



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

MATEUS SPELLMEIER MELLO

**DESENVOLVIMENTO DE ESCÂNER 3D MODULAR PARA
PLANEJAMENTO CIRÚRGICO VIRTUAL**

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre

2022

MATEUS SPELLMEIER MELLO

**DESENVOLVIMENTO DE ESCÂNER 3D MODULAR PARA
PLANEJAMENTO CIRÚRGICO VIRTUAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Porto Alegre

2022

Catálogo da Publicação

Mello, Mateus Spellmeier
DESENVOLVIMENTO DE ESCÂNER 3D MODULAR PARA
PLANEJAMENTO CIRÚRGICO VIRTUAL / Mateus Spellmeier
Mello. -- 2022.
89 f.
Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa
de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Design Virtual. 2. Planejamento Cirúrgico
Virtual. 3. Escâner 3D. 4. Fotogrametria. I. Teixeira,
Fábio Gonçalves, orient. II. Título.

MATEUS SPELLMEIER MELLO

DESENVOLVIMENTO DE ESCÂNER 3D MODULAR PARA PLANEJAMENTO CIRÚRGICO VIRTUAL

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 07 de Dezembro de 2022.

Fabio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira**

Programa de Pós-Graduação em Design - PGDesign/UFRGS

Prof. Dr. Sérgio Leandro dos Santos

Departamento de Design e Expressão Gráfica – Examinador Externo

Prof. Dr. Fernando Batista Bruno

Departamento de Design e Expressão Gráfica – Examinador Externo

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Departamento de Design e Expressão Gráfica – Examinador interno

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Design, PGDESIGN, pela oportunidade de realização de trabalhos em minha área de pesquisa.

Aos colegas do PGDESIGN pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso e apoio na revisão deste trabalho.

Ao professor e orientador Fábio Gonçalves Teixeira, pela confiança, suporte e instrução ao longo de todo o processo.

Ao meu colega de laboratório Rogélio Carpes por sua contribuição à minha pesquisa e redação.

Aos meus pais pelo suporte e incentivo pessoal.

À CAPES pela provisão da bolsa de mestrado.

RESUMO

MELLO, M. S. **Desenvolvimento de escâner 3d modular para planejamento cirúrgico virtual**. 2022. 89 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

Dentro do âmbito do planejamento cirúrgico, busca-se cada vez mais a automatização do processo de medição de partes do corpo de pacientes de cirurgias plásticas. Porém, enquanto medições manuais podem ser incômodas e imprecisas, medições por escaneamento em 3 dimensões (3D) são usualmente caras e pouco acessíveis à população em geral. Com este trabalho, propõe-se o desenvolvimento de um artefato de baixo custo, capaz de realizar o escaneamento preciso de pacientes que serão submetidos a cirurgias plásticas, como reconstrução auricular, mamoplastia de aumento, sequência Pierre Robin e cirurgia ortognática. Tal proposição busca aumentar a assertividade de cirurgias e diminuir o número de cirurgias de correção devido ao planejamento incorreto ou impreciso. Como resultado, foi desenvolvido um escâner por fotogrametria com peças de alumínio, polímeros de impressão 3D e madeira, com iluminação em barras de led, suporte modular para câmeras e movimentos automatizados em 2 eixos. O artefato mostrou resultados compatíveis com sua aplicação, realizando escaneamentos de 1 minuto e 10 segundos até 3 minutos e 50 segundos, gerando malhas em 3D da região do peito e cabeça, em até 270°, que permitem a análise de detalhes do corpo do paciente. O custo total para sua execução foi de R\$1.786,37. Todos estes resultados mostraram que tal equipamento possui melhores custo-benefícios que alternativas como métodos manuais e por luz-estruturada, apesar de ter apresentado custo-benefício similar ao de fotogrametrias feitas puramente por *smartphones*. Durante o trabalho foi desenvolvida uma tabela de pontuação de alternativas que sugerem as melhores formas de se construir um escâner por fotogrametria, segundo as delimitações do projeto. Por fim, sugere-se para trabalhos futuros estruturas mais rígidas para o escâner e possibilidade de aplicação para escaneamento de bebês, cadeirantes e outras pessoas com dificuldades motoras.

Palavras-chaves: Design Virtual, Planejamento Cirúrgico Virtual, Escâner 3D, Fotogrametria.

ABSTRACT

MELLO, M. S. **Development of a 3D modular scanner for surgical planning**. 2022. 89 f. Thesis (Master in Design) – Engineering School / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

Within the scope of surgical planning, it's been increasingly sought for the automation of the process of measuring body parts of patients undergoing plastic surgery. However, while manual measurements can be uncomfortable and imprecise, tridimensional scanning (3D scanning) is usually expensive and gives little gain to the population in general. With this work, the development of a low-cost artifact is proposed, built on the basis of Design Science Research, capable of making precise 3D scanning of patients who will undergo plastic surgery such as ear reconstruction, augmentation mammoplasty, Pierre Robin Sequence and orthognathic surgery. This proposition intends to increase the assertiveness of surgeries and reduce the number of correction surgeries due to incorrect or imprecise planning. As result, a scanner was developed with aluminum, 3D printing polymer parts and wood, with LED bar lighting, modular mount for camera and automated movements in 2 axis. The artifact showed benefits in terms compatible with its application, making scans since 1 minute and 10 seconds to 3 minutes and 50 seconds, creating meshes in 3D of the chest and head, as far as 270°, that allow the analysis of details of the patient's body. The total cost for its execution was about R\$1.786,37. All these results showed that such equipment has better cost-effectiveness than alternatives such as manual methods and structured-light, despite having presented cost-effectiveness similar to photogrammetry made purely by smartphones. During the work, an alternatives scores table was developed, suggesting the best ways to build a photogrammetry scanner, according to the project initial boundaries. Finally, it is suggested for future works more rigid structures for the scanner and the possibility of application for scanning babies, wheelchair users and other people with motor difficulties.

