



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA



CAROLINA DE MELO CARVALHO

**RECONSTRUÇÃO FACIAL FORENSE: DESENVOLVIMENTO DE
MARCADORES DE ESPESSURA DE TECIDOS MOLES POR CAD/CAM**

UBERLÂNDIA

2023

CAROLINA DE MELO CARVALHO

**RECONSTRUÇÃO FACIAL FORENSE: DESENVOLVIMENTO DE
MARCADORES DE ESPESSURA DE TECIDOS MOLES POR CAD/CAM**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de
Odontologia da UFU, como requisito
parcial para obtenção do título de
Graduado em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Leite
Beaini

UBERLÂNDIA

2023

RESUMO

A reconstrução facial forense (RFF) é a técnica de aproximar a aparência de um indivíduo sobre a réplica de um crânio, orientada por marcadores de espessura de tecidos moles faciais (METMF) de material variado. Cada METMF possui a espessura dos tecidos em determinado ponto e devem ser recortados, tornando o processo trabalhoso. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo tridimensional de METMF através do processo conhecido como *computer aided design* e *computer aided manufacturing* (CAD/CAM) para confeccionar um conjunto de marcadores passível de impressão para uso em RFFs manuais, que poderá ser distribuído aos Institutos Médicos Legais. Com medidas de tabelas de espessura de tecidos para brasileiros, foram desenhados modelos 3D de METMF de secção quadricular, triangular e semicircular em *software* de CAD, de forma e características a favorecer a impressão. Os protótipos foram verificados no programa de preparação para impressão e em software de CAM, comparados quanto ao consumo de material, tempo, necessidade de suportes, presença de alertas para erros, espessura, força, fatiamento, estabilidade dimensional e aplicabilidade em prática forense simulada. Os três formatos de METMF impressos para ambos os sexos foram viáveis, não apresentaram erros durante o processo de desenho técnico e impressão, não necessitaram de suportes de impressão e atenderam às especificações de espessura e resistência necessárias para sua aplicação prática. Além disso, a estabilidade dimensional dos marcadores foi adequada. A prototipagem dos METMF para uso em RFFs é uma inovação e possui uma relevância social considerável ao contribuir com a otimização do trabalho dos peritos nas RFFs e auxiliar na busca por pessoas desaparecidas não reconhecidas. O trabalho desenvolveu com sucesso protótipos de METMF passíveis de impressão, destacando o modelo de secção triangular como o mais eficiente em termos de consumo de material e tempo de impressão em potencial para produção em escala.

Palavras-chave: Odontologia Legal; Reconstrução Facial Forense; CAD-CAM

ABSTRACT

Forensic facial reconstruction (RFF) is the method of approximating an individual's appearance over a replica of a skull, guided by facial soft tissue thickness (METMF) markers of varied material. Each METMF has the thickness of the tissues at a certain point and must be cut, making it a time-consuming process. The objective of this work was to develop a three-dimensional model of METMF through the process known as computer aided design *and* computer aided manufacturing (CAD/CAM) to make a set of printable markers for use in manual RFFs, which can be distributed to Forensic Medical Institutes. With measurements of fabric thickness tables for Brazilians, 3D models of METMF of square, triangular, and semicircular sections were designed in CAD *software*, with shape and characteristics favoring printing. The prototypes were checked in the print preparation program and in CAM software, compared in terms of material consumption, time, need for supports, presence of alerts for errors, thickness, strength, slicing, dimensional stability, and applicability in simulated forensic practice. The three METMF formats printed for both sexes were viable, did not present errors during the technical design and printing process, did not require printing media and met the thickness and resistance specifications necessary for their practical application. In addition, the dimensional stability of the markers was adequate. The prototyping of METMFs for use in RFFs is an innovation and has considerable social relevance by contributing to the optimization of the work of RFF experts and assisting in the search for unrecognized missing persons. The work has successfully developed printable METMF prototypes, highlighting the triangular section model as the most efficient in terms of material consumption and potential print time for scale production.

Keywords: Forensic Dentistry; Forensic Facial Reconstruction; CAD-CAM

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RFF	Reconstrução Facial Forense
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
AM	<i>Ante-Mortem</i>
PM	<i>Pos-Mortem</i>
ETMF	Espessura de tecidos moles faciais
IMC	Índice de Massa Corporal
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
3D	Tridimensional
METMF	Marcadores de espessura de tecidos moles faciais
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
PLA	Ácido Polilático
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 1- Média em mm da ETMFs nos respectivos pontos craniométricos de homens e mulheres.....	11
Figura 1- Design de METMF em <i>software</i> de CAD <i>Blender</i>	12
Figura 2- Análise dos protótipos no <i>software Autodesk® Mesh-Mixer</i>	13
Figura 3- METMF formatos semicircular, triangular e quadricular para sexo masculino e feminino no <i>software</i> de impressão <i>FlashPrint</i>	14
Tabela 2- Especificações do equipamento e manufatura aditiva.....	15
Figura 4- Manufatura aditiva de METMF no equipamento de impressão <i>FlashForge Adventure 4</i>	15
Figura 5- Conjuntos de METMF impressos nos formatos triangular, quadricular e semicircular para sexo masculino e feminino.....	16
Tabela 3- Resultado das análises dos METMFs para sexo masculino.....	17
Tabela 4- Resultado das análises dos METMFs para sexo feminino.....	18
Tabela 5- Estabilidade dimensional em mm dos METMF para sexo masculino.....	19
Tabela 6 - Estabilidade dimensional em mm dos METMF para sexo feminino.....	20
Figura 6 - Aplicação dos METMF nos formatos triangular, quadricular e semicircular em modelo de crânio artificial.....	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
2.1 Escolha da tabela de espessura de tecidos moles.....	10
2.2 Desenho técnico dos marcadores.....	12
2.3 Manufatura aditiva.....	13
2.4 Análise dos resultados.....	16
3 RESULTADOS.....	17
4 DISCUSSÃO.....	22
5 CONCLUSÃO.....	24
6 REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

A Reconstrução Facial Forense (RFF), também conhecida como aproximação facial forense, é uma técnica que visa estimar a aparência de um indivíduo, combinando métodos científicos e habilidades artísticas para aproximar os tecidos moles sobre o crânio, permitindo o reconhecimento de pessoas desconhecidas¹⁻³.

