

REBECA MENEZES VAZ QUEIROZ FONTES

PROCESSOS INTERATIVOS
DOS ÓRGÃOS E SISTEMAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO • ICS • UFBA



REPRODUTIBILIDADE DE EVIDÊNCIAS FORENSES
EM MANDÍBULAS: COMPARAÇÃO ENTRE
RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL E
IMPRESSÃO 3D

Salvador
2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas da UFBA-SIBI, pela Bibliotecária Maria de Fátima Martinelli CRB5/551, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

F683 Fontes, Rebeca Menezes Vaz Queiroz
Reprodutibilidade de evidências forenses em mandíbulas: comparação entre
reconstrução e tridimensional e impressão 3D/Rebeca Menezes Vaz Queiroz
Fontes. – Salvador, 2024.
91 f.: il.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patricia Miranda Leite Ribeiro; Coorientadores:
Prof. Dr. Jeidson Moraes Marques e Prof^a. Dr^a. Ana Teresa Corte-Real.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Ciências
Ciências da Saúde/Programa de Pós-Graduação em Processos Interativos
dos Órgãos e Sistemas, 2023.
Inclui referências e anexos.

1. Tomografia computadorizada de feixe cônico. 2. Marcos anatômicos.
3. Mandíbulas. 4. Impressão 3D. 5. Ciência forense. I. Ribeiro, Patricia
Miranda Leite. II. Marques, Jeidson Moraes. III. Corte-Real, Ana Teresa.
IV. Universidade Federal da Bahia. V. Título.

CDU 616.314-073.7

REBECA MENEZES VAZ QUEIROZ FONTES

**REPRODUTIBILIDADE DE EVIDÊNCIAS FORENSES EM MANDÍBULAS:
COMPARAÇÃO ENTRE RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL E IMPRESSÃO
3D**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas, do Instituto de Ciências da Saúde, da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas.

Orientadora: Profa. Dra. Patricia Miranda Leite Ribeiro

Coorientador: Prof. Dr. Jeidson Moraes Marques

Coorientadora internacional: Profa. Dra. Ana Teresa Corte-Real

Salvador
2024

REBECA MENEZES VAZ QUEIROZ FONTES

**REPRODUTIBILIDADE DE EVIDÊNCIAS FORENSES EM MANDÍBULAS:
COMPARAÇÃO ENTRE RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL E IMPRESSÃO
3D**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia.

Aprovada em: 11/10/2023

Patricia Miranda Leite Ribeiro, _____
Doutora em Odontologia pela UFPB/UFBA, Brasil

Jeidson Antonio Moraes Marques, _____
Pós-Doutorado em Odontologia Legal pela
Universidade de Coimbra, Portugal

Ana Teresa Corte-Real, _____
Doutora com Agregação em Medicina Legal e Ciências
Forenses pela Universidade de Coimbra, Portugal

Duarte Nuno Pessoa Vieira, _____
Professor Catedrático da Faculdade de Medicina da
Universidade de Coimbra, Portugal

Viviane Almeida Sarmiento, _____
Pós-Doutorado em Estomatologia pela Faculdade de
Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo, Brasil

Dedico a Deus; ao meu esposo, Neander; aos meus pais Alvaro e Graça; às minhas irmãs, Ana Paula e Mariana; à vó Lilinda e também à minha amada tia Diacuir. Vocês são meus pilares e fazem parte de cada conquista na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Para realizar sonhos, geralmente contamos com a participação de algumas pessoas, e eu tive o privilégio de poder contar com as melhores. Sim, eu tive os melhores colegas, o auxílio da melhor equipe administrativa, os melhores professores, e as melhores experiências que pude esperar para esta fase da minha vida. Agradeço a cada uma dessas pessoas inesquecíveis, mas acredito ser importante destacar algumas delas:

À minha família, por estar comigo nos melhores dias, mas também nos momentos difíceis. Sou grata por cada palavra de motivação, pelas ideias, pela força e pelo encorajamento. Suas orações têm me sustentado e os amo profundamente.

À professora Patrícia Leite por estar comigo nesta caminhada acadêmica desde a graduação, acreditando nos meus sonhos e projetos. Ser sua orientanda em todos estes anos me fez olhar de maneira diferenciada para a docência e para cada paciente. Muito obrigada pela sua disponibilidade, pelo compartilhamento de conhecimento, pela gentileza com que me trata e por todo o incentivo.

Ao professor Jeidson Marques, que tão prontamente se dispôs a mergulhar neste projeto, compartilhando suas ideias e sugestões que potencializaram minha paixão pela odontologia legal. Sou eternamente grata por todo o seu suporte e encaminhamento, que me conduziram à realização de um grande sonho. Mas, acima de tudo, reconheço o privilégio de acompanhar de perto o seu contínuo desenvolvimento e reconhecimento por parte da comunidade profissional na área forense a nível internacional. Que sorte a minha, querido professor!

À professora Ana Teresa Corte-Real por ter me recebido de forma tão acolhedora. Ser aluna estrangeira envolve muitos aspectos, mas ter alguém à vossa altura e com tamanha humildade me fez sentir muito confortável dentro da UC. Agradeço imensamente por cada momento de orientação, reuniões, revisão de trabalhos e por me proporcionar experiências únicas. Este tempo foi de grande aprendizado, e a senhora fez imensa diferença no meu processo enquanto pessoa e profissional.

Ao querido professor Dr. Roberto Paulo por sua disponibilidade, firmeza e seu suporte.

Obrigada por me acompanhar desde que ingressei no PPPG PIOS. O senhor definitivamente faz parte desta vitória.

Ao professor Dr. Eduardo Pondé agradeço pela sua competência e prontidão em todos os momentos em que o requisitei. Seu suporte foi de grande valia e jamais o esquecerei.

A todos (as) colegas do doutorado PPG PIOS, a nossa turma sempre coesa desde o mestrado e transformando os períodos de aulas e seminários em um aprendizado dinâmico e prazeroso. Que privilégio aprender com vocês!

À equipe administrativa do PIOS, sr. Carlos, dona Célia, Tarcísio e demais funcionários do programa de pós-graduação, que fazem muito além das suas funções, providenciando todo suporte necessário aos alunos e garantindo a fluidez do curso. Durante o período do doutorado-sanduíche, vocês me transmitiram extrema tranquilidade e contribuíram para a conclusão daquela etapa com sucesso.

Ao colega João Nogueira Neto e aos colegas da especialização em Odontologia Legal, pelas sugestões no embasamento teórico para a construção deste estudo.

Ao sr. Antonio Porto Maia por sua dedicação e profissionalismo quanto à análise estatística, parte fundamental deste trabalho.

À Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana (UNEF) agradeço por permitir o desenvolvimento de etapas deste trabalho nas dependências do laboratório do Núcleo Interdisciplinar de Estudos e Pesquisas Forenses Nobre (NIEPFON).

Ao colega André Nogueira por colaborar com sua expertise em impressões 3D e também pelo compartilhamento de conhecimentos da área odonto-legal.

Ao Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses e a todos os funcionários da Universidade de Coimbra que me acolheram e colaboraram durante o período da pesquisa.

Aos colegas Ricardo, Thiago e Rita da Universidade de Coimbra que colaboraram com o desenvolvimento deste projeto.

Às colegas Inês e Joana, da Egas Moniz School of Health & Science, que me apoiaram e contribuíram para a realização deste estudo.

À banca examinadora agradeço por gentilmente dedicarem seu tempo na leitura e análise deste trabalho, contribuindo com suas sugestões e experiências para o seu aprimoramento.

O meu muito obrigada a todos vocês!

Mas em todas estas coisas somos mais que vencedores,
por meio daquele que nos amou.

Pois estou convencido de que nem morte nem vida...
nem qualquer outra coisa na criação será capaz de
nos separar do amor de Deus que está
em Cristo Jesus, nosso Senhor.

Romanos 8:37-39
Bíblia Sagrada

FONTES, Rebeca Menezes Vaz Queiroz. Reprodutibilidade de evidências forenses em mandíbulas: comparação entre reconstrução tridimensional e impressão 3D. 2023. (Tese) Doutorado em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas - Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia.

RESUMO

Introdução: A importância da impressão 3D no âmbito das ciências forenses abrange uma série de possibilidades, incluindo o registro de documentação, a identificação humana, anatomia odontológica comparada e antropologia odontológica, marca de mordida e análise de padrão - reconstrução balística, reconstrução facial forense, reconstrução da cena do crime e acidente, bem como a identificação de vítima de desastre (DVI), antropologia forense e arqueologia. O presente estudo foi desenvolvido para avaliar a reprodutibilidade de mandíbulas artificiais, contendo lesões de interesse forense, através da reconstrução tridimensional obtida por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e impressão 3D. **Método:** Neste estudo, foi utilizada uma abordagem quantitativa e descritiva, dispensando apreciação ética por se tratar do uso de 14 mandíbulas artificiais em resina (poliuretano). Foram realizadas 5 etapas, desde a confecção de nove lesões simuladas de interesse forense (orifício de entrada, orifício de saída, lesão de orifícios múltiplos, lesão corto-contusa, área de perda dentária, fraturas dentárias coronárias, fratura mandibular e fraturas do côndilo - completa e incompleta) até a realização de tomadas tomográficas das 14 mandíbulas com CBCT, utilizando-se voxel de tamanhos de 0,25, 0,3 e 0,4 mm, seguidas de análises de 10 marcos humanos nos volumes 3D gerados (artigo 1) e posterior impressão tridimensional através da técnica FDM dos volumes gerados com voxel 0,3, para comparação entre as duas técnicas de reprodução utilizadas (tomográfica = AT e impressa = AC). Os dados foram analisados por meio dos testes t-Student e ICC e apresentados em gráficos de Bland-Altman (artigo 2). **Resultados:** No artigo 1, os resultados analisados mostraram que os protocolos com voxels de 0,3 mm devem ser preferencialmente indicados na avaliação das medidas lineares e angulares. A análise estatística revelou que não houve diferença estatisticamente significativa nas avaliações intra-examinador A ($p=0,920$) e B ($p=0,424$) e inter-examinador ($p=0,664$). Isto demonstrou a confiabilidade do método escolhido. O estudo mostrou que é possível criar pontos de referência em modelos 3D, evidenciando um passo importante para a consolidação no uso de protótipos em estudos forenses. No artigo 2, as análises estatísticas com o teste ICC mostraram que a maioria das variáveis (lesões simuladas) foram bem reproduzidas (ICC acima de 0,8) em ambas as técnicas. Observou-se ainda que os pares AT e AC tiveram medidas próximas da diferença média e permaneceram dentro do intervalo de confiança, embora a técnica de impressão tenha apresentado menor variação nas medidas realizadas quando comparadas com as originais (AC). **Discussão:** De acordo com os resultados dos dois artigos, houve sucesso na utilização de tecnologias 3D (CBCT e impressão) para avaliar a confiabilidade e reprodutibilidade destas técnicas em contextos forenses. O artigo 1 mostrou, em seus resultados, que o erro encontrado na comparação inter-examinador (utilizando o mesmo método de medição) foi pequeno e permaneceu estável, independentemente das variáveis avaliadas. Sobre a comparação quanto à reprodutibilidade tridimensional pelos métodos tomográfico (CBCT) e impresso, o artigo 2 mostrou que as duas técnicas são confiáveis. O resultado quanto à reprodutibilidade das lesões simuladas escolhidas para o artigo 2 mostrou que todas as lesões foram reproduzidas, sendo preservadas a forma, o número e as relações anatômicas presentes. Destacaram-se as lesões simuladas causadas por projétil de arma de fogo (orifício de entrada e orifício de saída), lesão corto-contusa e de perdas dentárias que foram avaliadas de boa a excelente nas reproduções

tomográfica e impressa 3D. Os artigos 1 e 2 apresentados como resultado desta tese são complementares no sentido de o primeiro ter avaliado volumes reproduzidos tridimensionais digitalmente (tendo sido observados pontos craniométricos bem estabelecidos) e o segundo possibilitando uma avaliação comparativa entre volumes tridimensionais digitais e impressos (analisando a reprodução de lesões específicas forenses). **Conclusão:** A implementação desta metodologia de protótipos como condições de simulação clínica e forense permite a comparação da base de dados humana em questões de identificação. A técnica de medição analógica aplicada em volume impresso 3D, quando comparada à técnica computadorizada, utilizando imagens digitais 3D, mostrou-se precisa e reprodutível. Novos estudos são necessários na busca da padronização de medidas tridimensionais em volumes digitalizados e impressos.

Palavras-chave: Tomografia computadorizada de feixe cônico; Marcos anatômicos; Mandíbula; Impressão 3D; Ciência forense.

FONTES, Rebeca Menezes Vaz Queiroz. Reproducibility of forensic evidence in mandibles: comparison between three-dimensional reconstruction and 3D printing. 2023. (Thesis) Doctorate in Interactive Processes of Organs and Systems – Institute of Health Sciences, Federal University of Bahia.

ABSTRACT

Introduction: 3D printing can be used for many applications, including document imaging, human identification, comparative dentistry, bite mark and pattern analysis, ballistics, facial reconstruction, crime scene reconstruction, as well as disaster victim identification (DVI), forensic anthropology, and archaeology. The present study was designed to evaluate the reproducibility of artificial mandibles containing lesions of forensic interest through three-dimensional reconstruction obtained by cone beam computed tomography (CBCT) and 3D printing. **Methods:** In this study, a quantitative and descriptive approach was used, dispensing ethical assessment for the use of 14 artificial jaws in resin (polyurethane). Five stages were performed, from the preparation of nine simulated lesions of forensic interest (bullet entrance hole, bullet exit hole, multiple bullet holes, sharp force trauma, tooth loss, coronary tooth fractures, mandibular fracture and complete and incomplete condyle fractures) to the tomographic scans of the 14 jaws using CBCT with voxel sizes of 0.25, 0.3 and 0.4mm, followed by the analysis of 10 landmarks in the 3D volumes generated (Article 1) and subsequent three-dimensional printing using the FDM technique of volumes generated with voxel 0.3, to compare the two reproduction techniques used (tomographic = AT and printed = AC). The data were analyzed using T-Student and ICC tests and presented in Bland-Altman plots (article 2). **Results:** In article 1, the results showed that the protocols with voxels of 0.3 mm should be preferred for the evaluation of linear and angular measurements. Statistical analysis showed that there was no statistically significant difference in the intra-examiner A ($p=0.920$) and B ($p=0.424$) and inter-examiner ($p=0.664$) scores. This demonstrated the reliability of the used method. The study showed that it is possible to create reference points in 3D models, which is an important step in consolidating the use of prototypes in forensic studies. In article 2, the statistical analysis with the ICC test showed that most of the variables (simulated lesions) were well reproduced (ICC above 0.8) in both techniques. It was also observed that the pairs AT and AC had measurements close to the mean difference and remained within the confidence interval, although the printing technique showed less variation in the measurements performed compared to the original ones (AC). **Discussion:** According to the results of the two articles, there was success in the use of 3D technologies (CBCT and printing) to evaluate the reliability and reproducibility of these techniques in forensic contexts. Article 1 showed, in its results, that the error found in the inter-examiner comparison (using the same measurement method) was small and remained stable, regardless of the evaluated variables. Regarding the comparison of three-dimensional reproducibility by tomographic (CBCT) and printed methods, article 2 showed that both techniques are reliable. The result of the reproducibility of the simulated lesions selected for article 2 showed that all lesions were reproduced. The shape, number, and anatomical relationships were preserved. The simulated lesions caused by firearm projectile (bullet entrance and bullet exit hole), sharp force trauma and tooth loss were rated from good to excellent in tomographic and 3D printed reproductions. Articles 1 and 2 presented as a result of this thesis are complementary in the sense that the first has evaluated three-dimensional volumes digitally reproduced (well established craniometric points were observed), and the second allows a comparative evaluation between three-dimensional digital and printed volumes (analyzing the reproduction of specific forensic lesions). **Conclusion:** The implementation of this methodology of prototypes as conditions of clinical and forensic

simulation allows the comparison of the human database in identification issues. The analog measurement technique applied in the 3D printed volume proved to be accurate and reproducible when compared with the computerized technique using 3D digital images. New studies are needed in the search for standardization of three-dimensional measurements in digitized and printed volumes.

Keywords: Cone-Beam Computed Tomography; Anatomic Landmarks; Mandible.3D printing; Forensic science.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de fraturas mandibulares de acordo com a localização anatômica.....	24
Figura 2 - Fraturas do côndilo. A, Fratura alta ou do pescoço condilar. B, Fratura baixa ou da base condilar. C, Fratura diacapitular.....	25
Figura 3 - Lesões simuladas de orifícios de entrada (único e múltiplos).....	34
Figura 4 - Lesão simulada orifício de saída.	35
Figura 5 - Lesão simulada corto-contusa	35
Figura 6 - Lesão simulada de perdas dentárias, fratura mandibular e fraturas dentárias coronárias.....	36
Figura 7 - Fraturas condilares - completa e incompleta.	37
Figura 8 - Processo de impressão do volume 3D.	38
Figura 9 - Avaliação comparativa em 3 fases.	39
Figura 10 - Mandibular measurements performed and craniometric landmarks.	45
Figura 11 - Represent horizontal mandibular anatomical features (bottom and up).....	46
Figura 12 - Bland-Altman plot. A: Mean, Standard Deviation, Confidence interval of examiner A. B: Mean, Standard Deviation, Confidence interval of examiner B.....	49
Figura 13 - Bland-Altman plots. A: inter-examiner data (voxel size 0,25mm); B: inter-examiner data (voxel size 0,3 mm); C: inter-examiner data (voxel size 0,4mm.....	50
Figura 14 - Injuries of forensic interest.	60
Figura 15 - Study design figure highlighting simulated injuries,CBCT, three phases of data collection followed by data analysis with corresponding measurement of the artificial mandible (gold standard).....	62
Figura 16 - Bland-Altman plots of two variables, tooth loss and sharp force trauma. The values were expressed as mean (Mean) and standard deviation (SD) with their respective confidence intervals (CI).....	65
Figura 17 - Plot of ICC results for all variables according to ICC classification.....	67
Figura 18 - Bland-Altman plot of sharp force trauma. A: - Limits of agreement and mean difference for data of sharp force trauma in AC. B: Limits of agreement and mean difference for data of sharp force trauma in AT.	68
Figura 19 - Bland-Altman plot of bullet exit area. A: Limits of agreement and mean difference for data of bullet exit area in AC. B: Limits of agreement and mean difference for data of bullet exit area in AT.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Technical Error Measurement (TEM) analysis for intra and inter-examiner error regarding linear and angular variables.....	47
Tabela 2 - Mean, Standard Deviation, Confidence Interval and p Value.....	48
Tabela 3 - Means (M) and standard deviation (SD) regarding linear and angular variables (present study and reference study - Male)	51
Tabela 4 - Means (M) and standard deviation (SD) regarding linear and angular variables (present study and reference study - Female).....	52
Tabela 5 - Intra-examiner analysis of two variables, tooth loss and sharp force trauma. The values were expressed as mean (M) and standard deviation (SD) with their respective confidence intervals (CI) and p value.....	64
Tabela 6 - ICC results for reproducibility analysis.....	66
Tabela 7 - p-Value of all variables for AT and AC pairs.	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
AC	Artificial mandible / 3D printed volume
AT	Artificial mandible / Tomographic volume
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CBCT	Cone beam computed tomography
CI	Confidence Interval
DICOM	Imagens Digitais e de Comunicações em Medicina
DNA	Deoxyribonucleic acid
DVI	Identificação de Vítima de Desastre
FAF	Ferimentos por arma de fogo
FBSP	Fórum Brasileiro de Segurança Pública
FDM	Fused Deposition Modeling
FOV	Field of view
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
INMLCF	Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses
IPEA	Instituto Pesquisa Econômica Aplicada
LMD	Laser Metal Deposition
MDCT	Multislice Computed Tomography
MRI	Magnetic resonance imaging
NIEPFON	Núcleo Interdisciplinar de Estudos e Pesquisas Forenses Nobre
PLA	Polylactic acid
RP	Rapid Prototype
SD	Standard Deviation
SLA	Stereolithography
SLS	Sinterização por Laser Seletivo
TC	Tomografia Computadorizada
TCFC	Tomografia Computadorizada com feixe cônico
TCMD	Tomografia Computadorizada com multidetectores
TEM	Technical Error Measurement

UFBA

Universidade Federal da Bahia

UNEF

Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Justificativa	19
1.2	Objetivos	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Trauma, violência e ação pericial	21
2.2	Traumatologia forense	22
2.2.1	Trauma facial	22
2.2.2	Causa e classificação dos danos	22
2.3	Fraturas em mandíbula	23
2.4	Ferimentos por arma de fogo	25
2.4.1	Registros do orifício de entrada	25
2.4.2	Características do orifício de entrada de acordo com a distância do tiro	26
2.4.3	Registros do orifício de saída	27
2.5	Sistemas CAD/CAM e a prototipagem rápida (RP)	27
2.6	Prototipagem rápida (RP)	28
2.6.1	Principais técnicas de RP	28
2.6.2	Processamento de imagens	29
2.6.3	Mensurações lineares e angulares em imagens digitalizadas	30
2.6.4	Prototipagem rápida com impressão 3D utilizada em contexto forense	30
3	MÉTODO	33
3.1	Delineamento do estudo	33
3.2	Amostra	33
3.3	Coleta e processamento de dados	33
3.4	Análise Estatística	39
4	RESULTADOS	41
4.1	ARTIGO 1	41
4.1.1	Introduction	42
4.1.2	Materials and methods	43
4.1.3	Statistical analysis	46
4.1.4	Results	47
4.1.5	Discussion	52
4.1.6	Conclusion	56
4.2	Artigo 2	56
4.2.1	Introduction	58
4.2.2	Material and Methods	59
4.2.3	Statistical analysis	63
4.2.4	Results	63
4.2.5	Discussion	69

4.2.6	Limitation	71
4.2.7	Conclusion.....	72
5	DISCUSSÃO	73
6	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	81
	ANEXOS	90

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias de reprodução tridimensional têm evoluído e possibilitado o aprimoramento de técnicas que permitem criar representações tridimensionais de objetos ou ambientes e são ferramentas inovadoras para a resolução de casos na área forense.¹ Um destes mecanismos tecnológicos disponíveis para uso é a prototipagem rápida (Rapid Prototyping –RP), através da qual é possível a obtenção de um modelo físico tridimensional (3D) com as mesmas características do original, apresentando grande potencial de utilização em várias áreas desde a engenharia às perícias forenses.¹

A prototipagem rápida está presente nas ciências médico-odontológicas, sendo executada a partir de imagens digitais e de comunicações em medicina (*Digital Imaging and Communication in Medicine – DICOM*) e é responsável pelo progresso no planejamento, na segurança e execução de procedimentos cirúrgicos em todo o mundo.^{1,2} Além disso, trouxe também grandes avanços, como produção de modelos 3D para tratamentos ortodônticos, cirúrgicos e protéticos; produção de guias para implantes dentários, além de ainda possibilitar reconstruções craniomaxilofaciais.^{2,3} Com relação às formas de impressão 3D, encontram-se disponíveis diferentes abordagens, porém destaca-se a elaboração do modelo camada a camada, conhecido como *Fused Deposition Modeling* (FDM), por ser uma das técnicas mais comuns e acessíveis, utilizando-se como material um polímero plástico de alta resistência (PLA).^{4,5}

No âmbito forense, não poderia ser diferente, uma vez que percebe-se a possibilidade do uso de alternativas quanto ao manuseio e à utilização de evidências nas resoluções de casos criminais. Devido ao advento da tecnologia na era digital, houve mudanças nos métodos de análise, a partir de informações morfológicas e osteométricas, de diretos para indiretos (podendo ser utilizados modelos gerados a partir de imagens tridimensionais). Através de estudos preliminares, está estabelecido que os resultados obtidos provaram a precisão da tecnologia sobre os resultados.^{5,6} Segundo registros na literatura, há pelo menos 20 anos a tecnologia para reprodução 3D vem sendo usada nas ciências forenses⁷, apesar de haver desde então uma cronologia demonstrando períodos de escassez de estudos e aplicações. Apesar disto, não há dúvidas de que o uso dessas tecnologias com o objetivo de melhorar as investigações e diminuir o número de processos arquivados pela ausência de provas permanece sendo objetivo dos investigadores e profissionais da área.^{1,6,8,9}

A importância da impressão 3D no âmbito das ciências forenses abrange uma série de possibilidades que incluem o registro de documentação, a identificação humana, anatomia odontológica comparada e antropologia odontológica, marca de mordida e análise de padrão - reconstrução balística, reconstrução facial forense, reconstrução da cena do crime e acidente, até a identificação de vítima de desastre (DVI), antropologia forense e arqueologia.^{1,5-9} Além de todas estas possibilidades, a grande vantagem destacada no presente estudo é o potencial de utilização da impressão 3D na área odonto médico-legal, tomando como base a proposta de manutenção da integralidade de evidências, devido à não manipulação do cadáver / peça de interesse forense original, além de sua perpetuação. A utilização de modelos impressos coopera para uma melhor visualização, interpretação e compreensão do júri sobre os casos investigados, sendo, portanto, uma importante ferramenta advinda dos avanços tecnológicos.^{6,10, 11}

1.1 Justificativa

Sabe-se que, para além do possível uso de imagens bi ou tridimensionais, a apresentação de modelos físicos de evidência no tribunal é uma realidade. Porém, muitas preocupações do ponto de vista ético e legal estão envolvidas na transferência, no transporte e na apresentação de restos mortais, o que inviabiliza muitas vezes o trabalho dos investigadores diante da necessidade de apresentar qualquer evidência física de origem humana. Tais barreiras seriam um retrocesso à limitada utilização de fotografias dessas evidências, em detrimento das informações que seriam possíveis de serem colhidas através de estruturas tridimensionais geradas com o propósito de auxiliar e otimizar todo o processo. Além disso, há riscos no manuseio de ossos e restos humanos por diversas pessoas e em diferentes ambientes, podendo levar à degradação das evidências.