Keywords: Virtual Design, Virtual Surgical Planning, 3D Scanner, Photogrammetry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo de vistas laterais de pré e pós-operatório	14
Figura 2	Geração do modelo 3D	16
Figura 3	Modelo 3D finalizado, vista anterior	16
Figura 4	Resultado de um escaneamento 3D por fotogrametria de corpo inteiro.	18
Figura 5	Paciente de 32 anos com contratura capsular Baker estágio III	22
Figura 6	Crescimento das publicações ao longo dos anos	25
Figura 7	Principais áreas de aplicação de publicações sobre escaneamento 3D	25
Figura 8	Processo detalhado de VSP	27
Figura 9	Visualização da localização do nervo na mandíbula para projeto da ferramenta e Impressão 3D da via aérea antes (vermelho) e depois do tratamento (azul).	27
Figura 10	Posicionamento de paciente em aparelho de CT	29
Figura 11	Exemplo de fonte induzida em processo de escaneamento por luz estruturada	31
Figura 12	Configuração básica da geometria epipolar de uma visão estereo	33
Figura 13	Visão externa de um escâner com um indivíduo dentro e barras de led acesas	34
Figura 14	Exemplo de escaneamento corporal utilizando fotogrametria	35
Figura 15	Modelo da orelha espelhada para impressão 3D	36
Figura 16	Câmera Raspberry.	36
Figura 17	Câmera de ação da marca Gopro.	37
Figura 18	Lentes da câmera do smartphone Apple.	38
Figura 19.	Modelo da orelha espelhada para impressão 3D.	40
Figura 20.	Exemplo de paciente com Pierre Robin.	41
Figura 21.	Exemplo de pré e pós-operatório de mamoplastia.	42
Figura 22.	Exemplo de planejamento cirúrgico 2D.	42
Figura 23	Etapas da metodologia Design Science Research	48
Figura 24	Escâner artec Handheld	56
Figura 25	“Inbody”, escâner instantâneo de fotogrametria corporal em 3D	57
Figura 26	Acessórios para tablet para escaneamento 3D	57
Figura 27	Base giratória para escaneamento 3D por fotogrametria	58
Figura 28	MaxShot 3D, escâner portátil por fotogrametria	58
Figura 29	Brainstorming das possíveis configurações do Escâner	62

Figura 30	Modelagem em 3D das 4 formas mais pontuadas para construção do escâner	64
Figura 31	Resultado do projeto detalhado do artefato	65
Figura 32	Protótipo de equipamento de escaneamento.	66
Figura 33	Smartphones inicialmente utilizados para captação de imagens.	67
Figura 34	Movimentação vertical do escâner, com amplitude de até 0,80m	68
Figura 35	Movimentação rotacional do escâner de até 360°	68
Figura 36	Ajuste de inclinação (<i>tilt</i>) da câmera do escâner de até 45°	69
Figura 37	Sistema de movimentação vertical (foto 1)	69
Figura 38	Sistema de movimentação vertical (foto 2)	70
Figura 39	Sistema de movimentação rotacional (foto 1)	70
Figura 40	Sistema de movimentação rotacional (foto 2)	70
Figura 41	Sistema de movimentação rotacional (foto 3)	71
Figura 42	Estrutura com fontes de iluminação	71
Figura 43	Impressora FDM usada	72
Figura 44	Projeto da Peça em 3D (imagem superior) e peça acabada (imagem inferior)	72
Figura 45	Primeiro teste com o equipamento	73
Figura 46	Escaneamento 1. Câmera: Celular Moto G6	74
Figura 47	Escaneamento 2. Câmera: Celular Moto G100	74
Figura 48	Escaneamento 3. Câmera: Celular Galaxy S20	74
Figura 49	Segundo teste com o equipamento de escaneamento 3D	75
Figura 50	Resultados do segundo teste com o equipamento. Câmera: Celular S20 FE.	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Relações entre grupos de aplicação e tipos de medição por escaneamento corporal	26
Quadro 2	Comparação dos resultados	46
Quadro 3	Comparativo entre diferentes tecnologias de escaneamento	59
Quadro 4	Continuação do comparativo entre diferentes tecnologias de escaneamento	59
Quadro 5	Projeto informacional com requisitos gerais do escâner	60
Quadro 6	Projeto informacional com requisitos técnicos do escâner	60
Quadro 7	Princípios de funcionamento das alternativas geradas no Brainstorming	63
Quadro 8	Pontuações e classificação de alternativas	63
Quadro 9	Configurações técnicas das câmeras utilizadas no equipamento	67
Quadro 10	Resultado de tempo de aquisição do equipamento por fotogrametria	76
Quadro 11	Resultado comparativo.	77

LISTA DE ABREVIATURAS

2D: Duas Dimensões

3D: Três Dimensões

CAD: Computer Aided Design - Projeto Auxiliado por Computador

CAE: Computer Aided Engineering - Engenharia Auxiliada por Computador

CAM: Computer Aided Manufacturing - Manufatura Auxiliada por Computador; Fabricação Digital

CT: Computer tomography - Tomografia computadorizada

DSLR: Digital Single Lens Reflex

DSR: Design Science Research

MRI: Magnetic resonance imaging - Imagem por ressonância magnética

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VD: Virtual Design - Design Virtual

VID: Laboratório de Design Virtual

VSP: Virtual Surgical Planning - Planejamento Cirúrgico Virtual

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização do tema	14
1.2 Delimitação	19
1.3 Problema de pesquisa	20
1.4 Hipótese da pesquisa	20
1.5 Objetivo Geral	20
1.6 Objetivos Específicos	20
1.7 Justificativa	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1 Escaneamento 3d no campo medicinal	24
2.1.1 Pesquisa em escaneamento 3D	24
2.1.2 Planejamento cirúrgico virtual (VSP)	26
2.2 Tecnologias de escaneamento 3D	28
2.2.1 Tomografia computadorizada	29
2.2.2 Ressonância magnética	30
2.2.3 Ultrassom	30
2.2.4 Escaneamento por luz estruturada	31
2.2.5 Raios-x	32
2.2.6 Fotogrametria	32
2.2.6.1 Câmeras DSLR	35
2.2.6.2 Módulos de câmera	36
2.2.6.3 Câmeras de ação	37
2.2.6.4 Câmeras de <i>smartphones</i>	37
2.2.7 Comparativo geral	38
2.3 Benefícios da digitalização	38
2.4 Procedimentos cirúrgicos aboradados	39
2.4.1 Reconstrução auricular	39
2.4.2 Sequência de Pierre Robin	40
2.4.3 Mamoplastia de aumento	41
2.4.4 Cirurgia ortognática	42
2.5 Metodologia de projeto	43
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	44
3.1 Delineamento da pesquisa	45
3.2 Procedimentos para o levantamento e análise de dados	46
3.3 Design Science Research	47
3.4 Detalhamento das etapas	49

