distal, D-lingual. Fonte: autoria própria (2024)

2.1.3 PRÉ-MOLARES

Encontramos 8 pré-molares, sendo 4 inferiores (primeiro e segundo pré-molares, lado direito e esquerdo) e quatro superiores. Quando analisamos o volume dos pré-molares da arcada superior, o primeiro e segundo pré-molares estão em ordem decrescente, ou seja, o primeiro é maior que o segundo. O que não acontece com os pré-molares inferiores, onde o segundo pré-molar possui maior volume que o primeiro. Mesmo assim em comparação os pré-molares superiores são maiores que os inferiores (COSTA, 2003). Em relação a raiz, o primeiro pré-molar superior geralmente possui duas raízes cônicas que inclinam para distal, sendo um vestibular maior e a outra menor (lingual, no entanto há casos a raiz é única (COSTA, 2003; GOULART, 2019). Como podemos ver na Figura 4.

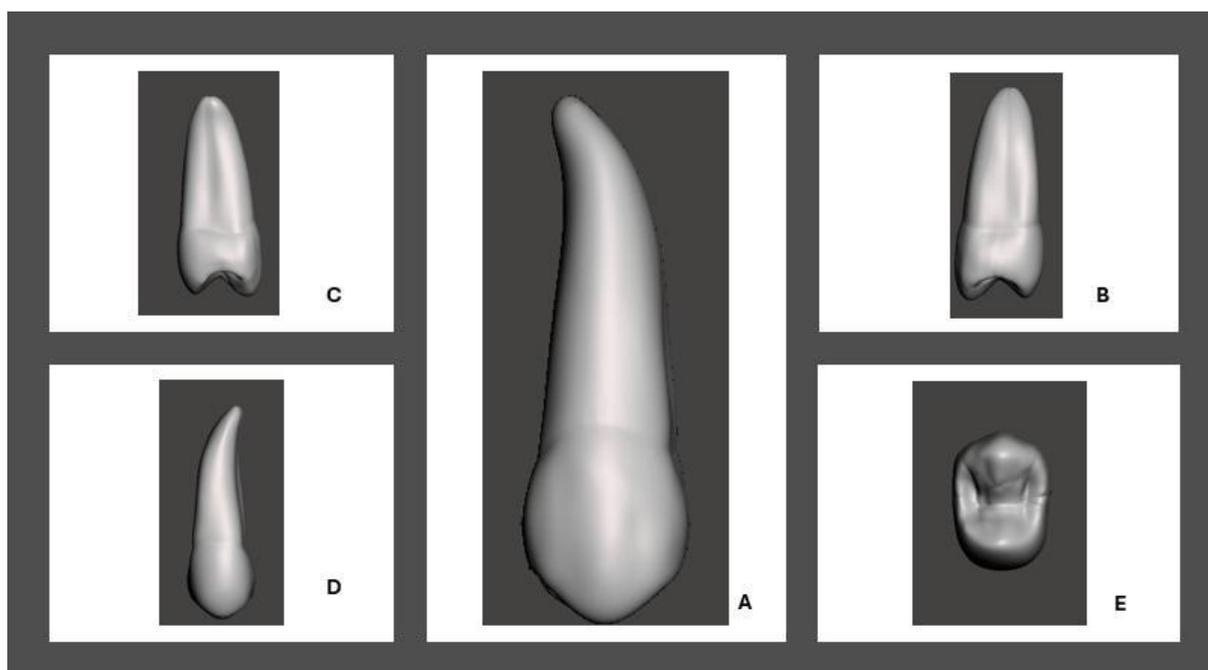
Figura 4-Primeiro Pré-Molar superior direito



Legenda: Segundo pré-molar superior direito com suas faces. A - Vestibular, B - Mesial, C- Distal, D- Palatina, E- Oclusal. Fonte: a autora (2025).

Já a raiz do segundo pré-molar superior, quase sempre é única e achatada méso-distalmente (Figura5). O comprimento de ambos os pré-molares superiores se equivale (COSTA, 2003; GOULART, 2019).

Figura 5-Segundo Pré-molar superior direito

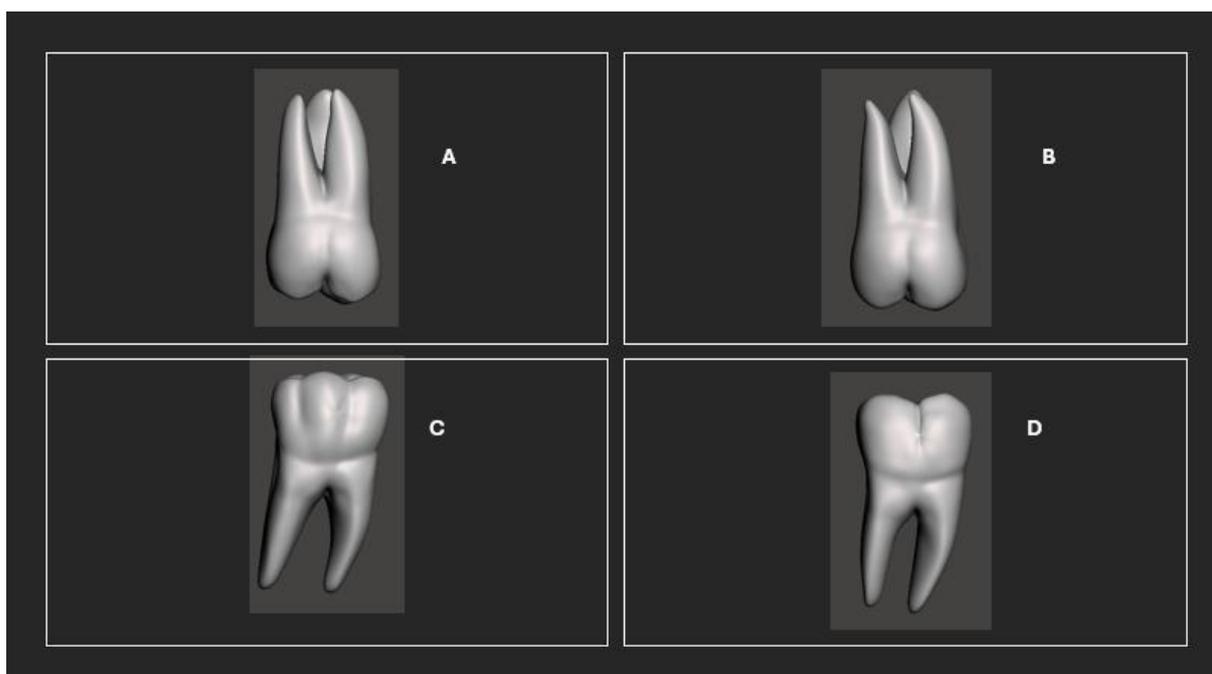


Legenda: Segundo pré-molar superior direito com suas faces. A-Vestibular, B-Mesial, C- Distal, D- Palatina, E-Oclusal. Fonte: a autora própria (2025).

2.1.4 MOLARES

Encontram-se na arcada dentária o primeiro molar, o segundo molar e quando presente o terceiro molar, sendo 12 quando há todos os terceiros molares. O terceiro molar é uma incógnita já que possui muitas variações anatômicas pois pode se assemelhar ao primeiro, ao segundo molar ou ter forma cônica, além disso pode apresentar fusão das raízes. De todos os molares, tanto superiores quanto inferiores, o dente com maior volume é o primeiro molar inferior (COSTA, 2003). Em relação a raiz, o primeiro e o segundo molar superiores possuem três raízes e os molares inferiores têm apenas duas raízes. (GOULART, 2019). A Figura 6 demonstra essa diferença de raízes entre os molares superiores e inferiores.

Figura 6- Molares superiores e inferiores direito



Legenda: A-Primeiro molar superior direito, B- Segundo molar superior direito, C-Primeiro molar inferior direito, D- Segundo Molar inferior direito. Fonte: a autora (2025).

2.2 RADIOLOGIA ODONTOLÓGICA

A aplicação da radiologia nas ciências *forenses* é muito utilizada devido a sua técnica não invasiva para avaliação do complexo maxilofacial pois permitem identificar corpos carbonizados, esqueletizados ou em alto nível de decomposição (MUSSE et al., 2011). Radiograficamente, as coroas dos dentes humanos permanecem intactos até a temperatura de 200°C, já suas raízes aguentam até a temperatura de 1.100°C. Quando há uma exposição maior de temperatura podem ocorrer fissuras ou rachaduras, mas ainda assim, alguns detalhes radiográficos são conservados (VANRELL, 2019).

As radiografias mais utilizadas são as de face, crânio e dentárias (MUSSE et al., 2011). As imagens intraorais, possuem grande vantagem de distinguir traços morfológicos dentários da coroa dentária, restaurações existentes, tratamentos endodônticos, fraturas prévias e próteses fixas (SANTO, 2020) e possuem vantagens enormes pelo seu fácil uso, rapidez e baixo custo, tornando-se uma importante ferramenta na odontologia legal, pois além dessas vantagens citadas ainda são capazes de estimar dados como idade humana, raça, gênero e altura embora outras metodologias devam ser aplicadas em conjunto para uma identificação conclusiva (SHAHIN et al., 2012; MATSUDA et al., 2020).

Atualmente, a radiografia convencional está sendo substituída pelo processo digital de obtenção de imagem, principalmente por reduzir a exposição do indivíduo a emissão de radiação, assim outra técnica radiológica vem sendo aplicada que é a tomografia computadorizada de feixe cônico (ISSRANI et al., 2022). Essa técnica radiológica é mais específica, possuindo várias aplicações e muitas vantagens técnicas e práticas, como a precisão na anatomia, a facilidade de comparação dos registros dentários a redução de custos e a redução da dose de radiação, tornaram-na um complemento inevitável nas investigações forenses, ressaltando assim a sua importância na área devendo-se considerar sua utilização, mais frequentemente para imagens post-mortem (ISSRANY et al., 2022; SHORT et al., 2014; ZHANG, 2022). Há um espaço considerável para futuras pesquisas pois suas vantagens são grandes já que possui menos distorções por artefatos metálicos, menor tempo para reconstrução da imagem e menos radiação quanto comparada a tomografia computadorizada convencional (ISSRANI et al., 2022).

A tomografia computadorizada é uma ferramenta radiológica mais sofisticada, pois possui um custo maior, no entanto é uma tecnologia amplamente utilizada na odontologia para fornecer imagens tridimensionais detalhadas das estruturas craniofaciais, incluindo os ossos maxilares e mandibulares, os dentes e os tecidos circundantes, ou seja, permitem uma visualização precisa das estruturas anatômicas, auxiliando na avaliação de condições patológicas, como cistos, tumores, fraturas e anomalias congênitas (ISSRANY et al., 2022; ZHANG, 2022, MATSUDA et al., 2020; SHORT et al., 2014). Possui também, aplicações em áreas como implantodontia, endodontia, ortodontia, cirurgia bucomaxilofacial e na área da odontologia legal, principalmente em cadáveres com suspeita de tuberculose ou infecções como o corona vírus, onde há riscos de realizar exames das cavidades orais (MIZUNO et al., 2022).

Existe outro artifício radiológico utilizado também que é a microtomografia computadorizada (micro-CT), uma ferramenta de alta resolução de imagens tridimensionais. Neste método, não há necessidade de preparação ou fatiamento da amostra já que o equipamento possui vários componentes essenciais, incluindo um tubo de raios X, um filtro e colimador, um motor elétrico controlado por computador, uma câmera para traduzir dados de imagem de raios X, um aparelho intensificador de imagem, um suporte de espécime e um computador. Assim, é possível examinar a estrutura interna do tecido e a adaptação interna dos materiais às superfícies sem destruí-los. Devido a essas vantagens, a micro-CT tem sido recomendada como uma ferramenta de imagem padrão em pesquisa odontológica para muitas aplicações, como na área de endodontia, dentística e para pesquisa sobre a densidade mineral de tecidos duros e seu crescimento ósseo. Porém este método possui algumas desvantagens como, os altos custos, o tempo necessário para digitalização e reconstrução, experiência em informática do profissional e o armazenamento dos dados de grande volume (GHAVAMI-LAHIJI et al., 2021).

2.3 IMAGINOLOGIA ODONTOLÓGICA DIGITAL

Ao longo dos anos, as técnicas de impressão odontológicas progrediram significativamente com a odontologia digital tornando-se cada vez mais popular (PELLITTERI et al., 2022). A inclusão de novos dispositivos que permitiram a

aquisição de imagens radiológicas digitais, sem o uso de filme radiológico, deu origem à radiologia digital (FELÍCIO e RODRIGUES, 2010).

Em técnicas 3D digitais, muitas vezes é necessário a conversão do objeto físico real para um objeto digital virtual tridimensional, através do uso de scanners ou tomografias, embora apresentem resultados interessantes, existem alguns desafios e desvantagens como o custo e o acesso limitado de equipamento (PELLITTERI et al., 2022; SANTO, 2020; BATISTELA et al., 2017). Uma alternativa pode ser a aplicação da fotogrametria que utiliza fotografias digitais para formar a geometria tridimensional dos dentes, esta técnica é uma opção interessante para digitalização 3D pois é precisa, fácil de usar e de baixo custo devido a não necessidade de equipamentos sofisticados para sua para implementação (BATISTELA et al., 2017).

Houve uma evolução das técnicas de impressão com a introdução de scanners intraorais capazes de realizar a captura de imagens da arcada dentária em terceira dimensão, as imagens digitais permitiram inclusive a criação de modelos dentários físicos e tornaram possível o armazenamento e compartilhamento destas imagens digitais (ISSRANI et al., 2022; NAGI et al., 2019). A tecnologia de escaneamento intraoral tem se desenvolvido rapidamente, resultando em aparelhos mais compactos, precisos e acessíveis. Esses scanners usam diferentes técnicas de captura de imagem e são capazes de coletar informações sobre a forma e o tamanho das arcadas dentárias através da emissão de um feixe de luz (PELLITTERI et al., 2022).

2.4 IDENTIFICAÇÃO HUMANA ATRAVÉS DA DENTIÇÃO

A identificação humana geralmente é realizada por médico-legal ou odontologia legal através de métodos científicos, comparação de dados registrados em momentos distintos ante e post mortem (DARUGE et al., 2019).

Alguns métodos de identificação que podemos citar são a datiloscopia, odontologia legal e o DNA, isso se deve ao fato de cada indivíduo possuir características anatômicas únicas (DARUGE et al., 2019; VANRELL, 2019).

De acordo com Vanrell (2019), a partir dos 20 anos de idade, inicia-se o processo chamado de regressão orgânica, ou seja, começam a surgir alterações dentárias que podem quando analisadas em conjunto, estimar a idade do ser humano. Assim a obtenção da estimativa da idade dentária através de um modelo 3D pode ajudar a eliminar algumas das dificuldades do exame indireto de um indivíduo como à

presença de saliva ou à falta de visualização adequada. Existe também uma classificação de Li e Ji que estimam a idade pelo desgaste dos dentes molares (CHAUDHARY et al. 2024).

A técnica de Gustafson de 1950 (VANRELL, 2019; ISRRANI et al., 2022) se baseia na análise das seguintes características para determinar a idade: desgaste da superfície de oclusão, periodontose (perda da fixação ou migração dos dentes), desenvolvimento de dentina secundária no interior da cavidade pulpar, deposição de cimento da raiz, reabsorção radicular e transparência do ápice da raiz dentária. E a técnica de Lamendin avalia apenas duas dessas medições de Gustafson em dentes unirradiculares, que são a transferência radicular e a periodontose (VANRELL, 2019). Todos esses dados também dependem do hábito alimentar, higienização, hábitos parafuncionais, presença de bruxismo, variáveis que devem ser analisadas em conjunto para ajudar na identificação humana.

Através de radiografias orais também é possível estimar a idade, através da análise volumétrica dentária pois a redução do tamanho da polpa, leva à formação de dentina secundária que é proporcional à idade de um indivíduo. Esta correlação foi explicada pela primeira vez por Bodecker em 1925. Os dentes mais preferidos para a estimativa da idade são os caninos superiores, devido às suas características, como serem dentes de raiz única com a maior área pulpar, menos susceptíveis a cáries, com menor desgaste quando comparado com os molares inferiores (ISRRANI et al., 2022).

Ainda de acordo com VANRELL (2019) é possível determinar o gênero quando se mensura os dentes pela largura e forma anatômica dentária. Assim é possível observar que em homens, os incisivos centrais superiores, são mais volumosos quando comparado com o gênero feminino. Além disso, em mulheres o diâmetro méso-distal do incisivo central e do incisivo lateral da arcada superior é menor (VANRELL, 2019).

Uma impressão 3D poderia ajudar a melhorar a identificação da determinação do gênero e talvez também a identificação individual a partir de traços dentários não métricos, tais como o tubérculo de Carabelli, que é uma pequena cúspide acessória que se forma em alguns primeiros molares superiores permanentes. Ainda pode evidenciar a presença de 3 cúspides em segundo molares superiores e a presença de quatro cúspides em primeiro e segundo molares inferiores (CHAUDHARY et al., 2024).

Através dos dentes também é possível estimar a estatura do ser humano, a técnica se chama Carrea que com a ajuda de um paquímetro de corda mensura-se a distância da mesial do incisivo central inferior até a distal do canino e em seguida com uma fita métrica obtém-se a medida do arco dentário.

2.5 MENSURAÇÃO DIGITAL DE DENTES

A mensuração de dentes realizada através da captura de imagens digitais com a ajuda de softwares específicos é uma tecnologia inovadora que possui muitas vantagens em relação aos métodos tradicionais de medição manual. Esse processo permite realizar medições precisas e eficientes da anatomia dentária, promovendo o diagnóstico, planejamento e acompanhamento de tratamentos odontológicos (SANTO, 2020).

Existem algumas vantagens da automatização da mensuração digital na análise das imagens, como uma maior precisão e eficiência nas medições em comparação com os métodos tradicionais, pois ao invés de utilizarmos compassos, régua ou paquímetros, pode-se fazer uso de ferramentas como os softwares disponíveis e fáceis de usar (QUIMBY et al., 2004). No entanto não podemos desconsiderar o fato de que pode haver um alto investimento de softwares e hardwares, pois é fundamental a imagem possuir qualidade digital. A necessidade de treinamento no uso desta tecnologia e a calibração do profissional e do software é essencial para garantir a precisão dos resultados (MATSUDA et al., 2020; QUIMBY et al., 2004).