Para identificação humana são utilizados métodos forenses primários, como datiloscopia, comparação de registros odontológicos e exames de DNA, conforme orientações do guia de desastres em massa da Interpol⁴. No entanto, a aplicação desses métodos requer informações *ante-mortem* (AM) para comparação com os dados *post-mortem* (PM), o que nem sempre é possível de obter devido à falta de documentos e prontuários ou condições dos corpos que podem estar deteriorados⁵⁻⁷.

A RFF, embora não constitua um método primário de identificação humana, demonstra aplicabilidade no campo forense ao permitir a estimativa da aparência facial AM de um indivíduo sugerindo sua identidade^{5,8}. Sendo de grande valia para estreitar as buscas, diminuir o número de supostas vítimas e levar a métodos de identificação, reduzindo o número de exames genéticos, que são onerosos e, consequentemente, reduzindo o tempo de espera até a entrega do corpo à família⁹.

Há debates sobre a confiabilidade e taxa de sucesso das RFF¹⁰. Enquanto alguns autores destacam o papel crucial da habilidade artística, outros questionam sua validade científica devido à imprecisão e subjetividade¹¹⁻¹⁴. Dada a complexidade do reconhecimento facial, sugerem a realização de múltiplas reconstruções com variações sutis, permitindo a identificação de traços distintivos pelo observador que conheceu o indivíduo em vida^{15,16}. Mesmo com níveis variados de precisão, a RFF atende seu propósito ao possibilitar o reconhecimento, auxiliando na identificação^{17,18}.

Na aplicação forense a RFF pode ser bidimensional ou tridimensional e realizada de forma manual ou digital². A reconstrução manual faz uso de massas de modelar sobre um modelo de gesso do crânio, para que não haja alteração ou degradação do crânio original¹⁴. A técnica digital é auxiliada por

computador fazendo a reconstrução em ambiente virtual a partir de digitalização do crânio.

Apesar da disponibilidade da técnica digital para a RFF, é importante notar que o método manual ainda é amplamente adotado e divulgado entre os profissionais¹⁹. Além disso, a reconstrução facial manual oferece a flexibilidade de sobrepor objetos, como brincos, óculos e outros acessórios encontrados junto ao corpo da vítima²⁰.

Para execução das aproximações existem três métodos descritos: o Método Russo, que se baseia na reprodução anatômica dos músculos da face; o Método Americano, que utiliza marcadores craniométricos de referência para espessura de tecidos moles faciais (ETMFs); e o Método de Manchester, que combina elementos dos dois primeiros métodos, sendo o mais aceito e utilizado na literatura^{2,3}.

A ETMF desempenha papel fundamental como a base quantitativa para execução das RFFs, já que dependem, em parte ou integralmente, dos valores de espessura dos tecidos como referência em pontos craniométricos específicos^{1,21}. Recomendam-se a utilização de 32 pontos, incluindo 10 no plano sagital mediano e 11 pares de pontos bilaterais^{1,22}.

Para reprodução manual de métodos como o Americano e Manchester são utilizados marcadores craniométricos de ETMFs³. Entretanto não há um material específico de confecção para esses marcadores, sendo que frequentemente se utilizam palitos de madeira, bastões de cola quente e outros que são individualmente segmentados na espessura de cada ponto, conforme referências científicas previamente estabelecidas^{2,3,8,23}.

Os processos conhecidos como *Computer-Aided Design* (CAD) e *Computer-Aided Manufacturing* (CAM) são dois termos que se referem a tecnologias utilizadas em diversos campos, inclusive na odontologia forense^{24,25}. Com seu surgimento, pode-se padronizar e fabricar objetos em tamanho e características desejáveis, agilizando o processo e otimizando resultados^{26,27}. No entanto, o *design* e impressão depende de vários fatores e saber o posicionamento e forma de objetos que permita estabilidade e reprodutibilidade se torna importante²⁸.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo tridimensional de marcadores de espessura de tecidos moles facial (METMF) utilizando o CAD/CAM para confeccionar um conjunto de marcadores passível de impressão para uso em RFF manuais, que poderá ser distribuído aos Institutos Médicos Legais (IMLs) que solicitarem para perícias de pessoas não identificadas e não reclamadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

CAD envolve o uso de *softwares* de *design* para criar, modificar e otimizar projetos em um ambiente virtual, permitindo a visualização detalhada, simulação e análise de protótipos antes da produção física^{26,29}. E CAM se refere a manufatura que pode ser redutiva utilizando fresadoras ou aditiva por meio de impressoras 3D, ambas as formas fazem o uso de *software* de impressão para automatizar e controlar o processo de fabricação com base nos modelos digitais criados no CAD^{26,29}. Esse estudo visou o desenvolvimento de protótipos de marcadores de espessura de tecidos moles (METM) em ambiente laboratorial utilizando o processo de CAD/CAM, sem a necessidade de envolvimento de animais ou seres humanos, o que dispensou a submissão e aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

2.1 Escolha da tabela de espessura de tecidos moles

Na literatura é mencionada tabelas de medidas de ETMFs, distinguindo em relação a população, etnia, idade, sexo, índice de massa corporal (IMC), técnicas de medição e pontos craniométricos utilizados^{1,21}. As medidas de ETMFs são obtidas através de médias populacionais da mensuração da espessura de tecido em cada ponto craniométrico por meio de técnicas, como sondagem com agulha, paquímetro ou medições radiográficas, avaliações ultrassonográficas além de técnicas de imagem 3D, como tomografia computadorizada ou ressonância magnética^{1,30}.

Foi selecionado a tabela de ETMFs para brasileiros do sexo masculino e feminino¹ obtidas em pesquisas anteriores recente e confirmada por pesquisas em outras regiões⁶ com base em tomografias computadorizadas.

Tabela 1 - Média em mm da ETMFs nos respectivos pontos craniométricos de homens e mulheres.