3.4.1	Identificação do problema	49
3.4.2	Conscientização do problema	49
3.4.3	Revisão sistemática da literatura	50
3.4.4	Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas	51
3.4.5	Proposição de artefatos para resolução do problema	51
3.4.6	Projeto do artefato	51
3.4.6.1	Requisitos do produto a partir das cirurgias	52
3.4.7	Desenvolvimento do artefato	52
3.4.8	Avaliação do artefato	52
3.4.9	Explicitação das aprendizagens	53
3.4.10	Conclusão	53
3.4.11	Generalização para uma classe de problemas	54
3.4.12	Comunicação dos resultados	54
3.5	Softwares e processamentos	54
4.	RESULTADOS	55
4.1	Revisão sistemática da literatura	55
4.2	Identificação de similares e conscientização do problema	58
4.3	Identificação e proposição do artefato	59
4.4	Projeto do artefato	62
4.5	Desenvolvimento do artefato	65
4.6	Avaliação do artefato	73
4.7	Explicitação das aprendizagens	78
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICES	87

1 INTRODUÇÃO

O Design Virtual utiliza ferramentas computacionais para aperfeiçoar todas as fases de desenvolvimento de produto, utilizando tecnologias e metodologias específicas, como o uso da prototipagem rápida, digitalização e modelagem tridimensional (3D), bem como simulações virtuais (TEIXEIRA *et al.*, 2008). Essas tecnologias auxiliam, de modo integrado, a equipe de projeto no planejamento, implementação e na gestão de todas essas etapas. Integrando esses conhecimentos e ferramentas do Design Virtual a outras áreas, como à área da saúde, é possível contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes e na solução de problemas específicos. Como solução, uso de modelos 3D é o próximo estágio na evolução do planejamento cirúrgico pois torna possível ao cirurgião entender e planejar tratamentos individuais personalizados. Assim, esses profissionais podem compreender mais claramente as mudanças tridimensionais provocadas por determinado procedimento e suas limitações para, a partir disso, modificar e aprimorar os métodos utilizados (SYKES *et al.*, 2011).

A modelagem 3D é considerada o mais novo estágio da evolução do planejamento cirúrgico. Muitos estudos mostram o avanço da modelagem 3D de pessoas, mas muito pouco ainda é avançado na área de análise de tecidos moles do corpo humano (SYKES, 2011). Segundo Bas (2017), tecidos moles são aqueles constituídos por pele, tendão, ligamento, cartilagem, músculos, entre outros. Com isso, esse trabalho busca mostrar quais avanços podem ser feitos na busca por um equipamento de escaneamento de alta fidelidade e baixo custo para planejamento cirúrgico de tais tecidos.

É necessário o investimento em desenvolvimento de metodologias e sistemas de gestão que permitam o uso contínuo do Design Virtual como processo de desenvolvimento de produtos (TEIXEIRA *et al.*, 2008). A maioria das empresas utiliza algum tipo de recurso virtual no desenvolvimento de seus produtos, mas são atividades isoladas como parte de um processo convencional. A falta de aplicação de metodologias apropriadas é um dos fatores que contribuem para que o Design Virtual não seja um padrão (TEIXEIRA *et al.*, 2008). Para contribuir com a mudança desse cenário, esse trabalho propõe a criação de um equipamento para geração de imagens em 3D de partes externas do corpo para planejamento cirúrgicos, utilizando metodologias inseridas dentro do campo do Design Virtual.

1.1 Contextualização do tema

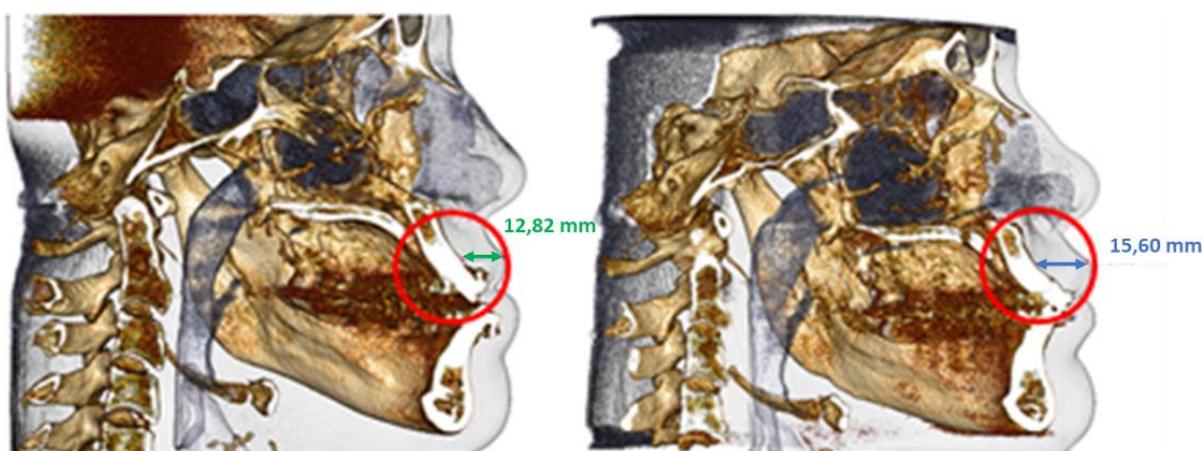
A fabricação de próteses e órteses para tratamentos médicos dependem de medições precisas de partes do corpo humano. No passado, as medidas eram feitas com instrumentos

tradicionais de forma manual para, então, se avaliar o status de saúde do paciente e guiar o seu respectivo tratamento (TRELEAVEN, 2007). Porém, os métodos e procedimentos manuais de obtenção de medidas do corpo humano são considerados demorados e envolvem o contato físico com os indivíduos a serem mensurados (LU, J. e WANG, 2008; SIMMONS, 2001; TOMKINSON, G. e SHAW, L., 2015). O contato físico do antropometrista com o indivíduo a ser mensurado e o tempo demorado para a realização do levantamento dos dados antropométricos são problemas, principalmente, em indivíduos com deficiência física, idosos e grávidas, devido às dificuldades em se manter na posição estática por um tempo prolongado (HOBSON e MOLENBROEK, 1990; JONES e RIOUX, 1997; LUXIMON *et al.*, 2012).

Tecnologias atuais permitem análises em 2 dimensões. Por exemplo, a análise de tecidos moles da face para osteotomia de Le Fort é geralmente realizada através de vistas laterais em duas dimensões, o que é uma técnica muito limitada (SYKES, 2011). A tomografia computadorizada, em combinação com escaneamentos bidimensionais (2D), permitem a digitalização completa do paciente, tornando possível prever resultados de cirurgias de forma muito mais fácil. A figura 1 a seguir mostra um paciente que passou por um procedimento de osteotomia de Le Fort, adotando os métodos tradicionais de levantamento de imagem com vistas laterais em 2D.

Figura 1: Exemplo de vistas laterais de pré (imagem da esquerda) e pós-operatório (imagem da direita) mostrando as diferenças na pele e ossos da face, seguindo a osteotomia de Le

Fort.