As medidas odontométricas permitem a diferenciação dos padrões dentários de homens e mulheres, idade e diferenças raciais, dentre as quais, as mais utilizadas são as distâncias méso-distal e vestibulo-lingual da coroa dos dentes permanentes (SOTO-ÁLVAREZ et al., 2020; BROWN et al., 2018).

De acordo com Brown e colaboradores (2018), as medidas escolhidas foram definidas pelo *software* DOLPHIN e incluíram: largura da coroa (medida méso distal do ponto de contato ao outro ponto de contato), altura da coroa (alturas incisal/oclusal-gengival até a ponta da cúspide ou borda incisal) e algumas medidas de dimensões da arcada foram: largura intercanina de uma cúspide à outra, largura intermolar da cúspide méso lingual de uma ponta da cúspide a outra, profundidade

da arcada, da linha média dos incisivos centrais até uma linha perpendicular que cruza o contato mesial dos dois primeiros molares.

Na odontologia legal, a medição digital pode ajudar na identificação humana através da comparação de medidas dentárias de imagens digitais com os registros/modelos dentários, também podem estimar a forma e proporções da face, detectar a trajetórias de projeteis, avaliar a extensão da fratura óssea ou dentária (SHORT et al., 2014).

2.6 IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL

A utilização da impressão tridimensional no âmbito dos cuidados de saúde tem progredido muito, oferecendo soluções, promovendo uma abordagem centrada no doente, desde a confecção de implantes personalizados a sistemas de proteção contra radiações e de administração de medicamentos. As suas aplicações transformadoras, aliadas à viabilidade económica e à sustentabilidade, têm o potencial de revolucionar os cuidados de saúde, por meio da biocompatibilidade dos materiais, a normalização e as preocupações éticas (ALZOUBI et al., 2023).

No estudo de revisão da literatura, TACK e colaboradores (2016), que revisaram sobre a impressão tridimensional para fins médicos, com aplicações em várias especialidades como, ortopedia (próteses de joelho e ombro), cirurgia da coluna vertebral, cirurgia maxilofacial, neurocirurgia e cirurgia cardíaca, relataram que o resultado médico é otimizado com a utilização da impressão 3D, devido a redução do tempo cirúrgico e a diminuição a exposição à radiação (exames complementares de imagem). No entanto, apenas 14% dos artigos apoiaram esta afirmação.

A impressão 3D em Odontologia teve um enorme crescimento e desenvolvimento nas últimas décadas, revolucionando o diagnóstico, o planeamento de tratamento e a produção de dispositivos odontológicos (NAGI et al., 2019; BROWN et al., 2018). Inicialmente usada para prototipagem rápida na indústria, a tecnologia 3D encontrou aplicações na odontologia com a capacidade de criar modelos precisos e personalizados de dentes e estruturas orais (TIAN et al., 2021).

O desenvolvimento de scanners intraorais e softwares de modelagem possibilitaram coletar dados tridimensionais do paciente com rapidez e precisão, eliminando a necessidade dos modelos invasivos tradicionais, permitindo assim, a criação de restaurações dentárias, próteses, implantes, aparelhos ortodônticos,

cirurgias guiadas possibilitado o planejamento virtual e a execução precisam de procedimentos cirúrgicos odontológicos, devido a impressão 3D (RICHERT et al., 2017). Outra técnica é a estereolitografia, que é um processo de manufatura aditiva (resina polimerizável), onde cria modelos tridimensionais a partir de imagens radiográficas, no entanto esta técnica tem suas limitações e dificuldades (COELHO et al., 2018).

Com desenvolvimentos e melhorias tecnológicas contínuas, espera-se que a impressão 3D desempenhe um papel mais importante na odontologia, proporcionando melhores resultados clínicos e melhores experiências aos pacientes (OLIVEIRA et al., 2023; BROWN et al., 2018). No entanto de acordo com Oliveira e colaboradores (2023), apesar do avanço tecnológico que a odontologia digital obteve em relação às impressoras 3D, muitos profissionais ainda não possuem o conhecimento necessário para aplicar tecnologia em sua rotina diária, havendo uma lacuna nas informações relativas à manufatura aditiva sua aplicação na clínica odontológica.

Na área da Odontologia Legal, a reconstrução de elementos dentários pode ajudar na identificação pós morte, uma vez que podem ocorrer perdas de elementos dentários durante a examinação de remanescentes humanos de cenas de crime, acidentes ou em exumações (JONHSON et al., 2019), podendo ser considerada um método inovador e facilitador de identificação anatômica forense (NAGI et al., 2019). Houve uma grande revolução na odontologia legal com a impressão 3D, pois forneceu ferramentas inovadoras as quais auxiliaram a identificação de cadáveres, a análise de traumas, o planejamento cirúrgico e até mesmo na área da educação e no treinamento de profissionais (CHAUDHARY et al., 2024; NAGI et al., 2019). Suas vantagens da odontologia legal são inúmeras e incluem a precisão da réplica da anatomia do dente, aumentando assim a confiabilidade da análise e identificação. Além disso, as eficiências são destacadas à medida que a tecnologia acelera o processo de identificação e investigação, reduzindo custos e tempo (JONHSON et al., 2021). A visualização é outra vantagem, pois os modelos 3D auxiliam na comunicação entre profissionais e juízes e na compreensão dos jurados sobre casos complexos. Por fim, a impressão 3D é considerada uma opção ética que proporciona uma alternativa mais precisa e menos invasiva à coleta de dados, preservando a dignidade da vítima (CHAUDHARY et al., 2024).

Os princípios fundamentais da impressão 3D, envolvem algumas etapas iniciando pela modelagem 3D, através da criação de um modelo digital realizado

através de scanners ou softwares CAD (*Computer Aided Design*) (PELLITTERI et al., 2022; RICHERT et al., 2017, BROWN et al., 2018). Em seguida vem a preparação do arquivo para impressão através de definições de configurações como tamanho, orientação do objeto a ser impresso (OLIVEIRA et al., 2023). Teoricamente, o modelo 3D pode ser impresso a partir de qualquer conjunto de dados de imagem volumétrica que tenha contraste suficiente para diferenciar tecidos, como dados de tomografia computadorizada de feixe cônico, dados intraorais ou dados de digitalização ótica de superfície, no entanto é preciso lembrar que as impressoras 3D não aceitam imagens DICOM (formato das imagens radiológicas digitais), mas imagens em formato STL (“Standard Triangle Language”) que é um formato de arquivo que representa a geometria do objeto 3D. O formato também pode ser outro similar, mas todos transformam a imagem 3D em objetos individuais definidas por superfícies que rodeiam uma região do espaço e estas superfícies se apresentam como uma coleção de triângulos ou facetas que se encaixam como um quebra cabeça (CHAUDHARY et al., 2024).

Assim que termina o processo de impressão, o objeto necessita de acabamento, polimento, remoção de excesso para obtenção dos resultados almejados (OLIVEIRA et al., 2023).

2.7 TECNOLOGIAS E MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPRESSÃO 3D

2.7.1 TECNOLOGIAS DE IMPRESSÃO 3D

Antes de realizar a impressão propriamente dita é necessário selecionar os materiais e as técnicas de impressão, pois a impressão 3D é um processo de fabricação aditiva o qual cria um objeto camada por camada utilizando materiais de impressão específicos como resinas, materiais termoplásticos e metais (REIS et al., 2022).

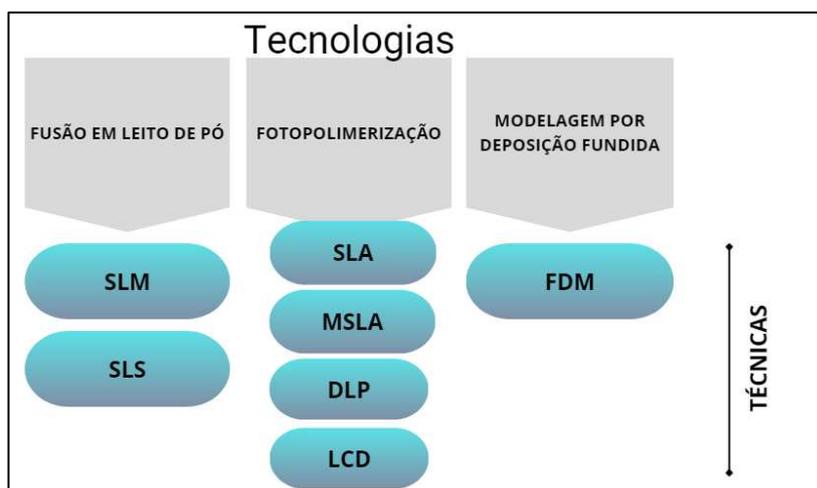
São diversas as opções de impressoras 3D amplamente utilizadas, a saber: Estereolitografia (SLA), fusão seletiva a laser (SLS), fotopolimerização por projeção (DLP), visor de cristal líquido (LCD) e Modelagem por deposição fundida (FDM). As principais metodologias utilizadas na odontologia, envolvem a SLA, DLP, SLS e FDM (OLIVEIRA et al., 2023; COELHO et al., 2017).

As impressoras DLP e SLA na odontologia são utilizadas na fabricação de coroas provisórias, modelos de trabalho, guias cirúrgicos, alinhadores e placas mio-relaxantes (OLIVEIRA et al., 2023). Ambas as técnicas utilizam a manufatura aditiva para fabricar um modelo 3D, camada a camada, com base em um modelo digital (BROWN et al., 2018; COELHO et al., 2018).

As impressoras 3D SLA, DLP ou LCD (LEDS que projetam luz UV), utilizam resina líquida como material. Já as impressoras 3D FDM (fusão por deposição de material), utilizam variados tipos de filamentos como material (REIS et al., 2022).

A Figura 7 esquematiza as diferentes tecnologias de impressão tridimensional e suas técnicas.

Figura 7-Esquema das tecnologias e técnicas de impressão 3D.



Fonte: a autora (2025).

2.7.1.1 TECNOLOGIAS DE FUSÃO EM LEITO DE PÓ

A luz do laser é usada para sintetizar ou derreter uma área em um leito de material em pó, enquanto a plataforma se move, para cima e para baixo, adicionando material camada por camada (REIS et al., 2022).

2.7.1.1.1 TÉCNICA SLM

Essa técnica de sinterização seletiva a laser utiliza pó de metais ou cerâmica, e pode ser descrita também como sinterização direta de metal a laser (DMLS). Apesar

de apresentar muitas opções de materiais, essa técnica tem um manuseamento da máquina e pós-processamento complexo (JONHSON et al., 2021; SILVA e FARIA, 2021).

2.7.1.1.2 TÉCNICA SLS

A técnica do tipo SLS, utiliza um monômero em pó, que utiliza materiais como nylon, cera de fundição, poliéster e cerâmicas. Esse processo sintetiza as camadas por indução do calor de dióxido de carbono que é emitido pelo laser por dois eixos (x e y) com temperatura próxima ao ponto de fusão do material (JONHSON et al., 2021; SILVA e FARIA, 2021). Esta técnica permite a produção de inúmeras peças em um curto período, no entanto apresenta algumas desvantagens pois o modelo acaba apresentando uma dureza, o que dificulta a perfuração no planejamento de implantes, mas é ótimo para fabricação de próteses dentárias (SILVA e FARIA, 2021).

2.7.1.2 TECNOLOGIAS POR FOTOPOLIMERIZAÇÃO

2.7.1.2.1 TÉCNICA SLA

Esse tipo de processo de fabricação foi introduzido pela primeira vez em 1986 com o advento do processo SLA por meio da patente de Charles Hull, cientista norte-americano formado em engenharia (OLIVEIRA et al., 2018; COELHO et al., 2018; DABAGUE, 2014).

Na área da Odontologia, essa técnica é bem empregada é a técnica devido a sua precisão, boa lisura superficial e por possuir alta resistência. A estereolitografia (SLA) polimeriza, através de um único laser ultravioleta, um espelho controlado por computador é utilizado para focar o laser na superfície da resina e construir cada camada, que começam a se formar de baixo para cima (REIS et al., 2022; SILVA e FARIA, 2021). O material utilizado é a resina líquida foto polimerizável, composta por monômeros, foto iniciadores e aditivos. Assim esse material é adicionado em uma plataforma na qual se solidifica por reação a luz ultravioleta, com comprimento de onda entre 385 nm e 405 nm. Após esse processo de construção em camada, o

modelo impresso, é imerso em solvente para eliminar os monômeros residuais e então, ocorre a fotopolimerização (SILVA e FARIA, 2021).

Esta técnica pode ser empregada para produzir guias cirúrgicos de implantes, coroas totais e alinhadores ortodônticos (REIS et al., 2022; SILVA e FARIA, 2021).

O SLA possui duas técnicas de formação da camada 2D distintas: Estereolitografia por Escaneamento (SSL) e Estereolitografia por Projeção (PSL) (COELHO et al., 2018).

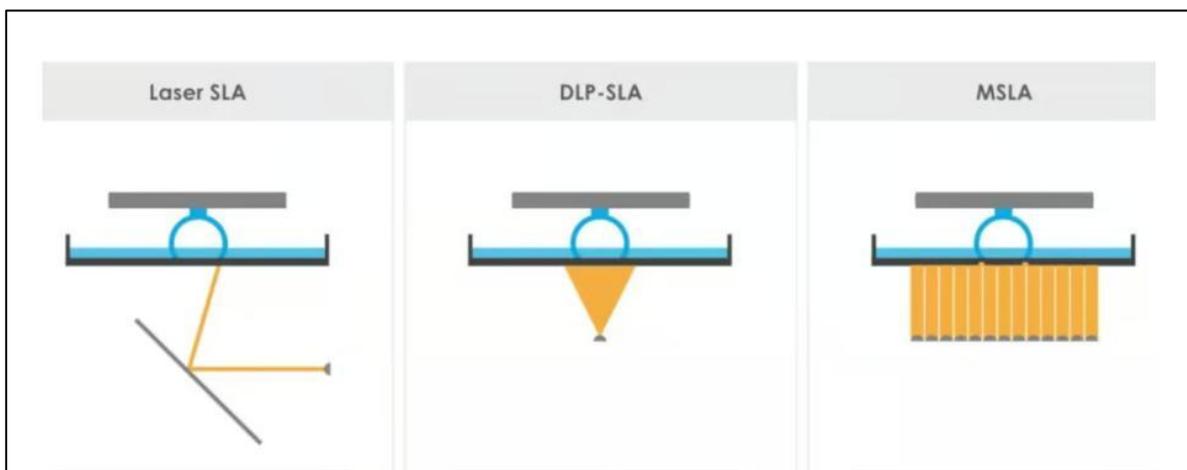
COELHO e colaboradores (2018) realizaram a impressão de modelos 3D através de uma impressora SLA por projeção (PSL-Projet 1200 da 3D Systems), capaz de produzir peças sob uma plataforma com dimensões de 43 mm de comprimento e 27 mm de largura, com uma altura máxima de impressão de 150 mm, tendo como resolução no plano xy de 0,056 mm e a altura da camada foi constante para os experimentos, com espessura de camada de 0,03 mm. E observaram que alguns dos parâmetros de fabricação, puderam ser modificados como: a localização da impressão na plataforma, a taxa de sobrecarga, o fator de compensação de contração e a orientação de construção das peças. E puderam concluir e comprovar que a posição e a orientação das formas geométricas devem ser levadas em consideração, já que devem projetar dimensões que compensem a contração não homogênea em toda a plataforma e os valores de contração encontrados foram menores que 5% para um elemento de 3 mm de comprimento.

2.7.1.2.2 TÉCNICA MSLA

A estereolitografia mascarada (MSLA) é uma forma modificada de impressão da técnica de SLA, esta técnica utiliza uma matriz de LED ultravioleta (UV) e um ecrã LCD para curar seletivamente uma camada inteira de resina em segundos. As impressoras de resina MSLA utilizam componentes amplamente disponíveis e econômicos, o que torna a tecnologia acessível aos consumidores (ORZEL e STECULA, 2022).

A Figura 8 exemplifica a diferença da técnica MSLA, a SLA e a DLP, técnicas que utilizam resinas.

Figura 8-Esquema das diferentes técnicas



Fonte: All3DP.com and Formlabs

Algumas das vantagens da técnica MSLA são preços acessíveis de impressora e material (resina), boa resolução de impressão, acabamento sem linhas de camada (suave), rapidez de impressão, funcionamento silencioso, capacidade de imprimir geometrias complexas e variedade de materiais (flexíveis, duráveis, transparentes, cerâmicos). No entanto, algumas das suas desvantagens incluem, a necessidade de requerer EPI e ventilação, limpeza extensiva e processo de pós-cura, a resina deve ser trabalhada em ambiente aquecido ou quente (20-30°C), podem ocorrer algumas deformações de impressão dependendo das configurações da impressora e da resina (ORZEL e STECULA, 2022).

2.7.1.2.3 TÉCNICA DLP

Assim como na técnica SLA, a técnica DLP também utiliza a polimerização de resina líquida, no entanto a forma que a luz ultravioleta é aplicada é diferente pois a luz é emitida por um projetor diretamente no material presente no tanque (MOON et al., 2021; SILVA E FARIA, 2021; REIS et al., 2022). O projetor expõe a resina a uma imagem 2D e o objeto é produzido por camadas à medida que a plataforma é manipulada, o que é semelhante à SLA, mas não existe um feixe móvel (REIS et al., 2022).

SILVA e FARIA (2021) em seu estudo descrevem que a técnica DLP é barata, rápida e cria biomodelos com uma superfície mais lisa, no entanto como é necessário

a exposição a luz ultravioleta para completar a foto polimerização, acaba ocorrendo uma contração dimensional que é influenciada pelos foto iniciadores do monômeros, pela intensidade da radiação e pela temperatura da cura. No entanto Moon e colaboradores (2021), afirmam que apesar de ter alta precisão, rapidez em sua impressão e ser utilizado para fabricação de dispositivos médicos complexos, esta técnica pode ser custosa e limitada para impressão de modelos menores.

Brown e colaboradores (2018) concluíram em seu estudo que tanto as impressoras DLP quanto as polyjet produziram modelos aceitáveis com alta precisão e deveriam ser consideradas opções viáveis para uso clínico e a diferença média entre as medidas de altura da coroa para os modelos DLP foram estatisticamente significativas, dentro da faixa aceitável.

No estudo de Moon e colaboradores (2021) onde avaliaram a precisão da confecção de restaurações temporárias com dois tipos de metodologias diferentes, a do tipo DLP e a do tipo LCD, e puderam concluir que a impressora utilizando a técnica do DLP tiveram resultados melhores do que a LCD, em relação a contração e irregularidades, mas alegaram algumas limitações como não terem utilizados o mesmo material dos mesmos fabricantes.