Pontos craniométricos	Médias em mm		
	Todos	Masculino	Feminino
1. Supra Glabella	3,81	4,23	3,39
2. Glabella	5,32	5,69	4,95
3. Násio	6,50	7,08	5,93
4. Rínio	1,80	1,93	1,67
5. Filtro médio	13,65	14,98	12,32
6. Supra dental	10,95	12,37	9,53
7. Infra dental	11,27	11,25	11,29
8. Supra Emin.	11,10	11,45	10,76
9. Emin. Mento.	10,09	10,76	9,43
10. Mento	7,74	8,39	6,93
11D. Emin. Front. Dir.	3,93	4,38	3,48
11E. Emin. Front. Esq.	3,94	4,46	3,42
12D. Sup. Orb. Dir.	6,70	7,20	6,21
12E. Sup. Orb. Esq.	6,63	7,12	6,14
13D. Sub. Orb. Dir.	5,17	5,35	5,00
13E. Sub. Orb. Esq.	5,09	5,33	4,84
14D. Malar Dir.	19,91	20,39	19,42
14E. Malar Esq.	19,61	20,50	18,71
15D. Lat. Orb. Dir.	8,18	7,39	8,98
15E. Lat. Orb. Esq.	8,81	7,23	10,39
16D. Arc. Zig. Dir.	7,75	8,05	7,44
16E Arc. Zig. Esq.	7,62	7,75	7,48
17D Sup. Glen. Dir	10,40	11,23	10,00
17E Sup. Glen. Esq.	10,26	10,93	9,94
18D. Gônio Dir.	15,17	17,20	13,15
18E. Gônio Esq.	15,27	17,33	13,21
19D. Sup. M2 Dir.	27,09	28,19	26,00
19E. Sup. M2 Esq.	27,27	28,23	26,31
20D. Linha Ocl. Dir.	21,44	22,77	20,10
20E. Linha Ocl. Esq.	21,64	22,89	20,38
21D. Sub M2 Dir.	24,32	25,12	23,52
21E. Sub M2 Esq.	24,76	25,53	23,99

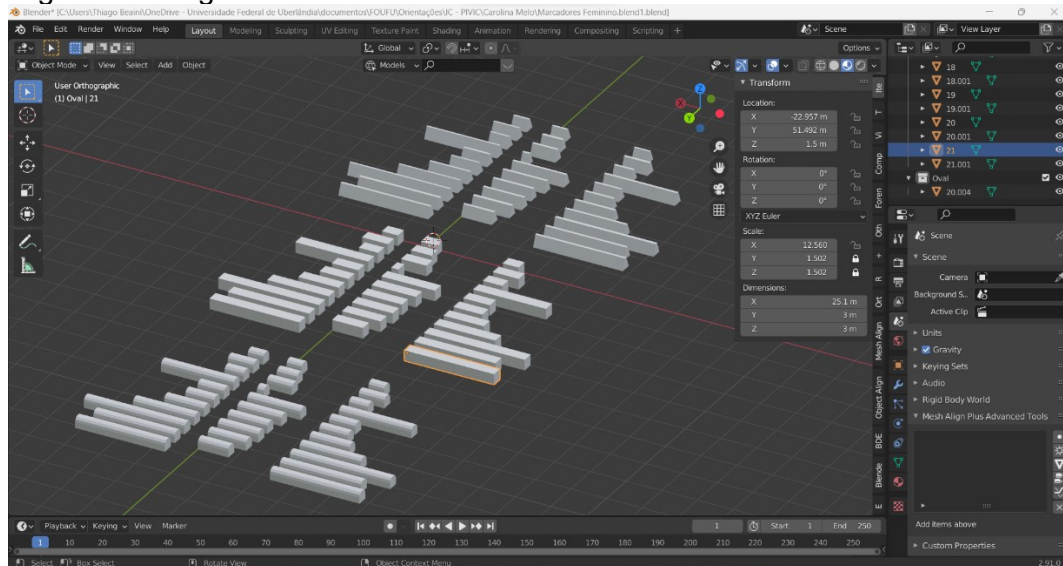
Fonte: Beaini et al., 2021.

2.2 Desenho técnico dos marcadores

Para o *design* tridimensional dos marcadores foi utilizado o *Blender*, um *software* de CAD, que permite realizar criação e modelagem de protótipos. Foram idealizados diferentes desenhos de METMFs, baseados no já utilizados na RFF na técnica manual (Métodos Manchester e Americano) que permitissem uma impressão rápida e que pudessem ser distribuídos e impressos com maior eficiência.

Os METMFs foram modelados em formatos de secção triangular, semicircular e quadrangular, com base nas medidas de ETMF de cada ponto craniométrico utilizado em RFF conforme a tabela 1. Ao todo 32 marcadores de cada formato com 3 cm de base, 3 cm de altura e comprimento de acordo com as respectivas medidas de ETMF foram desenhados digitalmente e unidos de forma que pudessem ser exportados como um arquivo único em estereolitografia (STL) (figura 1).

Figura 1- Design de MTEMF em *software* de CAD *Blender*

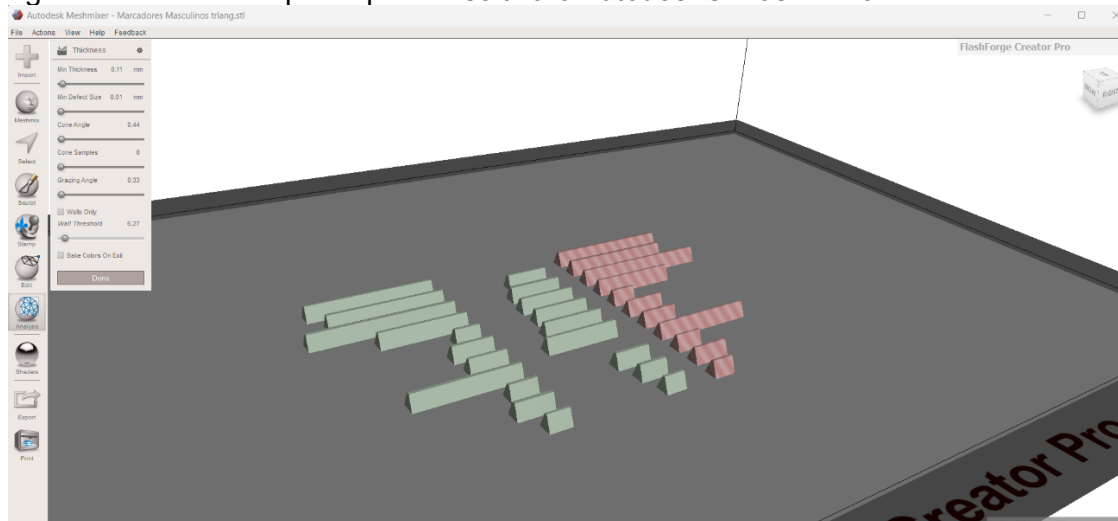


Fonte: Própria

O arquivo dos modelos foi exportado para um outro *software* de CAD, *Mesh-Mixer Autodesk*, que dentre suas funcionalidades possui ferramentas de análise de geometria e que foi utilizado para identificar possíveis problemas nos modelos gerados, como áreas finas, intersecções e sobreposições. Nesse

programa os protótipos foram analisados em relação aos testes de espessura e força a fim detectar e corrigir erros antes da impressão (figura 2).