Fonte: SYKES, 2011

Com os avanços na cirurgia, o lábio superior pode ser mudado em tamanho, posição e formato. A análise em 2D permite que seja medida a variação na posição e tamanho em um determinado plano. Porém, o observador percebe a variação em 3 dimensões, não somente

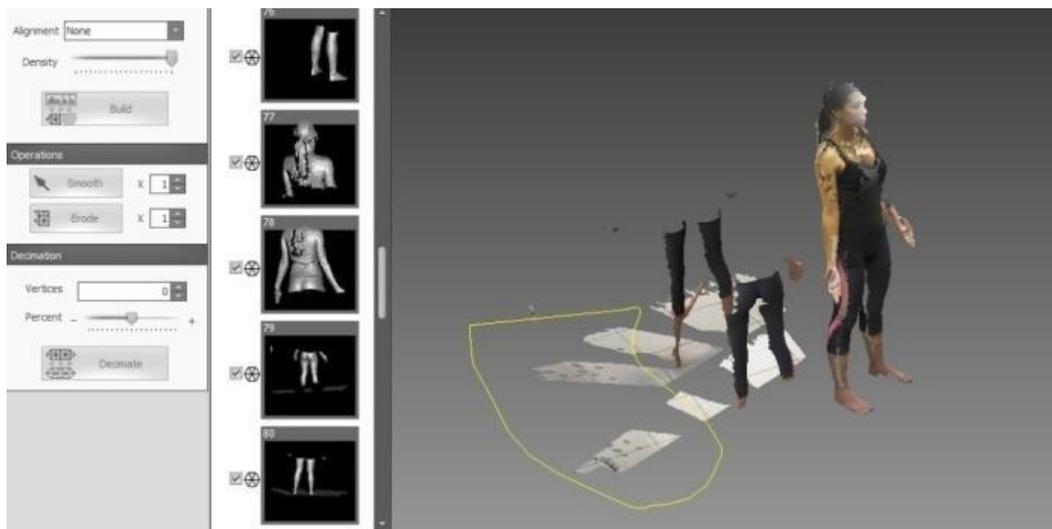
em um plano. Assim como o olho humano percebe a cirurgia por completo, em todas as dimensões, isto também deveria ser possível na análise. Protocolos de geração de imagens 3D têm sido estudados por mais de décadas, entretanto os avanços em tais técnicas estão começando a transferir essas ferramentas que vêm da pesquisa, para a aplicação clínica (SYKES, 2011).

Em alguns casos, o levantamento antropométrico é realizado através do uso de moldes em gesso, através dos quais são obtidas as medidas da parte do corpo do paciente (BRENDLER, 2013). Este procedimento, além de desconfortável, pode constranger a pessoa pelo fato de ter que deixá-la somente com suas roupas íntimas em contato físico com o profissional da saúde. Além disso, o gesso também é molhado durante a aplicação e pode causar um desconforto térmico ao paciente. Ainda, após a colocação do gesso, deve-se aguardar em torno de 15 minutos para sua retirada (BRENDLER, 2013).

Atualmente, segundo Grazioso (2018), o objetivo é evitar o uso de técnicas manuais. Tendo como objetivo aumentar o conforto do paciente e melhorar sua experiência durante o procedimento de medição, pesquisas sobre digitalizadores tridimensionais e sistemas de fotogrametria vêm sendo feitas para que seja possível a obtenção de dados sem contato físico (GRAZIOSO, 2018). Isso leva a um avanço no estudo de sistemas de escaneamento que exploram tecnologias não invasivas para medição de partes do corpo humano. Além disso, a necessidade de implementar tais tecnologias requer que elas levem medidas tão precisas quanto possível (GRAZIOSO, 2018). Isso tem motivado pesquisadores e engenheiros a criarem sistemas cada vez mais rápidos de aquisição de medidas.

Um exemplo é a tecnologia do chamado Microsoft Kinect. Ela tem atraído muito a atenção de pesquisadores pelo seu baixo custo em relação aos escâneres convencionais de digitalização tridimensional, além de ser portátil e fácil de manusear. Embora esteja caindo em desuso, seu sucesso em nível comercial no seu lançamento (em número de vendas), assim como seu similar Intel RealSense, impulsiona o desenvolvimento de novas aplicações e demonstra a demanda do mercado por melhores tecnologias de geração de imagens 3D (ZHANG, 2018). O funcionamento do Kinect se dá através da movimentação do operador em torno do indivíduo que permanece parado, realizando a varredura das imagens em diferentes ângulos e completando 360° em torno desse indivíduo (BRENDLER, 2013). Assim, este equipamento pode vir a ser utilizado como um scanner 3D e, assim, atuar como uma ferramenta para obtenção dos parâmetros antropométricos. O trabalho de Brendler (2013) demonstra a aplicação de tal dispositivo em escaneamento de pessoas, como mostrado nas figuras 2 e 3.

Figura 2: Geração do modelo 3D.



Fonte: BRENDLER, 2013

Figura 3: Modelo 3D finalizado, vista anterior.



Fonte: BRENDLER, 2013

O trabalho de Brendler (2013) faz parte do grupo de pesquisa do Laboratório VID, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no qual este trabalho também está inserido. Tal grupo vem desenvolvendo trabalhos na área da saúde e tecnologia assistiva, com destaque para os trabalhos da já citada Brendler (2013) e de Pinheiro (2019). O primeiro trata de apresentar as técnicas atuais de levantamento de medidas, mostrando os pontos fortes e as falhas nos processos, propondo ainda um método para obtenção de parâmetros antropométricos com um digitalizador tridimensional. Enquanto isso, o segundo investiga

como o Design Virtual pode ser aplicado em cirurgias para reconstrução auricular. Ambos os trabalhos servem como base para este estudo de aplicação do escaneamento 3D em planejamentos cirúrgicos, sendo que os mesmos mostraram que a capacidade de digitalização é um dos desafios do processo.

A digitalização 3D é um processo capaz de obter representações virtuais de um determinado corpo de interesse, seja ele um objeto ou um ser humano. Com os avanços em computadores e *smartphones*, técnicas de medição e geração de imagens 3D de alta velocidade e qualidade têm sido buscadas por cientistas e engenheiros em áreas tais como Engenharia Biomédica, Ciência da Computação e inclusive entretenimento (ZHANG, 2018). O campo da medicina possui diferentes formas de escaneamento como, por exemplo, através de Raio-x, Tomografia Computadorizada (CT), Imagem por Ressonância Magnética (MRI) e Ultrassom. Estas técnicas são extremamente úteis ao fornecer informações sobre órgãos internos. Entretanto, ainda existe um problema em conseguir informações sobre partes externas do corpo, que hoje podem ser obtidas através de tecnologias de escaneamento 3D (ZHANG, 2018).