2.7.1.2.4 TÉCNICA LCD

A técnica de impressão por LCD, é mais recente que a técnica DLP, seu uso ganhou mais destaque na fabricação de joias, brinquedos e mais recentemente na área da saúde. Esta técnica, utiliza um display de cristal líquido para bloquear ou permitir luz em diferentes áreas da resina fotossensível, através da influência de um campo elétrico, no entanto pode ocorrer pequenos vazamentos de luz, o que prejudica sua precisão (CHEN et al., 2020; MOON et al., 2021). E por ser uma tecnologia recente, são poucas as resinas disponíveis para o uso em suas impressoras (CHEN et al., 2020).

Chen e colaboradores (2020), realizaram um estudo *in vitro* para avaliar se as resinas de impressão 3D projetadas para a utilização da técnica DLP poderiam ser utilizadas em uma impressora do tipo LCD, e avaliaram a resistência, a reflexão e a citotoxicidade dos espécimes avaliados, puderam concluir que desde que as impressões passem por uma unidade de pós polimerização, essas resinas podem ser

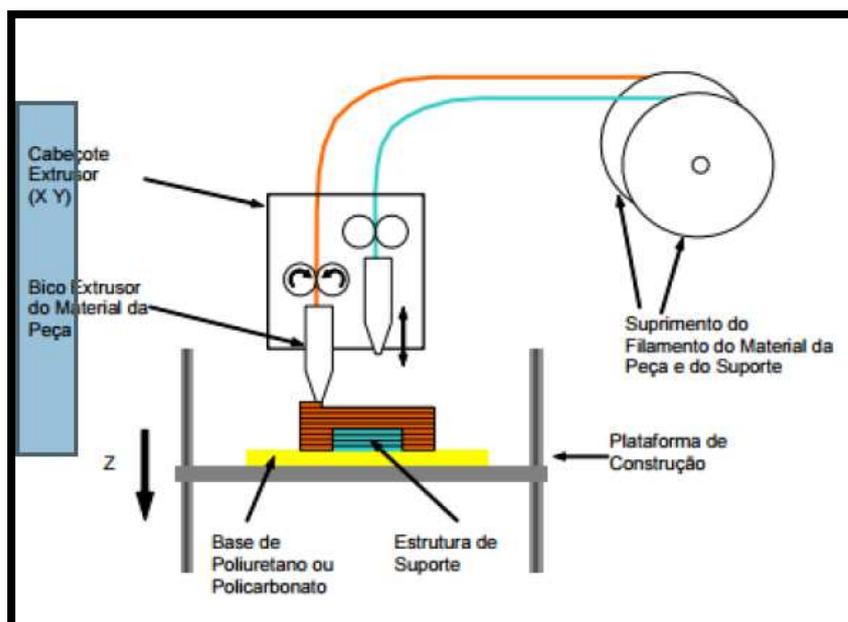
utilizadas podendo ter resultados superiores aos esperados quanto a flexão, resistência e viabilidade celular.

2.7.1.3 TECNOLOGIA POR MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO (FDM)

A técnica FDM, foi patenteada em 1989, por Scott Crump, e está dentre as tecnologias mais utilizadas (DABAGUE, 2014). Este método ocorre através do aquecimento de filamentos termoplásticos, que podem ser resina, poliéster e cera. Os polímeros termoplásticos utilizados geralmente são o ácido polilático, a acrilonitrila butadieno estireno e o policarbonato (OLIVEIRA et al., 2023; SILVA e FARIA, 2021; CUNHA, 2019; DABAGUE, 2014).

A impressora contém três eixos (X, Y e Z) e dois bicos extrusores os quais se movimentam nos eixos X e Y. O material é aquecido nos orifícios até sua forma semilíquida ser extrusada, ou seja, as camadas de material fundido são depositadas a partir de um bocal filamentosso e depois solidificam em 0,1 segundos (Figura 9) A impressão pode ser multicolor, uma vez que a impressão é feita por uma ou mais extrusoras alimentadas por filamentos de forma independente (DABAGUE, 2014).

Figura 9-Esquema do processo FDM



Fonte: Coelho, 2016.

SILVA e FARIA (2021) em seu estudo afirmam que a qualidade da impressão vai depender da espessura de cada camada, da velocidade de extrusão e fluidez do material. Por isso a precisão deste processo é menor quando comparado com outras técnicas uma vez que possui resistência variável e alta porosidade, sendo mais bem utilizado em modelos que não necessitem de detalhes anatômicos.

No estudo de Jani e colaboradores (2020), que utilizou a impressão 3D por modelagem de fusão fundida para reconstrução e remodelagem de modelos fragmentados e ausentes do crânio humano, concluiu que foi possível reconstruir um arco zigomático que estava ausente no modelo e reconstruir uma mandíbula fragmentada com precisão e recomendam sua utilização na odontologia legal.

2.7.2 MATERIAIS DE IMPRESSÃO 3D

Os principais materiais utilizados nas técnicas SLM e SLS são titânio, alumínio, aço inoxidável, cobalto-cromo, níquel-titânio, biocerâmicas e polímeros sintéticos. Já nas técnicas SLA, DLP e LCD são os polímeros, biocerâmicas, porcelana e pasta de zircônia. E na técnica de FDM os materiais utilizados são o ácido polilático, policarbonato, poliamida e copolímeros de acrilonitrila-butadieno-estireno (OLIVEIRA et al., 2023; CUNHA, 2019). Os materiais mais utilizados atualmente para a construção de objetos são o Ácido Polilático (PLA) e Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) (GOULART, 2019; OLIVEIRA et al., 2023; RECH et al., 2021).

2.7.2.1 ÁCIDO POLILÁTICO (PLA)

O PLA é um polímero termoplástico comumente utilizado para a fabricação de filamentos, sendo um poliéster alifático, biodegradável, de origem renovável, com boa aderência, alta resistência e rigidez, embora possa ser considerada frágil. Essa fragilidade é uma das desvantagens, pois possui baixa viscosidade de fusão, ou seja, maior suscetibilidade a apresentar danos ao ser exposto ao calor, apresenta baixa pressão de processamento, e é quimicamente inerte (RECH et al., 2021, CUNHA, 2019). Esse material é também utilizado na biomedicina, na engenharia de tecidos, pois favorece a adesão e a proliferação celular, sendo biocompatível e de fácil processamento, além de possuir um preço acessível (RECH et al., 2021; CUNHA, 2019; GOULART, 2019).

2.7.2.2 ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)

Após o PLA, o filamento ABS é bastante utilizado na impressão 3D, é um material de baixo custo, com alta durabilidade, tolera altas temperaturas, no entanto esta suscetível a deformações (CUNHA, 2019; GOULART, 2019).

Diante da relevância da Odontologia legal na identificação humana pós-morte, especialmente em contextos de desastres e crimes, a impressão tridimensional surge como uma tecnologia promissora para reprodução fidedigna da anatomia dental.

A literatura revisada evidencia avanços inovadores nas técnicas de digitalização, modelagem e impressão 3D, destacando suas potencialidades e limitações no contexto forense. Entretanto ainda persiste a necessidade de avaliação rigorosa da precisão e confiabilidade destes métodos, especialmente no que tange às diferentes tecnologias e materiais usados. Assim torna-se necessário conduzir estudos que verifiquem a exatidão das riquezas tridimensionais de estruturas dentárias a partir de imagens digitais, orientando sua aplicação prática e consolidando seu papel como ferramenta auxiliar em perícias odontológicas forenses.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Verificar se a tecnologia de impressão 3D tem potencial para reproduzir um protótipo da anatomia dental a partir de imagens digitais para uso em práticas *forenses*.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Imprimir dentes incisivos, caninos, pré-molares e molares obtidos por imagens digitais.
- Avaliar o processo de impressão 3D (estereolitografia mascarada) dos dentes por meio de medições odontométricas, materiais e processos.
- Identificar se a técnica de estereolitografia mascarada é confiável para impressão de dentes para aplicação nas práticas *forenses*.

4 METODOLOGIA

O estudo proposto foi experimental realizado com imagens tridimensionais dentárias e impressão tridimensional.

Esse estudo passou por duas fases: a primeira para testar as tecnologias disponíveis através da impressão de uma pequena amostra de dentes e uma segunda fase que definiu a tecnologia que seria utilizada para impressão e medição de um maior volume de dentes.

Critérios de seleção

Como critério para seleção foram incluídas apenas imagens de dentes humanos. Imagens corrompidas, imagens que apresentaram dentes com cárie extensa, obturados, fraturados, supranumerário decíduos e inclusos foram excluídas da seleção.

Primeira Fase

O estudo proposto foi experimental realizado com auxílio de imagens tridimensionais obtidas por meio de download em um repositório de imagens dentárias (gratuito). Os arquivos baixados estavam no formato STL ("Standard Triangle Language") ou OBJ ("Object File Wavefront "). O passo seguinte foi a conversão da imagem e sua preparação para impressão 3D e para isso as imagens foram convertidas em arquivos em formato compatíveis com softwares específicos para impressão de acordo com cada impressora.

Apenas uma técnica de impressão foi selecionada para mensuração dos dentes através de paquímetro que correspondeu aos critérios de facilidade de uso, melhor qualidade, custo e tempo de impressão. Os seguintes tipos de dentes foram impressos: incisivo, um canino, um pré-molar e dois molares.

Após esta seleção, somente uma técnica foi escolhida para aferição métrica (imagem digital dentária e dentes impressos), através do *software* Meshmixer, seguindo os seguintes parâmetros métricos:

- Comprimento da coroa: distância da borda incisal até a linha cervical;
- Comprimento da raiz: distância da cervical até o ápice;
- Comprimento total do dente: distância da borda incisal até o ápice;

- Largura méso-distal até a cervical: distância da margem mesial até a margem distal próxima da cervical;
- Largura méso-distal até a borda incisal: distância da margem mesial até a margem distal próxima a incisal e
- Comprimento da região de furca: distância da coroa até a região de furca.

A impressora utilizada para o teste inicial foi a Elegoo saturn 4k impressora LCD monocromático que utiliza o processo de MSLA (estereolitografia mascarada), mas possui um LCD (Visor de cristal líquido) monocromático, ou seja, produz velocidades de impressão mais rápidas, necessitando apenas de 1 a 2 segundos por camada, enquanto as impressoras 3D LCD convencionais requerem de 7 a 8 segundos por camada. Essa impressora possui resolução XY de 3840 x 2400 pixels e 0,05mm, precisão do eixo Y de 0,00125mm, com velocidade de impressão de 30/40 mm/hora. Utiliza software de impressão o Chitubox slicer. A resina utilizada nesta impressora foi a resina Prizma translúcida.

A segunda foi, a impressora Creality End, a qual utiliza tecnologia de impressão FDM, sua velocidade máxima de impressão é de 600 mm/segundo; pode atingir temperatura máxima de extrusão de 300°C; possui uma precisão de impressão de: $\pm 0,2$ mm; possui compatibilidade de filamentos do tipo PLA e ABS. Com diâmetro de 1,75 mm; o formato do arquivo para impressão é o G-CODE; e pode usar diversos softwares para fatiamento da imagem como: Creality Print®, Ultimaker CURA®, Prusa Slicer®, IdeaMaker® e Orca®.

A última impressora utilizada foi a Anycubic photon mono 2 a qual emprega também a tecnologia de impressão de MSLA, mas com o uso de uma lavadora e uma fotopolimerizadora. Esta impressora possui resolução XY de 4096 x 2560 pixels e 35 micras (0,035mm), precisão de eixo Z de 0,01mm, com velocidade de impressão de 50mm/h. Utiliza os seguintes softwares de impressão: Photon Workshop, Chitubox, Lychee. A resina utilizada foi a Standard Anycubic cor branca. Após a impressão na impressora Anycubic, foi realizada uma limpeza dos resíduos de resina presente nos dentes impressos com a “WASH and CURE 3.0” com comprimento de onda de 405nm. A limpeza foi realizada com álcool isopropílico 99,8% e a próxima etapa foi a realização da cura da resina por 10 minutos.

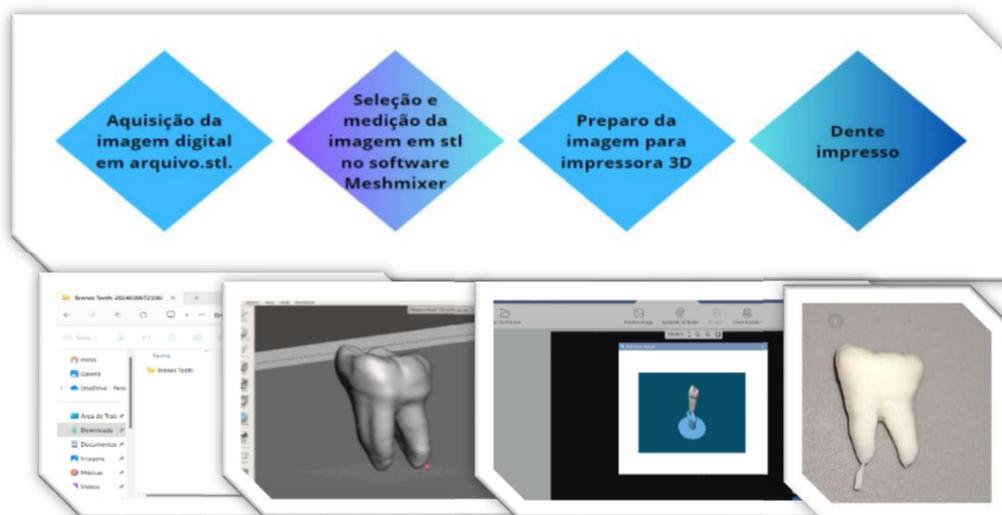
Das três impressoras 3D, duas foram utilizadas com permissão de uso restrito desta pesquisa pela Universidade Federal de Juiz de Fora pelo NUPICS (Núcleo de Pesquisa e Inovação em Ciências da Saúde) e parcerias. Apenas a impressora Anycubic Photon Mono 2, acessórios (lavadora e fotopolimerizadora) e resina foram obtidas posteriormente.

Segunda Fase

Para a segunda fase da pesquisa, foram definidos quatro passos para a impressão do dente escolhido. O primeiro passo consistiu na obtenção das imagens digitais somente em formato STL, baixadas dos seguintes sites: <http://www.cults3d.com> e <http://www.cgtrader.com>, sendo que as imagens utilizadas para a segunda fase foram diferentes das imagens selecionadas para a primeira fase. No entanto manteve-se os critérios seleção. O segundo passo foi a seleção e medição das imagens no software MeshMixer. O passo seguinte foi a conversão da imagem e sua preparação para impressão e para isso as imagens foram convertidas em arquivos para impressão 3D através dos softwares de fatiamento de imagem (photon/chitubox). O último passo consistiu na impressão dos dentes através da impressora Anycubic Photon Mono 2, que utiliza a tecnologia de impressão de MSLA e sua posterior mensuração dos dentes impressos, através dos parâmetros estabelecidos previamente.

A Figura 10 ilustra os quatro passos seguidos para a impressão 3D dos protótipos dos espécimes biológicos.

Figura 10-Esquema da impressão dos dentes



Fonte: a autora (2025).

4.1 IMAGENS DIGITAIS E SOFTWARES

As imagens online obtidas estavam no formato de arquivos STL, foram adquiridas imagens de dentes permanentes (molares, pré-molares, caninos e incisivos superiores e inferiores). Esses arquivos foram importados para o software Meshmixer (gratuito) para a modelagem requerida e seguiram para os seguintes softwares de fatiamento: Chitobox-Basic e Anycubic Photon Workshop, sempre levando em consideração as características anatômicas (tamanho, largura e número de raízes) para tais espécimes biológicos. Desde modo esses arquivos em formato .pm3n e chitobox foram exportados e levados para impressão dos dentes: incisivo central, incisivo lateral, canino, primeiro e segundo pré-molares, e primeiro e segundo molares superiores e inferiores bilateralmente.

4.2 IMPRESSORA 3D E PROCESSO TECNOLÓGICO

Foi utilizada a impressora ANYCUBIC PHOTON MONO 2 (Figura 11), a qual emprega a tecnologia de impressão de estereolitografia mascarada (MSLA), conforme as instruções do fabricante. Neste processo de MSLA uma resina sintética é iluminada

seletivamente por baixo com um display LCD. A tela LCD exibe uma máscara por camada de impressão, bloqueando a luz ultravioleta nos pontos especificados.

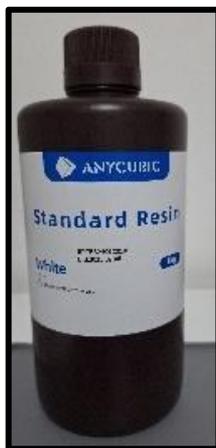
Figura 11-Impressora Anycubic Photon Mono 2



Fonte: a autora (2025).

A resina utilizada foi a STANDART da Anycubic cor branca, seguindo sempre os parâmetros recomendados de impressão, segundo o fabricante. Possui resolução XY de 4096 x 2560 pixels e 35 micra (0,035mm), precisão de eixo Z de 0,01mm, com velocidade de impressão de 50mm/h. A Figura 12 apresenta a resina utilizada.

Figura 12-Resina Standart Anycubic branca



Fonte: a autora (2025).

Os parâmetros de impressão foram otimizados, iniciando o processo pelas informações do fabricante dos materiais. Após a impressão na impressora Anycubic, foi realizada uma limpeza dos resíduos de resina presente nos modelos com a WASH and CURE 3.0 com comprimento de onda de 405nm (Figura 13). Para a limpeza e remoção de resíduos foi utilizado álcool isopropílico 99,8% e cura da resina por 10 minutos.

Figura 13-Anycubic Wash and Cure 3.0



Fonte: a autora (2025).

4.3 MENSURAÇÕES DENTÁRIAS

Foram realizadas duas mensurações, a primeira sendo da imagem digital dentária e a segunda dos dentes impressos.

As imagens digitais foram mensuradas através do software MESHMIXER seguindo os seguintes parâmetros métricos:

- **Comprimento da coroa:** distância da borda incisal até a linha cervical;
- **Comprimento da raiz:** distância da cervical até o ápice;
- **Comprimento total do dente:** distância da borda incisal até o ápice;

- **Largura méso-distal até a cervical:** distância da margem mesial até a margem distal próxima da cervical;
- **Largura méso-distal até a borda incisal:** distância da margem mesial até a margem distal próxima a incisal;
- **Comprimento da raiz nos lados mesial e distal:** distância entre a linha cervical e o ápice mesial ou distal da raiz do dente;
- **Comprimento da coroa na cúspide maior e menor:** distância da borda incisal da cúspide mais alta e mais baixa até a linha cervical e
- **Comprimento da coroa até a região de furca:** distância entre a região de furca dentária e a coroa.