Além da precisão na reprodutibilidade de evidências que corroboram com o avanço na utilização destas em tribunais,^{10,11} é fundamental ressaltar ainda que o presente estudo tem grande relevância social, pois trata-se do aprimoramento de condutas investigativas, bem como da elucidação de crimes.

Apesar de serem conhecidos diversos estudos nas áreas médica e odontológica com a utilização de imagens digitalizadas,¹²⁻¹⁷ há ainda poucos casos relatados na área forense onde esta tecnologia vem sendo implementada associada com sucesso à impressão 3D, o que torna o presente estudo um grande potencial de investigação nesta área.

1.2 Objetivos

A seguir, apresentam-se os objetivos estabelecidos para dar cumprimento a este estudo.

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a reprodutibilidade de mandíbulas artificiais, contendo lesões de interesse forense, através da reconstrução tridimensional obtida por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e impressão 3D.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a reprodutibilidade de marcações antropométricas em reconstruções tridimensionais de mandíbulas artificiais geradas a partir de tomografia computadorizada com 3 diferentes voxels.
- Comparar volumes tridimensionais gerados a partir de tomografias computadorizadas e volumes impressos no formato 3D de mandíbulas artificiais, observando a extensão (mm) e o grau de reprodutibilidade de lesões forenses simuladas (orifício de entrada, orifício de saída, orifícios múltiplos, lesão corto-contusa, perda dentária, fraturas dentárias coronárias, fratura mandibular e fraturas condilares - completa e incompleta), com as mandíbulas artificiais originais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Trauma, violência e ação pericial

O trauma pode ser definido como o resultado de uma ação vulnerante de origem, natureza e extensão variadas que possui energia capaz de produzir a lesão observada em diferentes partes do corpo.¹⁸ As lesões crânio-maxilo-faciais destacam-se no histórico de pacientes com trauma e podem ocorrer em combinação com outras lesões graves, incluindo lesões cranianas, espinhais, superiores e inferiores.¹⁹ Sendo destaque dentre tantas possíveis fraturas, as fraturas faciais podem variar de acordo com o tipo, a gravidade e causa, possuindo uma relação dependente da população estudada, o que as torna importantes sinalizadores de atos violentos registrados em dados periciais e epidemiológicos.²⁰

Sabe-se que o crescimento da quantidade de vítimas de violência em todo o mundo altera não somente a estatística relativa ao número de óbitos, traumas físicos e comprometimento psíquico, mas também reflete os indicadores de desigualdade social e educação, com impacto direto na segurança e qualidade de vida das pessoas. O combate à violência (em todas as suas nuances) tem sido propagado através de ações educativas e conscientizadoras por diferentes lideranças governamentais mundiais, mas as consequências de atos violentos ficam a cargo de serem manejadas por profissionais específicos, dentre os quais estão médicos, enfermeiros, advogados, defensores públicos, promotores, juízes e peritos.²¹

No que diz respeito à ação pericial, a rigor, tanto na área civil quanto na criminal, os exames periciais são realizados pelos peritos oficiais, conforme dispõe o Art. 159 do Código de Processo Penal.²² Dentre as principais funções dos peritos, estão a identificação da causa de danos físicos em pessoas vivas ou mortas, e a produção da prova pericial, usando, como fonte de seu trabalho, o conhecimento científico e as inovações tecnológicas aplicadas.^{22,23} A avaliação pericial pode ser feita através do exame de corpo de delito, da necrópsia, análise de objetos, verificação de vestígios, “[...] é o rastro, a pista ou o indício deixado por algo ou alguém.”²⁴, entre outros meios. Nos casos judiciais que envolvem lesões corporais, agressões, abusos, acidentes de trânsito e outros eventos que possam ter impacto na região bucal e maxilofacial, o perito em odontologia forense é o responsável pelo exame pericial.²²

2.2 Traumatologia forense

A traumatologia forense desempenha um papel fundamental no sistema legal ao fornecer informações científicas e objetivas sobre lesões traumáticas a fim de corroborar na investigação de casos criminais e na determinação das causas de morte suspeita. O conceito de “lesão” do ponto de vista médico-legal é “qualquer alteração ou desordem ou perturbação da normalidade, de origem externa e violenta, capaz de provocar um dano à saúde física, mental ou de qualquer natureza em decorrência de culpa, dolo, acidente ou autolesão.”²²

A caracterização do trauma também o relaciona com uma base socioeconômico-cultural, que sofre influência do ambiente onde ele ocorreu, poderá ser classificado como civil ou militar, e implicará na interpretação sobre a origem das lesões.²⁵ Quanto à variabilidade no grau de complexidade, ele pode ir de simples a múltiplos, indicando a proporção dos danos causados à vítima. O mecanismo de trauma geralmente está relacionado à frequência e à gravidade das lesões traumáticas.²⁶

2.2.1 Trauma facial

Estudos indicam que cerca de 50% das mortes traumáticas são oriundas dos traumas de face e cabeça, o que nos leva a concluir que as lesões da cabeça e da face se destacam dentre as demais.²⁷ O traumatismo facial tem maior incidência em jovens, e seus efeitos dependem da energia, do vetor de impacto e da duração do trauma.²⁸ Os ferimentos provenientes do impacto traumático podem ser leves, como lesões no tecido mole e nos dentes, levando a fraturas dento-alveolares ou avulsões dentárias. Em casos mais complexos, pode haver fraturas dos ossos da face: órbita, osso zigomático, nariz, maxila, mandíbula.²⁹

2.2.2 Causa e classificação dos danos

De acordo com França,²² os danos podem ser de ordem física, química, mecânica, físico-química, bioquímica, biodinâmica ou mista – destacamos aqui os danos de ordem mecânica, pois configuram lesões escolhidas para investigação no presente estudo. Sendo assim, o resultado de impacto de um instrumento em movimento contra um corpo inerte, ou um corpo em movimento contra um objeto parado, ou até o corpo e o objeto em movimento, podem ser classificados, segundo este autor²², como ações:

Cortantes - Objeto de deslizamento sobre tecidos, uma espécie de gume cortante. Nas feridas cortantes, diferentemente das cirúrgicas, as extremidades são superficiais, e o meio do corte é mais profundo. Exemplos: faca, lâmina de barbear, ou bisturi.

Perfurantes - Provoca lesão a partir da pressão em apenas um ponto. Exemplo: agulhas.

Contundentes - Causa lesões devido ao choque entre superfícies, podendo se dar pelo choque entre um objeto e a vítima, ou até entre o agressor e a vítima. Exemplos: situação de explosão, deslizamento, compressão, torção, fricção e distensão. Podem causar fraturas ósseas. Essas fraturas podem ser em forma de espiral, hélice, oblíquas, transversais ou longitudinais.

Cortocontundentes - Instrumentos que, apesar de possuírem gumes, necessitam da força de seu próprio peso ou do agente que as utiliza. Exemplos: enxada, faca, facão e foice.

Perfurocontundentes - Perfuram e contudem ao mesmo tempo, capazes de infligir uma lesão grande, e que, na maioria das vezes, possuem sua parte perfurante mais acentuada. Exemplo: projétil de arma de fogo.

Perfurocortantes - Penetram e cortam a vítima, podendo possuir um ou mais gumes (borda afiada). Exemplos: facas, canivetes ou punhal.

2.3 Fraturas em mandíbula

Segundo Zide e Kent,³⁰ a fratura do côndilo mandibular pode estar associada a outras fraturas de mandíbula e de outros ossos da face. As fraturas em face podem ser classificadas de acordo com a localização e o osso atingido. Na mandíbula, há várias classificações de fraturas, por exemplo, considerando a extensão, elas podem ser classificadas em: simples, composta, fragmentada, impactada, complexa e galho verde (fratura incompleta, em apenas uma cortical, em ossos flexíveis). De acordo com a variação anatômica: sínfise, corpo, ângulo, ramo, processo condilar, processo coronoide e processo alveolar.²⁹

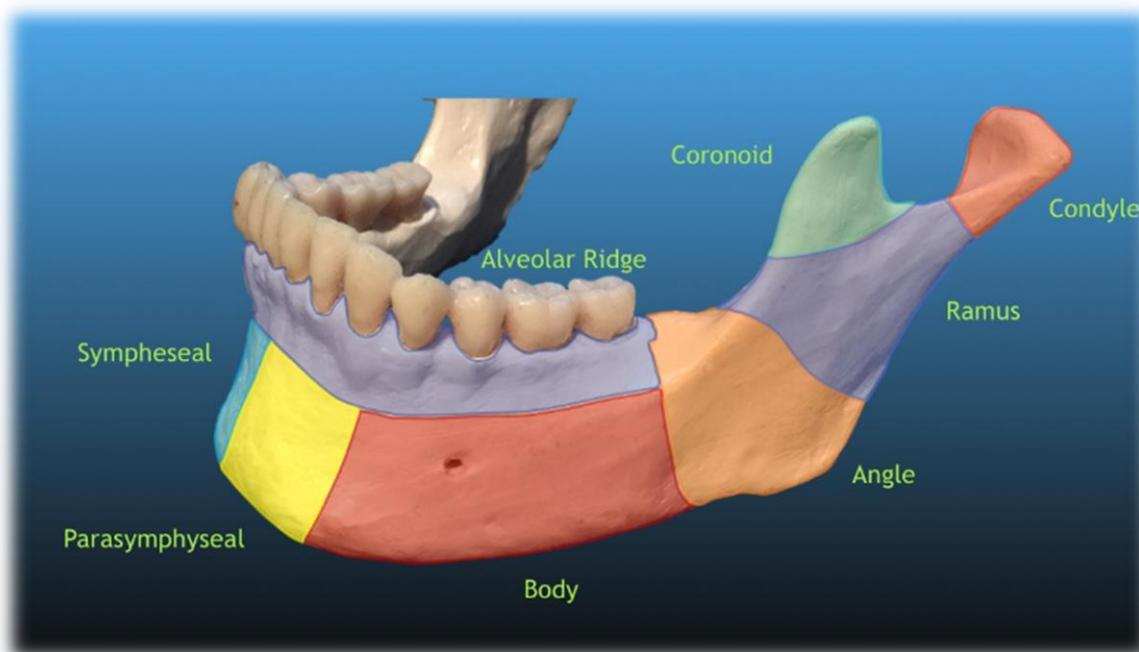
De acordo com Dingman e Natvig,³¹ as definições para essas regiões são:

1. Linha média: Fraturas entre incisivos centrais.
2. Parassínfise: Fraturas que ocorrem dentro da área da sínfise.
3. Sínfise: Delimitada por linhas verticais distais aos dentes caninos.
4. Corpo: Da sínfise distal à uma linha que coincide com a borda alveolar do músculo masseter (geralmente incluindo o terceiro molar).

5. Ângulo: Região triangular delimitada pela parte anterior da borda do músculo masseter à póstero-superior fixação deste músculo (geralmente distal ao terceiro molar).
6. Ramo: Delimitado pelo aspecto superior do ângulo a duas linhas, formando um ápice no entalhe sigmoide.
7. Processo condilar: Área do processo condilar superior à região do ramo.
8. Processo coronoide: Inclui o processo coronoide de mandíbula superior à região do ramo.
9. Processo alveolar: A região que normalmente contém dentes.

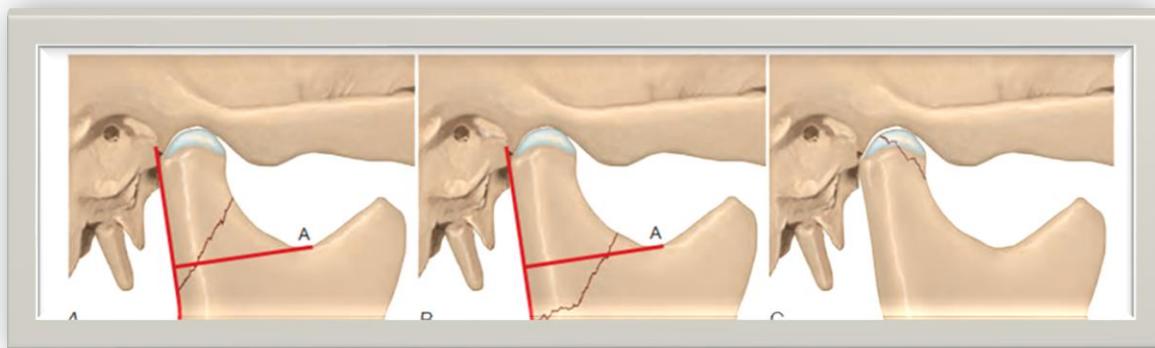
A figura 1 representa a classificação das fraturas mandibulares de acordo com a localização anatômica, segundo Dingman e Natvig³¹, e a figura 2 ilustra tipos de fraturas mandibulares em região condilar.

Figura 1 - Tipos de fraturas mandibulares de acordo com a localização anatômica.



Fonte: Harborview Radiology University of Washington.³²

Figura 2 - Fraturas do côndilo. A, Fratura alta ou do pescoço condilar. B, Fratura baixa ou da base condilar. C, Fratura diacapitular.



Fonte: Ward Booth P, Eppley BL, Schmelzeisen R: Maxillofacial trauma and esthetic facial reconstruction, ed 2, St. Louis, 2012, Saunders. ³³

2.4 Ferimentos por arma de fogo

De acordo com o Atlas da Violência, divulgado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e pelo Fórum Brasileiro de Segurança Pública (FBSP), em 2019, houve 30.799 homicídios por arma de fogo (entre vítimas femininas e masculinas) e um aumento do registro de armas de fogo em 120% só em 2020.³⁴ Segundo um estudo epidemiológico retrospectivo realizado no Rio de Janeiro sobre ferimentos por arma de fogo (FAF) não fatais em face, durante o período de junho de 2003 a dezembro de 2017, foram feitas 778 cirurgias em centro cirúrgico pelo serviço de Clínica de Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial no Hospital Central da Polícia Militar, sendo 186 em decorrência de ferimentos por arma de fogo (23,9%). Dentre as sequelas mais prevalentes, estava a perda de segmento ósseo.³⁵

De acordo com conceitos da balística, o caminho que o projétil faz desde a saída da arma de fogo até a sua parada é chamado de trajetória. Outro percurso fundamental de ser avaliado é o trajeto, ou seja, o caminho percorrido pelo projétil após sua entrada no corpo. O trajeto juntamente com o orifício de entrada e o orifício de saída são elementos essenciais na avaliação pericial.²²

2.4.1 Registros do orifício de entrada

Há características importantes no que diz respeito aos registros deixados pelo projétil no orifício

de entrada, segundo França²². São eles:

Orla de escoriação ou de contusão: ocorre por causa do movimento de rotação do projétil antes de penetrar no corpo, arrancando a epiderme. Pode ocorrer o comprometimento da formação da orla de escoriação caso o projétil encontre alguma barreira/objeto interferindo no seu movimento e na sua rotação.

Bordas invertidas da ferida: ocorrem devido à ação traumática do projétil de fora para dentro sobre a natureza elástica da pele.

Halo ou zona de tatuagem: é resultado da impregnação dos resíduos de combustão e semicombustão da pólvora, e das partículas sólidas do próprio projétil. A depender da direção do tiro (perpendicular ou oblíquo), o formato da zona de tatuagem pode ser arredondado ou em forma crescente, respectivamente. Outro aspecto importante é que a pólvora pode interferir na cor, extensão e intensidade da marca. A análise da zona de tatuagem permite à perícia estabelecer a distância exata do tiro.

Zona ou orla de esfumaçamento: é chamada também de zona de falsa tatuagem. É resultado do depósito deixado pela fuligem que envolve a ferida de entrada, sendo formada pelos resíduos finos e impalpáveis da pólvora combusta.

Zona de queimadura: é chamada de zona de chama ou zona de chamuscamento. A ação superaquecida dos gases que atingem e queimam o alvo é o agente responsável por essa zona. Em regiões cobertas de pelos, há um verdadeiro chamuscamento, mostrando-os crestados, entortilhados e quebradiços.

Aréola equimótica: é caracterizada por uma zona superficial e relativamente difusa, próxima das redondezas do ferimento de entrada, de tonalidade violácea. Provocada pelo extravasamento de sangue em detrimento da ruptura de pequenos vasos localizados na periferia do ferimento.

Halo de enxugo: é concêntrico nos tiros perpendiculares, já nos oblíquos, apresenta-se em formato de meia-lua. O halo é decorrente da passagem do projétil através do tecido, atritando e contundido, limpando neles suas impurezas. A depender das substâncias que o projétil leva consigo ao penetrar no alvo, sua tonalidade pode variar, mas geralmente apresenta-se em cor escura.

2.4.2 Características do orifício de entrada de acordo com a distância do tiro

Tiro à longa distância: usualmente, o ferimento de entrada do tiro à longa distância tem

diâmetro menor que o do projétil devido à elasticidade e à retratibilidade dos tecidos cutâneos. Quanto à forma, pode ser arredondada quando o tiro é perpendicular, ou elíptica quando a inclinação do tiro é oblíqua.

Tiro à curta distância (à queima-roupa): no tiro à curta distância, o ferimento causado apresenta borda arredondada ou elíptica, orla de escoriação, zona de tatuagem, bordas invertidas, halo de enxugo, zona de esfumaçamento, zona de queimadura, aréola equimótica e zona de compressão de gases.

2.4.3 Registros do orifício de saída

Os orifícios de saída possuem forma irregular, bordas evertidas, halo equimótico e, geralmente, fragmentos de tecidos. Além disso, as dimensões são maiores do que as de entrada, já que o projétil possui ação mais contundente do que perfurante devido a algumas alterações ao longo do seu trajeto, causando deformidades. Por fim, por conta dessas características, tornam-se mais sangrantes em comparação às lesões de entrada.²²

2.5 Sistemas CAD/CAM e a prototipagem rápida (RP)

A transferência das informações capturadas nas imagens até a geração de modelos impressos é possível graças aos sistemas Computer Aided Design 3 Dimension (CAD 3D), que permitem processar e modelar imagens retiradas de produtos sólidos existentes a fim de criar réplicas. Este processo é conhecido por “Engenharia” reversa.^{36,37} O CAD é um conjunto de ferramentas e software que permite a criação de modelos digitais de produtos, ou qualquer objeto que possa ser projetado. Os modelos digitais podem ser visualizados em 3D e transformados em modelos impressos tridimensionalmente a partir de instruções detalhadas para impressoras 3D (isso é possível ao associar o CAD ao Computer-Aided Manufacturing/CAM – um programa direcionado à fabricação de protótipos assistida por computador).^{36,38}

Por meio do funcionamento do sistema CAD/CAM, há dois principais tipos de processos de prototipagem: a prototipagem rápida (Rapid Prototyping – RP) por deposição de materiais em camadas progressivas; e a prototipagem rápida substrativa (*Subtractive Rapid Prototyping* – SRP) na qual ocorre o desgaste de blocos de diversos materiais para confecção do objeto desejado.³⁸

2.6 Prototipagem rápida (RP)

As técnicas periciais têm avançado com o suporte das inovações tecnológicas, e isto pode contribuir na elucidação de crimes. Dentre os possíveis recursos a serem utilizados, está a prototipagem rápida, método de impressão através do qual é possível fazer a reconstrução tridimensional do modelo em estudo, evitando-se a manipulação e possíveis danos ao original e possibilitando a investigação de evidências para além das fotografias e dos registros de imagens digitalizadas.¹

A RP é possível graças à aquisição de imagens por tomografia computadorizada com multidetectores (TCMD) ou TC com feixe cônico (TCFC); angio-CT, scanners 3D ou imagem por ressonância magnética (RM).^{1-6,8,9,39} Esta tecnologia vem sendo gradualmente utilizada nos exames forenses pós-morte por ser possível reconstruir em 3D os objetos-alvo da investigação, além de possibilitar a avaliação de parâmetros, como idade, sexo e patologias por meio de diversos softwares.⁹

2.6.1 Principais técnicas de RP³⁸

Estereolitografia (SLA): é uma das técnicas pioneiras de prototipagem rápida e utiliza um laser ultravioleta para solidificar camadas de resina fotossensível em um tanque. O laser percorre o contorno de cada camada, solidificando a resina, construindo o objeto camada por camada até a sua conclusão. Essa técnica oferece alta precisão e detalhamento, sendo comumente utilizada em aplicações que requerem uma superfície de alta qualidade.