Uma tecnologia conhecida como fotogrametria, entretanto, traz a possibilidade da digitalização com informações externas de pacientes. Ainda, a fotogrametria permite a geração de imagens através do uso de múltiplas fotos, capturadas de pontos de vista diferentes de um mesmo corpo de interesse. Técnicas de geração de imagens em 3D já possuem o grande potencial de substituir os métodos tradicionais de cefalometria (que estuda as dimensões das estruturas do crânio), as quais são representações em 2D de um objeto em 3D (SYKES, 2011).

Existem inúmeros estudos sobre tais escaneamento 3D de estruturas externas e seus diferentes métodos a fim de identificar o impacto deles sobre o campo medicinal (HALEEM, 2019). A fotogrametria, em combinação com escaneamentos tal como a tomografia computadorizada (CT) por exemplo, permite a habilidade de criação, edição e previsão de procedimentos cirúrgicos. Essa combinação de escaneamentos internos com escaneamentos de superfícies não somente oferece uma oportunidade para planejamento de cirurgias, mas também possibilita uma poderosa interface de comunicação entre médicos e pacientes (SYKES, 2011). Além de todas as vantagens relacionadas ao menor tempo de medição e menor invasividade do processo, estes sistemas inovadores ainda possuem a vantagem de gerar a digitalização 3D completa do corpo do paciente (GRAZIOSO, 2018).

O método fotogramétrico de avaliação postural e sua aplicabilidade, apesar de ser uma tecnologia explorada há muitos anos, tem sido amplamente reportado na literatura nas últimas duas décadas (XIA, 2019). Exemplo deste é o trabalho de Brendler (2013), o qual explora em detalhes a aplicação de tecnologias de fotogrametria para levantamento de parâmetros antropométricos. A antropometria, um importante tema na área não somente da saúde como das indústrias de entretenimento e vestimentas, é uma grande aplicação para este método de digitalização (XIA, 2019). Baixo custo e avaliação quantitativa, aliada à baixa exposição à radiação, faz da fotogrametria um método muito mais praticável para uso em áreas da saúde (KANDASAMY, 2018). Além disso, é um método rápido de aquisição de imagens, diminuindo riscos de perturbações ocasionadas pela movimentação do paciente durante o escaneamento. Movimentos involuntários dos pacientes podem influenciar as medições, sendo a fonte mais comum de desvios dimensionais na digitalização humana (PESCE *et al.*, 2015). Assim, esta técnica se torna a mais adequada para escaneamento humano em termos de reduzir erros relacionados a movimentos involuntários dos indivíduos (SPORLEDER, 2016; WEISS, 2017).

Pesquisadores têm divulgado a fotogrametria como um recurso eficaz e preciso também na avaliação fisioterapêutica. Este método tem as vantagens de: ser um método não invasivo; não necessita de um encaminhamento para sua realização; não requer equipamentos sofisticados; não apresenta contraindicações para sua utilização e poder ser capaz de quantificar alterações posturais (IUNES, 2004). Equipamentos de fotogrametria em estado da arte são capazes de realizar digitalizações em tempo real, mostrando imagens 3D que acompanham a movimentação da pessoa instantaneamente. Entretanto, este é um uso complexo e sofre com outros artefatos visíveis capturados indesejadamente pelo escâner, não sendo necessário na maioria das aplicações (ORTS-ESCOLANO, S. *et al*, 2016). A figura 4 mostra um exemplo de resultado de um escaneamento 3D de corpo inteiro com aplicação de cores.

Figura 4 - Resultado de um escaneamento 3D por fotogrametria de corpo inteiro.



Fonte: GESSLEIN, 2017

Durante um escaneamento em aplicações hospitalares, em que haja interações com pacientes, o principal problema ainda é a baixa velocidade de todo processo. Isso se torna ainda mais evidente quando o paciente possui algum tipo de deficiência. Este é um dos principais motivos de tais equipamentos não serem ainda largamente utilizados em ambientes de atendimentos médicos (GRAZIOSO, 2018) e, aliado à importância já mostrada de tal processo, mostra a importância de investimento em pesquisa no assunto. Escaneamentos 3D, além de serem processos que consomem menos tempo que os processos tradicionais, oferecem a oportunidade de adquirir dados antropométricos de uma forma menos invasiva e, assim, podendo ser indicada também para pessoas idosas, pessoas com deficiência ou crianças (GOTO, 2019).

1.2 Delimitação

O planejamento cirúrgico virtual pode contemplar diversas formas de cirurgias em pacientes. Para este trabalho, busca-se o entendimento e aplicação deste planejamento para áreas de reconstrução auricular, mamoplastias de aumento, casos de sequência de Pierre Robin e cirurgias ortognáticas. O artefato proposto é limitado à aplicação de escaneamento 3D em pacientes que necessitam passar por tais procedimentos, excluindo neste primeiro momento pessoas com dificuldades motoras, cadeirantes e bebês devido a limitações técnicas.

Estas delimitações têm como base as aplicações cirúrgicas estudadas por uma linha de pesquisa dentro do laboratório VID, localizado nas dependências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e pertencente ao grupo do PGDesign. Tais procedimentos são realizados em milhares de pessoas anualmente no país e que podem ser aprimorados com o desenvolvimento de pesquisas em escâneres 3D.

Diante do exposto, a investigação pretende explorar o potencial oferecido por um escâner de fotogrametria em auxiliar no planejamento cirúrgico. Ou seja, em promover o uso de um escâner eficaz e de fácil acesso capaz de tornar mais assertivas as cirurgias plásticas aqui mencionadas. Para tanto, é realizada uma pesquisa exploratória com os tipos de escaneamentos já adotados em ambientes clínicos, sejam eles para escaneamentos de partes externas ou internas do corpo humano.

1.3 Problema de Pesquisa

Como a fotogrametria pode contribuir como um processo rápido, pouco invasivo e de baixo custo utilizando digitalização de pacientes e auxiliando no planejamento de cirurgias.

1.4 Hipótese da pesquisa

O desenvolvimento de um artefato com tecnologia de baixo custo e utilizando técnicas de fotogrametria pode auxiliar no processo de escaneamento de pacientes em termos de custo, tempo e precisão para planejamentos cirúrgicos.

1.5 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um sistema de escaneamento 3D de baixo custo e com acoplamento modular de câmera, que permita a obtenção rápida de medidas antropométricas a partir de um sistema de fotogrametria, visando otimizar o planejamento de processos cirúrgicos.