Após as análises realizadas no software Meshmixer, os dados foram inseridos em uma tabela no Programa EXCEL 2013. Após a impressão dos elementos dentários, foi realizada a mensuração através do paquímetro digital marca IT. BLUE (LE-6002). Todas as mensurações foram realizadas por apenas um observador.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As mensurações lineares obtidas através do paquímetro nos modelos tridimensionais impressos foram comparadas as referências correspondentes extraídas das imagens digitais, configurando amostras pareadas. Para avaliação estatística das diferenças entre esses dois conjuntos de dados, foi aplicado o teste não paramétrico de Postos com Sinal de Wilcoxon, proteção para amostras dependentes e quando não se pressupõe normalidade na distribuição de dados. O nível de significância adotado foi de 1% ($p < 0,01$), garantindo rigor na detecção de diferenças estatisticamente entre as periferias físicas e digitais. Essa análise permitiu inferir a precisão e confiabilidade da impressão tridimensional na reprodução dos elementos estudados, fundamentando a validação da metodologia neste estudo.

5 RESULTADOS

FASE 1

Nesta primeira fase, foram impressos 15 dentes através de três impressoras 3D diferentes, sendo 5 dentes de cada impressora compostos por (um incisivo, um canino, um pré-molar e dois molares). A Figura 14 apresenta os protótipos iniciais dos dentes impressos por diferentes processos de manufatura aditiva e em distintos materiais (resina e filamento).

Figura 14-Dentes impressos através de diferentes tecnologias



Legenda: A-Dentes confeccionados pela Impressora Elegoo Saturn B:Dentes confeccionados pela Impressora Creality com filamento PLA amarelo (1,75m m), C: Dentes confeccionados pela Impressora Anycubic photon mono 2.

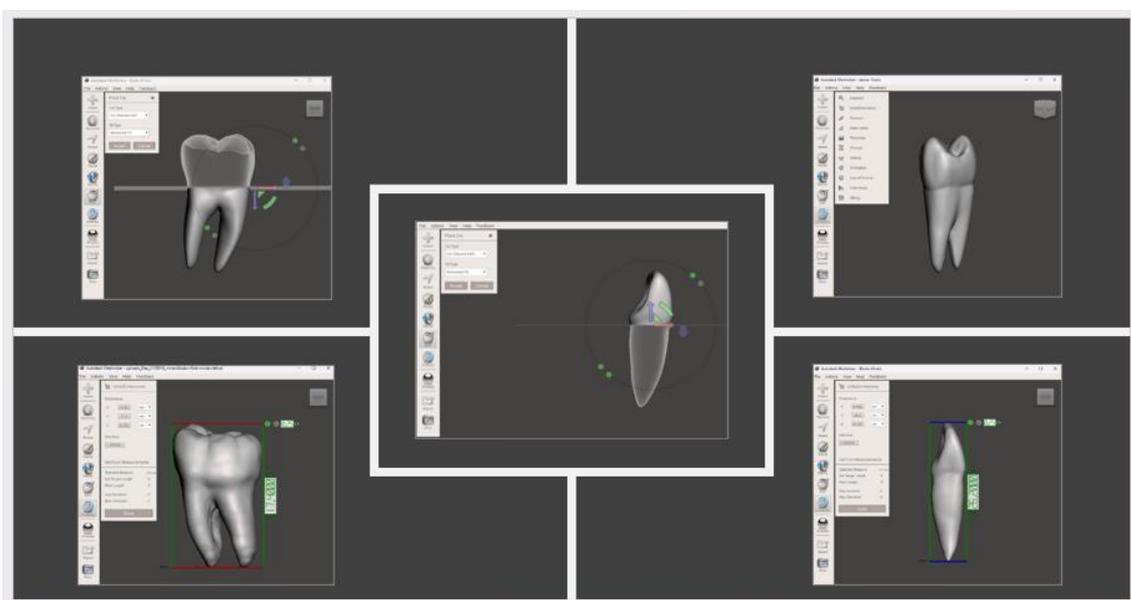
Fonte: a autora (2025).

A impressora selecionada foi a Anycubic Photon Mono 2, que utiliza a tecnologia de impressão de MSLA. A impressora Anycubic foi a escolhida devido à facilidade da técnica para processamento das imagens nos arquivos para impressão 3D, e por realizar a impressão mais fidedigna a anatomia dentária humana em relação a tamanho e aparência.

Em relação a quantidade de resina utilizada, apenas 200 gramas do pote de 1000g, foram necessárias para encher o tanque da impressora Anycubic Photon Mono. Cada dente utilizou 1g de resina portanto cada dente custou R\$ 0,97. Para impressão o tempo variou de 1h a 1h:30 min por dente.

Os seguintes dentes foram mensurados: incisivo superior direito (dente 11), canino inferior direito (dente 43), primeiro pré-molar superior direito (14), primeiro molar inferior esquerdo (dente 36) e segundo molar inferior direito (dente 47). O aplicativo utilizado foi o software Meshmixer (Figura 15).

Figura 15-Mensuração dos dentes no software Meshmixer



Fonte: a autora (2025)

Todos os dentes foram mensurados através de paquímetro digital por um cirurgião dentista calibrado. Os dados foram inseridos em uma tabela no programa Excel 2013 e foi realizada uma análise descritiva dos dados para avaliar as discrepâncias entre a imagem digital e a impressão dos dentes.

Tabela 1-Análise das dimensões dentárias dos dentes impressos pelo processo de MSLA.

Dimensões dentárias (mm)	Dente 11		Dente 14		Dente 36		Dente 43		Dente 47	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Comprimento da coroa	8,62	8,8	8,14	8,4	6,71	6,65	10,9	10,7	8,2	8,1
Comprimento da raiz	12,8	12,1	14,0	13,4	10,7	11	15,5	15,1	14,3	14,1
Largura Mésio-distal incisal	7,74	8	8,98	6,8	11,0	11,0	6,6	6,2	11,6	11,4
Largura Mésio-Distal Cervical	5,94	5,9	8,6	6,9	10,5	10,4	6	5,5	10,7	10,5
Comprimento da região de furca	*	*	12,2	12,4	8,89	8,4	*	*	11	10,8
Comprimento total do dente	21,4	20,9	22,2	21,8	17,4	17,6	26,2	25,8	22,5	22,2

1-Imagem digital, 2- Dente impresso

Fonte: a autora (2025).

Somente os dentes impresso da impressora Anycubic Photon Mono, foram analisados, devido a impressão mais fidedigna com tamanho e a aparência. Principalmente devido a presença de rugosidades, dificuldade de separação dos suportes após impressão, danificando os dentes impressos. Essa análise avaliou as discrepâncias entre a imagem digital e a impressão, auxiliou também para ressaltar o fato de que alguns pré-molares e molares deveriam ter sua região de furca mensurada.

FASE 2

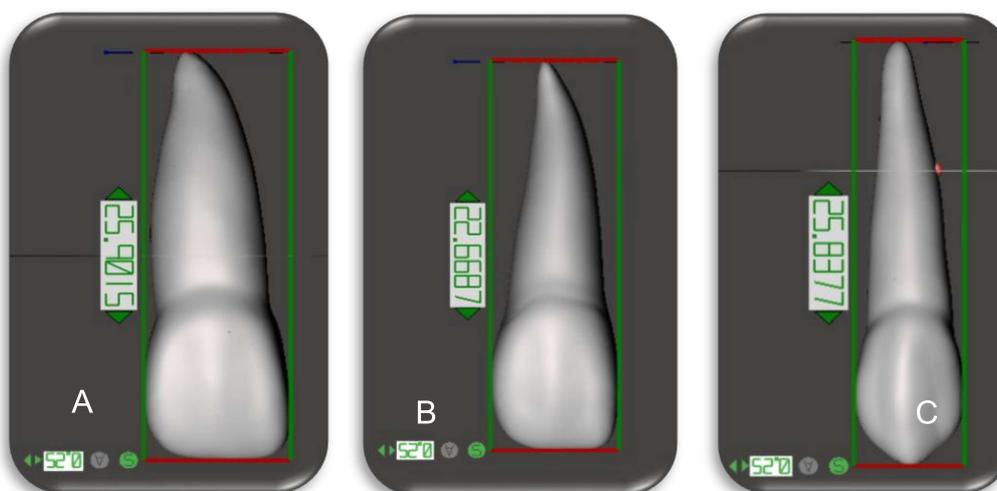
Para a realização da fase 2, foram obtidas 14 imagens de dentes, sendo 7 da arcada superior e 7 da arcada inferior. Essas imagens também foram mensuradas através do *software* Meshmixer e depois preparadas para impressão. Foram impressos 280 dentes, sendo 20 dentes de cada imagem.

5.1 MENSURAÇÃO DAS IMAGENS DIGITAIS

Após a obtenção das imagens digitais em STL dos dentes, as imagens de cada dente foram mensuradas no programa MeshMixer. Foram analisadas imagens de dentes unitários com coroa e raiz dentária superiores e inferiores do lado direito, sendo analisados um tipo de cada: incisivo central, incisivo lateral, canino, pré-molares e molares. Portanto, foram analisados e mensurados, 14 imagens de dentes. As seguintes medidas foram mensuradas: comprimento do dente, altura da coroa/cúspide (maior e menor), distância méso distal incisal e cervical, altura da raiz dentária vestibular/mesial ou palatina/distal e comprimento da furca.

A Figura 16 demonstra os comprimentos dos incisivos central e lateral superiores que foram 25,9 mm e 22,6 mm respectivamente, e o canino superior que teve um comprimento de 25,8 mm.

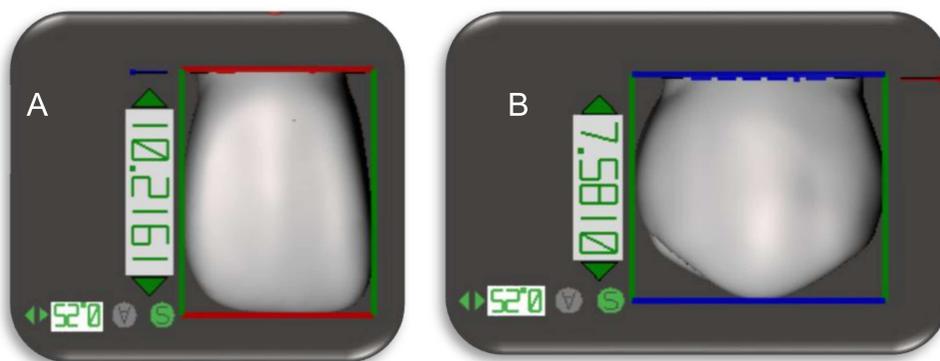
Figura 16-Comprimento dos dentes 11,12 e 13.



Legenda: A- Dente 11, B-Dente 12 e C-Dente 13.
Fonte: a autora (2025).

A Figura 17 demonstra a mensuração no programa Meshmixer da altura da coroa do incisivo superior direito que foi de 10,2 mm e a altura da coroa vestibular do segundo pré-molar superior direito que foi de 7,5 mm.

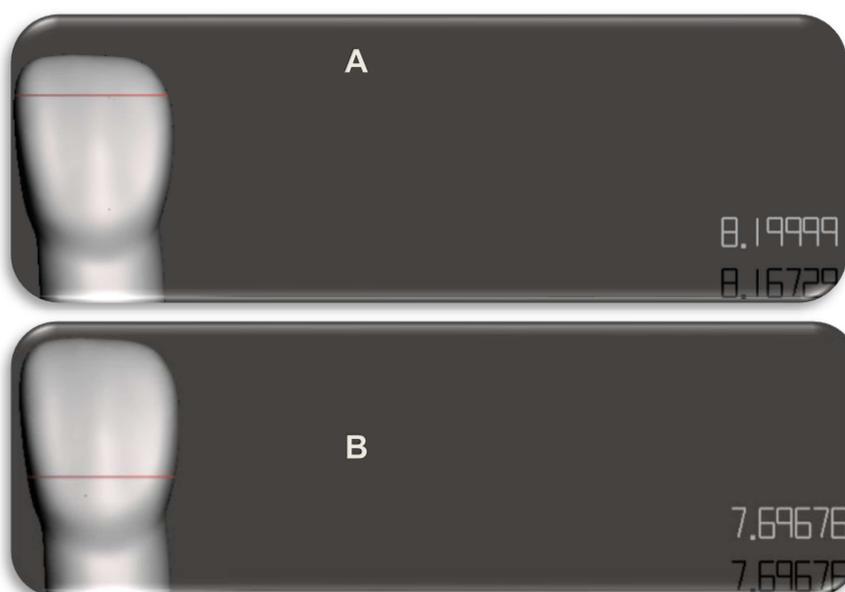
Figura 17-Altura da coroa dos dentes 11 e 15



Legenda: A- Dente 11, B- Dente 15.
Fonte: a autora (2025).

A Figura 18 demonstra a mensuração do incisivo Central superior, aferindo-se a distância méso distal na região incisal do incisivo central que foi de 8,1 mm e da distância méso distal na região cervical que foi de 7,6mm.

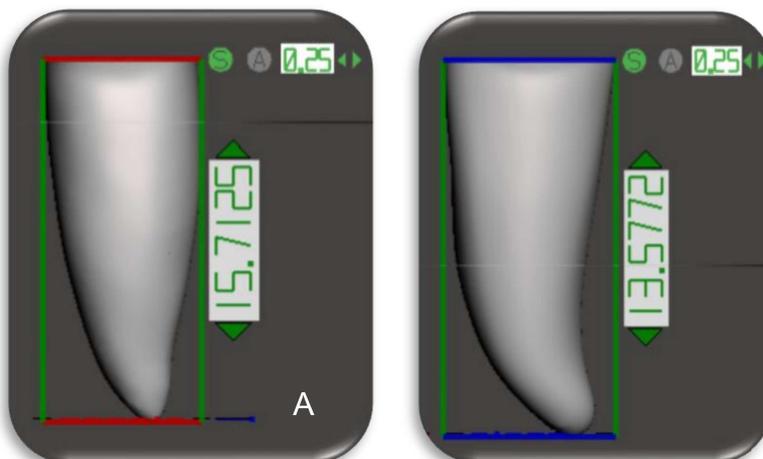
Figura 18-Distância Méso distal do dente 11



Legenda: A- Distância méso-distal incisal, B-Distância méso distal cervical.
Fonte: a autora (2025)

A Figura 19 demonstra a altura da raiz dentária do incisivo central inferior que foi de 15,7 mm e do segundo pré-molar superior que foi de 13,5 mm.

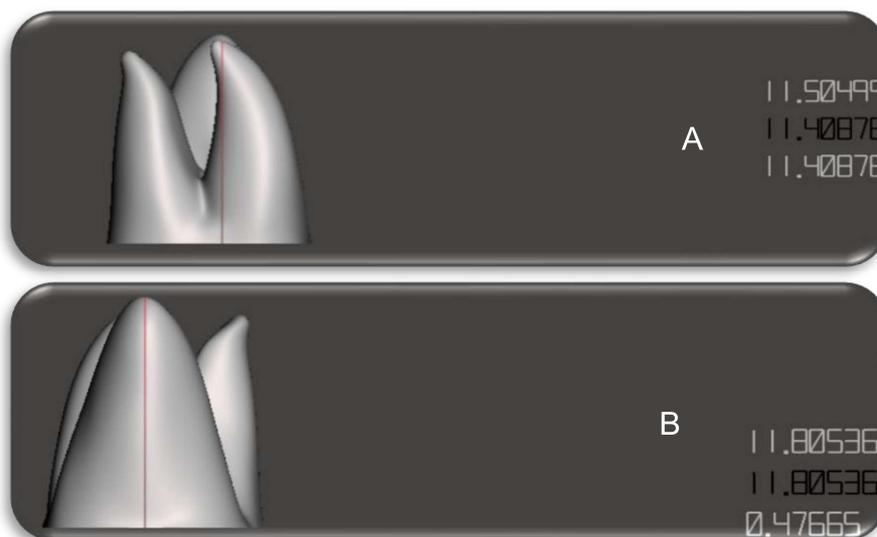
Figura 19-Altura da raiz dentária dos dentes 11 e 15.



Legenda: A- Raiz dentária do dente 11, B- Raiz dentária do dente 15.
Fonte: a autora (2025).

A Figura 20 demonstra a altura de uma raiz vestibular do segundo molar superior direito que foi de 11,4 mm e a medida da raiz palatina do mesmo dente que foi de 11,8 mm.

Figura 20-Altura das raízes do dente 17



Legenda: A- altura da raiz vestibular/rmesial, B- altura da raiz palatina.
Fonte: a autora (2025).

A Figura 21 demonstra a distância da coroa até a região da furca do primeiro molar inferior direito, que foi de 11,4 mm.

Figura 21-Distância da furca do dente 46



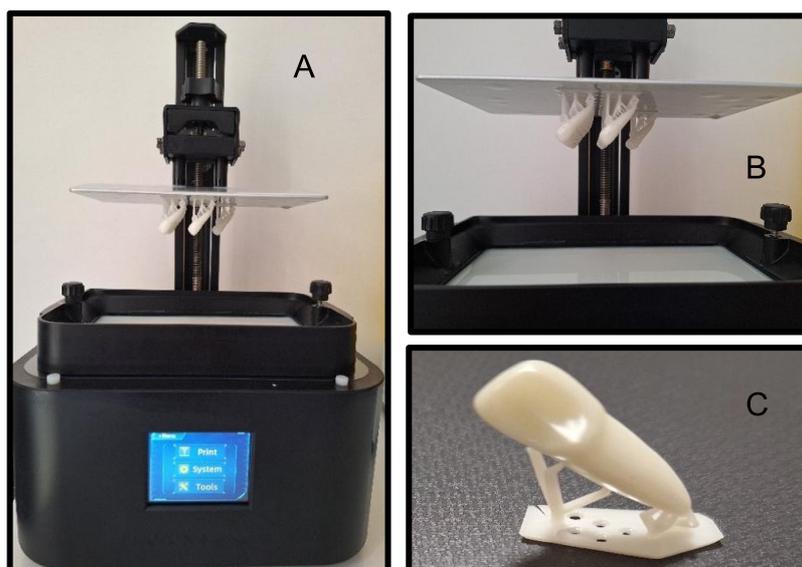
Fonte: a autora (2025).