Sinterização por Laser Seletivo (SLS): nesta técnica, também há a criação da peça por camadas, porém isto se dá através da fusão (por um feixe de laser) de pós-químicos como poliamida, alumínio ou aço. A plataforma de construção desce gradualmente, e o processo continua até que o objeto seja completamente formado. O SLS é conhecido por não ter necessidade de suporte nas peças, por sua versatilidade e capacidade de produzir peças duráveis e funcionais (porém o acabamento das peças é áspero e poroso).

Modelagem por Deposição de Material Fundido (Fused Deposition Modeling – FDM): a técnica FDM utiliza um bico extrusor que deposita material termoplástico, camada por camada, formando o objeto tridimensional. Dentre os materiais a serem utilizados, estão o ácido

polilático (PLA) e o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). É uma das técnicas mais utilizadas devido à sua facilidade de uso, baixo custo e disponibilidade de materiais. As suas maiores limitações são o acabamento e a resistência das peças produzidas.

Impressão 3D de Jato de Ligante (Binder Jetting): nesta técnica, um líquido aglutinante é impresso em camadas sobre um leito de pó metálico, cerâmico ou polimérico. O aglutinante solidifica o pó, camada por camada, formando o objeto desejado. É necessário tratar termicamente, ou com outros processos, a peça após a conclusão da impressão a fim de melhorar sua resistência e densidade.

Deposição de Metal por Laser (LMD): a técnica LMD utiliza um feixe de laser para fundir e depositar material metálico em uma superfície, camada por camada. É frequentemente usado em reparos ou construção de peças metálicas de alto desempenho.

2.6.2 Processamento de imagens

A tomografia computadorizada (TC) é um método radiológico não invasivo, rápido, fidedigno e de alta precisão diagnóstica.⁴⁰ Os progressos tecnológicos obtidos na tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone Beam ou CBCT) permitem uma reprodução da imagem tridimensional dos tecidos mineralizados maxilofaciais e, dentre as suas vantagens, estão: o tamanho do tomógrafo, relativamente pequeno, custo inferior, mínima distorção e dose de radiação significativamente reduzida em comparação à TC tradicional.⁴⁰⁻⁴² As imagens geradas são exportadas para um software específico que tem a finalidade de ler o arquivo no formato DICOM e transformá-lo em arquivos tridimensionais – trata-se de um conjunto padronizado de normas para o arquivamento e a comunicação de imagens obtidas, usados universalmente, independentemente do tipo de equipamento de captura.⁴¹

A análise das imagens digitalizadas pode ser feita através de softwares adequados. A partir do corte axial, é possível obter reconstruções secundárias, incluindo as reconstruções coronais, sagitais, os cortes perpendiculares ao contorno dos arcos dentários (ortorradiais ou trans-axiais), as reconstruções em 3D e as imagens convencionais bidimensionais.^{43,44} Além disso, o software ainda permite a realização de mensurações digitais lineares e angulares muito utilizadas nas medidas antropométricas da face, por exemplo.⁴⁴

2.6.3 Mensurações lineares e angulares em imagens digitalizadas

A antropometria é a ciência que estuda o corpo humano por meio de medidas de tamanho, peso e proporções.⁴⁵ Em um contexto forense, a antropometria é um campo da antropologia física e da ciência forense responsável pela medição e análise das características físicas e anatômicas de um indivíduo a fim de identificá-lo, principalmente em contextos criminais. Pode ser aplicada em investigações de homicídios, na determinação de sexo e idade, em desastres naturais, acidentes de avião e outras situações em que a identificação das vítimas é crucial para a resolução do caso.⁴⁶⁻⁴⁸ A abordagem antropométrica pode ser complementada por outras técnicas modernas de identificação, como análise de DNA e comparação de registros médicos e dentários.²²

O estabelecimento de marcos definidos em tecido duro e mole para medidas lineares e angulares foi de fundamental importância da padronização na Antropometria e possibilitou definir, por exemplo, o estudo da dimensão da face humana através de medições diretas.⁴⁹⁻⁵¹ Pesquisadores têm desenvolvido diversos estudos através de imagens em 2D e 3D, validando a acurácia de métodos de mensurações antropométricas faciais e craniofaciais que impactam – por exemplo, como parâmetro na caracterização da identificação *post mortem* – na estimativa de sexo e idade de indivíduos desconhecidos.⁵²⁻⁵⁸ Nesses estudos, os pontos de referência humanos para medidas lineares e angulares puderam ser localizados precisamente respaldados na literatura e utilizados como base para comparações entre si, contribuindo no aprimoramento de técnicas e no progresso da ciência.

2.6.4 Prototipagem rápida com impressão 3D utilizada em contexto forense

Goodman M⁵⁹, fundador do Future Crimes Institute – instituição onde reúnem-se especialistas em implicações das novas tecnologias –, sugeriu que as impressoras 3D representarão enorme parcela no cenário criminal. O método de impressão 3D foi introduzido na prática em 1986 por Abramov,⁶⁰ mas tornou-se mais amplamente disponível nas últimas décadas devido a fatores determinantes como a modernização dos computadores e, mais importante, com a sofisticação dos softwares que manipulam os modelos 3D. Além disso, as impressoras com volumes de construção para imprimir objetos grandes como um crânio humano com alta precisão possuem atualmente valores mais acessíveis. De acordo com Gábor Simon,⁶¹ o primeiro manuscrito sobre as aplicações forenses médicas ou patológicas forenses da impressão

3D foi publicado em 2011, mas as publicações eram escassas até 2017.

Blau e colaboradores ¹¹ avaliaram os efeitos de diferentes formatos de apresentação de evidências de trauma em tribunal em um estudo piloto com 60 homens e mulheres. Eles utilizaram fotografias de autópsia, fotografias de modelos impressos em 3D e modelos impressos em 3D (combinando-os com apresentação verbal). Os modelos 3D deram a melhor compreensão (93%), após fotografias de impressões 3D (80%) e fotografias de autópsia (71%). Errickson e colaboradores ¹⁰ investigaram o efeito de diferentes técnicas de imagem para visualização de provas em tribunal e ocorrência de viés na compreensão do júri. Eles compararam três diferentes formatos de evidência visual (fotografias, um modelo 3D digital e um modelo impresso em 3D de um crânio). Concluíram que a tecnologia 3D melhora a compreensão com relação à clareza e compreensão das evidências, embora sem significância estatística, 98% dos jurados afirmaram entender a terminologia utilizada quando os modelos impressos em 3D foram utilizados como prova demonstrativa, e 88% dos jurados, ao visualizar as animações em 3D.

Diante de resultados promissores com a aplicação de técnicas de reconstrução tridimensional nas ciências forenses e os esforços valiosos dos pesquisadores, sabe-se que os possíveis usos destas técnicas, estão em:

Análise de mordidas e impressões digitais: Criação de modelos de mordidas ou impressões digitais encontradas em vítimas ou objetos. Esses modelos permitem que os peritos façam comparações mais precisas entre suspeitos e evidências coletadas.^{1,5,62}

Identificação de vítimas desconhecidas: A impressão 3D pode ser utilizada para realizar reconstruções faciais de vítimas desconhecidas, gerando modelos tridimensionais que facilitem a identificação por familiares ou testemunhas.⁸

Recriação de ferramentas de crime: A recriação de armas de fogo, facas e outras ferramentas de crime, em modelos tridimensionais, permite que os peritos realizem testes balísticos, identifiquem padrões de ferimentos e determinem a compatibilidade das evidências com as lesões apresentadas pelas vítimas.⁶³

Próteses e moldes forenses: Moldes forenses podem ser produzidos para comparar marcas e impressões encontradas na cena do crime com as evidências coletadas de suspeitos.⁶⁴

Reconstituição de cena de crime: Em alguns casos de homicídios, recriar a cena do

crime tridimensionalmente pode facilitar aos investigadores e peritos forenses a análise sobre a posição dos corpos, dos objetos e outros elementos presentes, contribuindo para o estabelecimento de linhas de investigação.⁶⁵

Reconstrução de acidentes e cenas de incêndio: A impressão 3D pode ser usada também na recriação de acidentes de trânsito, incêndios e outros eventos em que as evidências foram danificadas ou destruídas. Essas recriações ajudam a compreender melhor as causas e circunstâncias desses eventos, fornecendo informações valiosas às investigações.⁶⁶

A evidência 3D é um instrumento poderoso para adicionar clareza ao testemunho de especialistas e reduzir a possível confusão em torno de evidências científicas ou médicas, fornecendo ao júri os melhores meios possíveis de chegar a um veredito bem fundamentado.

3 MÉTODO

3.1 Delineamento do estudo

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa laboratorial em que foram utilizadas 14 mandíbulas artificiais em resina (poliuretano) com todos os dentes presentes (DentArt). Trata-se de um estudo isento de apreciação ética devido à utilização de material artificial resinoso. As análises foram realizadas tendo como variáveis a extensão (mm) de lesões simuladas de interesse forense e o seu grau de reprodutibilidade. O nível de significância deste estudo é de 5%.

3.2 Amostra

Foi considerado, para o cálculo, um valor de alfa de 5% e beta de 20%, obtendo-se um n amostral de 14 corpos de prova requeridos. O cálculo foi realizado considerando um teste de diferença entre duas médias com grupos dependentes. Foram utilizadas 14 mandíbulas artificiais em resina (poliuretano). As mandíbulas artificiais feitas de poliuretano possuem propriedades mecânicas semelhantes ao osso, como resistência ao desgaste e à abrasão, capacidade de carga, resistência mecânica e também possuem opacidade suficiente para serem tomografadas.⁶⁷

3.3 Coleta e processamento de dados

A coleta de dados se deu em ambiente laboratorial dividida por etapas:

Etapa 1: Laboratório NIEPFON - Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana (UNEF). Foram realizadas lesões de interesse forense em 14 mandíbulas artificiais em resina (orifício de entrada, orifício de saída, orifícios múltiplos, lesão corto-contusa, perda dentária, fratura dentária coronária, fratura mandibular e fratura do côndilo - completa e incompleta). Para realizar as lesões, foram utilizados: Micromotor e Peça Reta Dabi Atlante, além de brocas de Tungstênio Maxicut 1501- Edenta e Broca Tungstenio Maxicut 1509 – Edenta (Corte Cruzado), broca Esférica Diamantada Komet – Núm. 08 e disco diamantado 915D, Jota- espessura 0.25 mm. As lesões foram confeccionadas com o objetivo de simular lesões reais descritas em livros de referência na área forense ²² e em importantes estudos publicados,^{35,68-70} que mostram

características de cada lesão e a sua ocorrência em mandíbula.

Para a elaboração do orifício de entrada, foi utilizada a broca de Tungstênio Maxicut 1501-Edenta em uma inclinação de 90 graus em contato com a área plana da mandíbula (região de ângulo mandibular), havendo transfixação da broca. (Figura 3)

A fim de reproduzir lesões múltiplas por projétil de arma de fogo, foram feitos pequenos orifícios próximos ao orifício de entrada, com a broca Esférica Diamantada Komet – Número 08. (Figura 3)

Figura 3 - Lesões simuladas de orifícios de entrada (único e múltiplos)



Para o orifício de saída, foi utilizada a broca Tungstênio Maxicut 1501-Edenta em uma inclinação de 90 graus em contato com a área plana da mandíbula (região de sínfise mandibular), havendo transfixação da broca. Foi realizada ampliação do desgaste por vestibular através de movimentos rotatórios expansivos, a fim de aproximar a lesão das características reais condizentes com um orifício de saída. (Figura 4)

Figura 4 - Lesão simulada orifício de saída.



A lesão corto-contusa (simulada para ser semelhante a uma lesão por facada) foi realizada com a Broca Tungstenio Maxicut 1509 – Edenta (Corte Cruzado) com aprofundamento de 2 mm na estrutura plana na região de ramo mandibular direito. (Figura 5)

Figura 5 - Lesão simulada corto-contusa

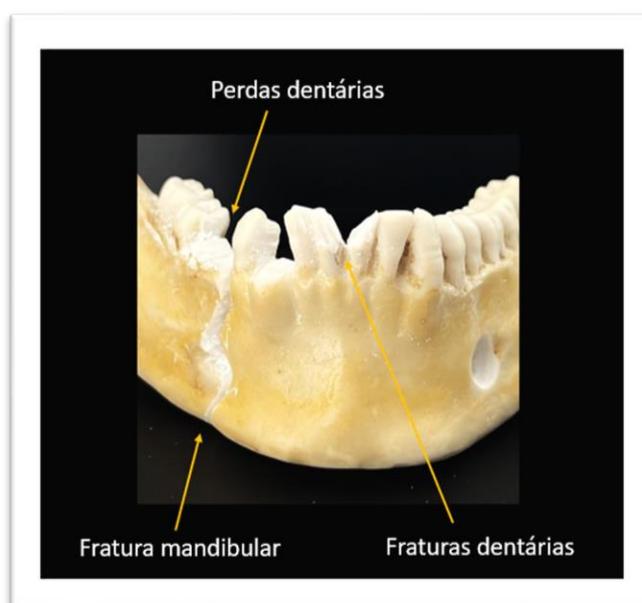


A área de perda dentária foi elaborada (variando aleatoriamente em unitária - dente 43; ou múltiplas - dentes 43-46 e 36-38). Para a remoção das unidades dentárias em resina, foi utilizada a broca de Tungstênio Maxicut 1501- Edenta. (Figura 6)

Com a broca de Tungstênio Maxicut 1501- Edenta, foram realizadas fraturas dentárias coronárias acometendo 1/3, 2/3 ou totalmente a extensão da coroa dental, na região dos incisivos inferiores. (Figura 6)

Na zona mandibular anterior-lateral, a nível de sínfise (zona de fragilidade para fratura mandibular), foi confeccionada fratura mandibular com a broca de Tungstênio Maxicut 1501- Edenta em “zigzag” de maneira a encaixar as duas porções mandibulares. (Figura 6)

Figura 6 - Lesão simulada de perdas dentárias, fratura mandibular e fraturas dentárias coronárias.



Na região do côndilo, foram confeccionadas dois tipos de fraturas, utilizando o disco diamantado 915D, Jota - espessura 0.25 mm.: uma fratura incompleta, na base do processo condilar, a 90 graus com o osso, e outra (completa) no sentido vertical por toda a extensão do côndilo, removendo assim metade da estrutura. (Figura 7)

Figura 7 - Fraturas condilares - completa e incompleta.

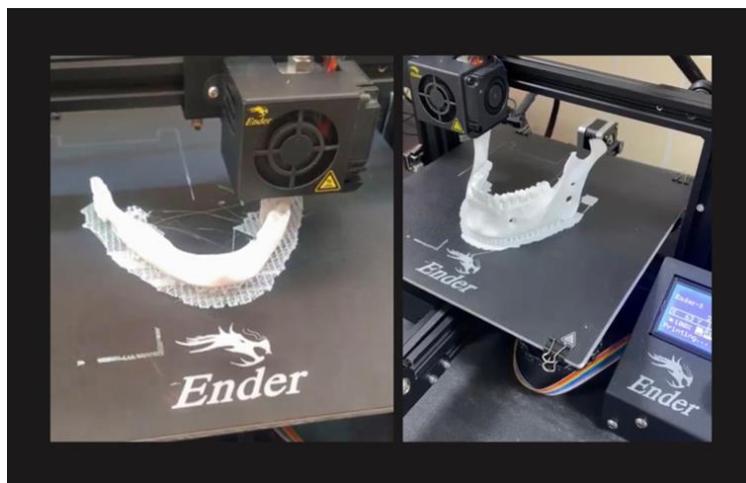


Etapa 2: Laboratório de Medicina Dentária Forense - Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Foi realizada tomada tomográfica das 14 mandíbulas com Tomógrafo computadorizado de feixe cônico modelo CBCT equipament i-CAT®, utilizando-se voxel de tamanhos de 0,25, 0,3, 0,4 mm, tempo de exposição de 8/9s e campo de visão (FOV) de 100-160 mm.

Etapa 3: Laboratório de Medicina Dentária Forense - Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Após serem gravadas e armazenadas no formato DICOM, as imagens foram processadas, visualizadas, manipuladas e analisadas em 3D com o software Invivo Dental versão 5.0 (Anatomage, San Jose, Calif). (Artigo 1). A abordagem foi descritiva e quantitativa.

Etapa 4: Laboratório NIEPFON - UNEF. As imagens armazenadas foram utilizadas para impressão 3D das 14 réplicas produzidas a partir dos CBCTs. Os arquivos em 3D foram abertos no software MeshLab em formato “STL”, que é um arquivo com capacidade imprimível. Em seguida, foi utilizado outro programa, RepetierHost, que prepara as imagens 3D para impressão. Essa preparação é feita em fatiamento ou linhas e pode ser utilizada em qualquer tipo de impressora 3D. A utilizada neste projeto foi a impressora 3D (Ender 3®). Para impressão dos modelos, foi utilizado PLA, sob a técnica FDM. Após impressão dos arquivos na impressora Ender 3® com filamento de PLA de espessura 0.2 mm, os modelos passaram por processo de acabamento com broca Maxicut. Cada mandíbula teve uma duração de impressão de, aproximadamente, 3 horas. (Figura 8)

Figura 8 - Processo de impressão do volume 3D.



Finalizada esta etapa, as réplicas tridimensionais passaram pela avaliação dos pesquisadores, que observaram a presença de todas lesões contidas no check-list, bem como toda a estrutura mandibular conforme esperado.

Etapa 5: A avaliação comparativa compreendeu primeiramente uma análise qualitativa, em que todas as lesões forenses simuladas (orifício de entrada, orifício de saída, orifícios múltiplos, lesão corto-contusa, perda dentária, fratura dentária coronária, fratura mandibular e fratura do côndilo - completa e incompleta) foram verificadas nos volumes 3D (tomográficos e impressos) com relação à mandíbula artificial correspondente, quanto a: número, forma e relações anatómicas. Em seguida, a mensuração linear em mm das lesões forenses simuladas se deu em 3 fases:

Fase 1: Análise das mandíbulas artificiais em resina, com paquímetro. (Figura 9)

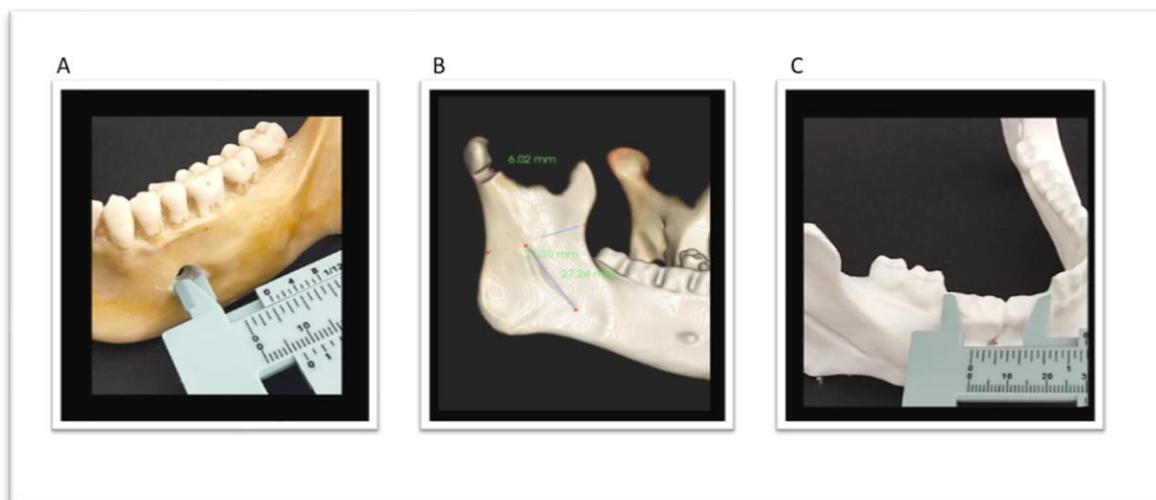
Fase 2: Análise dos volumes tomográficos 3D, com ferramentas de medição 3D do software InVivo5. (Artigos 1 e 2) (Figura 9)

Fase 3: Análise dos volumes impressos 3D, com paquímetro. (Figura 9)

* As fases 1 e 3 foram realizadas com o uso de um paquímetro manual da marca *ecoline*, tamanho: 150mm, graduação: 0,05mm-1/128". (Artigo 2)

Ainda foi calculada a área total das lesões de formato circular, através da fórmula: $(\pi \times (d/2)^2)$. Em seguida, os dados obtidos foram armazenados no Excel 2021 e analisados estatisticamente.

Figura 9 - Avaliação comparativa em 3 fases.



Legenda: A) Mensuração linear em mandíbula artificial de resina. (fase 1) B) Captura de imagem do volume tomográfico 3D em análise (fase 2). C) Mensuração linear em mandíbula impressa 3D (fase 3).

3.4 Análise Estatística

Artigo 1

O erro intra e inter-examinador foi calculado com Erro Técnico de Medição (*Technical Error of Measurement* – TEM).⁷¹ Os dados também foram representados pelo método gráfico de Bland-Altman,⁷² utilizando o Software R versão 4.4.2. O erro intra-examinador foi calculado para cada examinador, utilizando o valor médio das três medidas. A distribuição normal das medições foi testada através do teste Shapiro-Wilk.⁷³

A comparação entre os pares de médias das medidas antropométricas foi avaliada pelo teste t-student para amostras pareadas, bem como com os dados de Coelho e colaboradores.¹⁷ O nível de significância estabelecido para o presente estudo foi de 5%.

Artigo 2

Para a avaliação intra-examinador, foi avaliado o nível de concordância através do test t-student pareado – no qual foi feita a comparação entre os pares de médias e também realizada representação por gráficos de Bland-Altman,⁷² utilizando o Software R versão 4.4.2.