Figura 2- Análise dos protótipos no *software Autodesk® Mesh-Mixer*



Fonte: Própria

2.3 Manufatura aditiva

Na preparação dos protótipos para impressão foi utilizado o software de CAM *FlashPrint 5*, que é um programa de *slicer* ou fatiamento desenvolvido pela *FlashForge* e nele as especificações de impressão foram ajustadas (figura 3).

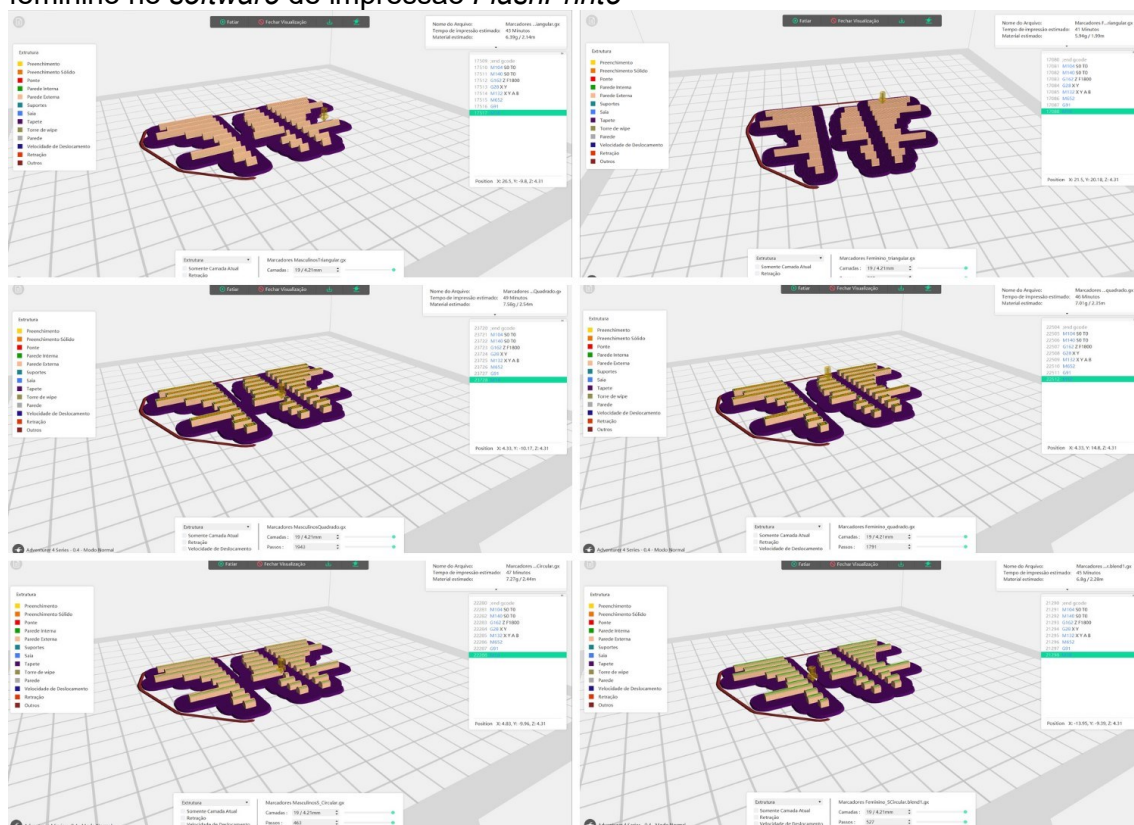
O software converte modelos 3D no formato STL em camadas ou fatias, processo chamado de "*slicing*", a partir daí foi possível analisar e ajustar quanto as características da impressão, otimizados para o equipamento utilizado, calculando o número de camadas, o tempo de impressão e o consumo de material a ser dispensado pela impressora.

As características do equipamento de impressão foram configuradas no *FlashPrint 5* de acordo com o material de impressão e a impressora 3D utilizada. A temperatura do bico extrusor foi de 220° C e da mesa de impressão 55°C e velocidade de impressão de 50 mm/s (tabela 2).

O programa calcula a necessidade, a quantidade e a posição de suportes, que pode ser necessário para suportar estruturas sem apoio durante a impressão. Em cada desenho técnico, a ferramenta de adição de suportes foi acionada.

Finalizado a preparação dos protótipos no software, um arquivo *G-code* foi gerado para converter os modelos 3D dos marcadores em instruções compreensíveis para a impressora 3D.