5.2 PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

Através da impressora Anycubic, foram impressas 20 unidades, de cada dente nas duas hemiarquadas, sendo uma hemiarcada superior (dentes 11 ao 17) e outra inferior (dentes 41 ao 47) do lado direito, totalizando 280 dentes impressos.

A Figura 22 demonstra o processo de impressão dos dentes através da impressora 3D e também demonstra um exemplo de suporte em um dente incisivo em um ângulo de 45° (Figura 22-C).

Figura 22- Impressão 3D através da Impressora Anycubic Photon Mono 2



Legenda: A- impressora com as impressões finalizadas, B-Vista aproximada dos dentes impressos, C- um dente com suporte depois de descolado da placa de impressão. Fonte: a autora (2025).

Em relação a quantidade de resina utilizada nesta segunda fase foi de 500 a 600 gramas do pote de 1000g, principalmente devido aos erros de impressão pré e pós cura da resina. Cada pote de resina teve um custo de R\$250,00, pois para encher o tanque da impressora Anycubic Photon Mono utilizava-se somente 200 g, tivemos alguns erros de impressão por causa da posição do suporte, assim tivemos que imprimir novamente alterando a angulação e posição do suporte em alguns dentes. Portanto este tanque teve que ser repostado 3 vezes. A cada grupo de dentes impressos (20 unidades + suportes) utilizou-se de 18 a 50 mL de resina. A cada impressão de um grupo de dentes, obteve-se um gasto entre R\$1,03 a R\$2,75. Para impressão o tempo variou de 1h:20 min a 1h:40min. Esse tempo variou devido a quantidade de dentes + suportes, impressos ao mesmo tempo. A Figura 22-C demonstra um exemplo de suporte em um dente incisivo em um ângulo de 45°.

Após as impressões, os modelos dentários foram separados e numerados de 1 a 20 de acordo com o tipo dentário:

- 20 dentes – Incisivos centrais superiores direito (n°11)
- 20 dentes – Incisivos laterais superiores direito (n°12)
- 20 dentes – Caninos superiores direito (n°13)
- 20 dentes - 1° Pré-molares direito (n°14)
- 20 dentes – 2°Pré-molares direito (n°15)
- 20 dentes – 1° Molares superiores direito (n°16)
- 20 dentes – 2° Molares superiores direito (n°17)
- 20 dentes – Incisivos centrais inferiores direito (n°41)
- 20 dentes – Incisivos laterais inferiores direito (n°42)
- 20 dentes – Caninos inferiores direito (n°43)
- 20 dentes – 1° Pré molares inferiores direito (n°44)
- 20 dentes – 2°Pré-molares inferiores direito (n°45)
- 20 dentes – 1°Molares inferiores direito (n°46)
- 20 dentes – 2° Molares inferiores direito (n°47)

A Figura 23 apresenta uma unidade de cada elemento dentário impresso dispostos em sua posição superior e inferior.

Figura 23-Dentes impressos das hemiarçadas



Fonte: a autora (2025).

A Figura 24 apresenta os elementos dentários impressos e separados por tipo dentário, sendo 20 unidades de cada tipo, 7 dentes por hemiarçadas, totalizando 280 dentes.

Figura 24-Dentes impressos e separados por tipo dentário.



Fonte: a autora (2025).

Após a separação por tipo dentário, cada dente impresso foi numerado de 1 a 20, para mensuração e obtenção da média (Figura 25).

Figura 25-Pré Molares numerados de 1 a 20.



Fonte: a autora (2025).

5.3 MENSURAÇÕES DOS DENTES IMPRESSOS ATRAVÉS DO PAQUÍMETRO

Após a categorização dos elementos dentários impressos, a etapa de mensuração através do paquímetro foi iniciada. Nos dentes incisivos e caninos, cinco medidas foram obtidas: comprimento total (Figura 26), distância méso-distal cervical e incisal (Figura 27), altura da coroa dentária e altura da raiz dentária (Figura 28). Na Figura 26, podemos observar que o comprimento total do incisivo central superior direito foi de 25,7mm.

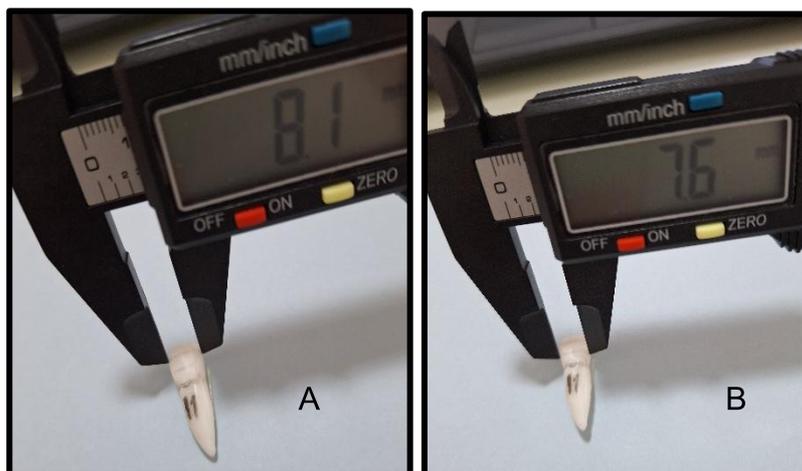
Figura 26-Mensuração do Comprimento total de uma unidade de dente impresso



Fonte: a autora (2025).

A Figura 27 exibe as mensurações das medidas méso distais do incisivo central superior direito na região mais incisal e na região mais cervical, apresentando os seguintes valores 8,1mm e 7,6 mm, respectivamente.

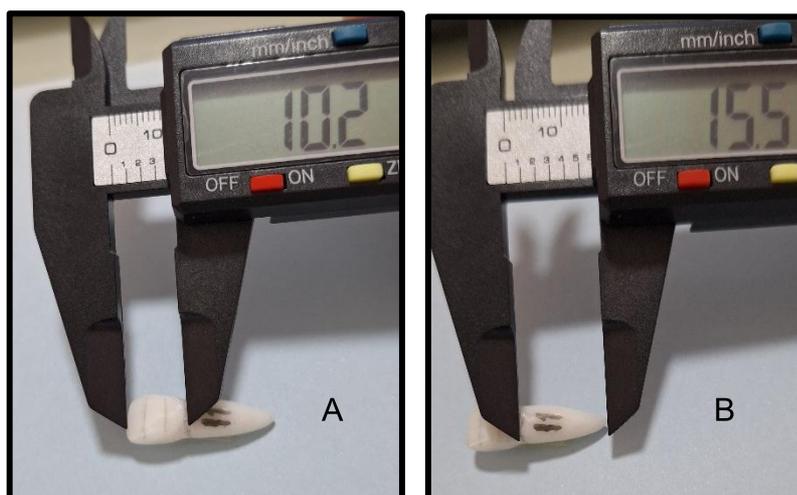
Figura 27-Mensuração das medidas méso-distais.



Legenda: A- Distância méso distal incisal, B - Distância méso distal cervical.
Fonte: a autora (2025).

A Figura 28 apresenta as mensurações da coroa e da raiz dentária do incisivo central superior, que foram 10,2 mm e 15,5 mm, respectivamente.

Figura 28-Mensuração da coroa e da raiz dentária

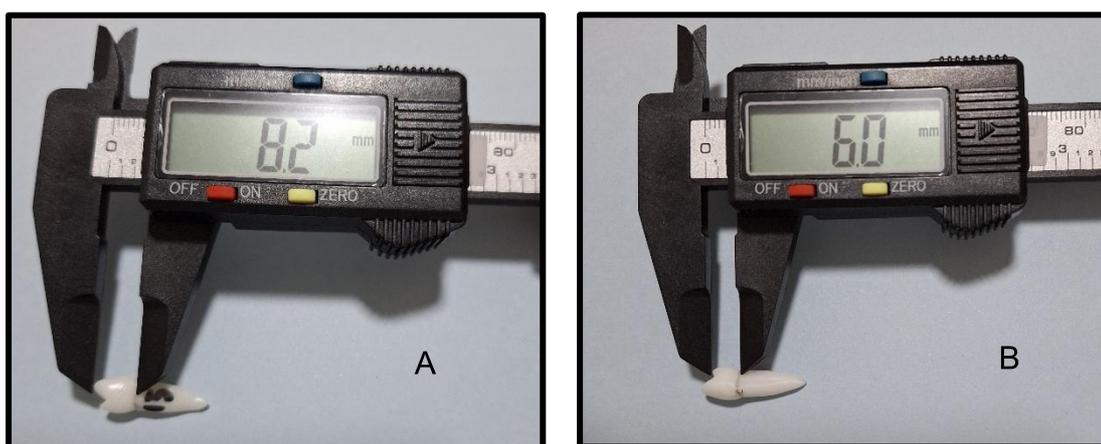


Legenda: A-Mensuração da coroa dentária de um dente impresso, B-Mensuração da raiz dentária de um dente impresso.
Fonte: a autora (2025).

Nos dentes pré-molares e molares além das medidas já citadas, também foram obtidas as seguintes medidas: altura da coroa com a maior e a menor cúspide, altura da raiz vestibular/mesial (sendo a maior considerada para análise dos dentes 16 e 17; e para os dentes 46 e 47, a mensuração foi realizada na raiz mesial), altura da raiz palatina/distal (foi mensurada a raiz palatina dos dentes 14,16 e 17; para os dentes 46 e 47 a mensuração foi obtida na raiz distal) e distância da coroa até a região da furca, quando houvesse (dentes 14,16,17,46 e 47).

Na Figura 29 podemos observar as mensurações do coroa dentária do primeiro pré-molar inferior, a primeira medida sendo da coroa maior (vestibular), apresentando 8,2 mm, e da coroa menor (lingual) apresentando 6,0 mm.

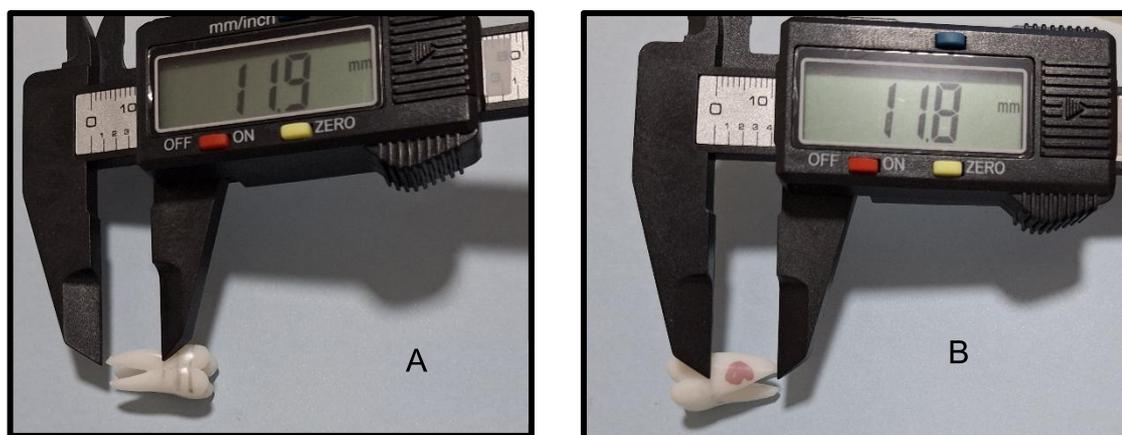
Figura 29-Altura da coroa dentária do primeiro pré-molar inferior



Legenda: A- altura da maior cúspide, B-altura da menor cúspide.
Fonte: a autora (2025).

A Figura 30 exibe a mensuração da raiz vestibular mesial do primeiro molar superior direito apresentando 11,9 mm enquanto a raiz palatina apresenta 11,8mm.

Figura 30-Altura das raízes vestibular e palatina do primeiro molar superior direito



Legenda: A- altura da raiz mesial, B- altura da raiz palatina.

Fonte: a autora (2025).

A Figura 31 apresenta as medidas da distância da coroa dentária do segundo molar inferior até região de furca que foi de 11,3 mm.

Figura 31-Distância da Coroa até a região de furca



Fonte: a autora (2025).

5.4 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Para fins de análise os incisivos e caninos inferiores e superiores foram agrupados, por apresentarem algumas características parecidas. Assim foi possível realizar as mensurações do desvio padrão, da altura da coroa que variou de 0,04 a 0,11. A altura da raiz variou de 0,05 a 0,31. Já a distância méso-distal da região próxima a incisal variou de 0 a 0,16 e na região cervical variou de 0,03 a 0,15 e por último o comprimento total do dente variou de 0,03 a 0,09.

Tabela 2-Dados (desvio padrão) analisados pelo intraobservador da amostra dos incisivos e caninos superiores e inferiores.

INCISIVOS E CANINOS	ALTURA DA COROA	ALTURA DA RAIZ	MD CERVICAL	MD INCISAL	COMPRIMENTO DO DENTE
DENTE 11	0,11	0,31	0,03	0,08	0,06
DENTE 12	0,04	0,14	0,07	0,04	0,05
DENTE 13	0,07	0,05	0,15	0,16	0,03
DENTE 41	0,07	0,10	0,03	0,04	0,04
DENTE 42	0,06	0,07	0,04	0	0,09
DENTE 43	0,09	0,07	0,07	0,03	0,04

Legenda: MD-mésio distal.

Fonte: a autora (2025).

Para categorização, os pré-molares e molares, foram analisados em conjunto pois apresentam algumas características em comum que os diferenciam dos incisivos e caninos, como presença de cúspide, mais de uma raiz dentária e presença de furca. Assim totalizaram 160 dentes analisados, sendo 20 de cada tipo (1°PM,2°PM,1°M e 2°M).

Tabela 3-Dados (desvio padrão) analisados pelo intraobservador da amostra dos pré-molares e molares.

Pré molares e molares		Dente 14	Dente 15	Dente 16	Dente 17	Dente 44	Dente 45	Dente 46	Dente 47
Altura da coroa	Maior	0,12	0,07	0,13	0,10	0,06	0,09	0,10	0,17
	Menor	0,08	0,04	0,11	0,07	0,06	0,26	0,30	0,05
Altura da raiz Vestibular/mesial		0,12	0,17	0,08	0,10	0,14	0,09	0,04	0,24
Palatina ou lingual /distal		0,17	*	0,12	0,06	*	*	0,03	0,30
MD Cervical		0,05	0,09	0,13	0,06	0,06	0,10	0	0,12
MD Incisal		0,04	0,12	0,02	0,04	0,03	0,03	0,05	0,18
Distância da Furca		0,11	*	0,16	0,09	*	*	0,03	0,05
Comprimento do dente		0,02	0,04	0,03	0,05	0,03	0,09	0,10	0,07

Legenda: * sem valor. Fonte: autoria própria (2024)

Pode-se observar através da tabela que os dentes 15, 44 e 45, eram unirradiculares e, portanto, não apresentavam bifurcação de raiz, portando não possuíam furca.

Analisando a distância méso-distal na região cervical observou-se que o desvio padrão variou de 0 a 0,13. Já para a distância méso-distal na região incisal o desvio padrão variou de 0,02 a 0,18. E o desvio padrão do comprimento dos dentes variou de 0,02 a 0,10.

Tabela 4-Análise odontométrica da imagem digital, dos dentes impressos (Incisivos e Caninos) e sua tendência de erro.

	Mm	Altura da coroa	Altura da raiz	MD cervical	MD incisal	Comprimento do dente
Dente 11	Imagem digital	10,2	15,71	7,6	8,1	25,9
	Dente impresso	10,2	15,5	7,59	7,95	25,7
	Error	0	-0,21	-0,01	-0,15	-0,2
Dente 12	Imagem digital	9	13,58	5,95	6,42	22,6
	Dente impresso	9,2	13,48	6,07	6,6	22,49
	Error	0,2	-0,1	0,12	0,18	-0,11
Dente 13	Imagem digital	9,6	16,1	5,56	6	25,8
	Dente impresso	9,7	16,4	5,8	6,6	25,5
	Error	0,1	0,3	0,24	0,6	-0,3
Dente 41	Imagem digital	8,7	12,77	3,34	4,51	21,53
	Dente impresso	8,5	13,21	3,61	4,29	21,3
	Error	-0,2	0,44	0,27	-0,22	-0,23
Dente 42	Imagem digital	8,15	14,15	3,52	4,57	22,3
	Dente impresso	8,3	14,09	3,63	4,5	21,9
	Error	0,15	-0,06	0,11	-0,07	-0,4
Dente 43	Imagem digital	10	16,08	5,32	6,17	26,16
	Dente impresso	10,5	16,29	5,84	6,09	26
	Error	0,5	0,21	0,52	-0,08	-0,16

Fonte: a autora (2025).

Quando se compara as medidas das imagens digitais dos dentes incisivos e caninos com a média dos dentes impressos, pode-se observar que a tendência de erro variou de -0,4 a 0,6 mm. O erro máximo e mínimo da altura da coroa foram 0,5 e -0,2 mm respectivamente. Já em relação à altura da raiz dentária o erro máximo foi de 0,44 mm e o mínimo de -0,21 mm. A distância mésio distal cervical teve erro máximo e mínimo de 0,52 a - 0,01 mm. Já a distância mésio distal incisal variou de 0,6 a -0,22 mm. O erro máximo e mínimo do comprimento do dente foi de -0,11 a -0,4 mm.

Tabela 5-Análise odontométrica da imagem digital, dos dentes impressos (pré-molares e molares) e sua tendência de erro.