Para análise comparativa, as lesões forenses presentes (orifício de entrada, orifício de saída, lesão corto-contusa, área endêntula ou de perda dentária, fratura mandibular e fratura do côndilo) foram avaliadas nas suas extensões verticais, horizontais e área circular (para os orifícios). Os dados foram analisados através do teste Intraclass correlation coefficient (ICC)⁷⁴ a fim de verificar a mensuração da confiabilidade de medidas. O grau de reprodutibilidade dos testes também foi analisado com o t-student pareado e os resultados expostos através de gráficos de Bland-Altman.⁷²

4 RESULTADOS

Apresentam-se, seguir, os dois artigos elaborados em coautoria, tratando do objeto desta pesquisa.

4.1 ARTIGO 1

Reproducibility of human landmarks identification in morphological mandible prototype – major parameters for 3D CBCT approach

Rebeca Menezes Vaz Queiroz Fontes *

Patricia Miranda Leite Ribeiro**

Jeidson Antônio Morais Marques***

Ana Corte-Real****

Introduction: The establishment of anthropometric measurements is of fundamental importance for a correct identification. **Objective:** To evaluate the accuracy and reliability of 2D craniometric landmarks in 3D reconstruction from cone beam computed tomography (CBCT) for forensic human identification. **Methods:** Tomographic images of CBCT were obtained using i-CAT® 3D equipment with voxel size of 0.25, 0.3, 0.4 mm. Ten landmarks were randomly selected, and ten measures were demarcated in the three-dimensional reconstruction to evaluate the mandibular condyle, ramus and body. **Results:** This study demonstrated that protocols with voxels of 0.3 mm must be preferably indicated in the evaluation of the linear and angular measurements. **Conclusion:** Implementing this methodology of prototypes as conditions of clinical and forensic simulation allows the comparison of the human database in identification issues.

Key points:

- Through image capture, 3D evaluation and interpretation has been shown to be an important tool for forensic analysis.
- The establishment of anthropometric measurements through human landmarks for linear and angular measurements is of fundamental importance for a correct identification *post-mortem*.
- Training and performing periodic quality controls of the measurement technique allow anthropometrists to prove the reliability of the method used.

Keywords: Cone-Beam Computed Tomography; Anatomic Landmarks; Mandible.

*Corresponding author. Institute of Health Sciences, Federal University of Bahia, Brazil. ORCID-ID: [0000-0002-0384-7931](https://orcid.org/0000-0002-0384-7931). E-mail address: rebecamvqf@gmail.com

** Dentistry School, Federal University of Bahia, Avenida Araújo Pinho, n. 62-Canela, Salvador, Bahia 40110-040, Brazil. ORCID-ID: [0000-0002-4243-6887](https://orcid.org/0000-0002-4243-6887)

*** State University of Feira de Santana, Bahia, Brazil. ORCID-ID: [0000-0003-3070-7077](https://orcid.org/0000-0003-3070-7077)

**** Forensic Dentistry Laboratory, Faculty of Medicine, University of Coimbra, Azinhaga de Santa Comba, Celas, Coimbra, Portugal. ORCID-ID: [0000-0003-2477-1857](https://orcid.org/0000-0003-2477-1857)

4.1.1 Introduction

In human identification procedures, bones and teeth are generally used because they are extremely resistant structures in the human body. Despite the various technical possibilities existing in forensic anthropology, the absence of biological characteristics that allow to define the identity of an individual in cases of air disasters, automobiles, homicides, fires or victims of natural disasters remains a critical point.^{12,75,76} In many cases forensic professionals are faced with a major challenge: the cause of death and the identification e.g. sex and age estimation, for legal medical expertise.^{46,77-79} Characteristics such as sex, age and height of an individual are of great importance in medical-legal practice and can be determined through some methods, especially in cases where there is an occurrence of skeletonized bodies.⁴⁸

Several technological resources have been developed causing considerable impact on the improvement of the techniques of image capture and resolution of several issues regarding the limitations and obstacles present in the search for elucidation in several cases in the area of science forensics.^{40,62,76}

Through image capture, 3D evaluation and interpretation has been shown to be an important tool for forensic analysis. Among the most used techniques for capturing 3D images, is the Cone Beam Computer Tomography (CBCT). This is an ionizing radiation test using a conical X-ray beam. The anatomical data must then be manipulated and visualized with specialized software. One of the reasons for the popularization of the technique is the introduction of CBCT technology because it offers good quality/resolution images, with low radiation level and lower cost when compared to conventional tomography.⁸⁰

From the capture of three-dimensional (3D) images in forensic sciences, it is possible in addition to performing the forensic studies to develop 3D prototypes by successive deposition of material in layers to form the final volume.^{1,62,76,80} Thus, it becomes possible to print and transform images of the human body into anatomical models.⁸¹ Rapid prototyping allows the creation of detailed projects with precision that can be evaluated from different perspectives, thanks to some processes. One of them is known as computer-aided design (CAD).³⁶ To

materialize virtual objects using CAD, a computer-aided manufacturing (CAM) process was developed. From then on, a virtual file can be transformed into a real object through 3D printing.³⁷

The latest Innovations in 3D Imaging and rapid prototyping procedures are significantly modifying the forensic approaches. With technological advances, the post-death forensics enables the reconstruction of the objects of investigation in 3D.^{9,82,83} The laboratory use of human mandible prototypes has been carried out within dentistry with various functions such as improvement and tests for implantology and maxillofacial surgical planning .⁸⁴⁻⁸⁷ Thus, its use in forensic research increases the possibilities of advances in the various lines of research within this area.

The establishment of anthropometric measurements is of fundamental importance for a correct identification. To ensure correct measurements and interpretations through physical anthropometry it was possible to define, for example, the study of the dimension of the human face through direct measurements that connect defined hard and soft tissue landmarks.^{49-51,78,88} Several forensic studies have used mandibular anthropometric measurements as a parameter for characterization of postmortem identification.⁵²⁻⁵⁵ Because of these studies, human landmarks for linear and angular measurements can be precisely located from these points already established and consolidated in the literature and should be standardized for comparison with previous studies.^{15,16} 3D evaluation and interpretation has been shown to be an important tool for forensic analysis. The possibility of performing anthropometric measurements from 3D models allows forensic sciences to evolve technologically providing reliability and success in the desired elucidations.

The aim of this study was to evaluate the accuracy and reliability of 2D craniometric landmarks in 3D reconstruction from cone beam computed tomography (CBCT) for forensic human identification.

4.1.2 Materials and methods

The present study is an observational research in vitro, executed in the Forensic Dentistry Laboratory of the University of Coimbra. It was approved by the Institutional Research Ethics Committee of University of Coimbra (process number CE- 112/2019).

To implement the methodology, the sample consisted of fourteen mandibular resin prototypes randomly selected, used to simulate several clinical conditions. An alpha value of 5% and beta of 20% were considered for the calculation, obtaining a sample n of 14 specimens required. The calculation was performed considering a test of difference between two means with dependent groups.

The prototypes were fixed with adhesive tape and thus positioned on the equipment, using its chin support and with the mid-sagittal plane perpendicular to the ground to keep them in a position similar to clinical situ. Tomographic images of CBCT were obtained using i-CAT® 3D equipment (i-CAT®, Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, USA) and stored in Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), with voxel size of 0.25, 0.3, 0.4 mm, exposure time of 8/9s and field of view (FOV) of 100–160 mm. After being recorded and stored in DICOM format to avoid data loss, the images were processed, viewed, manipulated and analyzed in 3D with *inVivo* Dental version 5.0, (Anatomage, San Jose, Calif) software.

The measurements of the mandible landmarks were realized in the database of the Laboratory of Forensic Dental Medicine, following the previous of Corte-Real et al.¹⁶ Three evaluations of each mandible were performed separately by two examiners at three different time points with a minimum of 7 day interval. The examiners, with imaging expertise in morphometric analysis of CBCT scans, demonstrated skills for evaluating mandibular images.

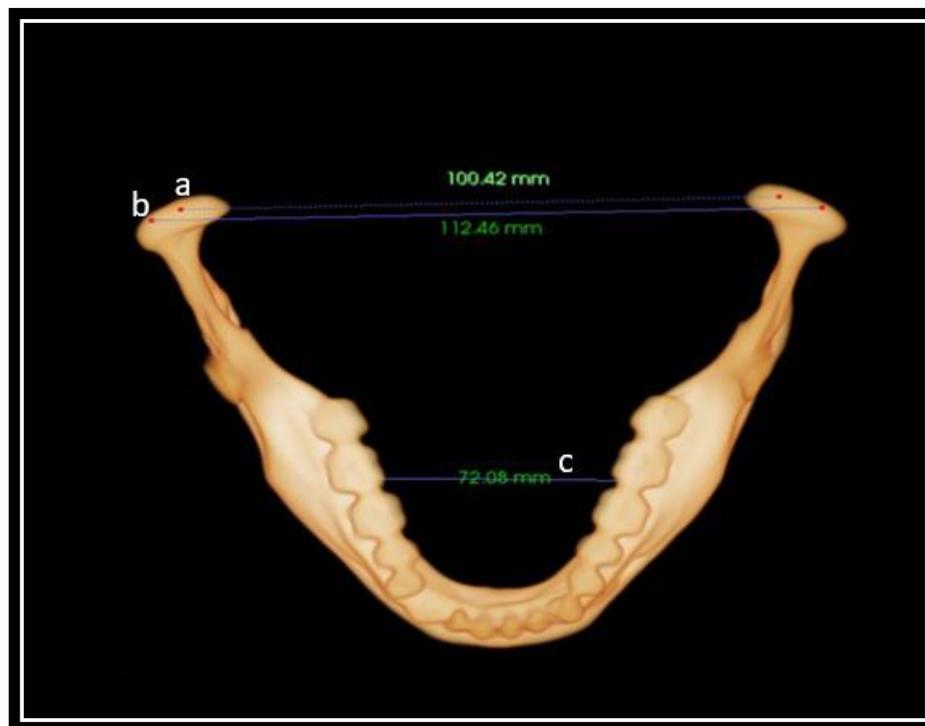
Ten landmarks were randomly selected (figure10) and ten measures (figure10) were demarcated in the three-dimensional reconstruction to evaluate the mandibular condyle, ramus and body, highlighted by Corte-Real et al.¹⁶ From the measures, six linear variables and four angular variables were performed. The selected landmarks and measurements can provide valuable information for mandibular assessment, complementary or as an alternative for the objectives, in extreme forensic situations.¹⁶

Figure 10 - Mandibular measurements performed and craniometric landmarks.

Craniometric Landmarks	Linear Variables		Craniometric Landmarks	Angular Variables	
Right condylian- Left condylian	Intercondylar distance		Condylian- Gonion- Coronoid	Complementary angle	
Right lateral mandibular condyle- Left lateral mandibular condyle	Mandibular opening distance		Coronoid- Gonion- Pogonion	Mandibular opening angle	
Condylian- Coronoid	Condylian-coronoid distance		Right condylian- Pogonion- Left condylian	Intercondylar opening angle	
Condylian-Pogonion	Effective mandibular length		Condylian- Gonion- Pogonion	Gonial angle	
Anterior ramus point- Posterior ramus point	Ramus width				
Right gonion- Left gonion	Intergonial distance				

From the landmarks ten measurements were performed (figure11). At the end of each measurement, data were exported into Excel and saved for subsequent assessment.

Figure 11 - Represent horizontal mandibular anatomical features (bottom and up).



Legend: **a** = Intercondylar distance; **b** = Mandibular opening distance; **c** = Intergonial distance.

Furthermore the measurements obtained in the prototypes were compared with individuals of portuguese nationality and residency, allowing to assume the age and gender. This data was obtained from a previous study conducted by Coelho et al.¹⁷

4.1.3 Statistical analysis

Intra and inter-examiner error was calculated with Technical Error of Measurement (TEM).⁷¹ The data were also analyzed with Bland-Altman method,⁷² using Software R version 4.4.2. Intra-examiner error was calculated for each examiner. Inter-examiner error was calculated using the mean value of the three measurements. Normal distribution of measurements was tested using Shapiro Wilk test.⁷³

The comparison between the pairs of means of anthropometric measurements was evaluated by the t-student test for paired samples as well as with data of the Coelho et al.¹⁷ The level of significance established for the present study was 5%.

4.1.4 Results

Intra and inter-examiner analysis

The TEM index allows anthropometrists to verify the accuracy degree when performing and repeating anthropometrical measurements (intra-examiner) and when comparing their measurement with measurements from other anthropometrists (inter-examiner).⁷¹ Comparison of Technical Error Measurement (TEM) for intra and inter-examiner error in relation to linear and angular variables with different voxel sizes (voxel size of 0.25mm; voxel size of 0.3mm; and voxel size of 0.4mm) showed acceptable errors in intra-examiner and inter-examiner records for all variables.⁷¹ The mean error showed that in 0.3mm voxel was found the smallest error. It was observed mainly in Intercondylar distance, Condylion – coronoid distance, Effective mandibular length, Ramus width and Intergonial distance (Table 1).

Table 1 - Technical Error Measurement (TEM) analysis for intra and inter-examiner error regarding linear and angular variables.

Variables	Intra-examiner TEM (%)	Inter-examiner TEM (%)	Intra-examiner TEM (%)	Inter-examiner TEM (%)	Intra-examiner TEM (%)	Inter-examiner TEM (%)
	0.25		0.3		0.4	
Linear variables						
Intercondylar distance	0,27	0,50	0,09	0,47	0,44	0,48
Mandibular opening distance	0,24	0,38	0,42	0,61	0,45	1,14
Condylion – coronoid distance	0,28	0,50	0,12	0,46	0,12	0,63
Effective mandibular length	0,10	0,09	0,15	0,01	0,02	0,02
Ramus width	0,25	0,25	0,36	0,21	0,15	0,40
Intergonial distance	0,12	0,35	0,03	0,32	0,09	0,52
Angular variables						
Complementary angle	0,43	0,46	0,25	0,58	0,47	0,49
Mandibular opening angle	0,62	0,07	0,29	0,13	0,21	0,49
Intercondylar opening angle	0,16	0,22	0,22	0,13	0,11	0,51
Gonial angle	0,53	0,26	0,22	0,31	0,20	0,36

The reliability analysis calculated the difference between the two measures when repeated by the same examiner (intra-examiner), as well as between different examiners. The values were expressed as mean and standard deviation with their respective confidence intervals. The pairs, when compared by paired t-test, did not show statistically significant difference. The p-values for examiner A ($p=0.920$) and for B ($p=0.424$) were obtained in the paired t-test, and intra-examiner comparisons showed less variability than the comparison made between examiners (table 2).

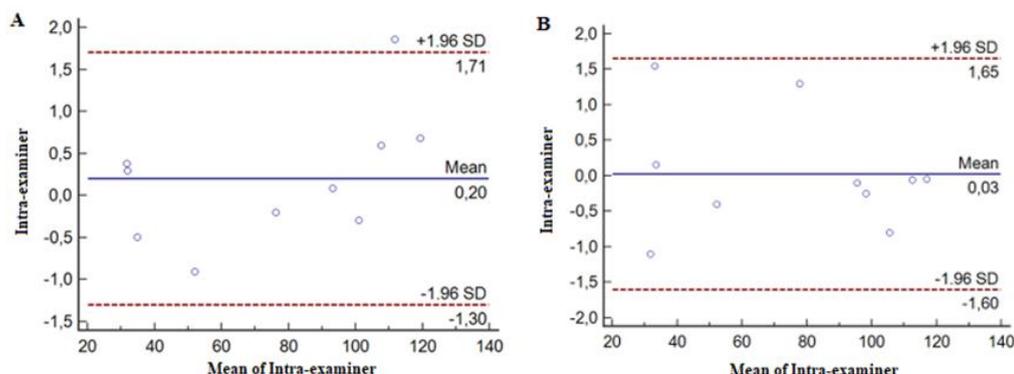
Table 2 - Mean, Standard Deviation, Confidence Interval and p Value

0,3 voxels	M	SD	CI (95 %)		<i>p</i>
			Lower	Upper	
Intra-examiner A	0,027	0,830	-0,567	0,621	0,920
Intra-examiner B	0,203	0,766	-0,345	0,751	0,424
Inter-examiner	-0,298	2,096	-1,798	1,202	0,664

M = Mean
SD = Standard Deviation
CI = Confidence Interval
t = t-Student test
p = p Value

The figure 12 shows a Bland-Altman plot. It displays a scatter diagram of the differences plotted against the averages of the two measurements. Horizontal lines are drawn at the mean difference and at the limits of agreement, that are defined as the mean difference ± 1.96 SD of differences. It can therefore be concluded that if these limits do not exceed the maximum allowed difference between measurements, the two measurements are considered to be in agreement and may be used interchangeably.⁷² The mean difference of the examiner A and B were 0.2 and 0.03, respectively, using the Bland-Altman plot. It was observed that both examiners had measures close to the mean difference and remained within the confidence interval (Figure 12).

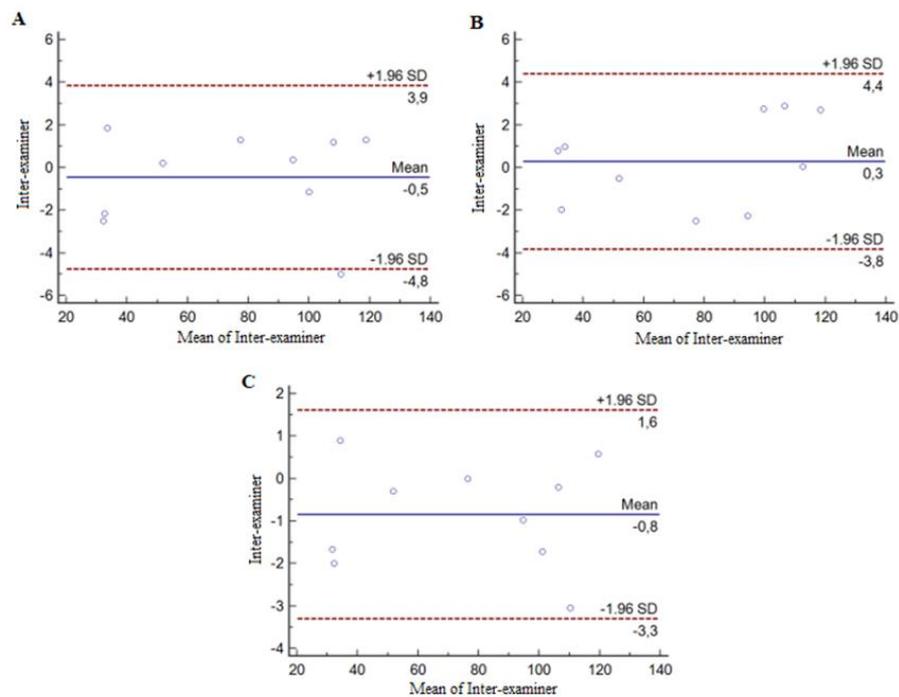
Figure 12 - Bland-Altman plot. A: Mean, Standard Deviation, Confidence interval of examiner A. B: Mean, Standard Deviation, Confidence interval of examiner B.



About the inter-examiner data, the table 2 shows mean = - 0,298, standard deviation = 2,096, confidence interval = -1,798 to 1,202, and p value = 0,664. The inter-examiner reliability of A-B was evaluated with a p value = 0.664, and no statistically significant difference was found. This demonstrates that although the measures found by the examiners were not the same, they are close and did not exceed the limits established by the statistical tests used to verify the reliability of the methods.

In the validity investigation, the Bland-Altman plot (figure 13) confirmed the strong consistency between the examiners through the same method applied, with an average difference of - 0.5 for voxel size of 0.25mm; 0.3 for voxel size of 0.3mm; and - 0.8 for voxel size of 0.4mm. It was also observed that the dispersion of the differences plotted against the means varied according to the magnitude of the measurements and the error observed in the measurements of examiners A and B remained stable, regardless of the variables studied.

Figure 13 - Bland-Altman plots. A: inter-examiner data (voxel size 0,25mm); B: inter-examiner data (voxel size 0,3 mm); C: inter-examiner data (voxel size 0,4mm



).

Comparison analysis

For the linear and angular variables were analyzed mean values and standard deviation and when compared with the same variables evaluated in a reference study for the portuguese population¹⁷ divided into male and female sex, there was no difference between the means of anthropometric measurements, although a significant difference was found between the mean values measured for: effective mandibular length, intergonial distance, mandibular opening angle and gonial angle, in both sexes. (Tables 3 and 4)

The p value showed statistically significant difference between the present study and the reference study in all variables of the female group ($+p < 0.001$) and in the male group did not show significant difference only in the measurements of intercondylar distance ($p= 0,068$), mandibular opening distance ($p=0,121$), condyilion - coronoid distance ($p= 0,299$) and ramus width ($p= 0,682$) (Tables 3 and 4).

As for the standard deviation, low standard deviation was observed indicating that the data points tended to be close to the mean (Tables 3 and 4).

Table 3 - Means (M) and standard deviation (SD) regarding linear and angular variables (present study and reference study - Male)

	M	M (m)	SD	SD (m)	<i>p</i>
Linear variables					
Intercondylar distance	98,83	97,55	1,06	6,56	0,068
Mandibular opening distance	111,04	109,70	1,37	8,02	0,121
Condylion – coronoid distance	34,97	34,51	1,03	3,54	0,299
Effective mandibular length	119,39	83,35	0,02	8,12	< 0,001
Ramus width	31,58	31,44	0,47	3,28	0,682
Intergonial distance	94,42	87,59	0,71	7,57	< 0,001
Angular variables					
Complementary angle	33,50	37,36	1,30	4,68	< 0,001
Mandibular opening angle	76,60	86,04	0,30	5,97	< 0,001
Intercondylar opening angle	52,50	57,46	0,30	4,20	< 0,001
Gonial angle	107,50	118,90	0,70	5,94	< 0,001

M= mean

M (m) = Mean Male

SD = Standard Deviation

SD (m) = Standard Deviation Male

p = *p* Value * t-Student test for paired samples; $p \leq 0,05$.

Table 4 - Means (M) and standard deviation (SD) regarding linear and angular variables (present study and reference study - Female)

	M	M (f)	SD	SD (f)	p
Linear variables					
Intercondylar distance	98,83	95,58	1,06	6,31	< 0,001
Mandibular opening distance	111,04	107,00	1,37	7,00	< 0,001
Condylion – coronoid distance	34,97	33,06	1,03	3,41	< 0,001
Effective mandibular length	119,39	80,47	0,02	6,21	< 0,001
Ramus width	31,58	30,16	0,47	3,40	< 0,001
Intergonial distance	94,42	84,88	0,71	5,44	< 0,001
Angular variables					
Complementary angle	33,50	36,87	1,30	4,01	< 0,001
Mandibular opening angle	76,60	86,21	0,30	6,21	< 0,001
Intercondylar opening angle	52,50	58,20	0,30	3,95	< 0,001
Gonial angle	107,50	118,70	0,70	5,61	< 0,001

M= mean

M (f) = Mean Female

SD = Standard Deviation

SD (m) = Standard Deviation Male

p = p Value * t-Student test for paired samples; p ≤ 0,05.