Figura 3- METMF formatos semicircular, triangular e quadricular para sexo masculino e feminino no *software* de impressão *FlashPrint5*



Fonte: Própria

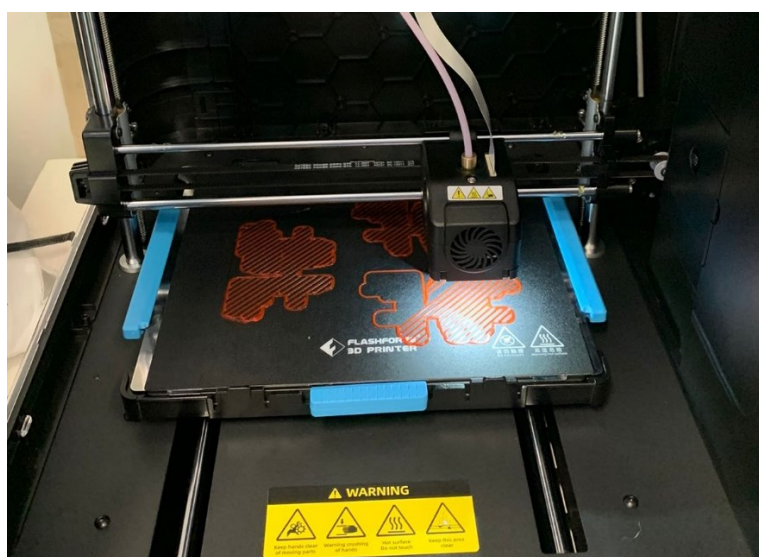
Para manufatura aditiva foi utilizado um equipamento de impressão *FlashForge Adventure 4* (Tabela 2), um modelo de impressora 3D de filamento de extrusão que utiliza a tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM), onde o filamento de material é aquecido e depositado camada por camada para criar o objeto desejado.

E o material utilizado foi o PLA (Ácido Polilático) que é um polímero termoplástico feito com ácido lático a partir de matérias-primas que têm fontes renováveis e possui preço acessível, facilidade de uso e versatilidade⁽³¹⁾.

Tabela 2- Especificações do equipamento e manufatura aditiva

Equipamento	<i>FlashForge Adventure 4</i>
Tecnologia	FDM
Material	PLA – 1,75mm
Temperatura	220°C - Bico / 55°C - Mesa
Altura da camada	Fixa – 0,2mm
Velocidade de impressão	50 mm/s
Volume de Impressão	220x200x250mm
Bico extrusor	0,4mm
Conectividade	USB, WIFI, Flashcloud, Polarcloud
Dimensões da impressora	500 x 470 x 540 mm
Peso da impressora	21 Kg
Tapete	3 camadas com margem de 5mm
Contagem de cascas	2
Preenchimento	10% em linhas de 45°

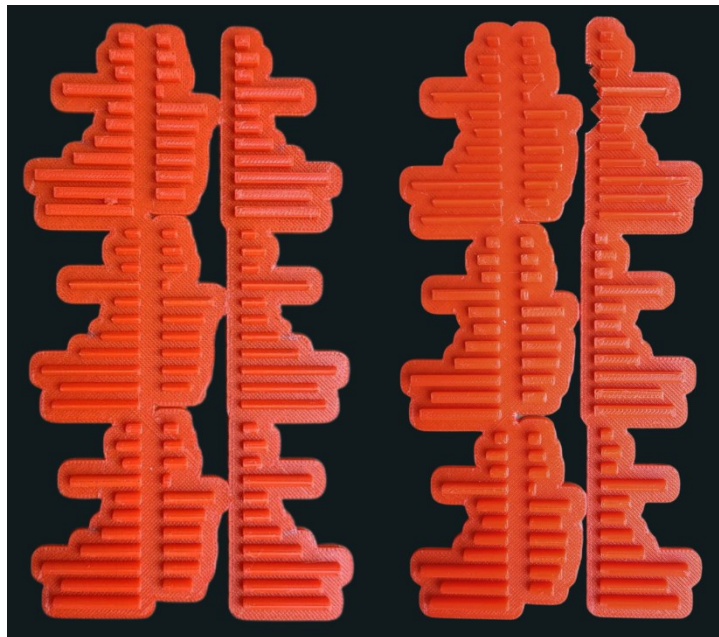
No processo da manufatura aditiva a impressora aquece o filamento de PLA até que ele atinja uma temperatura entre 180°C e 220°C. À medida que o filamento de PLA derretido é extrudado, a impressora 3D move seu bico ao longo dos eixos X, Y e Z, depositando o material camada por camada sobre a mesa do equipamento. Cada camada se solidifica rapidamente à medida que esfria construindo o objeto 3D desejado (figura 4).

Figura 4- Manufatura aditiva de METMF no equipamento de impressão *FlashForge Adventure 4*

Fonte: Própria

Mantendo as características de impressão para todos os modelos de METMF, sendo a única diferença relacionada ao desenho de cada formato de marcador, foram impressos conjuntos com 32 marcadores de secção quadricular, semicircular e triangular e com medidas para o sexo masculino e feminino (figura 5).

Figura 5- Conjuntos de METMF impressos nos formatos triangular, quadricular e semicircular para sexo masculino e feminino



Fonte: Própria

2.4 Análise dos resultados

Foi realizado análises comparativas entre os formatos de METMF, onde foi aferido o tempo total de impressão, quantidade de material consumido, presença de alerta para erros e necessidade de suportes no software de CAM e comparados após impressão.

Os testes de espessura e força aplicado no *software Mesh-Mixer Autodesk* foram analisados em cada formato de METMF. E o fatiamento dos modelos que foi realizado no *FlashPrint 5* também foi analisado para cada formato de METMF.

Os METMF impressos foram avaliados pela estabilidade dimensional, por meio de mensuração direta com uso de paquímetro digital e comparadas à tabela.

Para avaliação da aplicabilidade dos METMF na prática forense, foi realizado uma RFF manual simulada utilizando os três formatos de marcadores em modelo de gesso obtido por meio de um de crânio artificial avaliando a viabilidade, praticidade e facilidade de uso de cada formato.

3. RESULTADOS

O tempo estimado para a impressão dos METMF para sexo masculino nos formatos triangular, quadricular e semicircular ficou entre 43 minutos e 49 minutos. Quanto ao gasto de material, o menor consumo ficou com o marcador triangular e o maior na impressão do quadricular, consumindo entre 6,39 gramas e 7,58 gramas de PLA. Como esperado, os METMF para sexo feminino consumiram um pouco menos de tempo e material. Com tempo entre 41 e 46 minutos, e consumo entre 5,94 gramas e 7,01 gramas de PLA a mesma ordem de eficiência de produção foi observada. Os resultados completos dos testes podem ser observados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3- Resultado das análises dos METMFs para sexo masculino

Análises	Formatos de METMF para sexo masculino		
	Triangular	Quadricular	Semicircular
Quantidade de material	6,39g	7,58g	7,27g
Tempo estimado de impressão	43 min	49 min	47 min
Necessidade de suportes	Não	Não	Não
Presença de alertas para erros	Não	Não	Não
Teste de espessura	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório
Resistência a força	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório
Fatiamento pelo software	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório
Aplicabilidade prática forense	Aplicável	Aplicável	Aplicável

Tabela 4- Resultado das análises dos METMFs para sexo feminino.