		Altura da coroa		Altura da raiz		MD cervical	MD incisal	Distância da furca	Comprimento do dente
		Maior	Menor	Vestibular/ Mesial	Palatina/ Distal				
Dente 14	Imagem digital	8,23	7,79	13,05	12,95	5,75	6,2	13,67	21,47
	Dente impresso	8,2	7,4	13,18	13,04	5,8	6,3	13,4	21,29
	Error	-0,03	-0,39	0,13	0,09	0,05	0,1	-0,27	-0,18
Dente 15	Imagem digital	7,58	7,04		13,57	6,9	6,81	*	21,14
	Dente impresso	7,33	7,01		13,6	6,3	6,5	*	21,08
	Error	-0,25	-0,03		0,03	-0,6	-0,31	*	-0,06
Dente 16	Imagem digital	7,91	6,94	11,9	11,88	9,33	10,4	10	19,96
	Dente impresso	8,06	7,03	11,86	11,69	9,4	10,3	10,2	19,81
	Error	0,15	0,09	-0,04	-0,19	0,07	-0,1	0,2	-0,15
Dente 17	Imagem digital	8,1	7,13	11,4	11,8	9,14	10,48	9,91	20,19
	Dente impresso	8,42	7,47	11,52	11,5	9,3	10,3	9,9	19,9
	Error	0,32	0,34	0,12	-0,3	0,16	-0,18	-0,01	-0,29
Dente 44	Imagem digital	8,08	5,91		14,09	5,85	6,15	*	22,18
	Dente impresso	8,02	6,01		14,11	5,97	6,3	*	22,1
	Error	-0,06	0,1		0,02	0,12	0,15	*	-0,08
Dente 45	Imagem digital	9,15	6,67		14,15	5,35	7,65	*	23,31
	Dente impresso	8,56	6,63		14,04	5,87	7,51	*	22,95
	Error	-0,59	-0,04		-0,11	0,52	-0,14	*	-0,36
Dente 46	Imagem digital	9,16	7	14	14,07	10,51	11,67	11,48	22,32
	Dente impresso	8,64	7,24	14,41	14,01	10,2	11,2	11,5	22,4
	Error	-0,52	0,24	0,41	-0,06	-0,31	-0,47	0,02	0,08
Dente 47	Imagem digital	8,78	7,37	13,28	14,6	10,86	11,55	10,58	22,56
	Dente impresso	8,96	7,75	13,48	14,25	10,4	11,3	11,03	22,33
	Error	0,18	0,38	0,2	-0,35	-0,46	-0,25	0,45	-0,23

Fonte: a autora (2025).

Quando se compara as medidas das imagens digitais dos pré-molares e molares com a média dos dentes impressos, pode-se observar que a tendência de erro variou de -0,59 a 0,52 mm. Os erros máximo e mínimo da altura da coroa (maior) foram 0,32 mm e -0,59 mm, respectivamente. Já em relação à altura da raiz dentária (vestibular/mesial) o erro máximo foi de 0,41 mm e o mínimo de -0,11 mm. A distância méso distal cervical teve erros máximo e mínimo de 0,52 a -0,6 mm, respectivamente. Já a distância méso distal incisal variou de 0,15 a -0,47 mm. Para a região de furca, a máxima foi de 0,45 e a mínima foi de -0,27. Os erros máximo e mínimo do comprimento do dente variaram de 0,08 a -0,36.

Teste de Postos com Sinal de Wilcoxon

Também foi realizada a comparação entre essas medições através do teste estatístico não-paramétrico Teste de Postos com Sinais de Wilcoxon, uma vez que a amostra foi considerada pequena e seus resultados foram interpretados sob o nível de significância de 1%. A ausência de medições em determinados elementos dentários impossibilitou uma comparação completa, resultando em 88 efetivas de 140 possíveis. Em apenas 12,5% das comparações efetivas, isto é, 11 elementos

dentários, a diferença entre a medição realizada no molde impresso e a medição digital não foi significativa.

A análise inferencial por meio do teste de hipóteses adotado indica diferenças estatisticamente não-significativas em 11 das 88 comparações efetivamente realizadas. Estão elas descritas abaixo:

Elemento dentário 11: altura total da coroa dentária (valor-p = 0,1489) e distância méso-distal até a cervical (valor-p = 0,3458);

Elemento dentário 12: altura da raiz dentária (valor-p = 0,0193);

Elemento dentário 14: altura da coroa (maior cúspide) (valor-p = 0,4864) e altura da raiz (palatina/distal) (valor-p = 0,0156);

Elemento dentário 15: altura da coroa (menor cúspide) (valor-p = 0,0554) e altura da raiz dentária (valor-p = 1,000);

Elemento dentário 16: altura da raiz (vestibular/mesial) (valor-p = 0,0708);

Elemento dentário 17: distância da coroa até a região de furca (valor-p = 0,1747);

Elemento dentário 44: altura da raiz dentária (valor-p = 0,5286); e

Elemento dentário 45: altura da coroa (menor cúspide) (valor-p = 0,5544).

Dentre as comparações acima, três delas apresentaram diferença nula: as comparações do elemento dentário 11 e a do elemento dentário 16. Apesar disso, não se pode afirmar que quanto menor a diferença entre os métodos, menos significativo é o resultado do teste.

Por exemplo, as diferenças não-significativas do elemento dentário 14 são da ordem de 0,03mm e 0,05mm, em módulo. Não obstante, a altura da raiz (palatina/distal) também teve diferença absoluta de 0,05mm, entretanto, um valor-p da ordem de 0,0001. Ainda, a distância méso-distal até a cervical teve diferença de 0,04mm, mas p-valor menor que 0.

Entre esses casos, nota-se apenas que o coeficiente de variação das diferenças não-significativas é maior do que as demais diferenças. Ademais, esse padrão não é observado no elemento dentário 15.

6 DISCUSSÃO

A obtenção de imagens digitais através de um repositório online, incitam questionamentos acerca do tema, pois o uso ético de imagens depende de vários fatores, incluindo os direitos autorais, o consentimento dos indivíduos e as finalidades de sua utilização, no entanto o uso dessas imagens é permitido quando os autores da propriedade intelectual autorizam ou quando essas imagens possuem licenças que permitem seu uso (FREITAS, 2016). Neste estudo as imagens selecionadas foram obtidas de um repositório concedidas com licença de uso. A segurança digital, a mudança para sistemas de armazenamento digital, traz preocupações quanto privacidade e segurança dos dados. É vital garantir que as informações dos pacientes estejam protegidas contra acessos não autorizados e ataques cibernéticos, estabelecendo investimentos em medidas de segurança e consenso com regulamentações de proteção de dados, respeitando a LGPD (MELO e FREITAS, 2024).

Os dispositivos de captura de imagens 3D minimizam a quantidade de distorção angular, tendo aplicações importantes na odontologia legal para análise de marcas de mordidas, reconstrução facial, estimativa da idade, determinação do gênero e de modelos físicos. O uso dessa tecnologia tem potencial de criar provas forenses para utilização em tribunais e casos médico-legais. No entanto, a utilização desta tecnologia ainda não é muito utilizada, apesar de odontologistas forenses, advogados e peritos apreciarem as vantagens da impressão 3D para a sua utilização em tribunais, o que pode ser explicado pelo fato de se tratar de uma tecnologia complicada com custo elevado ou simplesmente pela falta de compreensão do que pode ser feito com a impressão 3D (CHAUDHARY et al., 2024).

Com o avanço da tecnologia, o aumento da resolução e de melhores softwares, e à medida que os custos diminuem, esta tecnologia poderá ser muito aproveitada por mais utilizadores em todos os domínios. E na área da odontologia legal, a impressão 3D terá um papel cada vez mais importante a desempenhar (CHAUDHARY et al., 2024).

Batistela e colaboradores (2017) afirmam que o uso da digitalização 3D pelo perito no momento da análise de um material ósseo fragmentado ou fragilizado, pode facilitar o processo já que não há necessidade de manuseio, e conseqüente diminuição do risco de danos. No entanto algumas tecnologias utilizadas como a

tomografia computadorizada, podem representar uma certa dificuldade já que são poucos os lugares que possuem os aparelhos e quanto existente poderão ter um acesso restrito por questões sanitárias ou administrativas

No estudo de Brown e colaboradores (2018), foram analisadas imagens digitais e impressões em alginato de 30 pacientes. Essas imagens digitais foram utilizadas para imprimir os modelos em 3D utilizando técnicas de processamento digital de luz (DLP) e de impressão a jato de polietileno (polyjet). Assim, as impressões em alginato foram vertidas em modelos de gesso. As medições para os 3 tipos de modelos (digital, DLP e polyjet) foram então comparadas com os modelos em gesso. E as seguintes mensurações dos dentes (primeiro molar a primeiro molar) foram obtidas: distância méso-distal (largura da coroa) e incisal/oclusal-gengival (altura da coroa), profundidade da arcada e as larguras intercaninos e intermolares. Essas medidas não foram possíveis de serem realizadas, em nosso estudo devido ao fato de termos analisados duas hemiarcadas, sendo uma superior e uma inferior.

No estudo de Jonhson e colaboradores (2022), o escaneamento de superfície em 3D a laser foi realizado em 10 dentes, sendo 5 incisivos centrais superiores e 5 incisivos laterais inferiores. Essas imagens foram transformadas em arquivo stl através do software Geomagic Studio. Também foi utilizada a técnica de prototipagem rápida para impressão desses dentes através da técnica FDM com uso de PLA e de SLA utilizando resina fotopolimerizável. Assim, foram feitas duas análises para comparação métrica, a primeira comparou as medidas dos dentes impressos e dos dentes de referência com o uso do paquímetro, e a outra análise realizada foi através da coloração da imagem digital dentária dos dentes, com a imagem do escaneamento digital dos dentes replicados (análise de congruência). Em nosso estudo, analisamos os dentes impressos com o uso do paquímetro e comparamos com as medidas das imagens digitais, realizadas no *software* Meshmixer.

No estudo de Okawa (2005), o autor analisou o tamanho da coroa dentária, dos dentes naturais de 119 indivíduos com idade entre 20 e 30 anos. As medidas foram analisadas a partir de modelos de gesso da arcada superior e as seguintes médias foram obtidas: altura da coroa do Incisivo central superior de 10,22mm, do Incisivo lateral de 8,77 mm, Canino superior de 9,84mm, 1°Pré molar superior de 8,38, 2°Prémolar superior de 7,31mm, 1°Molar superior de 6,45mm e o 2°Molar superior de 6,02mm. Em nosso estudo, obtivemos valores de altura de coroa semelhantes, no entanto entre os molares superiores houveram as maiores discrepâncias,

provavelmente devido a mensuração da altura da coroa com maior e menor cúspide e pelo fato de Okawa (2005) ter utilizado um modelo de gesso para aferir as médias.

Jonhson e colaboradores (2021), utilizaram 12 dentes humanos (pré-molares e molares) através de 5 técnicas diferentes: FDM, SLA, SLS, Polyjet e DLP, totalizando 60 dentes e concluíram que a melhor tecnologia foi a DLP com o uso de filamento térmico (ABS), pois teve a menor variação de impressão. No entanto admitem que utilizaram uma amostra pequena e deveriam ter utilizado outros tipos de dentes como incisivos e caninos, já que possuem uma complexidade anatômica menor.

Os processos de fabricação de modelos em 3D como a estereolitografia, tem suas limitações e dificuldades, sendo a principal e mais comum, a contração dimensional das peças fabricadas durante a polimerização. Sabe-se que é possível reduzir esse defeito através do diagnóstico dos parâmetros que influenciam o fator de contração das peças produzidas (COELHO et al., 2018). Além da contração, a SLA e a DLP são técnicas de alto custo as quais só é possível a manufatura a partir de resina líquida e por isso, o modelo há monômeros residuais em sua estrutura que podem causar irritações no epitélio do paciente. Além disso, os protótipos não apresentam longevidade. A literatura aponta que durante a cura na SLA e na DLP, a resina alcança 80% de polimerização, havendo necessidade de uma exposição do produto fabricado à luz ultravioleta para completar a polimerização (SILVA e FARIA, 2021)

COELHO e colaboradores (2018) concluíram e comprovaram que a posição e a orientação das formas geométricas devem ser levadas em consideração. Já que devem projetar dimensões que compensem a contração não homogênea em toda a plataforma e observaram em seu estudo, que os valores de contração encontrados foram menores que 5% para um elemento de 3 mm de comprimento.

As discrepâncias entre a anatomia segmentada e o modelo impresso em 3D são geralmente da ordem do tamanho de um voxel de imagem (<1 mm [tipicamente <0,4 mm] e <3% (<1 mm [tipicamente <0,4 mm] e <3% [tipicamente <1%]) e geralmente são insignificantes do ponto de vista forense. A utilização de seções de imagem mais finas e uma camada de impressão mais estreita no eixo z atenua frequentemente as discrepâncias. No entanto, os erros podem ser gerados durante qualquer etapa do processo, incluindo aquisição e pós-processamento de imagens bem como a própria impressão 3D (CHAUDHARY et al., 2024).

Jani e colaboradores (2020), também acreditam que os erros possam acontecer, em seu estudo, empregaram o uso da tecnologia 3D para reconstrução e

remodelamento de fragmentos de elementos do crânio e da mandíbula humana que estavam ausentes, através da tecnologia FDM e com o uso de PLA. E concluíram que a discrepância dos valores comparados entre a réplica e o modelo impresso, poderiam ter sido menores, se não tivesse ocorrido a reconstrução digital já que alguns fatores poderiam ter interferido neste processo, como a definição dos parâmetros de escaneamento, a posição dos pontos escolhidos para medição, a posição da régua, os algoritmos utilizados para a reconstrução e até a resolução da impressora 3D.

Já para Jonhson e colaboradores (2019), que também utilizaram a reconstrução digital para reconstituir os dentes molares inferiores esquerdos em uma mandíbula humana, encontraram uma discrepância menor, no entanto pode ser devido ao fato de utilizaram uma tecnologia de impressão diferente, que foi a SLA com uso de resina polimerizável. A análise métrica analisou o tamanho da raiz dentaria mesial e distal, a distância da coroa até a região de furca e, o comprimento da coroa e sua largura, medidas semelhantes ao do nosso estudo, no entanto quando analisamos os pré-molares e molares obtivemos uma tendência de erro menores a encontradas no estudo deles.

Os processos de impressão 3D representam o futuro dentro da odontologia digital fornecendo soluções mais rápidas, econômicas e eficazes, tornando os procedimentos mais simples, seguros e previsíveis (SILVA et al., 2021).

Segundo Silva e colaboradores (2021), a manufatura aditiva permite que sejam feitos elementos personalizados que aperfeiçoam o tratamento por possibilitar a produção individual, gerando uma maior segurança do operador e do paciente, causando uma melhor confiança e uma ótima relação profissional. No entanto, com os diversos métodos de impressão e de materiais, o fluxo de trabalho digital se torna complexo, devido ao desconhecimento acerca da longevidade destes materiais no tratamento dentário, e institui uma dificuldade de se obter um protocolo padrão, por isso, este é um campo que necessita de mais estudos e aprimoramento de técnicas para ajudar na formação da Odontologia do futuro.

7 CONCLUSÃO

Através das imagens digitais, foi possível realizar a conversão em modelos necessários para que essas imagens fossem impressas por qualquer tecnologia de impressão tridimensional. Respeitando sempre as morfologias de cada dente e as definições da tecnologia empregada.

As medições via paquímetro realizadas nos dentes impressos foram significativamente diferentes dos valores entregues pelo software digital. Essas diferenças indicaram que a impressão 3D utilizando a tecnologia MSLA teve imprecisões dimensionais que impactaram negativamente estatisticamente, sua caracterização como alternativa a métodos tradicionais. No entanto, a ausência de padrões na classificação das diferenças, impede de se afirmar que o erro é sistemático, ou seja, que a impressão gera modelos maiores ou menores que o digital, mandatoriamente. Seriam necessários testes em outros modelos de impressora e amostras maiores por elemento dentário, possibilitando maior confiabilidade nos resultados e a utilização de outras metodologias. Esse estudo poderá desencadear mais pesquisas a respeito, tendo visto que a tecnologia de impressão 3D ainda é pouco utilizada, principalmente na área da odontologia legal.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Lais Gomes et al. A identificação humana de vítimas de desastres em massa: a importância e o papel da Odontologia Legal. RFO, Passo Fundo. v. 18, n. 2, p. 224-229, maio/ago, 2013. DOI:10.5335/rfo.v18i2.3376.

ALVES, Ana Caroline Prates et al. Métodos utilizados em Odontologia Legal para identificação humana. Research, Society and Development, v.11, n.7, p. e34811730075, 2022. DOI:10.33448/rsd-v11i7.30075.

ALZOUBI, Lorca et al. Empowering Precision Medicine: The Impact of 3D Printing on Personalized Therapeutic. AAPS Pharm SciTech, v. 24, p.228, 2023. <https://doi.org/10.1208/s12249-023-02682-w>

BATISTELA, Giulia Cristina et al. Comparação entre cinco sistemas de digitalização 3d por fotogrametria aplicados à antropologia forense e odontologia legal. Rev Bras Odontol Legal, v.4, n.3, p.24-33, 2017.

BRITO Liz Magalhaes, et al. A Contribuição da Odontologia Legal na Identificação de Vítimas de Acidente Aéreo no Sul da Bahia, Brasil. BJFS. v.2 n.4. p.333-41, 2013. DOI:10.17063/bjfs2(4)y2013333.

CARVALHO, Suzana Papile Maciel et al. A utilização de imagens na identificação humana em odontologia legal. Radiol Bras. v.42 n.2 p.125–130, 2009.

CHAUDHARY, Roshan et al. Current and evolving applications of three-dimensional printing in forensic odontology: A review. Int J Forensic Odontol, v.3, p.59-65, 2018. DOI: 10.4103/ijfo.ijfo_28_18

CHEN, Hsuan et al. Comparison of flexural properties and cytotoxicity of interim materials printed from mono-LCD and DLP 3D printers. J Prosthet Dent, v.126, n.5,p.703-708,2020. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.09.003. Epub 2020 Oct 9. PMID: 33041074.

COELHO, Arthur Wilson Fonseca et al. Manufatura aditiva por estereolitografia: análise da geometria da peça e da influência da posição e orientação de fabricação. revista Matéria, v.23, n.4, 2018. DOI: 10.1590/S1517-707620180004.0600.

COELHO, Arthur Wilson Fonseca. Estudo do processo e da qualidade de peças fabricadas por estereolitografia. Trabalho de Conclusão de curso. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

COUTINHO, Carine Gomes Valois et al. O papel do odontologista nas perícias criminais. RFO, Passo Fundo, v. 18, n. 2, p. 217-223, 2013. <https://doi.org/10.5335/rfo.v18i2.3399>.

COSTA, C.; COSTA, A. C. B.; SAVEDRA, C. M. S. Fundamentos de anatomia para o estudante de odontologia. São Paulo: Atheneu, 2003. Cap. 9, p. 207-313.

CUNHA, Arthur P. Desenvolvimento se dente molar artificial em impressora 3D para utilização em simuladores antropomórficos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. 2019; p. 1-60. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1062/TCC%20Arthur.pdf?sequence=1&isAllowed=1>

DABAGUE, Leonardo A. M. O processo de inovação no segmento de impressoras 3D. 51 f. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Ciências Econômicas) - Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/37115/MONOGRAFIA19-2014> -

FELÍCIO C, RODRIGUES V. A adaptação do técnico de radiologia às novas tecnologias. *Radiol Bras.* 2010;43(1):23–28.