4.1.5 Discussion

The use of 3D reproduction technology in forensic sciences was first proposed by Abramov et al.,¹ in a study where the use of laser stereolithography in forensic medicine was carried out. Since then, some studies have used 3D printing to elucidate crimes and reduce the number of lawsuits filed for lack of evidence.^{1,8,9, 82,89}

Diverse means of capturing images have advantages and disadvantages when compared to each

other. The advantages of CBCT over panoramic radiographs are 3D analysis, no superimposition or distortion, and the ability to create cross-sectional images. The disadvantages over panoramic imaging are increased radiation dose, acquisition artifacts, and cost.⁹⁰ When comparing CBCT with multislice computed tomography (MDCT), studies have shown that CBCT has a faster scan time with less potential for movement artifacts, less cost, and less radiation exposure to the patient. A major disadvantage is poor soft tissue contrast, which prevents soft tissue assessment.^{41,91}

The use of mandible prototypes in several dental specialities such as implantology, endodontics, and bucomaxillofacial surgery brings to forensic sciences the possibility of using these prototypes in simulations of real situations, making even more viable the study and research in this area in constant development.^{84,86} Post-mortem imaging tests are able to reconstruct the objects targeted for investigation in 3D, in addition to various other utilities such as evaluating parameters such as age, sex and pathologies through various software.^{9,76} The present study proposes that the main advantage of working with prototypes in forensic sciences is the maintenance of the completeness of the original bone.

Nica et al.⁸⁶ aimed in their study to demonstrate the increased efficiency achieved by dental practitioners when carrying out an in vitro training process on a polymeric model 3D-printed before performing in vivo surgery. Yoshimura et al.⁸⁴ used resin mandibles prototypes in their study with the aim to assess the outcome of stereolithographic model-assisted reconstruction of the mandibular condyle with a vascularized fibular flap. The stereolithographic model was used to determine the length and angle of the bony reconstruction.

The software analysis of the 3D reconstruction is related to individual performance during the anthropometric repetitions. Through this analysis can occur variability of the measurements, due to the diversity of the physical characteristics of the analyzed population, by biological variation or due to technical variations.⁹²

In this study, linear and angular measurements already widely used in previous studies in 2D analysis were selected. The following variables were evaluated: intercondylar distance, mandibular opening distance, condylion - coronoid distance, effective mandibular length, ramus width, intergonial distance, complementary angle, mandibular opening angle, intercondylar opening angle and gonial angle in a 3D analysis of the prototypes. The

craniometric landmarks were all chosen based on previous reference studies.⁹³⁻⁹⁶ The possibility of performing anthropometric measurements from 3D models allows forensic sciences to evolve technologically providing reliability and success in the desired elucidations.

In the present study the analysis showed the variation between the means founded by the examiners for each variable. Taking into account the margin of error of the method, it is usually used as a precision index that represents the dimension of quality control of the measure, called TME (technical measurement error).⁹² The TME, which is the standard deviation between repeated measures, is used to calculate intra-examiner and inter-examiner variability.^{57,92,97}

The inter-examiner values are related to non-controllable variables, such as the examiner's skill to identify the craniometric points. It is highlighted in the present study by the previous training of the team research. In addition, to verify whether the differences detected in repeated measurements before and after a training session are a result of that training or a result of the relative variation of the method, the calculation of the TEM allows us to estimate whether the confidence intervals around the actual value of the obtained measurement include these variations, thus ensuring the reliability of the measurements performed. Although the finds were not the same, the findings were close and did not exceed the limits established by the statistical tests used to verify the reliability of the methods.

The way in which the data are collected should be considered when comparing the measurement obtained and the parameters referred to in the literature, due to the small variation between the values acquired directly and indirectly.⁹⁸ The intra and inter-examiner error was acceptable in all linear and angular variables, which confirms the accuracy of the method reported by Corte-Real et al.⁵⁷ and Coelho et al.¹⁷

The images obtained from the different voxel variations allowed to make all the 10 landmarks and measurements. According to Patcas et al.,⁹⁹ it is important to reflect that the comparison of CBCT examinations with various voxel settings is significant to understand the impact of the image quality and also on the reliability and accuracy of the diagnostic outcome. The voxel size may influence noise in the orthogonal sections of an image: the smaller the voxel size, the greater the noise, but also, the higher the spatial resolution.¹⁰⁰

During the present study and analyzing the same measurements for the different voxel sizes it

was concluded that the 0.3 is the most appropriate. Table 1 shows that the TEM values found in voxel 0.3 were lower in both intra-examiner and inter-examiner comparisons for all variables (linear and angular). These results show that volumetric measurements made with CBCT are all similar for voxel sizes despite a slight tendency towards underestimation, which increases with voxel size. At 0.3 mm and beyond, the underestimation of the measurements becomes statistically significant.

Similar findings were found in a study to evaluate the software accuracy of reformatted panoramic views from cone-beam computed tomography (CBCT), using different voxels, the authors showed the smallest error when 0.3 mm voxel was used.⁴³ According to Torres et al.¹⁰¹ the four CBCT protocols evaluated, with voxels of 0.2, 0.25, 0.3 and 0.4 mm, are comparable in terms of accuracy of vertical and horizontal measurements, with no difference between them. Despite this, they argue that protocols with voxels of 0.3 and 0.4 mm should preferably be indicated in the evaluation of linear measures for planning the treatment of dental implants, since the radiation dose is reduced.

According to Corte-Real et al.⁴⁴, their study presented mean values for males significantly higher than for females, except for the gonial angle, showing that there are variations in morphology in relation to sex. These mean values were compared with the results of the present study and significant difference between the mean values measured for both sexes. When comparing both measurements, the portuguese ones used in previous study conducted by Corte-Real et al.⁴⁴ and the one obtained in this present study from the 0.3 voxel, it is possible to confirm that there are some similar values that match with a human male between the age of 7 and 15. Saying this can be assumed that the prototypes can be used to recreate possible or existing forensic cases, allowing a more detailed analysis without damaging or contaminating the original one, showing an important use for this study.

This study showed that it is possible to create reference points in 3D models, showing this to be an important step for the consolidation in the use of prototypes. There is a need of more studies to investigate the influence of other variables in human landmarks for linear and angular measurements besides the influence of voxels in image quality and observer performance, such as selection of reference spots, mouse sensitivity, monitor resolution, efficiency of the software used.

4.1.6 Conclusion

Despite the different protocols available for use in CBCTs, this study demonstrated that protocols with voxels of 0.3 mm must be preferably indicated in the evaluation of the linear and angular measurements.

Implementing this methodology of prototypes as conditions of clinical and forensic simulation, allowing the comparison of the human database in identification issues, makes evident the impact of this approach in the forensic area.

The accuracy of the methods of measurement of anthropometric measurements is increasingly consolidated and through this study evidenced the possibility of performing such 2D craniometric landmarks in 3D reconstruction from cone beam computed tomography (CBCT) for human forensic identification.

4.2 Artigo 2

Assessing the Reproducibility of Three-Dimensional Reconstructions Using CBCT and 3D Printing

Rebeca Menezes Vaz Queiroz Fontes*¹

Patricia Miranda Leite Ribeiro²

Jeidson Antônio Morais Marques³

Ana Corte-Real⁴

*Corresponding author.

Institute of Health Sciences, Federal University of Bahia, Brazil. E-mail address: rebecamvqf@gmail.com . ORCID-ID: [0000-0002-0384-7931](https://orcid.org/0000-0002-0384-7931).

Patricia Ribeiro². Dentistry School, Federal University of Bahia, E-mail address: patricialeiteribeiro@gmail.com . ORCID-ID: [0000-0002-4243-6887](https://orcid.org/0000-0002-4243-6887)

Jeidson Marques³ Faculty of Higher Education of Feira de Santana (UNEF), Brazil. E-mail address: jeidsonmarques@gmail.com . ORCID-ID: [0009-0008-0303-2434](https://orcid.org/0009-0008-0303-2434)

Ana Corte-Real⁴. Forensic Dentistry Laboratory, Faculty of Medicine, University of Coimbra, Coimbra, Portugal. E-mail address: atgoncalves@fmed.uc.pt . ORCID-ID: [0000-0003-2477-1857](https://orcid.org/0000-0003-2477-1857)

HIGHLIGHTS

- Technological advances are potentiating agents for solving forensic cases with greater accuracy and speed.
- Through three-dimensional printing it is possible to recreate 3D forensic evidence and immortalize crime scenes.
- Reproduction of injuries of forensic interest can be performed with precision through 3D printing using the FDM technique.

ABSTRACT

Introduction: The scientific community highlighted the relevance of 3D physical models since the beginning of the XXI century, complementary to three-dimensional (3D) digital volume by computer tomography, to support court discussions on medical-legal issues. The recreation of 3D evidence can be an important tool for investigators and experts, providing a better understanding of the causes and circumstances of the events involved in a crime. **Objective:** The present study aims to assess the reproducibility of 3D printed and 3D tomographic volumes generated from mandibles following simulated forensic injuries, highlighting the recreation of crime tools. **Material and Methods:** Concerning the presented study design, data collection was performed in three phases. Nine simulated injuries of forensic interest were selected (phase 1), and all the mandibles were scanned tomographically, individually, by Cone Beam Computed Tomography (CBCT) (phase 2). Then, in phase 3, the DICOM images were used for 3D printing with the Ender 3® printer by the Fused Deposition Modeling (FDM) technique. The data analysis followed two procedures: the comparison between the artificial mandible and 3D tomographic volume (AT) and the comparison between the artificial mandible and 3D printed volume, or the copy (AC). Data were analyzed using T-Student and ICC tests and presented in Bland-Altman plots. **Conclusion:** The analogic technique applied in 3D printed volume, when compared with computerized technique, using 3D digital images and measurement, showed to be accurate and reproducible. Further studies are needed in search of standardization for three-dimensional measurements in digitized and printed volumes.

Keywords: Cone Beam Computed Tomography; 3D printing; Forensic science.

4.2.1 Introduction

The three-dimensional (3D) technology resources available can contribute specifically to forensics sciences. Traditionally, morphological and osteometric information was collected for analysis with physical handling of remains.⁹

With the advent of technology and entry into the digital age, 3D models have been generated from radiological images of the human body, changing anatomical analysis from a direct to an indirect measurement method.⁹ The computed tomography (CT) and 3D photogrammetry technologies have been used to improve investigations and reduce the number of cases filed due to the absence of evidence.^{1,8,9,82,89-102} In 2020, Corte-Real et al¹⁶ tested the reproducibility of mandibular landmarks in 3D reconstructions, by Cone Beam Computed Tomography (CBCT), focusing on clinical practice and as a facilitator in the success of human identification for forensic and legal purposes.

The scientific community highlighted the relevance of 3D physical models at the beginning of the XXI century to support court discussions on medico-legal issues.^{7,61,103} 3D prototyping techniques have been studied to achieve human physical models or forensic prototypes as a 3D pathway reproducibility of forensic evidence.⁷ The use of technology for 3D reproduction in forensic sciences was pioneered by applying laser stereolithography in forensic medicine.⁶¹ The selection of 3D printing techniques hinges on the specific application, considering material cost, precision, printing speed, and ease of processing. Generally, 3D printing methods fall into two primary categories: those that involve the controlled deposition of material through an extrusion device and those that entail the selective transformation of liquid or powdered material by processes like melting, sintering, bonding, or polymerization.^{38, 104}

Rapid prototyping (RP) is an additive manufacturing technology aided by CAD (Computer-Aided Design) software, producing parts with excellent precision and surface finish. With the constant technical improvements in computer technology, the field of three-dimensional printing (3D), which emerged in the 1980s in the industry field, progressed simultaneously, especially in the health area, which benefited from the new capabilities of assisted manufacturing (CAD/CAM) and 3D printing.¹⁰⁵

Analyzing forensic evidence without direct contact or manipulation with remains is one of the

significant advantages of using techniques for indirect evaluation, highlighted by Jani's study.⁶ It aims to contribute to bite mark and fingerprints analysis, crime scene reconstitution, human identification, recreation of crime tools, prosthetics and forensic molds, assessment of forensic injuries, and also in the reconstruction of accidents and fire scenes - turning 3D digital evidence into a powerful tool to add clarity to expert testimony and reduce possible confusion around scientific or medical evidence.^{5,6,69,106} In 2022, Morris et al¹⁰⁷ provided an overview of the relatively nascent application of 3D printed anatomical models in forensic radiology in a book chapter. They discussed the application and integration of three-dimensional (3D) printing technologies to create accurate and realistic 3D anatomical models in forensic radiology, concluding that it is consistent with the historical development of the field and offers many advantages, including providing physical, life-size replication of injuries, preserving and reproducing human remains long after their disposition, and explaining complex injury patterns that are clear to the expert radiologist but confusing to the layperson.

Concerning the recreation of crime, ballistic issues are included, and injuries caused by firearms are well characterized.²² The forensic study should consider both the entry and exit wound and the path traveled by the projectile inside the body. Recreating three-dimensional evidence can help better understand the causes and circumstances of events involved in crime, providing valuable information for investigations.¹⁰³

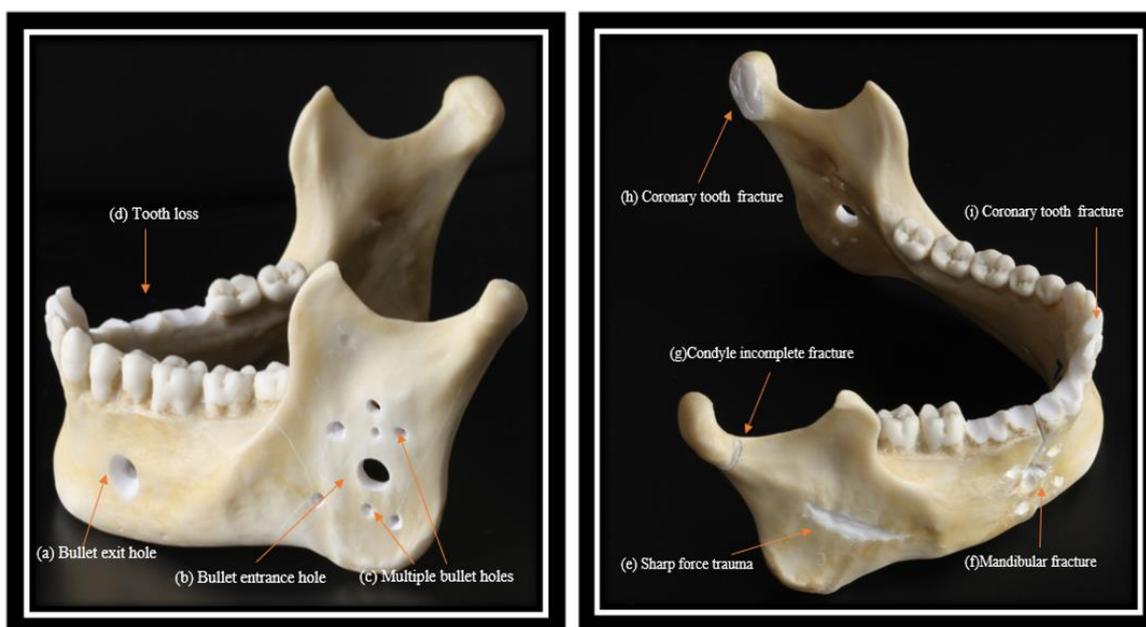
The present study aims to assess the reproducibility of 3D printed and 3D tomographic volumes generated from mandibles following simulated forensic injuries, highlighting the recreation of crime tools.

4.2.2 Material and Methods

An experimental study, as a pilot research, was performed, with the collaboration of two academic institutions, in medicolegal and forensic scope, at the Laboratory of Forensic Dentistry of the University of Coimbra (LMDF-UC), Portugal and at the Laboratory of the Interdisciplinary Center for Forensic Studies and Research Noble of the Faculty of Higher Education of Feira de Santana (NIEPFON-UNEF). The sample consisted of fourteen artificial mandibles, previously validated and studied for forensic proposal to simulate forensic conditions.¹⁰⁸

Nine simulated injuries of forensic interest were selected, following the recent bibliography^{35,68,69,106}, and performed in fourteen artificial mandibles: (i) bullet entrance hole, (ii) bullet exit hole, (iii) multiple bullet holes; (iv) sharp force trauma, (v) tooth loss, (vi) coronary tooth fractures; (vii) mandibular fracture; (viii) condyle incomplete fracture (ix) condyle complete fracture. (Figure 14)

Figure 14 - Injuries of forensic interest.



Legend: (a) Bullet entrance hole; (b) Bullet exit hole; (c) Multiple bullet holes; (d) Tooth loss; (e) Sharp force trauma; (f) Mandibular fracture; (g) Condyle incomplete fracture; (h) Condyle complete fracture; (i) Coronary tooth fractures.

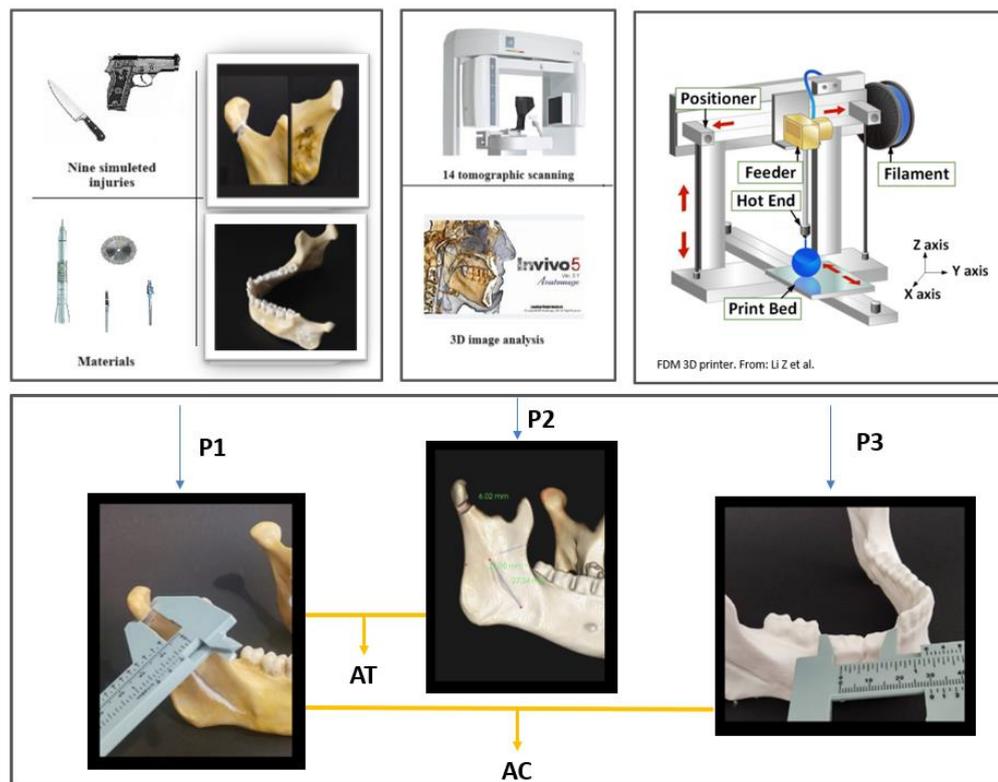
Following previous studies,^{35,68,69,106} a straight piece (Dabi Atlante) and drills were used to perform the simulated injuries. The Tungsten Drill Maxicut 1501 was used to make the bullet entrance hole, tooth loss area, (unit removals - tooth 43; or multiple - teeth 43-46 and 36-38), coronary tooth fractures, and mandibular fracture in the symphysis region. Tungsten Drill Maxicut 1509 - Edenta was used to make the bullet exit hole in the mandibular symphysis and the sharp force in the right mandibular ramus. Diamond disc 915D J (width 0.25 mm) was used to make condylar fractures, one at the base of the condylar process (incomplete fracture) and another with the removal of half of the structure (complete fracture). The Diamond Drill Komet 08 was used to make the multiple bullet holes.

All the mandibles were scanned tomographically, at the LMDF-UC, following the Fontes' study¹⁰⁸, individually, with the CBCT equipment i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, USA), stored in Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), with a voxel size of 0.3 mm, exposure time of 4,8s, and field of view (FOV) of 100–160 mm, and analyzed in 3D with Invivo Dental version 5.0 (Anatomage, San Jose, Calif) software.¹⁰⁸

The previously stored DICOM images were used for 3D printing, at the NIEPFON- UNEF, following Marques's study¹, with Ender 3® printer by Fused Deposition Modeling (FDM) technique, using filament PLA (width 0.2 mm), for 3 hours for each copy. The present study chose PLA - a biodegradable thermoplastic of natural origin and renewable sources, such as corn starch or sugar cane. Its main features include: ease of printing and can be used on any printer- whether open or closed, with or without a heated table; good grip on the printing table; very low contraction; high surface hardness; high visual quality in printing; parts with gloss; excellent adhesion between layers.^{1,109} For each CBCT 3D volume, one 3D printed copy was obtained, in a total of 14 mandible copies.

The research study was performed concerning the study design present in figure 15.

Figure 15 - Study design figure highlighting simulated injuries, CBCT, three phases of data collection followed by data analysis with corresponding measurement of the artificial mandible (gold standard).



110

Legend: phase 1 (P1), phase 2 (P2), and phase 3 (P3). Comparison procedure with InVivo software on 3D tomographic volume (AT), and the comparison with 3D printed as a copy volume (AC).

Data collection

Concerning the study design presented, data collection was performed in three phases. Linear measurements were recorded in **phase 1 (P1)**, on artificial mandibles, with a manual caliper (ecoline) 150mm, graduation: 0.05mm-1/128"; in **phase 2 (P2)**, on 3D tomographic volume, with 3D measurement tools of the InVivo5 software; in **phase 3 (P3)**, on 3D printed volume with a manual caliper (ecoline) 150mm, graduation: 0.05mm-1/128". The data were recorded in Excel 2021 to create the database of the present study, and the area parameter was calculated based on the formula $(\pi \times (d/2))^2$.

Data analysis

All the injuries were analyzed in 3D volumes (tomographic and printed) regarding the corresponding artificial mandible, concerning the number, shape and their anatomical relations.