Análises	Formatos de METMF para sexo feminino		
	Triangular	Quadricular	Semicircular
Quantidade de material	5,94g	7,01g	6,82g
Tempo estimado de impressão	41 min	46 min	45 min
Necessidade de suportes	Não	Não	Não
Presença de alertas para erros	Não	Não	Não
Teste de espessura	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório
Resistencia a força	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório
Fatiamento pelo software	Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório
Aplicabilidade prática forense	Aplicável	Aplicável	Aplicável

Os três formatos de marcadores para ambos os sexos não apresentaram alertas para erros durante o processo de desenho técnico e nem de impressão. Todos os METMF dispensaram a necessidade de suportes para impressão pelo *software*. Os testes de espessura, força e fatiamento pelos *softwares* utilizados foram satisfatórios para os três formatos de METMF testados para os sexos masculino e feminino.

A estabilidade dimensional dos marcadores mensurada nos três formatos e para o sexo feminino e masculino obtiveram variações menores que 0,5 milímetros em comparação com os valores das médias de ETMFs da tabela utilizada com as medidas de cada marcador impresso (tabelas 5 e 6).

Tabela 5- Estabilidade dimensional em mm dos METMF para sexo masculino.

Número dos Marcadores	Médias em mm das ETMFs (Masculino)	Valores em mm dos marcadores em cada formato					
		Quadrangular	Diferença	Triangular	Diferença	Semicircular	Diferença
1	4,23	4,32	+0,09	4,49	+0,26	4,27	+0,04
2	5,69	5,66	-0,03	5,90	+0,21	5,62	-0,07
3	7,08	6,99	-0,09	7,25	+0,17	6,90	-0,18
4	1,93	2,38	+0,45	2,45	+0,52	2,29	+0,36
5	14,98	14,82	-0,16	15,15	+0,17	14,87	-0,11
6	12,37	12,41	+0,04	12,58	+0,18	12,32	-0,05
7	11,25	11,35	+0,10	11,49	+0,24	11,22	-0,03
8	11,45	11,46	+0,01	11,66	+0,21	11,37	-0,08
9	10,76	10,83	+0,07	11,01	+0,25	10,78	+0,02
10	8,39	8,61	+0,22	8,86	+0,47	8,68	+0,29
11D	4,38	4,43	+0,05	4,63	+0,25	4,58	+0,20
11E	4,46	4,41	-0,05	4,65	+0,19	4,51	+0,05
12D	7,20	7,05	-0,15	7,44	+0,24	7,24	+0,04
12E	7,12	7,07	-0,05	7,30	+0,18	7,21	+0,09
13D	5,35	5,43	+0,08	5,75	+0,40	5,61	+0,26
13E	5,33	5,54	+0,21	5,67	+0,34	5,59	+0,26
14D	20,39	20,28	-0,11	20,25	-0,14	20,35	-0,04
14E	20,50	20,13	-0,37	20,54	+0,04	20,45	-0,05
15D	7,39	7,24	-0,15	7,69	+0,30	7,49	+0,10
15E	7,23	7,46	+0,23	7,62	+0,39	7,51	+0,28
16D	8,05	7,83	-0,22	8,21	+0,16	8,01	-0,04
16E	7,75	7,99	+0,24	8,42	+0,67	8,06	+0,31
17D	11,23	11,20	-0,03	11,27	+0,04	11,17	-0,06
17E	10,93	11,30	+0,37	11,15	+0,22	11,16	+0,23
18D	17,20	17,25	+0,05	17,32	+0,12	17,21	+0,01
18E	17,33	17,02	-0,31	17,42	+0,09	17,16	-0,17
19D	28,19	28,12	-0,07	28,38	+0,19	28,27	+0,08
19E	28,23	28,15	-0,08	28,27	+0,04	28,25	+0,02
20D	22,77	22,85	+0,08	22,96	+0,19	22,83	+0,06
20E	22,89	22,70	-0,19	23,01	+0,12	22,69	-0,20
21D	25,12	25,08	-0,04	25,24	+0,12	25,20	+0,08
21E	25,53	24,99	-0,54	25,36	-0,17	24,96	-0,57

Tabela 6 - Estabilidade dimensional em mm dos METMF para sexo feminino.

Número dos Marcadores	Médias em mm das ETMFs (Feminino)	Valores em mm dos marcadores em cada formato					
		Quadrangular	Diferença	Triangular	Diferença	Semicircular	Diferença
1	3,39	3,52	+0,13	3,38	-0,01	3,58	+0,19
2	4,95	4,86	-0,09	4,97	+0,02	4,98	+0,03
3	5,93	5,81	-0,12	5,92	-0,01	5,95	+0,02
4	1,67	2,08	+0,41	1,95	+0,25	2,00	+0,33
5	12,32	12,30	-0,02	12,28	-0,04	12,22	-0,10
6	9,53	9,57	+0,04	9,56	+0,03	9,54	+0,01
7	11,29	11,33	+0,04	11,40	+0,11	11,27	-0,02
8	10,76	10,81	+0,05	10,95	+0,19	10,76	0,00
9	9,43	9,49	+0,06	9,57	+0,14	9,52	+0,09
10	6,93	7,01	+0,08	7,09	+0,16	7,02	+0,09
11D	3,48	3,80	+0,32	3,56	+0,08	3,74	+0,26
11E	3,42	3,64	+0,22	3,57	+0,15	3,69	+0,27
12D	6,21	6,13	-0,08	6,36	+0,15	6,09	-0,12
12E	6,14	6,23	+0,09	6,22	+0,08	6,04	-0,10
13D	5,00	5,18	+0,18	5,24	+0,24	5,18	+0,18
13E	4,84	5,12	+0,28	5,16	+0,32	5,09	+0,25
14D	19,42	19,37	-0,05	19,59	+0,17	19,28	-0,14
14E	18,71	19,31	+0,50	19,32	+0,51	19,36	+0,55
15D	8,98	8,98	0,00	9,04	+0,06	9,01	+0,03
15E	10,39	9,95	-0,44	9,95	-0,44	9,90	-0,49
16D	7,44	7,47	+0,03	7,55	+0,11	7,51	+0,07
16E	7,48	7,58	+0,10	7,58	+0,10	7,48	0,00
17D	10,00	9,91	-0,09	10,06	+0,06	9,96	-0,04
17E	9,94	10,00	+0,06	10,08	+0,14	9,94	0,00
18D	13,15	13,10	-0,05	13,22	+0,07	13,07	-0,08
18E	13,21	13,12	-0,09	13,23	+0,02	13,31	+0,10
19D	26,00	25,98	-0,02	26,08	+0,08	26,00	0,00
19E	26,31	26,24	-0,07	26,06	-0,25	26,16	-0,15
20D	20,10	20,17	+0,07	20,15	+0,05	20,12	+0,02
20E	20,38	20,21	-0,17	20,12	-0,26	20,14	-0,24
21D	23,52	23,59	+0,07	23,57	+0,05	23,57	+0,05
21E	23,99	23,80	-0,19	23,59	-0,40	23,78	-0,21