FRANCO, Ademir et al. The uniqueness of the human dentition as forensic evidence: a systematic review on the technological methodology. *International journal of legal medicine*, v.129, n.6, p.1277-83, 2014. DOI:10.1007/s00414-014-1109.

BRUNA CASTANHEIRA DE FREITAS. Imprimindo a lei: como a impressão 3d afeta a propriedade intelectual. Trabalho de conclusão de Pós-graduação em Direito, Relações Internacionais e Desenvolvimento, Pontifícia Universidade Católica de Goiás; 2016. Disponível em: tede2.pucgoias.edu.br. Acesso em 07/04/2025.

GHAVAMI-LAHIJI M, DAVALLOO RT, TAJZIEHCHI G, SHAMS P. Micro-computed tomography in preventive and restorative dental research: A review. *Imaging Sci Dent.* 2021 Dec;51(4):341-350. doi: 10.5624/isd.20210087. Epub 2021 Oct 15. PMID: 34987994; PMCID: PMC8695474.

GOULART, Janaina, Rachadel. Produção de moldes de 28 dentes de uma arcada humana em arquivos STL para fins de impressão tridimensional. [Trabalho de Conclusão de Curso] Instituto Federal de Santa Catarina, – Florianópolis, sc, p.47, 2019.

HARRIS, E. F.; KINERET, S. E.; TOLLEY, E. A. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, St. Louis, v. 111, p. 301-309, 1997

ISSRANI, Rakhi et al. Cone-beam computed tomography: a new tool on the horizon for forensic dentistry. *International journal of environmental research and public health*, v. 19, n. 9, p. 5352, 2022.

JANI, Gargi et al. Effective approaches to three-dimensional digital reconstruction of fragmented human skeletal remains using laser surface scanning, *Forensic Science International: Synergy*, v.2, p.215-223, 2020. DOI: 10.1016/j.fsisyn.2020.07.002.

JOHNSON, Abraham et al. Assessment of the accuracy of 3D printed teeth by various 3D printers in forensic odontology. *Forensic Science International*, v. 328, p. 111044, 2021. DOI:10.1016/j.forsciint.2021.111044.

JOHNSON, Abraham et al. Digital Reconstruction of Fragmented Tooth Remains in Forensic Context, *Forensic Sciences Research*, v.7 (1), p. 88–93, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/20961790.2020.1737462>.

JOHNSON, Abraham et al. Digital tooth reconstruction: An innovative approach in forensic odontology. *J Forensic Odontostomato*, v. 37(3), p.12–20, 2019.

MAO, Mao et al. 3D printing in space: from mechanical structures to living tissues. *International Journal of Extreme Manufacturing*, v.6, 2024. <https://doi.org/10.1088/2631-7990/ad23ef>

MATSUDA, Shinpei et al. Odontology with digital technologies: A systematic review, *Journal of Forensic and Legal Medicine*, v.74, p. 102004, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2020.102004>.

MELO, G. V.; FREITAS, S. A. P. Radiologia digital e suas vantagens. *Brazilian Journal of Health Review*, [S. l.], v. 7, n. 3, p. e70525, 2024. DOI: 10.34119/bjhrv7n3-374. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/70525>. Acesso em: 7 apr. 2025.

MIZUNO, Satomi et al. Validity of dental findings for identification by post-mortem computed tomography. *Forensic Sci Int*. v.341, p.111507, 2022. doi: 10.1016/j.forsciint.2022.111507.

MOON Wonjoon, et al. Dimensional accuracy evaluation of temporary dental restorations with different 3D printing systems. *Materials (Basel)*. 2021 Mar 18;14(6):1487. doi: 10.3390/ma14061487. PMID: 33803596; PMCID: PMC8003058.

MUSSE, J. O. et al. Importância pericial das radiografias panorâmicas e da análise odontológica para identificação humana: relato de caso. *Rev. Odontol UNESP, Araraquara*, v.40, n.2, p.108-11, 2011.

NAGI Ravleen et al. Digitization in forensic odontology: A paradigm shift in forensic investigations. *J Forensic Dent Sci*, v.11, n.1, p.5-10, 2019.

NEWCOMB, Tara L et al. "Testing a Novel 3D Printed Radiographic Imaging Device for Use in Forensic Odontology." *Journal of forensic sciences* v. 6 (1), p. 223-228, 2017. Disponível em: <https://doi:10.1111/1556-4029.13230>.

OKAWA, M. S. Estudo do tamanho dos dentes naturais superiores e dos dentes artificiais de diferentes marcas comerciais [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2005.

OLIVEIRA, Jhonny Renato Serafim de, et al. O fluxo de trabalho e a aplicação da impressão 3D na odontologia. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v.23, n.5, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e12747.202>. Acesso em: dezembro, 2023.

PELLITTERI, Federica et al. Comparative analysis of intraoral scanners accuracy using 3D software: an in vivo study *Progress in Orthodontics*, v.23, n.21, 2022. <https://doi.org/10.1186/s40510-022-00416-5>

QUIMBY, Meredith, et al. The Accuracy and Reliability of Measurements Made on Computer-Based Digital Models. *Angle Orthod*, v.74, p.298–303,2004.

RECH, Fernanda et al. Formulação e caracterização de potenciais filamentos compósitos de PLA e talos de tabaco para aplicação em manufatura aditiva. *Revista Matéria*, v.26, n.2, 2021.

REIS, Tiago et al. 3D-Printed Teeth in Endodontics: Why, How, Problems and Future—A Narrative Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* v.19, p.7966, 2022. Disponível em <https://doi.org/10.3390/ijerph19137966>

RICHERT, Raphael, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *Journal of Healthcare Engineering*. Article ID 8427595, 9 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8427595>

SANTO, Elodine. Utilização de imagens 3D intraorais na identificação de traços morfológicos dentários com interesse *forense* numa população portuguesa. 2020. Dissertação de Mestrado (Mestrado Integrado em Medicina Dentária). Instituto Universitário em ciências da saúde, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11816/3475>. Acesso em: dezembro, 2023.

SHAHIN, Kauser et al. Dental and craniofacial imaging in forensics. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, v.1, n.2, p.56–62, 2013. doi: 10.1016/j.jofri.2012.12.001

SHORT, Laura et al. Validation of a computer modelled forensic facial reconstruction technique using CT data from live subjects: A pilot study. *Forensic Science Internacional*, v.237, n.147, p.1–8, 2014. doi:10.1016/j.forsciint.2013.12.042

SILVA, RN e FARIA, DLB. Impressão tridimensional na odontologia: uma revisão de literatura. *Odontol. Clín.-Cient.*, Recife, v.20, n.3, p.41 - 46, 2021

SILVA, Rhonan Ferreira et al. Utilização de documentação ortodôntica na identificação humana. *Dental Press J Orthod.* v.16, n.2, p.52-7,2011. DOI:10.1590/S2176-94512011000200007.

SOTO-ÁLVAREZ C, et al. Reliability, reproducibility and validity of the conventional buccolingual and mesiodistal measurements on 3D dental digital models obtained from intra-oral 3D scanner. *Arch Oral Biol.* V.109, Article 104575, 2020. Disponível em: 10.1016/j.archoralbio.2019.104575.

TACK, Philip, et al. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *BioMed Eng OnLine*, 21 Outubro, v.15, n.1, p. 115, 2016. doi: 10.1186/s12938-016-0236-4.

TIAN, Yueyi et al. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, Article ID 9950131, 19 pages, 2021.n <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>

TREVISOL, Sara et al. *Odontologia Forense: sua importância e meios de identificação postmortem.* Revista Brasileira de Criminalística, v. 10, n. 1, p. 11-21, 2021. DOI:10.15260/rbc.v10i1.410.

VANRELL, J. P. *Odontologia legal e antropologia forense.* 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.

VIEIRA, G. *Anatomia dental ilustrada.* São Paulo: Santos publicações, 2016

ZHANG, Min. Forensic imaging a powerful tool in modern forensic investigation. *Forensic Sciences Research*, v.7, n.3, p.385-39, 2022.

ZHU, Xiao et al. 3D printing promotes the development of drugs. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, v. 131, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110644>.

APÊNDICE 1

Elemento dentário 11	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura da coroa (menor cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura total coroa dentária	10,20	10,50	10,25	10,20	0,11	1,07%
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	15,00	15,70	15,50	15,70	0,31	1,98%
Distância méso-distal até a cervical	7,50	7,60	7,59	7,60	0,03	0,41%
Distância méso-distal até a borda incisal	7,90	8,10	7,95	7,90	0,08	1,04%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—
Altura total do dente	25,60	25,80	25,71	25,70	0,06	0,24%
Elemento dentário 12	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura da coroa (menor cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura total coroa dentária	9,20	9,30	9,22	9,20	0,04	0,40%
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	13,40	13,80	13,48	13,40	0,14	1,05%
Distância méso-distal até a cervical	6,00	6,20	6,07	6,10	0,07	1,11%
Distância méso-distal até a borda incisal	6,60	6,70	6,62	6,60	0,04	0,55%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—
Altura total do dente	22,30	22,50	22,49	22,50	0,05	0,22%
Elemento dentário 13	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura da coroa (menor cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura total coroa dentária	9,60	9,90	9,70	9,70	0,07	0,75%
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	16,30	16,50	16,40	16,40	0,05	0,31%
Distância méso-distal até a cervical	5,60	6,10	5,83	5,80	0,15	2,56%
Distância méso-distal até a borda incisal	6,50	6,90	6,66	6,65	0,16	2,36%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—
Altura total do dente	25,50	25,60	25,59	25,60	0,03	0,12%

Elemento dentário 14	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	8,10	8,50	8,26	8,20	0,12	1,50%
Altura da coroa (menor cúspide)	7,30	7,70	7,48	7,50	0,08	1,05%
Altura total coroa dentária	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (vestibular/mesial)	13,10	13,50	13,19	13,10	0,12	0,93%
Altura da raiz (palatina/distal)	12,70	13,20	13,04	13,00	0,17	1,28%
Altura da raiz dentária	—	—	—	—	—	—
Distância méso-distal até a cervical	5,80	6,00	5,82	5,80	0,05	0,84%
Distância méso-distal até a borda incisal	6,30	6,40	6,32	6,30	0,04	0,58%
Distância da coroa até a região da furca	13,20	13,50	13,41	13,50	0,11	0,80%
Altura total do dente	21,20	21,30	21,30	21,30	0,02	0,11%
Elemento dentário 15	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	7,30	7,50	7,34	7,30	0,07	0,91%
Altura da coroa (menor cúspide)	7,00	7,10	7,02	7,00	0,04	0,52%
Altura total coroa dentária	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	13,40	14,00	13,60	13,50	0,17	1,22%
Distância méso-distal até a cervical	6,10	6,50	6,31	6,30	0,09	1,41%
Distância méso-distal até a borda incisal	6,10	6,70	6,50	6,50	0,12	1,80%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—
Altura total do dente	21,00	21,10	21,08	21,10	0,04	0,19%
Elemento dentário 16	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	8,00	8,40	8,06	8,00	0,13	1,66%
Altura da coroa (menor cúspide)	6,90	7,40	7,03	7,00	0,11	1,61%
Altura total coroa dentária	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (vestibular/mesial)	11,60	12,00	11,87	11,90	0,08	0,68%
Altura da raiz (palatina/distal)	11,30	12,00	11,69	11,70	0,12	1,00%
Altura da raiz dentária	—	—	—	—	—	—
Distância méso-distal até a cervical	9,20	9,90	9,42	9,40	0,13	1,35%
Distância méso-distal até a borda incisal	10,30	10,40	10,31	10,30	0,02	0,22%
Distância da coroa até a região da furca	9,80	10,40	10,26	10,30	0,16	1,56%
Altura total do dente	19,80	19,90	19,81	19,80	0,03	0,16%

Elemento dentário 17	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	8,30	8,60	8,42	8,40	0,10	1,13%
Altura da coroa (menor cúspide)	7,20	7,50	7,48	7,50	0,07	0,96%
Altura total coroa dentária	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (vestibular/mesial)	11,40	11,90	11,53	11,50	0,10	0,88%
Altura da raiz (palatina/distal)	11,40	11,70	11,52	11,50	0,06	0,53%
Altura da raiz dentária	—	—	—	—	—	—
Distância méso-distal até a cervical	9,20	9,50	9,32	9,30	0,06	0,63%
Distância méso-distal até a borda incisal	10,30	10,40	10,33	10,30	0,04	0,43%
Distância da coroa até a região da furca	9,80	10,10	9,97	10,00	0,09	0,88%
Altura total do dente	19,80	20,00	19,98	20,00	0,05	0,26%

Elemento dentário 41	Mínimo	Máximo	édia	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura da coroa (menor cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura total coroa dentária	8,40	8,70	8,59	8,60	0,07	0,84%
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	13,00	13,60	13,21	13,20	0,10	0,77%
Distância méso-distal até a cervical	3,60	3,70	3,61	3,60	0,03	0,85%
Distância méso-distal até a borda incisal	4,20	4,30	4,29	4,30	0,04	0,85%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—
Altura total do dente	21,30	21,40	21,32	21,30	0,04	0,17%
Elemento dentário 42	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura da coroa (menor cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura total coroa dentária	8,20	8,50	8,31	8,30	0,06	0,66%
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	13,80	14,20	14,09	14,10	0,07	0,51%
Distância méso-distal até a cervical	3,60	3,70	3,63	3,60	0,04	1,23%
Distância méso-distal até a borda incisal	4,50	4,50	4,50	4,50	0,00	0,00%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—
Altura total do dente	21,60	22,00	21,98	22,00	0,09	0,41%
Elemento dentário 43	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura da coroa (menor cúspide)	—	—	—	—	—	—
Altura total coroa dentária	10,50	10,70	10,55	10,50	0,09	0,84%
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	16,00	16,30	16,29	16,30	0,07	0,41%
Distância méso-distal até a cervical	5,80	6,00	5,84	5,80	0,07	1,28%
Distância méso-distal até a borda incisal	6,00	6,10	6,09	6,10	0,03	0,51%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—
Altura total do dente	25,90	26,10	26,00	26,00	0,04	0,15%
Elemento dentário 44	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	8,00	8,20	8,02	8,00	0,06	0,77%
Altura da coroa (menor cúspide)	5,90	6,20	6,01	6,00	0,06	0,92%
Altura total coroa dentária	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	14,00	14,30	14,11	14,00	0,14	0,97%
Distância méso-distal até a cervical	5,80	6,00	5,98	6,00	0,06	1,07%
Distância méso-distal até a borda incisal	6,20	6,40	6,30	6,30	0,03	0,51%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—

Altura total do dente	22,00	22,10	22,01	22,00	0,03	0,14%
Elemento dentário 45	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	8,40	8,80	8,56	8,55	0,09	1,03%
Altura da coroa (menor cúspide)	6,00	7,00	6,63	6,50	0,26	3,95%
Altura total coroa dentária	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (vestibular/mesial)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (palatina/distal)	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz dentária	13,90	14,10	14,04	14,10	0,09	0,63%
Distância méso-distal até a cervical	5,80	6,20	5,87	5,85	0,10	1,67%
Distância méso-distal até a borda incisal	7,50	7,60	7,51	7,50	0,03	0,41%
Distância da coroa até a região da furca	—	—	—	—	—	—
Altura total do dente	22,80	23,10	22,95	23,00	0,09	0,41%
Elemento dentário 46	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	8,60	8,90	8,64	8,60	0,10	1,15%
Altura da coroa (menor cúspide)	6,60	7,50	7,25	7,50	0,30	4,19%
Altura total coroa dentária	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (vestibular/mesial)	14,40	14,50	14,42	14,40	0,04	0,25%
Altura da raiz (palatina/distal)	14,00	14,10	14,01	14,00	0,03	0,22%
Altura da raiz dentária	—	—	—	—	—	—
Distância méso-distal até a cervical	10,20	10,20	10,20	10,20	0,00	0,00%
Distância méso-distal até a borda incisal	11,20	11,40	11,22	11,20	0,05	0,44%
Distância da coroa até a região da furca	11,50	11,60	11,51	11,50	0,03	0,27%
Altura total do dente	22,20	22,50	22,44	22,50	0,10	0,46%
Elemento dentário 47	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Altura da coroa (maior cúspide)	8,40	9,20	8,97	9,00	0,17	1,86%
Altura da coroa (menor cúspide)	7,70	7,80	7,75	7,75	0,05	0,66%
Altura total coroa dentária	—	—	—	—	—	—
Altura da raiz (vestibular/mesial)	12,80	13,90	13,48	13,50	0,24	1,75%
Altura da raiz (palatina/distal)	13,80	15,00	14,25	14,10	0,30	2,12%
Altura da raiz dentária	—	—	—	—	—	—
Distância méso-distal até a cervical	10,10	10,70	10,49	10,50	0,12	1,15%
Distância méso-distal até a borda incisal	10,80	11,50	11,39	11,40	0,18	1,56%
Distância da coroa até a região da furca	11,00	11,10	11,04	11,00	0,05	0,44%
Altura total do dente	22,30	22,50	22,33	22,30	0,07	0,33%

APÊNDICE 2

Three-dimensional printing in dentistry: a pilot study

Pereira FGA¹, Raposo NRB², Chaves MGAM¹.

¹Faculty of Dentistry at the Federal University of Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil.

²Faculty of Pharmacy at the Federal University of Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil.

Abstract

The diffusion of digital dentistry is on the rise with the use of three-dimensional printing, and its use could make a significant contribution to the field of dentistry, even though health professionals rarely use 3D technology. The proposed experimental study used three-dimensional (3D) images obtained by downloading them from a free dental image repository to evaluate their reproduction on a printed model. The digital images were measured using the Meshmixer software and the printed teeth were measured using a digital caliper. Five teeth were printed (incisors, canines, premolars, and molars) and five evaluations were carried out: total tooth length, crown and root length, méso-distal distance at the cervical and incisal heights, and the distance from the crown to the furcation region. It was found that the measurements varied minimally, demonstrating that there is anatomical precision, but there is a need for further studies using different 3D printing technologies.

Keywords: Printing, Three-Dimensional, teeth, dentistry.