1.6 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são compostos por:

- Analisar o processo de planejamento cirúrgico virtual nas situações previstas na delimitação, para compreender as necessidades e peculiaridades da área, bem como, de que forma os requisitos são atendidos.
- Conhecer as diferentes tecnologias utilizadas para escaneamento de pessoas bem como a acessibilidade e facilidade de uso de cada uma.
- Desenvolver um protótipo do artefato com materiais de baixo custo para a construção de uma unidade funcional de escaneamento corporal.
- Comparar os resultados obtidos a partir do protótipo com métodos de escaneamento já utilizados para essa aplicação, tais como aqueles gerados por sistemas de medição manuais tradicionais.
- Avaliar o protótipo do artefato e verificar sua possível aplicabilidade dentro do ambiente hospitalar.
- Extrapolar as possibilidades de aplicação do escâner em planejamentos cirúrgicos e na medicina em geral.

1.7 Justificativa

O escaneamento 3D é extremamente benéfico para o cirurgião durante o procedimento e também no acompanhamento pós-cirúrgico, pois propõe soluções através de simulações e

facilita a avaliação dos resultados dos procedimentos (PINHEIRO, 2015). As aplicações cirúrgicas aqui apresentadas demonstram a relevância deste projeto, já que anualmente milhares de pessoas passam por tais procedimentos no país (MAXIMILIANO *et al.*, 2017). Com esta pesquisa, as cirurgias podem ser aprimoradas ainda mais, além de trazer benefícios relacionados a possíveis reoperações. Equipamentos de alto custo, que oferecem risco à saúde, tais como a tomografia computadorizada, poderão ser evitados a partir da substituição por um produto com tecnologia mais acessível desenvolvida neste trabalho.

As cirurgias citadas na delimitação desta pesquisa dependem diretamente de medidas levantadas no período pré-operatório. Nesta etapa, o planejamento realizado com auxílio de modelos tridimensionais é capaz de otimizar todo o processo. Segundo Maximiliano *et al* (2017), a falta destas tecnologias resulta em altas taxas de complicações e reoperações. Já segundo Isaac *et al* (2016), as medições nesta fase do planejamento devem ser confiáveis e precisas para o caso de cirurgias de mama, sendo considerados requisitos importantes a avaliação da forma e volume das mesmas.

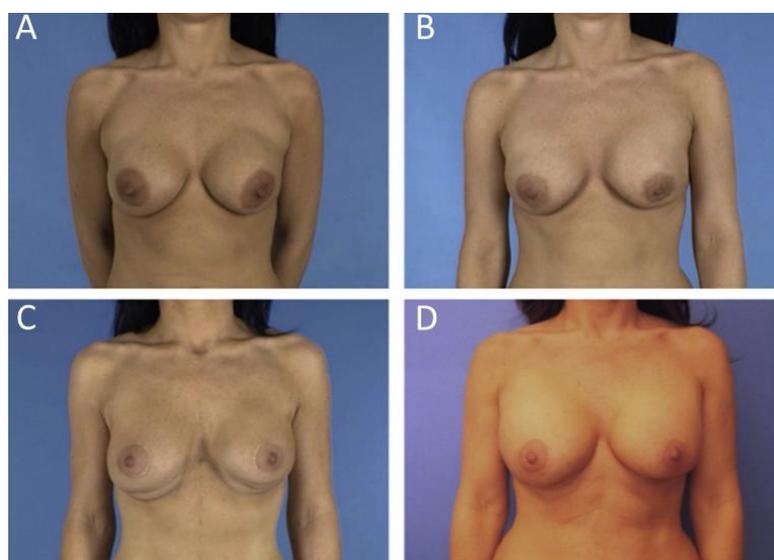
As visualizações e medições pré-cirúrgicas, assim como as simulações de seus resultados, estão incluídas nos objetivos globais da cirurgia plástica (SYKES, 2011). Esse processo precisa ser simples e preciso. Simulações pré-cirúrgicas devem ser capazes de gerar um objetivo e um diagrama de instruções para as cirurgias. O acesso a essas simulações pós-cirúrgicas criam a oportunidade de avaliação entre causa e efeito das manipulações nos tecidos do corpo e seus resultados subsequentes (SYKES, 2011). Sendo assim, o Design Virtual pode proporcionar melhores resultados estéticos para os pacientes (PINHEIRO, 2020).

No caso das cirurgias de aumento de mama, seus resultados dependem diretamente das medidas utilizadas no planejamento pré-operatório. O planejamento com pouco ou nenhum uso de tecnologias de imagens 3D é um fator que contribui para as altas taxas de complicações e reoperações (MAXIMILIANO *et al.*, 2017). Os métodos para a avaliação da forma e volume da mama são considerados requisitos importantes para obter os resultados estéticos planejados, dessa forma, as medições pré-operatórias devem ser confiáveis e precisas (ISAAC *et al.*, 2016).

Em 2014, no Brasil, um número de 185.000 cirurgias tiveram mais de 11.000 reintervenções relacionadas à falta de dados através da visualização 3D durante o planejamento de cirurgias (MAXIMILIANO *et al.*, 2017). Em nível internacional, estima-se que 27% do total de reoperações são realizadas por motivos estéticos. Para exemplificar, a Figura

5 mostra uma paciente de 32 anos com contratura capsular 4 anos após uma cirurgia de aumento de mama com implante de silicone. Esta é a complicação mais comum em cirurgias estéticas na região das mamas e se trata de contraturas derivadas de inflamações na região. Embora ocorram normalmente dentro do primeiro ano após a cirurgia, esta complicação pode aparecer até 10 anos depois (ADAMS, 2009). Este foi um caso típico de reoperação motivada por insatisfação estética por parte da paciente. Mesmo após a reoperação, a paciente continuou se mostrando insatisfeita. (FORSTER; KÜNZI; GIOVANOLI, 2013).

Figura 5 - Paciente de 32 anos com contratura capsular Baker estágio III. **A:** contratura capsular recorrente 2 anos após troca do implante. **B:** foto do pré-operatório. **C:** pós-operatório da troca do implante **D:** deformidade e contratura capsular 3 anos após troca do implante.



Fonte: FORSTER, 2013

Existe ainda o problema sócio-econômico para aquisição de equipamentos que possam auxiliar a preparação de cirurgias, tais como estes que possibilitam a visualização em 3D do paciente. Fornecer acesso a alguns equipamentos médicos pode ser uma tarefa difícil para países que passam por períodos de extrema austeridade, como nos chamados países emergentes (EZE, 2020).