Os três formatos de marcadores se mostraram viáveis para uso em RFFs manuais, possibilitaram uma aplicação prática e rápida (figura 6).

Figura 6 - Aplicação dos METMF nos formatos triangular, quadricular e semicircular em modelo de gesso obtido de um crânio artificial



Fonte: Própria

4. DISCUSSÃO

A ETMF em cada ponto craniométrico e para cada grupo populacional possui variações de valores em decorrência de características étnicas e raciais, além de idade, sexo e índice de massa corporal (IMC)^{1,6}. A produção dos marcadores pode ser expandida, utilizando as medias de espessura dos tecidos moles faciais das principais afinidades populacionais do mundo. Possuir METMF padronizados e pré-fabricados de acordo com os valores de espessura para cada um dos 32 pontos craniométricos utilizados, sexo e afinidade populacional pode reduzir o tempo de trabalho e a margem de erro de peritos e especialistas da área em suas RFFs.

A forma com que foram projetados os METMFs, nos softwares de CAD, possibilitou a modelagem de um desenho técnico de marcadores em formatos e disposição em que todos dispensaram a necessidade de suportes, tornando o processo de impressão mais rápido e eficiente, além de consumir menor quantidade de material. O PLA foi o material de escolha para materialização dos protótipos devido suas características vantajosas como biodegradabilidade, facilidade de impressão, baixo fator de encolhimento, superfície de alta qualidade em impressões 3D e custo acessível³¹. Um rolo de 1 quilo de filamento de PLA custa cerca de R\$150,00 reais (US\$30,00 dólares) considerando que é consumido uma média de 7 gramas de PLA por conjunto de marcadores, cada conjunto fica em torno de R\$1,05 reais (US\$0,21 dólares) para produção.

As variações de valores nas medidas dos METMF impressos para todos os formatos foram menores que 0,5 milímetros, variações que não interfere significativamente no resultado das RFFs. Portanto a estabilidade dimensional dos marcadores produzidos se mostrou adequada, passível de utilização em contexto forense.

Dentre o processo de escolha de um melhor método está a eficiência do menor consumo de material e tempo de impressão, características desejáveis em todos os processos de produção^{32,33}. Os três formatos de marcadores se mostraram viáveis para utilização, mas o formato triangular necessitou de uma

quantidade menor de material e tempo para produção em comparação com os outros formatos de METMF.

Só no Brasil, cerca de 183 pessoas desaparecem diariamente,³⁴ totalizando um número de mais de 65.000 pessoas desaparecidas por ano. A prototipagem dos METMF para uso em RFFs é uma inovação e possui uma relevância social considerável ao contribuir com a otimização das reconstruções manuais e auxiliar na busca por pessoas desaparecidas não reconhecidas ou não identificadas.

Não há precedentes no Brasil ou no mundo de protótipos de marcadores de espessura de tecidos moles para RFFs manuais impressos em 3D. Os kits de marcadores produzidos podem facilmente ser enviados aos IMLs, em formato digital ou impressos, considerando a leveza de todo o kit, contribuindo com o trabalho de peritos nas RFFs pela técnica manual.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho obteve sucesso em desenvolver e testar três formatos de protótipos de marcadores de espessura de tecidos moles faciais passíveis de serem impressos em 3D e distribuídos na forma de *kit* para IMLs do Brasil. Apesar de todos os modelos apresentarem viabilidade de manufatura aditiva, o de secção triangular apresentou pequenas vantagens no que diz respeito ao consumo de material e tempo de impressão que, ao considerar a produção em escala, representa uma melhor eficiência.

6. REFERÊNCIAS

1. Beaini TL, Miamoto P, Duailibi-Neto EF, Tedeschi-Oliveira SV, Chilvarquer I, Melani RFH. Facial soft tissue depth measurements in cone-beam computed tomography: A study of a Brazilian sample. *Leg Med Tokyo Jpn.* maio de 2021;50:101866.
2. Gupta S, Gupta V, Vij H, Vij R, Tyagi N. Forensic Facial Reconstruction: The Final Frontier. *J Clin Diagn Res JCDR.* setembro de 2015;9(9):ZE26–8.
3. Kundu A, Streed M, Galzi PJ, Johnson A. A detailed review of forensic facial reconstruction techniques. *Med Leg J.* junho de 2021;89(2):106–16.
4. INTERPOL. Disaster victim identification guide [Internet]. Interpol; 2018 [cited 2022 Nov 09]. 31p. Available from: [https://www.interpol.int/en/content/download/589/file/18Y1344 E DVI_Guide.pdf](https://www.interpol.int/en/content/download/589/file/18Y1344_E_DVI_Guide.pdf) (2018).
5. Dietrichkeit JG, Aurelio M. Applicability of forensic facial approximation in the recognition process of unclaimed victims. 2021;39(3):11.
6. Moritsugui DS, Fugiwara FVG, Vassallo FNS, Mazzilli LEN, Beaini TL, Melani RFH. Facial soft tissue thickness in forensic facial reconstruction: Impact of regional differences in Brazil. Wilkinson C, organizador. *PLOS ONE.* 15 de julho de 2022;17(7):e0270980.
7. Tedeschi-Oliveira SV, Melani RFH, de Almeida NH, de Paiva LAS. Facial soft tissue thickness of Brazilian adults. *Forensic Sci Int.* 1º de dezembro de 2009;193(1–3):127.e1-7.
8. Guleria A, Krishan K, Sharma V, Kanchan T. Methods of forensic facial reconstruction and human identification: historical background, significance, and limitations. *Naturwissenschaften.* 20 de fevereiro de 2023;110(2):8.
9. Baldasso RP, Moraes C, Gallardo E, Stumvoll MB, Crespo KC, Strapasson RAP, et al. 3D forensic facial approximation: Implementation protocol in a forensic activity. *J Forensic Sci.* janeiro de 2021;66(1):383–8.
10. Stephan CN, Cicolini J. Measuring the accuracy of facial approximations: a comparative study of resemblance rating and face array methods. *J Forensic Sci.* 2008, Jan;53(1):58-64. doi: 10.1111/j.1556-4029.2007.00622.x.
11. Santos WDF. Mensuração de tecidos moles da face de brasileiros vivos em imagens de ressonância magnética (RM) para fins médico-legais [tese]. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina; 2008.
12. Stephan CN, Simpson EK. Facial soft tissue depths in craniofacial identification (part I): Na analytical review of the published adult data. *J Forensic Sci.* 2008 Nov;53(6):1257-72. doi: 10.1111/j.1556-4029.2008.00852.x.