The data collected in P2 and P3 were analyzed compared to those gathered in phase 1 (gold standard). The data analysis followed two procedures: the comparison between the artificial mandible and 3D tomographic volume (**AT**) and the comparison between the artificial mandible and 3D printed volume, or the copy (**AC**). These comparisons followed craniometric reference landmarks.¹⁶

4.2.3 Statistical analysis

An alpha value of 5% and beta of 20% were considered for the calculation. The calculation was performed considering a test of the difference between two means with dependent groups.

The t-student test and Bland-Altman analysis⁷² (software R version 4.4.2.), were used, for paired samples and intra-examiner evaluation. In Bland-Altman plots, horizontal lines are drawn at the mean difference and at the limits of agreement, that are defined as the mean difference \pm 1.96 SD of differences. It can therefore be concluded that if these limits do not exceed the maximum allowed difference between measurements, the two measurements are considered to be in agreement and may be used interchangeably.⁷²

The Intraclass Correlation Coefficient (ICC) was used for the comparative analysis of the two methods.⁷⁴ ICC estimates and 95% confidence intervals were calculated using SPSS statistical package version 23 (SPSS Inc, Chicago, IL) based on a mean-rating (k = 3), absolute-agreement, 2-way mixed-effects model. According to ICC classification, values less than 0.5 indicate poor reliability, values between 0.5 and 0.75 indicate moderate reliability, values between 0.75 and 0.9 indicate good reliability and values greater than 0.90 indicate excellent reliability.¹⁰²

4.2.4 Results

Qualitative analysis

On 3D tomographic volume, 3D printed volume, and artificial mandibles were measured n=504 linear measurements, including 84 area measures. (Figure 15- study design) For all the variables, correct relations of the simulated injuries' number, shape, and anatomical relations

were obtained between the artificial mandibles and the corresponding 3D tomographic volume or the 3D printed volume.

Quantitative analysis

Intra-examiner analysis

The analysis of the level of agreement between the two measurements repeated by the same examiner for each of the variables (intra-examiner), showed through the difference between the means (paired t-test) that there is reliability in the execution of the method (table 5 is an example). The values were expressed as mean and standard deviation with their respective confidence intervals. When compared by paired t-test, the pairs did not show statistically significant differences.

Table 5 - Intra-examiner analysis of two variables, tooth loss and sharp force trauma. The values were expressed as mean (M) and standard deviation (SD) with their respective confidence intervals (CI) and p value.

Variables	M	SD	CI (95%)	<i>p</i>
Tooth loss	0,042	0,709	-0,367 to 0,451	0,827
Sharp force trauma	-0,035	0,747	-0,467 to 0,395	0,861

Legend:

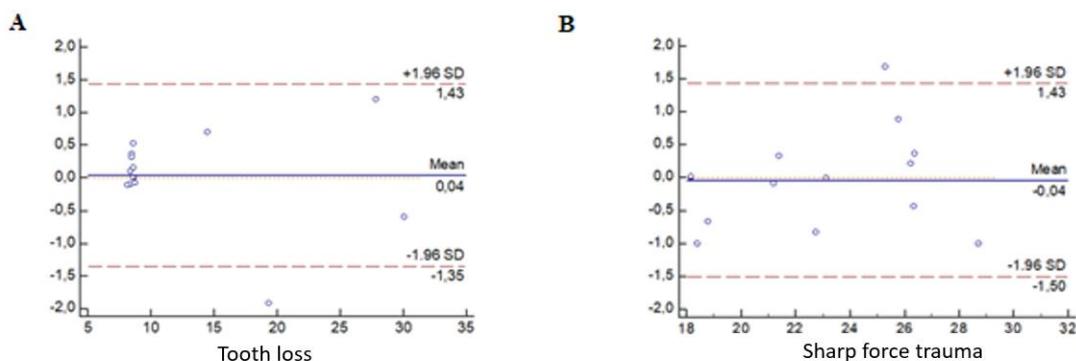
M= Mean

SD= Standard Deviation

CI= Confidence Interval

Regarding the Bland-Altman analysis (figure 16), limits of agreement show randomly distributed points, regardless of the measurement. It is observed that the errors are random, uniform, and within the range of ± 1.96 SD.

Figure 16 - Bland-Altman plots of two variables, tooth loss and sharp force trauma. The values were expressed as mean (Mean) and standard deviation (SD) with their respective confidence intervals (CI).



Comparative analysis

The proportions of total variability attributed to the measured information between the two procedures **AT** (regarding the data analysis between artificial mandibles and the 3D tomographic volume) and **AC** (regarding the data analysis between artificial mandibles and the 3D printed volume) were analyzed by ICC. ⁷⁴

Following Koot's study, about ICC classification¹⁰², values less than 0.5 are indicative of poor reliability, values between 0.5 and 0.75 indicate moderate reliability, values between 0.75 and 0.9 indicate good reliability, and values greater than 0.90 indicate excellent reliability. In the present study the ICC showed that **AT** was excellent in the following variables: bullet entrance hole, bullet entrance area and tooth loss. It was good for bullet exit area and sharp force trauma. For bullet exit hole and condylar complete fracture the ICC was moderate. It was poor for mandibular fracture and condylar incomplete fracture. (Table 6 and figure 17)

Regarding **AC**, it was excellent in the same variables: bullet entrance hole, bullet entrance area, bullet exit area, sharp force trauma, and tooth loss. It was good for bullet exit hole; moderate for mandibular fracture and condylar complete fracture and poor for condylar incomplete fracture. (Table 6 and figure 17)

Table 6 - ICC results for reproducibility analysis.

			CI (95%)		p- value	
	AT	AC	AT	AC	AT	AC
Bullet entrance hole	0.955	0.988	0.457 to 0.990	0.962 to 0.996	< 0.001	< 0.001
Bullet entrance area	0.95	0.985	0.433 to 0.988	0.954 to 0.995	< 0.001	< 0.001
Bullet exit hole	0.657	0.871	-0.118 to 0.891	0.611 to 0.958	0.038	< 0.001
Bullet exit area	0.873	0.952	0.614 to 0.959	0.853 to 0.984	< 0.001	< 0.001
Sharp Force trauma	0.893	0.975	0.660 to 0.966	0.916 to 0.992	< 0.001	< 0.001
Tooth loss	0.982	0.997	0.945 to 0.994	0.992 to 0.999	< 0.001	< 0.001
Mandibular fracture	-1.611	0.604	-21.093 to 0.427	-0.835 to 0.905	0.900	0.107
Condylar complete fracture	0.652	0.63	-0.155 to 0.909	-0.686 to 0.911	0.044	0.091
Condylar incomplete fracture	0.089	-0.224	-0.222 to 0.550	-0.773 to 0.490	0.329	0.777

Legend:

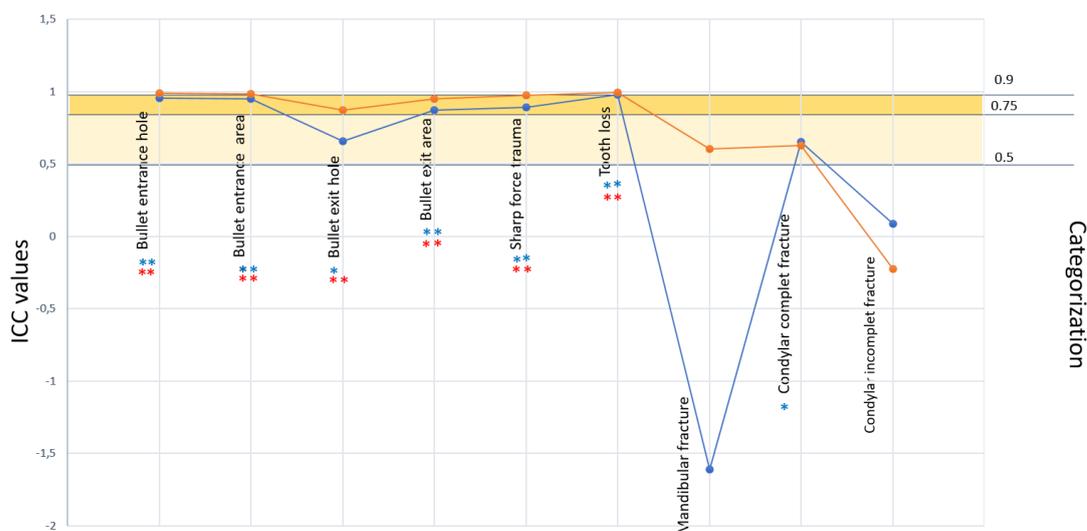
AT= Artificial mandible / Tomographic volume

AC= Artificial mandible / 3D printed volume (copy)

CI= Confidence Interval

According to the ICC, the differences found between AT and AC were statistically significant in both cases for bullet entrance hole, bullet entrance area, bullet exit hole, bullet exit area, sharp force trauma and tooth loss. Despite this, a pattern was identified in the statistical analysis between AT and AC, with concordance with the variables, as can be observed in the plot of ICC results for all variables according to ICC classification. (Figure 17)

Figure 17 - Plot of ICC results for all variables according to ICC classification.



Legend:

Data in blue: AT analysis records

Data in red: AC analysis records

*: p value <0.05 for AC

** : p value <0.001 for AC

*: p value <0.05 for AT

** : p <0.001value for AT

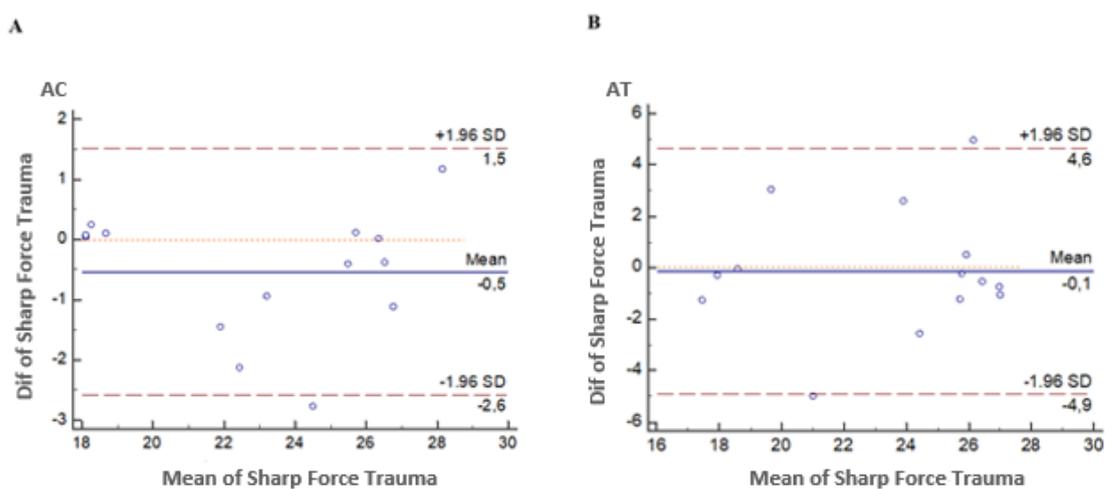
This analysis was also confirmed through the T-student test, where there were statistically significant results in relation to the differences found in the variables bullet entrance hole, bullet entrance area and in the condylar fractures for the pair AT; and also in the variables bullet entrance hole and condylar incomplete fracture for the AC pair. (Table 7)

Table 7 - p-Value of all variables for AT and AC pairs.

Variables	AT	AC
Bullet entrance hole	< 0,001	0,001
Bullet entrance area	0,001	0,789
Bullet exit hole	0,736	0,163
Bullet exit area	0,381	0,186
Sharp force trauma	0,84	0,081
Tooth loss	0,979	0,726
Mandibular fracture	0,476	0,919
Condylar complete fracture	0,011	0,053
Condylar incomplete fracture	0,001	0,005

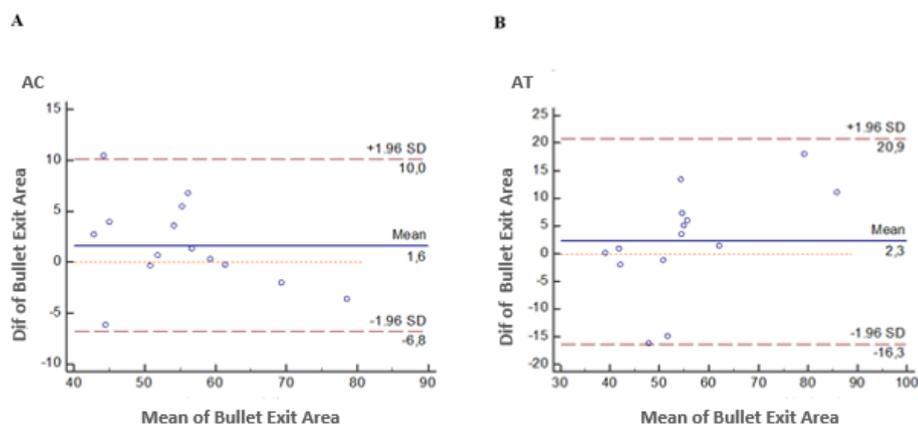
According to the graphic exposure of Bland & Altman applied in this study (figures 18 and 19), AT and AC had measurements close to the mean difference and remained within the limits of the confidence interval. Therefore, the variables sharp force trauma and bullet exit area were among the most concordant when analyzing the difference between the measures by their average. They were represented in the Bland-Altman plot.

Figure 18 - Bland-Altman plot of sharp force trauma. A: - Limits of agreement and mean difference for data of sharp force trauma in AC. B: Limits of agreement and mean difference for data of sharp force trauma in AT.



Legend:SD= Standard Deviation

Figure 19 - Bland-Altman plot of bullet exit area. A: Limits of agreement and mean difference for data of bullet exit area in AC. B: Limits of agreement and mean difference for data of bullet exit area in AT.



Legend: SD= Standard Deviation

4.2.5 Discussion

Our original study strengthens a novel approach to the crime investigation topic, emphasizing 3D printing technology for replicating forensic injuries resulting from potential unlawful acts.²² This approach was performed by comparing 3D printing technology with 3D tomographic reconstruction, a regular complementary exam in clinical diagnosis and treatment plan procedures.

Drawing upon a comprehensive review of forensic literature, the authors selected specific lesions commonly encountered in forensic investigation, such as injuries inflicted by weapons, physical aggression, blunt instruments, and stab wounds.^{28,35,68,69,110-113} These included entrance and exit wounds caused by weapon projectiles, dental avulsions, mandibular fractures in the symphysis region, fractures in the condyle, and sharp force injuries. Brauner's study⁶⁸ identified mandibular injuries as more prevalent (63.6%) of those maxillary injuries by a weapon. Similar results were obtained by Moura et al.²⁸ primarily due to interpersonal violence. Gassner's study¹¹¹ recorded facial bone fractures as the major injury of orofacial trauma (24.3% mandible fractures, namely symphysis region), followed by dentoalveolar injuries (namely avulsions). Maia's study³⁵ reported, on non-fatal gunshot wounds data 23,9% on the face, including 97.4% of extraoral injuries, and 85.7% intraoral injuries; 64.9% with tooth loss and 80.5% facial fractures (mandible region), followed by the maxilla and zygomatic-orbital complex region, in line with Khatib and De Lima's studies.^{112,113}

Three-dimensional technology is crucial in reproducing forensic evidence detailing anatomical characteristics of inanimate objects and injuries.^{68,69,106,108} In this context, CBCT has emerged as a valuable tool. It produces high-resolution bi- or three-dimensional images, ensuring accurate spatial visualization with low radiation exposure. This technology is widely implemented in medical and surgical fields, particularly in areas focused on the head, face, and neck.^{15,114} Von See's study¹¹⁵ analyzed bullet tissue destruction and the location of projectiles separately using CBCT and multi-slice computed tomography; they concluded that CBCT is an improved diagnostic tool for evaluating firearm injuries.

Among 3D technologies, 3D printing stands out for its ability to create precise and detailed representations of real-world objects.^{5,116,117} The most popular extrusion-based printers are based on fused deposition modeling (FDM), relating to the cost efficiency and the ability to

print multicomponent materials using a multi-nozzle printer.¹¹⁸ Kettner's study¹¹⁹ presented an application of RP in forensic medicine using computed tomography scans to fabricate a skull model in a case of fatal hammer impacts to the head, achieving an excellent 3D impression of anatomical structures and injuries. Similarly, Baier's study¹⁰³ created a 3D-printed model of the victim's skull, which was instrumental for the pathologist to determine the circumstances of the assault, particularly regarding the number of assault weapons and the perpetrators of the crime. This study reported one of the earliest examples of 3D-printed physical models used as evidence in a criminal trial in the UK. Furthermore, Gábor Simon's systematic review⁶¹, in 2022, highlighted the potential of 3D printed models, particularly in jurisdictions without a jury (countries with civil law) since the professional participants (judge) may be – theoretically – less exposed to the emotional effects of 3D printed models.

3D printing research fields, such as bite marks, footprint analysis, lip, and fingerprints, in line with Oliveira and Marques' study¹, evaluated the quality of palatal roughness in 3D printed models. The authors concluded that the analysis of the palatine wrinkles in the forensic issues can be performed, emphasizing the type of material and post-processing technique.

El-Katatny's study¹²⁰ demonstrates an outstanding accuracy using the FDM process for the fabrication of anatomical replicas using models of different human sizes and gender in comparison to other established rapid prototyping techniques. Johnson et al.'s study¹²¹ developed a digital approach to 3D dental reconstruction for forensic use using the FDM technique. The 3D printed volumes showed adequate morphology and the odontometric accuracy was 0.24 mm, which is within an acceptable margin of error. They concluded that the 3D replicas can serve as useful evidence in cases of postmortem tooth loss, providing accurate results with minimal error.

Msallem's study¹²² used five different printing technologies to assess the dimensional accuracy for surgical use. Ibrahim's study¹²³ analyzed the capacity of SLS, 3DP and PolyJet models to reproduce mandibular anatomy. The authors employed sequential procedures to produce and measure the models, from the acquisition of CT images of a dry mandible (gold standard) to the descriptive analysis of their replicas. Their result showed that the SLS model had the lowest dimensional error (1.79%) compared to the dry mandible.

The scientific community's focus has been on the accuracy of reproducing anatomical 3D volumes, which encompasses information collection, recording, and data analysis. The present study compared 3D reconstruction from CBCT, a radiological technique, and 3D printing, a post-processing technique. Concerning data collection and recording, both techniques used distinct technological procedures to create a precise 3D model, a 3D reconstruction by DICOM images, and a 3D physical model FDM.^{109,119-121,124}

Concerning data analysis, the present findings presented a general pattern of measurement between both techniques (figure 17). Focusing Lin, Bland, and Altman's studies⁷², in the present study the agreement between techniques (AT and AC) was analyzed. The previous authors proposed statistical methods to evaluate reproducibility, analyzing accuracy for two repeated measures of the same magnitude (agreement) and the variability between the two moments for repeated measures (limits of agreement). According to this, the present results showed that both techniques (AT and AC) had measurements close to the mean difference and remained within the limits of the confidence interval. (Figures 18 and 19)

Furthermore, the 3D printing was highlighted as more accurate to the gold standard than 3D tomography, suggesting error correction. Both techniques used distinct measurement procedures focusing on 3D volumes for CBCT, the 3D software measure tool, and the 3D-printed analogic caliper.^{120,121} According to the ICC (table 6 and figure 17), the best reliability was found in the following variables: bullet entrance hole, bullet entrance area, bullet exit area, tooth loss and sharp force trauma (ICC > 0,8 and p<0.001).

The bi-dimensional tool on tomographic slides could not transfer to a physical printed model. The lower reliability of the 3D software measure by ICC (-1,611 and 0,089) can be related with the results of mandible fracture and condylar incomplete fracture (Figure 17). It can be explained regarding the use of 3D software measure tools in anatomic details measures, and the needed analysis and monitorization of 2D slices for clinical proposal and real treatment plan.¹⁰⁴

4.2.6 Limitation

This study is innovative in terms of reproducibility of injuries of forensic interest, which does not allow even larger comparisons in this specific respect. However, as the techniques improve, the difficulties in prospective studies will be overcome, especially in the analysis of the 3D

software tool that accompanies the new technological advances. Further research to develop a standardized method for measuring and verifying the reproducibility of forensic 3D evidence should be continued.

4.2.7 Conclusion

The present study aligns with previous research, enhancing our understanding and visualization of anatomic details in 3D volumes obtained by 3D technologies. Reproducibility analysis was achieved by radiological and printed techniques, findings were analyzed by the use of and methodology errors as a scientific research. The values found for most variables were considered good to excellent reproducibility in both techniques. The analogic technique applied in 3D printed volume, when compared with computerized technique, using 3D digital images and measurement, showed to be accurate and reproducible. Further studies are needed in search of standardization for three-dimensional measurements in digitalized and printed volumes.

5 DISCUSSÃO

De acordo com os resultados dos dois artigos, houve sucesso na utilização de tecnologias 3D (CBCT e RP), na avaliação da confiabilidade e da reprodutibilidade destas técnicas em contextos forenses. O uso da tecnologia tridimensional permite que os exames forenses pós-morte sejam capazes de reconstruir os objetos-alvo da investigação em 3D, bem como avaliar parâmetros como idade, sexo e patologias através de diversos softwares.⁹ A literatura aborda também o uso dessas tecnologias como opção para reduzir custos, prazos e impactos invasivos sobre o corpo/evidências em contextos forenses, além de viabilizarem maior agilidade na aplicação da justiça.^{9,10,103} Em concordância com este entendimento, estudos como os de Baier e colaboradores¹⁰³, Blau e colaboradores¹¹ e Errickson e colaboradores¹⁰ mostraram que o uso da reprodução tridimensional em ciências forenses pode contribuir para esclarecer fatos, auxiliar na compreensão de termos técnicos e facilitar a tomada de decisão das autoridades competentes sobre os crimes investigados.

Conforme observado no artigo 1, os pesquisadores avaliaram a acurácia e confiabilidade de marcos craniométricos 2D em reconstrução 3D a partir de CBCT. Já no artigo 2, os pesquisadores analisaram a reprodutibilidade de volumes impressos e do volume tomográfico 3D gerado a partir de mandíbulas artificiais após simulações forenses. Ambos os estudos são resultados da busca por precisão e confiabilidade dessas técnicas a fim de determinar o quão consistentes e confiáveis são as medidas obtidas a partir desses modelos em contextos forenses.