No caso dos hospitais, o objetivo é levar assistência de qualidade para seus usuários. A fim de gerar maior expectativa e qualidade de vida, é necessário melhorar o ambiente e tudo que envolve a organização, incluindo também o ambiente tecnológico. Os recursos na esfera pública são escassos e devem ser utilizados com total racionalidade (SOUZA, 2017). Isso significa que tecnologias desenvolvidas nacionalmente podem proporcionar mais acesso a equipamentos de qualidade. Isso porque, embora a globalização tenha permitido maior

flexibilidade na escolha de novos equipamentos, ela tornou a cadeia de suprimentos mais complexa (SOUZA, 2017). Compras internacionais, principalmente quando tratando de equipamentos de grande porte devido a seus custos de frete e taxa de importação, tornam maiores aspectos como tempo de solução de problemas assim como o tempo de aquisição do produto.

Neste sentido, a pesquisa pretende utilizar a digitalização 3D e as ferramentas de visualização e simulação virtual para atuar no planejamento de processos cirúrgicos. Os resultados deste estudo buscam mostrar como o equipamento desenvolvido pode ser explorado em várias aplicações médicas e hospitalares no presente e como ele pode evoluir para se tornar um sistema rápido, eficaz e acessível no futuro.

O desenvolvimento de um equipamento de baixo custo e com tecnologia nacional vai permitir que uma maior parte da população tenha acesso a cirurgias mais confiáveis e assertivas. Assim, espera-se que a implementação de um planejamento aprimorado, através do Design Virtual, possa reduzir as taxas de reoperação, além de proporcionar melhores resultados estéticos de maneira geral. A partir dessas justificativas expressas, o trabalho demonstra importância social, econômica e relevância para dentro de uma área de pesquisa cujo avanço é de interesse do curso de Design.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo apresenta o referencial teórico utilizado como fundamentação desta pesquisa. Cada item aborda um tema específico, como a aplicação de escaneamento 3D no campo medicinal, as diferentes tecnologias existentes utilizadas para escaneamento e uma revisão sobre as metodologias adotadas para a construção e desenvolvimento de um artefato para escaneamento.

Para ser possível a utilização do Design Virtual na área da saúde, é necessário o conhecimento sobre como obter os dados tridimensionais do paciente (PINHEIRO, 2020). Portanto, neste capítulo é explicado detalhadamente como cada uma das tecnologias de escâner funciona e quais suas vantagens e desvantagens. Da mesma maneira, são descritos neste capítulo os 4 tipos de cirurgia cuja aplicação pode se beneficiar com o uso do Design Virtual e escaneamento 3D. São elas: reconstrução auricular, mamoplastia de aumento, seqüência Pierre Robin e cirurgia ortognática. Estas cirurgias são alvo de estudos do laboratório VID da UFRGS e por este motivo também são trabalhadas na presente pesquisa.

2.1 Escaneamento 3D no Campo Medicinal

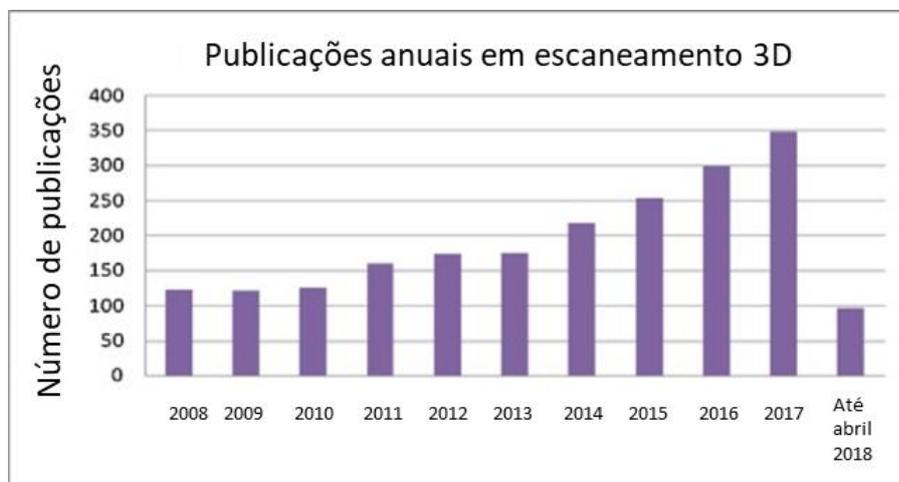
Profissionais da área médica tradicionalmente realizam medições de seus pacientes de forma manual ou através de dispositivos específicos, para então decidir o tratamento mais adequado a seu paciente (HALEEM, 2019). Para geração de imagens 3D internas do corpo humano, é então comum o uso de Raios-x, Tomografia Computadorizada, Ultrassom e equipamentos de Ressonância Magnética. Com o advento dos escâneres 3D, considerados seguros e convenientes para medição de tamanhos, texturas, cores, silhuetas e área superficial da pele, uma nova aplicação clínica está emergindo, capaz de realizar uma grande variedade de medições sem contato físico com o paciente (HALEEM, 2019).

2.1.1 Pesquisa em Escaneamento 3D

Muitas pesquisas estão sendo realizadas no mundo todo na área de escaneamento 3D. Segundo a base de dados da Scopus, um total de 2507 artigos na área de pesquisa de aplicações para escaneamento 3D foram identificadas até abril de 2018. O primeiro trabalho foi publicado em 1982. Em 2008, foram observados 123 artigos publicados sobre esta tecnologia e aumentou para 349 em 2017. Até maio de 2018, 96 artigos foram publicados

nesta área (HALEEM, 2019). A figura 6 a seguir mostra a evolução das publicações desde 2008 até abril de 2018.

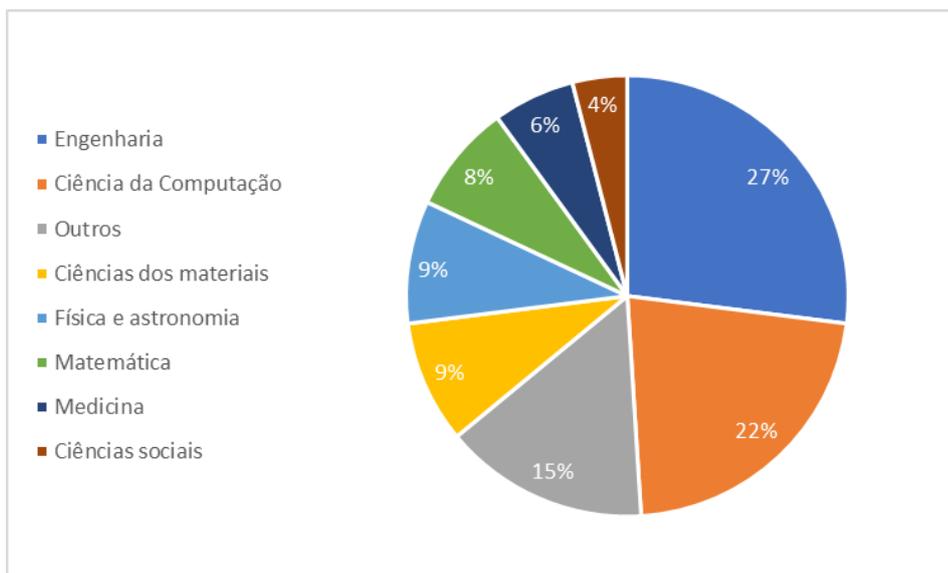
Figura 6 - Crescimento das publicações ao longo dos anos