13. Verzé L. History of facial reconstruction. *Acta Biomed.* 2009. Apr;80(1):5-12.
14. Wilkinson C. Facial reconstruction--anatomical art or artistic anatomy? *J Anat.* fevereiro de 2010;216(2):235–50.
15. Ludlow JB, Gubler M, Cevdanes L, Mol A. Precision of cephalometric landmark identification: cone-beam computed tomography vs conventional cephalometric views. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Sep;136(3):312 e1-10; discussion. doi: 10.1016/j.ajodo.2008.12.018.
16. Starbuck JM, Ward RE. The affect of tissue depth variation on craniofacial reconstructions. *Forensic Sci Int.* 2007.Oct;172(2-3):130-6. DOI: 10.1016/j.forsciint.2007.01.006.
17. Quatrehomme G, Balaguer T, Staccini P, Alunni-Perret V. Assessment of the Accuracy of three-dimensional manual craniofacial reconstruction: a series of 25 controlled cases. *Int J Legal Med.* 2007, Nov;121(6):469-75. DOI: 10.1007/s00414- 007-0197-z.
18. Stephan CN, Cicolini J. Measuring the accuracy of facial approximations: a comparative study of resemblance rating and face array methods. *J Forensic Sci.* janeiro de 2008;53(1):58–64.
19. Herrera LM, Strapasson RAP, Zanin AA, da Silva JVL, Melani RFH. Comparison Among Manual Facial Approximations Conducted by Two Methodological Approaches of Face Prediction. *J Forensic Sci.* setembro de 2017;62(5):1279–85.
20. Stephan CN, Henneberg M. Building faces from dry skulls: are they recognized above chance rates? *J Forensic Sci.* maio de 2001;46(3):432–40.
21. De Almeida NH, Michel-Crosato E, De Paiva LAS, Biazevic MGH. Facial soft tissue thickness in the Brazilian population: New reference data and anatomical landmarks. *Forensic Sci Int.* setembro de 2013;231(1–3):404.e1-404.e7.
22. Rhine JS, Campbell HR. Thickness of facial tissues in American blacks. *J Forensic Sci.* outubro de 1980;25(4):847–58.
23. Papagrigorakis MJ, Synodinos PN, Antoniadis A, Maravelakis E, Toulas P, Nilsson O, et al. Facial reconstruction of an 11-year-old female resident of 430 BC Athens. *Angle Orthod.* janeiro de 2011;81(1):169–77.
24. Davidowitz G, Kotick PG. The Use of CAD/CAM in Dentistry. *Dent Clin North Am.* julho de 2011;55(3):559–70.
25. Nagi R, Aravinda K, Rakesh N, Jain S, Kaur N, Mann AK. Digitization in forensic odontology: A paradigm shift in forensic investigations. *J Forensic Dent Sci.* 2019;11(1):5–10.

26. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res.* abril de 2016;60(2):72–84.
27. Walker S, Kosaraju A, Lien W, Vandewalle KS. A Survey of US Air Force General Dentists Regarding Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing Usage. *J Contemp Dent Pract.* 1º de março de 2020;21(3):249–52.
28. Nyirjesy SC, Heller M, von Windheim N, Gingras A, Kang SY, Ozer E, et al. The role of computer aided design/computer assisted manufacturing (CAD/CAM) and 3- dimensional printing in head and neck oncologic surgery: A review and future directions. *Oral Oncol.* setembro de 2022;132:105976.
29. Marchesi G, Camurri Piloni A, Nicolin V, Turco G, Di Lenarda R. Chairside CAD/CAM Materials: Current Trends of Clinical Uses. *Biology.* 12 de novembro de 2021;10(11):1170.
30. Hwang HS, Choe SY, Hwang JS, Moon DN, Hou Y, Lee WJ, et al. Reproducibility of Facial Soft Tissue Thickness Measurements Using Cone-Beam CT Images According to the Measurement Methods. *J Forensic Sci.* julho de 2015;60(4):957–65.
31. Choi WI, Yoo LG, Kim YR, Jung BY. Mechanical properties of CAD/CAM polylactic acid as a material for interim restoration. *Heliyon.* abril de 2023;9(4):e15314.
32. Zhang J, Li Y, Cai Y, Ahmad I, Zhang A, Ding Y, et al. Hot extrusion 3D printing technologies based on starchy food: A review. *Carbohydr Polym.* 15 de outubro de 2022;294:119763.
33. Pavan Kalyan BG, Kumar L. 3D Printing: Applications in Tissue Engineering, Medical Devices, and Drug Delivery. *AAPS PharmSciTech.* 17 de março de 2022;23(4):92.
34. FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. Mapa dos desaparecidos no Brasil. São Paulo: Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2023. Disponível em: https://forumseguranca.org.br/publicacoes_posts/mapa-dos-desaparecidos-no-brasil/.