A confiabilidade e validação de marcos craniométricos em contexto forense são aspectos importantes da antropologia forense para a identificação de indivíduos com base em características cranianas. Estudos como os de Corte-Real e colaboradores¹⁶, Coelho e colaboradores¹⁷, e Fuyamada e colaboradores¹⁰⁴ fundamentaram a metodologia aplicada no artigo 1 e foram referências importantes no processo de desenvolvimento do presente estudo. A confiabilidade refere-se à consistência e estabilidade das medições craniométricas realizadas por diferentes examinadores ou em diferentes momentos.^{16,72,102} Para garantir a confiabilidade dos marcos craniométricos em contexto forense, é fundamental que alguns pontos sejam considerados, como: padronização de procedimentos, calibração dos examinadores e testes de repetibilidade (intra-examinador) e reprodutibilidade (inter-examinador). Todas estas recomendações foram rigorosamente seguidas, e além disso, uma extensa revisão de literatura mostrou a validação dos marcos selecionados.^{16,17,45-56,104}

O artigo 1 mostrou, em seus resultados, que o erro encontrado na comparação inter-examinador (utilizando o mesmo método de medição) foi pequeno e permaneceu estável, independentemente das variáveis avaliadas, conforme observado nas representações gráficas de Bland-Altman (figura 13). A análise estatística exposta na tabela 2 revelou que não houve diferença estatisticamente significativa nas avaliações intra-examinador A ($p=0.920$) e B ($p=0.424$) e inter-examinador ($p= 0,664$). Isto, portanto, demonstrou a confiabilidade do método escolhido.

Em concordância com a metodologia aplicada no artigo 1, Lopez-Capp e colaboradores¹³ utilizaram 15 marcos antropométricos em mandíbulas para estimar o sexo em uma amostra da população brasileira. Nos seus resultados, as análises inter e intra-examinadores revelaram que todas as variáveis apresentaram excelentes correlações com coeficientes de correlação intraclass maiores que 0,75. Coelho e colaboradores¹⁷ utilizaram a avaliação de volumes tridimensionais em CBCT para estimar idade e sexo de indivíduos portugueses através de marcos humanos e concluíram que, na análise de todas as variáveis, o volume tridimensional digital apresentou um nível razoável de sensibilidade (67,8%) de acordo com o sexo. Para a predição etária, com todas as variáveis, o modelo apresentou um nível também razoável de sensibilidade, classificando 79,4 indivíduos. Sendo assim, consideraram que os resultados apresentaram elevado nível de significância estatística e adequado reconhecimento dos indivíduos, evidenciando a identificação e imputabilidade criminal.

Outro estudo realizado com egípcios utilizou a largura do ramo mandibular na determinação de idade e sexo, não tendo encontrado diferença estatisticamente significativa para a faixa etária de 7- 17 anos entre homens e mulheres (p -valor = 0.2495), porém encontrou um p -valor < 0.0000 para a faixa etária de 17 a 58 anos. Os autores concluíram que o marco comprimento do ramo mandibular é mais preciso na estimativa da idade do que na determinação do sexo.⁵³

Sobre o uso de 3 diferentes tamanhos de voxels, os resultados no artigo 1 mostraram que o voxel de tamanho 0.3 obteve destaque por ter apresentado o menor erro diante das avaliações feitas (tabela 1). Em concordância, Almeida e colaboradores¹⁵ avaliaram mandíbulas secas que foram digitalizadas usando CBCT com diferentes tamanhos de voxels (0.2, 0.3 e 0.4) e diferentes softwares. Eles concluíram que o software Osirix® apresentou menor erro quando utilizado o voxel 0.3 e que não houve diferença estatisticamente significativa nas distâncias lineares entre as mandíbulas secas e as imagens analisadas. Outro estudo¹²⁵ também avaliou a

acurácia de medidas lineares com diferentes tamanhos de voxels em CBCT e concluiu, através do teste ICC, que as medições em modelos de superfície tridimensionais utilizando tamanho de voxel de 0,25 e 0,40 feitos com o CBCT são precisos em comparação com medições diretas do paquímetro; e que uma maior resolução do voxel não resultou em maior precisão das medidas do modelo de superfície. Liedke e colaboradores¹²⁶, em seu estudo, também concluíram que o voxel 0.3 obteve melhor desempenho com relação aos tamanhos 0.2 e 0.4, devido à associação entre boa qualidade e tempo de exposição intermediário.

Estudos que comparam diferentes tamanhos de voxels possuem importantes pontos de reflexão a partir da seguinte premissa: avaliar o impacto entre melhor qualidade de imagem e o tempo de exposição do indivíduo à radiação.^{101,125,126} Portanto, a influência da resolução do voxel na precisão linear dos modelos produzidos por CBCT precisam de mais investigação, uma vez que o resultado pode ser clinicamente relevante. Vale ressaltar que, do ponto de vista forense, caso a reprodução de imagem não seja para perícias no vivo, o tempo de exposição à radiação não apresenta grandes implicações, desde que haja qualidade suficiente a partir do tamanho do voxel utilizado.

No artigo 1, foi validado o uso de mandíbulas artificiais em estudos forenses quando elas foram comparadas com resultados de marcos antropométricos de um estudo de referência para a população portuguesa¹⁷ dividido em sexo masculino e feminino, e por faixas etárias, e foi concluído que as mandíbulas artificiais utilizadas possuem medidas correspondentes a valores semelhantes do estudo mencionado, que combinam com um homem entre os 7 e os 15 anos. Isto implica em um impacto positivo principalmente para estudos piloto na área forense, pois os protótipos assemelham-se às mandíbulas naturais, correspondendo em forma e relações anatômicas fidedignas, além de possibilitarem a captura de imagem pelo tomógrafo e dispensarem a apreciação ética exigida quando do uso de mandíbulas secas para estudos. Diversos estudos já utilizaram protótipos de mandíbulas, sejam eles em áreas específicas como a implantodontia, nas cirurgias de reconstrução facial, e confecção de próteses.^{84,86} O presente estudo, porém, destaca seu uso na área forense e ressalta que mandíbulas artificiais em resina também foram utilizadas no artigo 2, mas desta vez com lesões simuladas de interesse forense, e possibilitaram a execução do estudo comparativo com excelência.

O resultado quanto à reprodutibilidade das lesões simuladas escolhidas para o artigo 2 mostrou que todas as lesões foram reproduzidas, sendo preservadas a forma, o número e as relações

anatômicas presentes. Destacaram-se as lesões simuladas causadas por projétil de arma de fogo (orifício de entrada e orifício de saída), lesão corto-contusa e de perdas dentárias que foram avaliadas de boa a excelente nas reproduções tomográfica e impressa 3D, segundo a análise estatística com o ICC (tabela 6). Essas lesões foram determinadas para serem reproduzidas após serem verificados registros na literatura sobre a sua ocorrência em situações de contexto forense (sejam elas em vivos – caracterizadas em perícias de corpo de delito por exemplo, ou em mortos – relatadas por estudos e casos de investigação *post-mortem*.^{22,28,35,68,69,111-113}

No que diz respeito aos registros epidemiológicos e características anatômicas das lesões forenses simuladas, Moura e colaboradores²⁸ afirmaram que as fraturas de mandíbula e nasal foram as lesões mais prevalentes dentre os traumas faciais relatados nos estudos analisados em sua pesquisa. Segundo eles, os traumas faciais acometem, preferencialmente, homens na faixa etária de 21 a 30 anos, sendo mais decorrentes de violência interpessoal e acidentes automobilísticos. O consumo de bebidas alcoólicas e/ou drogas foi um fator associado a todas as categorias que ocasionaram traumatismos, caracterizando importantes fatores de variação cultural que repercutem na prevalência destas lesões em diferentes populações.

Com relação às lesões corto-contusas, um estudo⁷⁰ sobre autópsia forense avaliando ferimentos cortantes confirmou características anatômicas da lesão (mais alongada do que profunda; com margens separadas e um eixo longitudinal entre os ângulos), bem como fundamentou que as mortes devido a ferimentos por força afiada são menos comuns do que aquelas causadas por trauma contundente, ferimentos de bala, mecanismos asfixiantes e toxicidade por drogas. Porém, segundo os autores, dos casos estudados ocorridos em um período de 10 anos e registrados em um instituto de ciências forenses dos Estados Unidos, a forma mais comum de morte associada ao trauma por força aguda foi o homicídio, seguido pelo suicídio.⁷⁰

As lesões por projétil de arma de fogo são importantes indicadores de violência, considerado por estudiosos como um problema de saúde pública, que está diretamente associado ao crescimento dos óbitos (de homens e mulheres), podendo ainda estar presente nos casos registrados de violência doméstica e também de suicídio.¹¹³ Neste mesmo estudo, foi divulgado um relato de caso sobre uma vítima com lesão em face por projétil de arma de fogo, encaminhada para procedimento cirúrgico no departamento de cirurgia buco-maxilofacial e trauma, assim os autores discutiram as características anatômicas dos orifícios de entrada e saída; os corretos procedimentos cirúrgicos, pois o projétil se encontrava alojado na região

posterior da maxila; e também abordaram o quanto a mandíbula é afetada no sentido das fraturas pelo impacto destruidor do projétil.¹¹³

A reprodução das lesões forenses no presente estudo foi feita para comparação de duas técnicas que permitem mensurações lineares (digital, através do volume tridimensional tomográfico, e manual, nos volumes impressos 3D) com as medidas originais presentes nas mandíbulas artificiais utilizadas (sendo AT e AC, respectivamente – Artigo 2). As análises comparativas foram realizadas e verificadas quais as lesões (variáveis em estudo) que foram bem reproduzidas em cada uma das técnicas (CBCT e impressão 3D- técnica FDM). O CBCT é uma tecnologia estabelecida que oferece benefícios significativos em termos de diagnóstico, planejamento de tratamento e vem sendo amplamente utilizado em estudos de antropologia forense, por exemplo.⁵⁶⁻⁵⁸ Já a técnica de finalização impressa por deposição de material camada a camada FDM (utilizada no presente estudo) destaca-se entre as demais por ser acessível e de baixo custo, além de permitir uma variedade de materiais de impressão (incluindo o PLA).^{4,38,121} A escolha da técnica de impressão, porém, depende das necessidades individuais do projeto e dos materiais desejados.

A concordância encontrada na avaliação intra-examinador e inter-examinador nos artigos 1 e 2 foi exposta em gráficos propostos por Bland & Altman. No artigo 2 do presente estudo, observou-se que ambos os pares (AT e AC) tiveram medidas próximas da diferença média e permaneceram dentro do intervalo de confiança, logo, isso sugere que os métodos são concordantes e podem ser usados de forma intercambiável para medir a mesma variável. No entanto, é importante lembrar que uma análise de Bland-Altman não informa sobre a acurácia absoluta dos métodos, apenas sobre sua concordância relativa. Portanto, outros fatores, como tempo de execução da técnica, custo, praticidade e precisão absoluta, também devem ser considerados ao escolher entre os métodos tomográficos e impressão 3D para uma aplicação específica.

A análise estatística através do ICC também mostrou que as duas técnicas são confiáveis. Apesar disso, através da impressão tridimensional, observou-se que as mensurações lineares realizadas com instrumento de medição manual apresentaram menos variações do que com a medição digital no volume tridimensional (segundo amplitudes do intervalo de confiança demonstrado na tabela 6). Além disso, os valores encontrados nos volumes impressos aproximaram-se mais das mandíbulas que originaram ambos os volumes (padrão ouro).

Concluiu-se que, referente à precisão, de uma maneira geral, tanto as mensurações em volumes digitais quanto em volumes impressos foram precisas (apesar do destaque percebido em AC) porque avaliou-se quanto à consistência das medidas, ou seja, quão próximas foram entre si quando feitas medições repetidas das mesmas variáveis.

As análises estatísticas com o teste ICC no artigo 2 mostraram que, apesar de a maioria das variáveis ter sido muito bem reproduzida (ICC acima de 0,8) tanto digitalmente quanto na técnica impressa, duas delas (fratura mandibular e fratura condilar incompleta), na técnica de mensuração digital, não foram consideradas confiáveis quanto à sua reprodução (tabela 6). Na fratura mandibular, na região de sínfise, foi realizada uma fixação a fim de reposicionar os fragmentos, o que pode ter gerado artefatos nas imagens avaliadas e causado maiores variações nas medidas encontradas. Já os valores medidos na fratura incompleta em região condilar podem ter sido gerados de maneira ampla, devido ao fato de esta ser a área anatômica mais irregular na mandíbula.

Salmi e colaboradores¹²⁷, em seu estudo sobre a acurácia de modelos médicos, ressaltaram a importância de executar técnicas que sejam comprovadamente confiáveis, tendo em vista que erros no processo de fabricação por manufatura aditiva podem comprometer planejamentos pré-operatórios ou simulações cirúrgicas. Desta mesma maneira, pode-se sugerir que, no contexto forense, a reprodução tridimensional realizada de maneira insatisfatória poderá conduzir os investigadores a uma conclusão equivocada. Por essa razão, é extremamente importante estudar diferentes métodos de reprodução e verificar os erros existentes entre eles.

A diferença entre os dois métodos de medição pode ser devido a várias razões. Segundo o estudo de Msallem e colaboradores⁴, a precisão de um modelo 3D anatômico é afetada pela soma dos erros que ocorrem durante todo o processo de fabricação (desde a captura da imagem, segmentação da imagem, geração do arquivo (STL), pós-processamento STL, fatiamento do arquivo STL para o arquivo de controle da impressora, impressão 3D até o pós-processamento). Todas essas etapas são fortemente dependentes da máquina, do software, e finalmente, do operador. Porém sabe-se que o método de avaliação tridimensional digital está suscetível a erros de calibração ou a interferência na interpretação pela presença de artefatos na imagem.^{115,128,129} Desta forma, é importante identificar e quantificar as fontes potenciais de erro em ambos os métodos.

Outro detalhe importante a ser avaliado diante das análises estatísticas estabelecidas é sobre o contexto clínico da pesquisa, ou seja, se as diferenças encontradas em determinadas variáveis refletem algum impacto do ponto de vista clínico. Levando-se em conta que as mensurações foram feitas em milímetros (mm), sugere-se que tais diferenças devem ser observadas cautelosamente no contexto prático forense, pois poderá variar quanto ao impacto na identificação de diferentes evidências (calibre de um projétil, arma do crime, sexo e idade).

Sobre a comparação de técnicas de reprodutibilidade, Von See Constantin e colaboradores¹¹⁵ avaliaram, através de CBCT e MDCT, o impacto do projétil de arma de fogo sobre os tecidos cometidos. Foram observadas as destruições ósseas causadas pelos projéteis e também a localização onde eles se encontraram alojados na vítima. Os autores concluíram que a utilização do CBCT é superior à MDCT na visualização da destruição óssea na região mais próxima do alojamento do projétil. Também concluíram que o CBCT é uma ferramenta diagnóstica aprimorada para a avaliação de lesões por arma de fogo.

A utilização da técnica de impressão FDM foi bem avaliada quando realizada em diversos estudos¹¹⁸⁻¹²³. Júnior OC³⁸, em seu estudo sobre prototipagem rápida, defendeu que a escolha da técnica de impressão depende da finalidade do protótipo a ser gerado e caracterizou a técnica FDM como sendo uma das mais utilizadas e difundidas no Brasil. Em concordância com a técnica escolhida para imprimir os volumes no presente estudo, Khosravani e colaboradores¹⁰⁹ discutiram o comportamento mecânico da impressora e o impacto nos modelos fabricados com a técnica FDM, utilizando o PLA como material para impressão. Através do estudo, foi concluído que a velocidade de impressão interfere na qualidade do objeto produzido, pois, na velocidade de impressão mais alta, há um tempo de formação mais curto que compromete a força de espécimes impressos.

Os artigos 1 e 2 apresentados como resultado desta tese são complementares no sentido de o primeiro ter avaliado volumes reproduzidos tridimensionais digitalmente (tendo sido observados pontos craniométricos bem estabelecidos) e o segundo possibilitando uma avaliação comparativa entre volumes tridimensionais digitais e impressos (analisando a reprodução de lesões específicas forenses).

6 CONCLUSÃO

Diante da precisão apresentada nas técnicas utilizadas para a reprodução das lesões avaliadas, é possível concluir que tanto a reconstrução tridimensional quanto a impressão 3D são confiáveis, bem como as medidas realizadas nos artigos 1 e 2, como mostraram as avaliações estatísticas. Sendo assim, entende-se que o emprego de testes de reprodutibilidade e de erros de metodologia são imprescindíveis à pesquisa científica.

O presente estudo tem grande relevância no âmbito das ciências forenses, podendo a vir contribuir com seus resultados na utilização de técnicas reprodutivas e no aprimoramento de métodos que venham beneficiar a resolução criminal no contexto forense.

REFERÊNCIAS

1. Oliveira GS, Marques JAM. Uso da Tecnologia de Impressão Tridimensional na Rugoscopia Palatina. *RBOL* 2015; 2(2):20-34.
2. Mowry SE, Jammal H, Myer C 4th, et al. A novel temporal bone simulation model using 3D printing techniques. *Otol Neurotol*. 2015; 36:1562–5.
3. Xu N, Wei F, Liu X, et al. Reconstruction of the upper cervical spine using a personalized 3D-printed vertebral body in an adolescent with Ewing sarcoma. 2016;41: E50–4.
4. Msallem B, Sharma N, Cao S, Halbeisen FS, Zeilhofer HF, Thieringer FM. Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ Printing Technology. *J. Clin. Med.* 2020; 9, 817; doi:10.3390/jcm9030817.
5. Marques, JAM. Food bite marks expertise from intra-oral 3D scanning and 3D printing. *Facere Scientia*.2022.2 (1).
6. Jani G, Johnson A, Marques J, Franco A. Three-dimensional(3D) printing in forensic science–An emerging technology in India. *Annals of 3D Printed Medicine* 1 (2021) 100006. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2021.100006>
7. Abramov SS, Boldyrev NN, Evseev AV, et al. ADOLEC-Possibilidade de uso de método de estereolitografia a laser em medicina legal; *Sudebno-meditsinskaia Ekspertiza*. Maio-junho de 1998; 41 (3): 13-17.
8. Urbanová P, Vojtisek T, Frishons J, Sandor O, Jurda M, Krajsa J. Applying 3D prints to reconstructing postmortem craniofacial features damaged by devastating head injuries. *Legal Med*. 2018; 33:48-52.
9. Vargas BFS, Coutinho MA, Coutinho FS. Impressão 3D na medicina legal e resolução de crimes: revisão integrativa da literatura / 3D printing in forensic medicine and crime solving: integrative literature review. *Rev Med (São Paulo)*. 2021 jan.-feb.;100(1):62-9.
10. Errickson D, Fawcett H, Thompson TJU, Campbell A. The effect of different imaging techniques for the visualisation of evidence in court on jury comprehension. *Int J Legal Med*.2020; 134 (4) 1451-1455, DOI [10.1007/s00414-019-02221-](https://doi.org/10.1007/s00414-019-02221-)
11. Blau S, Phillips E, O'Donnell C, Markowsky G. Evaluating the impact of different formats in the presentation of trauma evidence in court: a pilot study. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2018. DOI: [10.1080/00450618.2018.1457717](https://doi.org/10.1080/00450618.2018.1457717).
12. Corte-Real AT, Vieira DN. Identificação em Medicina Dentária Forense. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2015.
13. Lopez-Capp TT, Rynn C, Wilkinson C, et al. Discriminant analysis of mandibular measurements for the estimation of sex in a modern Brazilian sample. *Int. J Legal Med*. 2017;132: 843-851.

14. Marques JAM, Musse JO, Gois BC, et al. Cone-beam computed tomography analysis of the frontal sinus in forensic investigation. *Int J Morphol.* 2014; 32(2):660-665.
15. Almeida VSM, Bomfim RT, Sobreira ACR, et al. Linear measurement accuracy of CBCT panoramic reconstructions: experimental study with dry human mandibles. *Oral Radiology* 2021; 37: 421-426.
16. Corte-Real AT, Kato RM, Nunes T, et al. Reproducibility of mandibular landmarks for three-dimensional assessment. *Forensic Sci Int. Rep.* 2. 2020.100144.
17. Coelho J, Almiro PA, Nunes T, et al. Sex and age biological variation of the mandible in a Portuguese population- a forensic and medico-legal approaches with three-dimensional analysis. *Science & Justice.*2021;61(6):704-713.
18. Freire E. *Trauma: a doença dos séculos.* São Paulo: Atheneu; 2001.
19. Hussain K, Wijetunge DB, Grubnic S, Jackson IT: A comprehensive analysis of craniofacial trauma. *J Trauma.*1994; 36: 34–47.
20. Giroto JA, MacKenzie E, Fowler C, Redett R, Robertson B, Manson PN: Long-term physical impairment and functional outcomes after complex facial fractures. *Plast Reconstr Surg.*2001; 108:312–327.
21. Dahlberg LL, Krug EG. Violência: um problema global de saúde pública. *Ciê Saúde Colet.* 2007; 11(Sup):1163-78.
22. França GV. *Medicina Legal.* 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.
23. Rodrigues CV, Silva MT, Truzzi OMS. Forensic science: a service approach. *Gest. Prod., São Carlos.* 2010; 4 (17): 843-857.
24. Nucci GS. *Código de processo penal comentado.* 5. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2006. 1214.
25. Le TD, Orman JA, Stockinger ZT, Spott MA, West SA, Mann-Salinas EA, et al. The Military Injury Severity Score (mISS): a better predictor of combat mortality than Injury Severity Score (ISS). *J Trauma Acute Care Surg.* 2016;81(1):114-21.
26. Parreira JG, Rondini GZ, Below C, Tanaka GO, Pelluchi JN, et al. Relação entre o mecanismo de trauma e lesões diagnosticadas em vítimas de trauma fechado. *Rev. Col. Bras. Cir.* 2017; 44(4): 340-347. DOI: 10.1590/0100-69912017004007.
27. Macedo JLMS, Camargo LM, Almeida PF, Rosa SC. Perfil epidemiológico do trauma de face dos pacientes atendidos no pronto-socorro de um hospital público. *Rev Col Bras Cir* 2008; 35(1):9-1.
28. Moura MTFM, Daltro RM, Almeida TF. Facial trauma: a systematic review of literature. *RFO, Passo Fundo.* 2016. 3 (21): 331-337.
29. Fonseca RJ, Barber HD, Powers MP, Frost DE. *Oral and Maxillofacial Trauma.* 4th Edition - November 27, 2013.