Introduction

Impression techniques have evolved with the introduction of intraoral scanners capable of capturing images of the dental arch in the third dimension [1,2]. This intraoral scanning technology has developed rapidly, resulting in more compact, precise and affordable devices [3], allowing the creation of physical dental models and making it possible to store and share these digital images, which is very important for their use in post-mortem investigations [1,2]. These scanners use different image capture techniques and can collect information on the shape and size of dental arches by emitting a beam of light [3]. The acquisition of digital images using specialized software can provide accurate and efficient measurements of dental anatomy to aid in the diagnosis, planning and monitoring of dental treatment and even human identification in forensic investigations [4,5]. The need for training in the use of this technology and the calibration of the professional and the software is essential to guarantee the accuracy of the results [5,6], and we cannot ignore the fact that there may be a high investment in software and hardware, as it is essential that the image has digital quality [4-6].

3D printing in dentistry has seen enormous growth and development in recent decades, revolutionizing diagnosis, treatment planning and the production of dental devices [2,7]. Initially used for rapid prototyping in industry, 3D technology has found applications in dentistry with the ability to create precise, personalized models of teeth and oral structures [8]. The main principles of 3D printing involve a few phases, starting with 3D modeling, by creating a digital model using scanners or CAD (Computer Aided Design) software [3,7,9]. Next comes the preparation of the file for printing by defining settings such as the size and orientation of the object to be printed [10]. Theoretically, the 3D model can be printed from any volumetric image data set that has sufficient contrast to differentiate tissues, such as cone beam computed tomography data, intraoral data or optical surface scan data. However, it should be remembered that 3D printers do not accept DICOM images (digital radiology image format), but images in STL or similar format that transform the 3D image into individual objects defined by surfaces that surround a region of space and these surfaces are presented as a collection of triangles or facets that fit together like a puzzle [11]. Before carrying out the actual printing, it is necessary to select the materials and printing techniques, as 3D printing is an additive manufacturing process which creates an object layer by layer using specific printing materials such as resins, thermoplastic materials and metals [12]. The main methodologies used in dentistry involve stereolithography (SLA), projection photopolymerization (DLP), selective laser sintering (SLS) and fused material deposition (FDM)

[10,13]. DLP and SLA printers are used in dentistry to manufacture temporary crowns, working models, surgical guides and aligners [10]. Both techniques use additive manufacturing to produce a 3D model, layer by layer, based on a digital model [7,13]. SLA, DLP or LCD printers (LEDS that project UV light) use liquid resin as a material. FDM printers, on the other hand, use various types of filaments as a material, such as polylactic acid (PLA) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS) [12].

In forensic odontology, the integration of three-dimensional imaging techniques and dental forensics can provide rich and stable information for human identification. Considering these facts, we can predict that the evolution of dentistry with the use of three-dimensional printing could make a significant contribution to dentistry. However, there are few studies in Brazil on three-dimensional printing, analyzing different technologies, printers and materials. The aim of this study was therefore to verify and analyze the different 3D tooth printing processes and their contribution to digital dentistry.

Materials and methods

The proposed study was an experimental one carried out using three-dimensional (3D) images obtained by downloading them from a free dental image repository. Only images of human teeth were included as selection criteria. Corrupted images, images showing teeth with extensive caries, filled teeth, fractured teeth, supernumerary deciduous teeth and included teeth were excluded from the selection. The files downloaded were in STL (“Standard Triangle Language”) or OBJ (“Object File Wavefront 3D”) format. The next step was to convert the image and prepare it for 3D printing. To do this, the images were converted into files in a format compatible with specific software for printing according to each printer. Only one printing technique was selected for measuring the teeth using a caliper, which met the criteria of ease of use, best quality, cost and printing time. The following types of teeth were printed: an incisor, a canine, a premolar and two molars. After this selection, only one technique was chosen for metric measurement (digital dental image and printed teeth), using the Meshmixer software, according to the following metric parameters:

- Crown length: distance from the incisal edge to the cervical line.
- Root length: distance from the cervical to the apex.
- Total tooth length: distance from the incisal edge to the apex.
- Mésiodistal width to the cervical: distance from the mesial margin to the distal margin close to the cervical.
- Mésiodistal width to the incisal edge: distance from the mesial margin to the distal margin near the incisal edge.
- Length of the furcation region: distance from the crown to the furcation region.

3D printers and technological processes

The printer used for the initial test was the Elegoo saturn 4k monochrome LCD printer which uses the MSLA (masked stereolithography) process but has a monochrome LCD (liquid crystal display), meaning it produces faster print speeds, requiring only 1 to 2 seconds per layer, while conventional LCD 3D printers require 7 to 8 seconds per layer. This printer has a XY resolution of 3840 x 2400 pixels and 0.05mm, Y axis accuracy of 0.00125mm, with a print speed of 30/40 mm/h. It uses Chitubox slicer printing software. The resin used in this printer was translucent Prizma resin. The second printer used was the Anycubic photon mono 2 which uses masked stereolithography (MSLA) printing technology, according to the manufacturer's instructions. In this MSLA process, a synthetic resin is selectively illuminated from below with an LCD display. The LCD screen displays one mask per print layer, blocking the ultraviolet light at the specified points. This printer has an XY resolution of 4096 x 2560 pixels and 35 microns (0.035mm), Z-axis accuracy of 0.01mm, with a print speed of 50mm/. It uses the following printing software: Photon Workshop, Chitubox, Lychee. The resin used was Standard Anycubic white. After printing on the Anycubic printer, the resin residue on the models was cleaned using “WASH and CURE 3.0” with a wavelength of 405nm. The cleaning process used 99.8% isopropyl alcohol, and the next step was curing for 10 minutes. The Creality End printer was the last one used. It uses FDM (Fusion and Deposition of Material Manufacturing) printing technology; its maximum printing speed is 600 mm/s; it can reach a maximum extrusion temperature of 300°C; it has a printing precision of: ± 0.2 mm; has PLA (Polylactic Acid) and ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) type

filament compatibility. With a diameter of 1.75 mm; the file format for printing is G-CODE; and you can use various software programs to slice the image, such as: Creality Print®, Ultimaker CURA®, Prusa Slicer®, IdeaMaker® and Orca®.

Of the three 3D printers, two were used with restricted use permission for this research by the Federal University of Juiz de Fora through NUPICS (Center for Research and Innovation in Health Sciences) and partnerships. Only the Anycubic Photon Mono 2 printer, accessories (washer and light-curing machine) and resin were obtained afterwards.

Results

Fifteen teeth were printed using three different 3D printers, with five teeth from each printer consisting of (one incisor, one canine, one premolar and two molars). Figure 1 shows the initial prototypes of the teeth printed using different additive manufacturing processes and different materials (resin and filament).

Figure 1: Teeth printed using different technologies

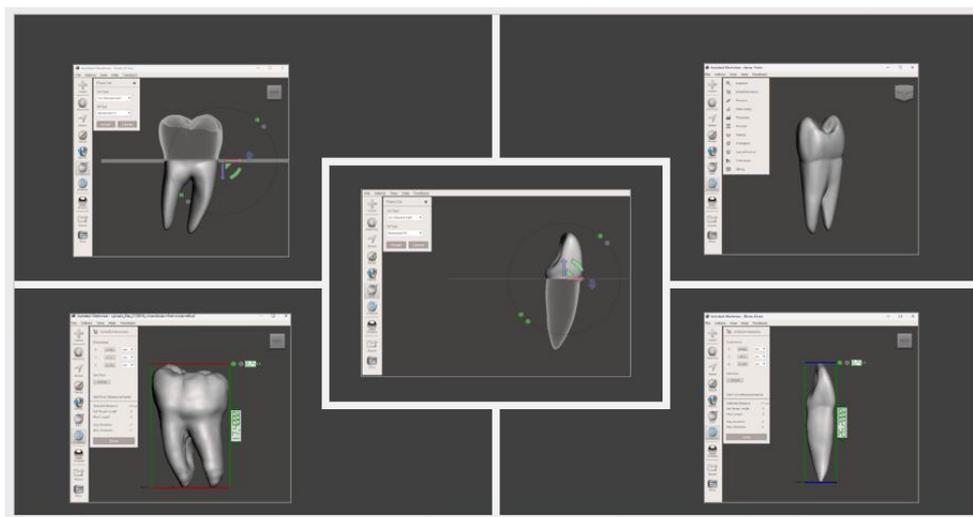


A-Teeth made by the Elegoo Saturn printer B: Teeth made by the Creality printer with yellow PLA filament (1.75mm), C: Teeth made by the Anycubic photon mono 2 printer.

The printer selected was the Anycubic Photon Mono 2, which uses masked stereolithography (MSLA) printing technology. The Anycubic printer was chosen because of the ease of the technique for processing images into 3D printing files, and because it provides the most accurate impression of the human dental anatomy in terms of size and appearance.

In terms of the amount of resin used, only 200 grams of the 1000g pot were needed to fill the Anycubic Photon Mono printer's tank. The printing time varied from 1 hour to 1 hour 30 minutes per tooth. The following teeth were measured: upper right incisor (tooth 11), lower right canine (tooth 43), upper right first premolar (14), lower left first molar (tooth 36) and lower right second molar (tooth 47). The application used was Meshmixer (Figure 2).

Figure 2: Measurement of teeth in Meshmixer software



The measured data from the software was entered into a table using the Excel program for Microsoft 365 version 2501. A descriptive analysis of the data was carried out to assess the discrepancies between the digital image and the impression of the teeth (Table 1). All teeth were measured using a digital caliper by a calibrated dental surgeon.

Table 1: Linear odontometric measurements of digital images and 3D replicas.

Crown- root dimensions (mm)	Maxilla				Mandibular					
	11		14		36		43		47	
	Image	Printed	Image	Printed	Image	Printed	Image	Printed	Image	Printed
Crown length	8,62	8,8	8,14	8,4	6,71	6,65	10,9	10,7	8,2	8,1
Root length	12,8	12,1	14	13,4	10,7	11	15,5	15,1	14,3	14,1
Mésio-distal width (incisal)	7,74	8	8,98	6,8	11	11	6,6	6,2	11,6	11,4
Mésio-distal width (Cervical)	5,94	5,9	8,6	6,9	10,5	10,4	6	5,5	10,7	10,5
Furcation region	*	*	12,2	12,4	8,89	8,4	*	*	11	10,8
Crown- root length	21,4	20,9	22,2	21,8	17,4	17,6	26,2	25,8	22,5	22,2

Discussion

In digital 3D techniques, it is often necessary to convert the real physical object into a virtual three-dimensional digital object, using scanners or CT scans. Although these present interesting results, there are some challenges and disadvantages such as cost and limited access to equipment [3,4,14]. An alternative could be the application of photogrammetry, which uses digital photographs to form the three-dimensional geometry of teeth. This technique is an interesting option for 3D scanning because it is accurate, easy to use and low-cost due to not needing sophisticated equipment for its implementation [14]. For this study, digital images available in an internet repository were used, only free images in a compatible format for printing were chosen, which facilitated the use of these images for 3D printing. An analysis of odontometric measurements has been used to standardize and quantify the distortions of digital imaging and 3D printing. However, measurements of the teeth allow assessments to be made of the dental patterns of men and women, age and racial differences; among these, the most used are the mesio-distal and bucco-lingual distances of the crown of permanent teeth [7,15]. According to Brown and collaborators (2018)[7], the measurements chosen were defined by the DOLPHIN software and included: crown width (mesio-distal measurement from the point of contact to the other point of contact),

crown height (incisal/occlusal-gingival heights to the tip of the cusp or incisal edge) and some measurements of arch dimensions were: intercanine width from one cusp to the other, intermolar width of the mid-lingual cusp from one tip of the cusp to the other, depth of the arch, from the midline of the central incisors to a perpendicular line that crosses the mesial contact of the first two molars. This study used simple odontometric measurements that could be reproduced using the Meshmixer software. 3D printing using the SLA process was first introduced in 1986 through a patent by Charles Hull, an American scientist with a degree in engineering [10,13,16]. This technique is widely used in dentistry due to its precision, good surface smoothness and high resistance [12,17]. Masked stereolithography (MSLA) is a modified form of SLA printing. This technique uses an ultraviolet (UV) LED matrix and an LCD screen to selectively cure an entire layer of resin in seconds. MSLA resin printers use widely available and inexpensive components, which makes the technology accessible to consumers [18]. Their main advantages are affordable printer and material (resin) prices, good print resolution, a smooth finish without layer lines, fast printing, quiet operation, the ability to print complex geometries and a variety of materials (flexible, durable, transparent, ceramic). For this reason, this type of process was chosen for this study. In the study by Hou et al. (2024) [19], 3D printing technology was used for autologous tooth transplantation, using fused deposition modeling or polymer injection techniques to prepare models of donor teeth with the advantage of shortening surgical time and reducing damage to the periodontal ligament of donor teeth, as well as accurately preparing the dental alveoli and promoting optimal healing of the soft and hard tissues in the recipient area. However, according to Oliveira et al. (2023) [10], despite the technological advances that digital dentistry has made, many professionals still do not have the necessary knowledge to apply the technology in their daily routine, and there is a gap in the information regarding additive manufacturing and its application in the dental clinic.

In the study by Kurniawan et al. (2020) [20], which assessed the number of teeth and their surfaces that would allow for forensic identification using image data analysis, they found promising results in human identification using the 3D imaging technique. However, they suggest further studies with a larger number of samples to assess the robustness and reliability of the method used and to assess the reliability of this method in cases of missing teeth, fractured teeth or anomalies.

This study therefore proposes the development of new studies on the subject so that digital dentistry can be disseminated and improved in the future, enabling more professionals to use it.

Conclusion

Using digital images, it was possible to convert them into the models needed to print them using any three-dimensional printing technology. Always respecting the morphologies of each tooth and the definitions of the technology used.

The use of MSLA technology to print teeth has shown a lot of potential for use in various areas of dentistry, such as forensics, aesthetics, implantology and oral surgery. However, this study had some limitations, and further studies should be carried out on the subject.

References

1. Issrani R, Prabhu N, Sghaireen MG, et al. Cone-Beam Computed Tomography: A New Tool on the Horizon for Forensic Dentistry. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(9):5352. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095352>.
2. Nagi Ravleen, Konidena A, Rakesh DRN. Digitization in forensic odontology: A paradigm shift in forensic investigations. *Journal of Forensic Dental Sciences*, 2019, 11(5). 10.4103/jfo.jfds_55_19.
3. Pellitteri F, Albertini P, Vogrig A, et al. Comparative analysis of intraoral scanners accuracy using 3D software: an in vivo study. *Prog Orthod*. 2022 Jul 4;23(1):21. doi: 10.1186/s40510-022-00416-5. PMID: 35781850; PMCID: PMC9250910.
4. Santo, Elodine. Utilização de imagens 3D intraorais na identificação de traços morfológicos dentários com interesse *forense* numa população portuguesa. 2020. Dissertação de Mestrado (Mestrado Integrado em Medicina Dentária). Instituto Universitário em ciências da saúde, 2020. <http://hdl.handle.net/20.500.11816/3475>.

5. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod*, 2004 Jun, 74(3):298-303. doi: 10.1043/0003-3219(2004)074<0298:TAAROM>2.0.CO;2. PMID: 15264638.
6. Matsuda S, Yoshida H, Ebata K, et al. Forensic odontology with digital technologies: A systematic review. *J Forensic Leg Med*. 2020 Aug, 74:102004. doi: 10.1016/j.jflm.2020.102004. Epub 2020 Jul 1. PMID: 32658766.
7. Brown GB, Currier GF, Kadioglu O, Kierl JP. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018, 154(5):733-739. doi: 10.1016/j.ajodo.2018.06.009. PMID: 30384944.
8. Tian Y, Chen C, Xu X, et al. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*. 2021, 17:9950131. doi: 10.1155/2021/9950131. PMID: 34367410; PMCID: PMC8313360.
9. Richert R, Goujat A, Venet L, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng*. 2017;2017:8427595. doi: 10.1155/2017/8427595. Epub 2017 Sep 5. PMID: 29065652; PMCID: PMC5605789.
10. Oliveira JRS, Rodrigues LS, Finck NS. O fluxo de trabalho e a aplicação da impressão 3D na odontologia. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, 2023, 23(5). <https://doi.org/10.25248/reas.e12747.2023>
11. Chaudhary RK, Doggalli N, Chandrakant HV, Karthikeya Patil K. Current and evolving applications of three-dimensional printing in forensic odontology: A review. *Int J Forensic Odontol*. 2018; 3:59-65. DOI: 10.4103/ijfo.ijfo_28_18.
12. Reis T, Barbosa C, Franco M, et al. 3D-Printed Teeth in Endodontics: Why, How, Problems and Future-A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Jun 29;19(13):7966. doi: 10.3390/ijerph19137966.
13. Coelho AWF, Araujo AC, Thiré RMSM. Manufatura aditiva por estereolitografia: análise da geometria da peça e da influência da posição e orientação de fabricação. *Revista Matéria*. 2018,23(4). DOI: 10.1590/S1517-707620180004.0600
14. Batistela G C, Moraes CAC, Miamoto P. Comparação entre cinco sistemas de digitalização 3d por fotogrametria aplicados à antropologia forense e odontologia legal. *Rev Bras Odontol Legal*, 2017,4 (3): 24-33.
15. Soto-Álvarez C, Fonseca GM, Viciano J, Alemán I, et al. Reliability, reproducibility and validity of the conventional buccolingual and mesiodistal measurements on 3D dental digital models obtained from intraoral 3D scanner. *Arch Oral Biol*. 2020, Jan;109:104575. doi: 10.1016/j.archoralbio.2019.104575.
16. DABAGUE, Leonardo A. M. O processo de inovação no segmento de impressoras 3D. 51 f. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Ciências Econômicas) - Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/37115/MONOGRAFIA19-2014> -
17. Silva RN, e Faria DLB. Impressão tridimensional na odontologia: uma revisão de literatura. *Odontol. Clín.-Cient*, 2021, 20 (3):41-46. ID: biblio-1369852.
18. Orzeł B, Stecuła K. Comparison of 3D Printout Quality from FDM and MSLA Technology in Unit Production. *Symmetry*. 2022,14(5):910. <https://doi.org/10.3390/sym14050910>
19. Hou R, Hui X, Xu G. et al. Use of 3D printing models for donor tooth extraction in autotransplantation cases. *BMC Oral Health*, 2024,24 (179). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03864-z>
20. Kurniawan A, Yodokawa K, Kosaka M, et al. Determining the effective number and surfaces of teeth for forensic dental identification through the 3D point cloud data analysis. *Egypt J Forensic Sci*, 2020, 10(3). <https://doi.org/10.1186/s41935-020-0181-z>.