30. Zide MF, Kent JN. Indications for open reduction of mandibular condyle fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 1983;1:89-98.
31. Dingman R, Natvig, P. *Surgery official fractures*, W. Saunders Company, USA.1969.142-144.
32. Harborview Radiology University of Washington. Disponível em: <https://faculty.washington.edu/jeff8rob/trauma-radiology-reference-resource/2-hn/dingman-and-natvig-classification-of-mandibular-fractures/>
33. Ward Booth P, Eppley BL, Schmelzeisen R: *Maxillofacial trauma and esthetic facial reconstruction*, ed 2, St. Louis, 2012, Saunders.
34. Instituto de Pesquisa Econômica aplicada. *Atlas de Violência*. Ministério da Saúde. Brasil. 2022. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/filtros-series>.
35. Maia ABP, Assis SGA, Ribeiro FML, Pinto LW. As marcas da violência por arma de fogo em face. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* 2021;87(2) 145-151.
36. Nayar S, Bhuminathan S, Bhat WM. Prototipagem rápida e estereolitografia em odontologia. *J Pharm Bioallied Sci*, 7 (abril (Suppl 1)) (2015), pp. S216 - 219
37. Rocha MS. Desenvolvimento do processo de produção de próteses crâniomaxilofaciais por processos alternativos à fundição. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Julho 2014.
38. Júnior OC, Júnior AS, Neto AI. Rapid prototyping processes by deposition or removal of material in the design of new products- a comparative approach. *ENEGEP 2007*. Brasil. (Portuguese).
39. Giovacchini F, Gilli M, Mitro V, et al. Rapid prototyping: applications in oral and maxillofacial surgery. *J Oral Med Oral Surg*. 2021; 27:11-15.
40. Marques JAM, Musse JO, Gois BC, et al. Cone-beam computed tomography analysis of the frontal sinus in forensic investigation. *Int J Morphol*. 2014; 32(2):660-665.
41. Tang X, Krupinski EA, Xie H, et al. On the data acquisition, image reconstruction, cone beam artifacts, and their suppression in axial MDCT and CBCT – A review. *Med. Phys.*2018;45:761-782.
42. Corte-Real, A., et al., *Cone Beam Computed Tomography (CBCT) Technology and Learning Outcomes in Dental Anatomy Education: E-Learning Approach*. Anatomical Sciences Education, 2021.
43. Almeida VSM, Bomfim RT, Sobreira ACR, et al. Linear measurement accuracy of CBCT panoramic reconstructions: experimental study with dry human mandibles. *Oral Radiology* 2021; 37: 421-426.
44. Corte-Real AT, Kato RM, Nunes T, et al. Reproducibility of mandibular landmarks for three-dimensional assessment. *Forensic Sci Int. Rep.* 2. 2020.100144.

45. Farkas LG. Anthropometry of the head and face. 2a ed. New York: Raven Press. 1994;1-77.
46. Konigsberg, LW, Algee-Hewitt, BF, Steadman, DW. Estimation and evidence in forensic anthropology: sex and race. American journal of physical anthropology. 2009;139(1): 77-90.
47. Lopez-Capp TT, Rynn C, Wilkinson C, et al. Discriminant analysis of mandibular measurements for the estimation of sex in a modern Brazilian sample. Int. J Legal Med. 2017;132: 843-851.
48. Agnihotri AK, Kachhwaha S, Googoolye K, et al. Estimation of stature from cephalo-facial dimensions by regression analysis in Indo-Mauritian population. J Forensic Leg Med. 2011;18, (4):167-172.
49. Duckworth WLH. The international agreement for the unification of anthropometric measurements to be made on the living subject. Am J Phys Anthropol. 1919; 2:61-67.
50. Ludlow JB, Gubler M, Cevidanes L, et al. Precision of cephalometric landmark identification: Cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;136(3):312.
51. Jodi C, Carl NS. A standardized nomenclature for craniofacial and facial anthropometry. International Journal of Legal Medicine. 2016;130(3), 863-879.
52. Hilgers ML, Scarfe WC, Scheetz JP, et al. Accuracy of linear temporomandibular joint measurements with cone beam computed tomography and digital cephalometric radiography. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2005;128(6): 803-811.
53. Motawei SM, Helaly AMN, Aboelmaaty WM, et al. Length of the ramus of the mandible as an indicator of chronological age and sex: a study in a group of Egyptians, Forensic Sci Int. Rep. 2.2020;
54. Martínez-Hernández RM. Determinación del género de acuerdo a las medidas antropométricas del maxilar inferior. Rev Mex Med Forense. 2018; 3(2):25-38.
55. Gillet C, Costa-Mendes L, Rérolle C, et al. Sex estimation in the cranium and mandible: a multislice computed tomography (MSCT) study using anthropometric and geometric morphometry methods. Int. J. Legal Med.2020.
56. Almeida VSM, Bomfim RT, Sobreira ACR, et al. Linear measurement accuracy of CBCT panoramic reconstructions: experimental study with dry human mandibles. Oral Radiology 2021; 37: 421-426.
57. Corte-Real AT, Kato RM, Nunes T, et al. Reproducibility of mandibular landmarks for three-dimensional assessment. Forensic Sci Int. Rep. 2. 2020.100144.
58. Coelho J, Almiro PA, Nunes T, et al. Sex and age biological variation of the mandible in a Portuguese population- a forensic and medico-legal approaches with three-dimensional analysis. Science & Justice.2021;61(6):704-713.
59. Goodman M. Future crimes: tudo está conectado, todos somos vulneráveis e o que

podemos fazer sobre isso. São Paulo: HSM; 2015.

60. Abramov SS, Boldyrev NN, Evseev AV, et al. ADOLEC-Possibilidade de uso de método de estereolitografia a laser em medicina legal; Sudebno-meditsinskaia Ekspertiza. Maio-junho de 1998; 41 (3): 13-17.
61. Simon G, Poor VS. Applications of 3D printing in forensic medicine and forensic pathology. A systematic review. *Annals of 3D Printed Medicine* 8 .2022. 100083. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2022.100083>
62. Nascimento MM, Sarmiento VA, Beal VE, et al. [Identification of individuals through bite marks in food using reverse engineering and rapid prototyping: simulated case]. *Arq Odontol* .2012;48(3):134-41. Portuguese.
63. Woźniak K, Woźniak ER, Moskala A, Pohl J, Latacz K, Dybala B. Weapon identification using antemortem computed tomography with virtual 3D and rapid prototype modeling-A report in a case of blunt force head injury. *Forensic Sci Int*. 2012; 222:29-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.06.012>.
64. Komar DA, Davy-Jow S, Decker SJ, The use of a 3-D laser scanner to document ephemeral evidence at crime scenes and postmortem examinations, *J. Forensic Sci*. 57 (1) (2012) 188–191, <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01915>.
65. P. Urbanová M, Jurda T, Vojtíšek, Krajsa J, Using drone-mounted cameras for on-site body documentation: 3D mapping and active survey, *Forensic Sci. Int*. 281 (2017) 52–62, <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.10.027>.
66. Verolme E, Mieremet A. Application of forensic image analysis in accident investigations, *Forensic Sci. Int*. 2017; 278:137–147. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.06.039>.
67. Nacional Ossos. São Paulo. Site disponível em: <https://ossos.com.br/12285-mandibula-radiopaca-c-todos-os-dentes-p-cranio-9001.html>
68. Brauner E, Laudoni F, Amelina G, Cantore M, Matteo Armida M, et al. Dental Management of Maxillofacial Ballistic Trauma. *J. Pers. Med*. 2021. 11.
69. Eze UO, Ojifinni KA. Trauma Forensics in Blunt and Sharp Force Injuries. *Journal of the West African College of Surgeons* .2022.4 (12).
70. Prahlow JA. Forensic Autopsy of Sharp Force Injuries. *E medicine Medscape*. 2022. 1-29.
71. Martinez LF, Ferreira A. *Análise de Dados Com SPSS Primeiros Passos*. Lisboa.Escolar Editora, 2010
72. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res*. London. 1999; 8: 135-160.
73. Shapiro SS, WILK MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*.1965; 52(3–4):591-611.

74. Fisher RA. Statistical methods for research workers. Edinburgh: Oliver and Boyd; 1954.
75. Araújo LG, Biancalana RC, Terada ASSD, et al. Human identification of victims of mass disasters: the importance and role of Forensic Dentistry. RFO UPF.2013;18(2):224-229.
76. Marques J, Musse J, Caetano C, Corte-Real F, Corte-Real AT. Analysis of bite marks in foodstuffs by computer tomography (cone beam CT) –3D reconstruction. J Forensic Odontostomatol. 2013;31(1) :1-7.
77. Lopez-Capp TT, Rynn C, Wilkinson C, et al. Discriminant analysis of mandibular measurements for the estimation of sex in a modern Brazilian sample. Int. J Legal Med. 2017;132: 843-851.
78. Carvalho SPM, Brito LM, Paiva LAS, et al. Validation of a physical anthropology methodology using mandibles for gender estimation in a Brazilian population. J Appl Oral Sci.2013;21(4):358-62.
79. Tunis TS, Sarig R, Cohen H, et al. Sex estimation using computed tomography of the mandible.Int J Legal Med.2017;131:1691-1700.
80. Sarment DP, Christensen AM. The use of cone beam computed tomography in forensic radiology. J Forensic Radiol Imag. 2014;2(4):173-181.
81. Yossef M, Chen A. Applicability and Limitations of 3D Printing for Civil Structures. Civil, Construction and Environmental Engineering Conference Presentations and Proceedings. 2015;35: 237-246.
82. Edwards J, Rogers T. The Accuracy and Applicability of 3D Modeling and Printing Blunt Force Cranial Injuries.J Forensic Sci. 2017;63(3):683-691.
83. Leonardi RM. 3D Imaging Advancements and New Technologies in Clinical and Scientific Dental and Orthodontic Fields. J Clin Med. 2022; 11:2200.
84. Yoshimura H, Matsuda S, Ohba S, et al. Stereolithographic model assisted reconstruction of the mandibular condyle with a vascularized fibular flap following hemimandibulectomy: Evaluation of morphological and functional outcomes. Oncology Letters. 2017; 14: 5471-5483.
85. Figueiredo SS, Cuccolo EC, Santos RRLQ, et al. The influence of different CBCT image alignment position on the virtual linear measurements of dental implant relationships: a laboratory study. Implant News Perio. 2018;3(1):38-44.
86. Nica DF, Gabor AG, Duma VF. Sinus Lift and Implant Insertion on 3D-Printed Polymeric Maxillary Models: Ex Vivo Training for In Vivo Surgical Procedures. J Clin Med. 2021; 10: 4718-4733.
87. Giovacchini F, Gilli M, Mitro V, et al. Rapid prototyping: applications in oral and maxillofacial surgery. J Oral Med Oral Surg. 2021; 27:11-15.
88. Dirkmaat DC, Cabo LL, Ousley SD, et al. New perspectives in forensic anthropology. Am J Phys Anthropol. 2008;(Suppl 47):33-52.

89. Carew R, Errickson D. Imaging in forensic science: five years on. *J Forensic Radiol Imaging*. 2019; 16: 24-33.
90. Suomalainen A, Esmaeili EP, Robinson, S. Dentomaxillofacial imaging with panoramic views and cone beam CT. *Insights Imaging*. 2015; 6: 1-16.
91. Gaudino C, Cosgarea R, Heiland S, et al. MR-Imaging of teeth and periodontal apparatus: an experimental study comparing high-resolution MRI with MDCT and CBCT. *Eur Radiol*. 2011; 21:2575-2583.
92. Perini TA; Oliveira GL, Ornellas JS; et al. Calculation of technical measurement error in Anthropometry. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2005; 11(1): 81-85. Portuguese.
93. Silva DL, Neto FXP, Carneiro SG, et al. Treacher Collins Syndrome: Review of Literature. *Intl Arch. Otorhinolaryngol*. 2008; 12: 116-121.
94. Chang CC, Steinbacher DM. Treacher Collins Syndrome. *Semin Plast Surg*. 2012; 26: 83-90.
95. Silva RCT, Nascimento EC, Barbosa CTM, et al. [Literature review on Treacher Collins syndrome: embryological and phenotypic descriptions]. *Cadernos de Graduação*. 2018; 4(1): 27-34. Portuguese.
96. Giudice A, Belhous K, Barone S, et al., The use of three-dimensional reconstructions of CT scans to evaluate anomalies of hyoid bone in Pierre Robin sequence: A retrospective study. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2019; 743:1-6.
97. Pederson D, Gore C. Error en la medición antropométrica. In: Norton K, Olds T, editors. *Antropométrica*. Argentina: Biosystem Servicio Educativo. 2000;71-86.
98. Le T, Farkas L, Ngim R, et al. Proportionality in Asian and North American Caucasian Faces Using Neoclassical Facial Canons as Criteria. *Aesth Plast Surg*. 2002; 26: 64-69.
99. Patcas R, Muller L, Ullrich O, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography at different resolutions assessed on the bony covering of the mandibular anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012; 141:41-50.
100. Al-Rawi B, Hassan B, Vandenberghe B, et al. Accuracy assessment of three-dimensional surface reconstructions of teeth from Cone Beam Computed Tomography scans. *J Oral Rehab*. 2010; 37(5): 352-358.
101. Torres MG, Campos PS, Segundo NP, et al. Accuracy of linear measurements in cone beam computed tomography with different voxel sizes. *Implant Dent*. 2012; 21:150–155.
102. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of chiropractic medicine*, 2016; 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>.
103. Baier W, Warnett JM, Payne M, Williams MA. Introducing 3D printed models as demonstrative evidence at criminal trials. *J Forensic Sci*. 2018; 63 (4): 1298-1302.

<https://doi.org/10.1111/1556-4029.13700>.

104. Fuyamada M, Nawa H, Shibata M, Yoshida K, Kise Y, Katsumata A, et al. Reproducibility of landmark identification in the jaw and teeth on 3-dimensional cone-beam computed tomography images. *The Angle Orthodontist*. 2011; 81(5): 843–849. <https://doi.org/10.2319/010711-5.1>
105. Yan X, Gu P. A review of rapid prototyping technologies and systems. *Computer-Aided Design*. 1996; 4 (26): 307-316.
106. Prahlow JA, Ross KF, Lene WJ, Kirby DB. Accidental sharp force injury fatalities. *Am J Forensic Med Pathol*. 2001; 22(4):358-66.
107. Morris JM, Reichard RR, McGee KP. 3D printing in forensic radiology. *3D Printing for the Radiologist*, Elsevier. 2022;157-173.[https://doi: 10.1016/B978-0-323-77573-1.00004-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-77573-1.00004-X).
108. Fontes RMVQ, Nunes TAC, Machado RFS, Ribeiro PML, Marques JAM, Corte-Real A. Reproducibility of human landmarks identification in morphological mandible prototype - major parameters for 3D CBCT approach. *Journal of Research in Forensic Sciences*. 2023. [https://doi: 10.1093/fsr/owad029](https://doi.org/10.1093/fsr/owad029).
109. Khosravani MR, Berto F, Ayatollahi MR, Reinicke T. Characterization of 3D-printed PLA parts with different raster orientations and printing speeds. *Scientific Reports*.2022; 12:1016. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05005-4>.
110. Li Z, Rathore AS, Song C, Wei S, Wang Y, Xu W. PrinTracker: Fingerprinting 3D Printers using Commodity Scanners. 2018;1306-1323. Doi: 10.1145/3243734.3243735.
111. Gassner R, Tuli T, Hachl O, Rudisch A, Ulmer H. Cranio-maxillofacial trauma: a 10 year review of 9.543 cases with 21.067 injuries. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*.2003;31: 51–61.
112. Khatib B, Gelesko S, Amundson M, Cheng A, Patel A, Bui T, et al. Updates in Management of Craniomaxillofacial. Gunshot Wounds and Reconstruction of the Mandible. *Facial Plast Surg Clin N Am*. 2017;25:563–576. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsc.2017.06.007> .
113. De Lima CHR, Ranúzia I, Pereira IF, Vasconcelos BCE. Firearm Injury on Face: Literature Review and Case Report. *Acta Scientific Dental Sciences*. 2018; 2:37-40.
114. Luo T, Shi C, Zhao X, Zhao Y, Xu J. Automatic synthesis of panoramic radiographs from dental cone beam computed tomography data. *PLOS One*.2016;11(6):1-20. DOI:10.1371/journal.pone.0156976
115. Von See C, Bormann KH, Schumann P, Goetz F, Gellrich NC, Rucker M. Forensic imaging of projectiles using cone-beam computed tomography. *Forensic Science International*. 2009; 190: 38–41.
116. Dirnhofer R, Vock P, Thali M, Jackowski C, Potter K. Virtopsy: minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy. *Radiographics*. 2006; 26:1305-33.

117. Thali M, Dirnhofer R, Vock P. The virtopsy approach: 3D optical and radiological scanning and reconstruction in forensic medicine. Boca Raton, Fl.: CRC Press; 2009.
118. Baca D, Ahmad R. The Impact on the Mechanical Properties of Multi-Material Polymers Fabricated with a Single Mixing 1359. Nozzle and Multi-Nozzle Systems via Fused Deposition Modeling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020, 106, 4509–4520, 1360. doi:10.1007/s00170-020-04937-3.
119. Kettner M, Schmidt P, Potente S, Ramsthaller F, Schrodt M. Reverse Engineering—Rapid Prototyping of the Skull in Forensic Trauma Analysis. *J Forensic Sci*, July 2011; 56 (4): 1015-1017. doi: 10.1111/j.1556-4029.2011.01764. x
120. El-Katatny I, Masood SH, Morsi YS. "Error analysis of FDM fabricated medical replicas", *Rapid Prototyping Journal*. 2010;16 (1): 36-43.
121. Johnson A, Jani G, Pandey A, Patel N. Digital tooth reconstruction: An innovative approach in forensic odontology. *JFOS - Journal of Forensic Odonto-Stomatology*. 2019; 37(3): 12-20.
122. Msallem B, Sharma N, Cao S, Halbeisen FS, Zeilhofer HF, Thieringer FM. Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ Printing Technology. *J. Clin. Med.* 2020; 9: 817.
123. Ibrahim D, Broilo TL, Heitz C, De Oliveira MG, De Oliveira HW, Nobre SMW, et al. Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2009; 37: 167-173. doi:10.1016/j.jcms.2008.10.008
124. Phogat A, Chhabra D, Sindhu V, Ahlawat, A. Analysis of Wear Assessment of FDM Printed Specimens with PLA, MultiMaterial and ABS via Hybrid Algorithms. *Mater. Today Proc.* 2022; 62: 37–43.
125. Damstra J, Fourie Z, Huddleston Slater JJ, Ren Y. Accuracy of linear measurements from cone-beam computed tomography-derived surface models of different voxel sizes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137(16) :1–6.
126. Liedke GS, da Silveira HE, Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod.* 2009; 35: 233–5.
127. Salmi M, Paloheimo KS, Tuomi J, Wolff J, Mäkitie A. Accuracy of medical models made by additive manufacturing (rapid manufacturing). *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* .2013;41:603-609.
128. Watzke O, Kalender WA, A pragmatic approach to metal artifact reduction in CT: merging of metal artifact reduced images, *Eur. Radiol.* 2004;14: 849-856.
129. Zhang Y, Zhang L, Zhu XR, Lee AK, Chambers M, Dong L, Reducing metal artifacts in cone-beam CT images by preprocessing projection data, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2007;67: 924-932.

ANEXOS

Anexo A- Submissão Artigo 1 (Aceito para publicação)

Forensic Sciences Research
Reproducibility of human landmarks identification in morphological mandible prototype
- major parameters for 3D CBCT approach
 --Manuscript Draft--

Full Title:	Reproducibility of human landmarks identification in morphological mandible prototype - major parameters for 3D CBCT approach
Manuscript Number:	TFSR-2022-0200R1
Article Type:	Case Report
Keywords:	Cone-Beam Computed Tomography; Anatomic Landmarks; Mandible
Abstract:	The establishment of anthropometric measurements is of fundamental importance for a correct identification. The objective of this study was to evaluate the accuracy and reliability of 2D craniometric landmarks in 3D reconstruction from cone beam computed tomography (CBCT) for forensic human identification. Tomographic images of CBCT were obtained using i-CAT® 3D equipment with voxel size of 0.25, 0.3, 0.4 mm. Ten landmarks were randomly selected, and ten measures were demarcated in the three-dimensional reconstruction to evaluate the mandibular condyle, ramus and body. This study demonstrated that protocols with voxels of 0.3 mm must be preferably indicated in the evaluation of the linear and angular measurements. Implementing this methodology of prototypes as conditions of clinical and forensic simulation allows the comparison of the human database in identification issues.
Order of Authors:	Rebeca Menezes Vaz Queiroz Fontes, M.D. Tiago Alves de Carvalho Nunes Ricardo Filipe dos Santos Machado Patricia Miranda Leite Ribeiro Jeidson Antônio Morais Marques Ana Corte-Real

Anexo B - Submissão Artigo 2 (Aceito para Publicação)

Forensic Science International
**Assessing the Reproducibility of Three-Dimensional Reconstructions Using CBCT and
3D Printing**
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	FSI-D-23-00920
Article Type:	Original Research Article
Keywords:	Cone Beam Computed Tomography; 3D printing; Forensic science
Corresponding Author:	REBECA MENEZES VAZ QUEIROZ FONTES, Ph.D. Federal University of Bahia PORTUGAL
First Author:	REBECA MENEZES VAZ QUEIROZ FONTES, Ph.D.
Order of Authors:	REBECA MENEZES VAZ QUEIROZ FONTES, Ph.D. Patricia Ribeiro Tiago Nunes André Nogueira Jeidson Marques Ana Corte-Real





TERMO DE APROVAÇÃO DA DEFESA PÚBLICA DE TESE

REBECA MENEZES VAZ QUEIROZ FONTES

**REPRODUTIBILIDADE DE EVIDÊNCIAS FORENSES A PARTIR DA
DIGITALIZAÇÃO E IMPRESSÃO 3D**

Salvador, Bahia, 11 de outubro de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA:

 Documento assinado digitalmente
PATRICIA MIRANDA LEITE RIBEIRO
Data: 30/08/2024 14:05:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PROFA. DRA. PATRÍCIA MIRANDA LEITE RIBEIRO_(Examinadora Interna)

Assinado por: **Ana Teresa de Carvalho Martins
Corte-real Gonçalves**
Num. de Identificação: 08447138
Data: 2024.09.13 12:10:11+01'00'

PROFA. DRA ANA TERESA CORTE-REAL (Examinadora Externa)

 Documento assinado digitalmente
VIVIANE ALMEIDA SARMENTO
Data: 04/12/2023 13:44:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PROFA. DRA VIVIANE ALMEIDA SARMENTO (Examinador Interno)

Assinado por: **Duarte Nuno Pessoa Vieira**
Num. de Identificação: 04228569
Data: 2024.09.13 18:11:21 +0100

PROF. DR. DUARTE NUNO PESSOA VIEIRA (Examinador Externo)

 Documento assinado digitalmente
JEIDSON ANTONIO MORAIS MARQUES
Data: 26/03/2024 15:47:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PROF. DR. JEIDSON MORAIS MARQUES (Examinador Externo)