Fonte: Scopus (traduzido pelo autor)

As publicações sobre produtos relacionados a escaneamento 3D mostram que suas aplicações variam nas mais diversas áreas. Na figura 7, pode-se observar que a maior parte dos trabalhos são para estudos em Engenharia, seguido por estudos na área da Ciência da Computação em segundo lugar. O campo da medicina vem na sexta posição, com em torno de 6% dos trabalhos publicados.

Figura 7 - Principais áreas de aplicação de publicações sobre escaneamento 3D.



Fonte: Scopus (traduzido pelo autor)

2.1.2 Planejamento Cirúrgico Virtual (VSP)

O objetivo principal no campo medicinal do escaneamento corporal é a medição (dimensões, formato, área superficial, volume) e a visualização de uma réplica virtual do paciente (cabeça, peito, corpo inteiro). De uma perspectiva médica, pode-se classificar essas aplicações em 4 grandes grupos: epidemiologia, diagnóstico, tratamento e monitoramento. O quadro 1 mostra tais relações entre as aplicações.

Quadro 1 – Relações entre grupos de aplicação e tipos de medição por escaneamento corporal

		Grupo de Aplicação			
		Epidemiologia	Diagnóstico	Tratamento	Monitoramento
Medição	Dimensões	Banco de dados de antropometria	Anomalias no crescimento	Escoliose	Exercícios e dieta
	Formato	Triagem	Formato abdominal	Próteses e órteses	Obesidade
	Área superficial		Volume do pulmão	Dosagem de medicações	Diabetes
	Volume			Queimaduras	
Visualização	Cabeça		Melanomas	Reconstrução Facial	Anomalias
	Peito			Reconstrução Peitoral	Anomalias
	Corpo inteiro			Reconstrução Cosmética	Anomalias

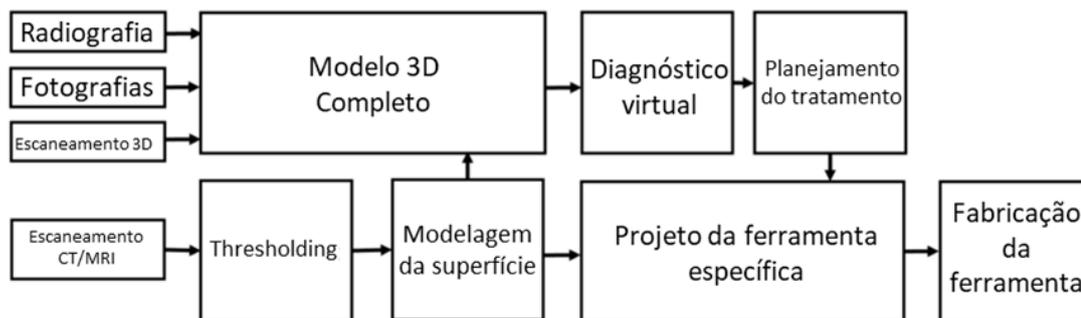
Fonte: GRAZIOSO (2018), adaptado e traduzido pelo autor

Para o planejamento cirúrgico virtual ocorrer, ele depende de diversas ferramentas de visualização e planejamento performadas por um determinado software (SINGH, 2021). Para isso, normalmente é necessário um técnico clínico ou um bioengenheiro para auxiliar a prática do médico. Segundo Singh (2021), as etapas principais do VSP são como segue:

1. Diagnóstico virtual: Várias ferramentas podem ser usadas para o levantamento em 3D das medidas da pessoa. Esse processo pode ser usado para quantificar o defeito, a deficiência ou dismorfologia do paciente, as quais podem não ser possíveis de diagnosticar usando métodos tradicionais de planejamento cirúrgico.
2. Planejamento do tratamento: Uma vez que o diagnóstico foi atingido e quantificado, os parâmetros cirúrgicos de trabalho podem ser calculados. Estes parâmetros incluem, mas não são limitados a, localização e ângulo de uma osteotomia. Uma osteotomia virtual pode então ser simulada e o alinhamento final do procedimento pode ser checado, sendo que tal forma de abordagem é sintetizada na figura 8. O uso de tais modelagens matemáticas para geração de arquivos 3D oferece um caminho promissor para pesquisa em termos da VSP (SINGH, 2021).

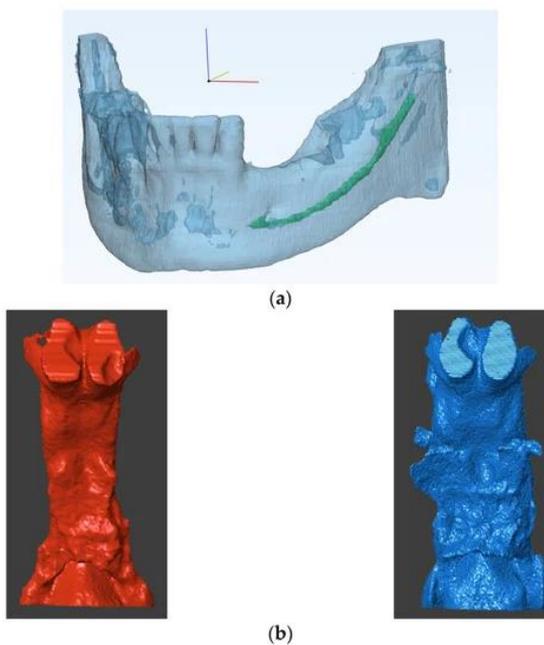
3. Projeto da ferramenta específica: Ao usar esta abordagem, parâmetros específicos do paciente, como espessura dos ossos, localização de nervos, etc., podem ser visualizados. Por exemplo, podem ser criados guias para colocação de parafusos e realização de osteotomias (Figura 9).

Figura 8 - Processo detalhado de VSP



Fonte: SINGH (2021) e traduzido pelo autor.

Figura 9. (a) Visualização da localização do nervo na mandíbula para projeto da ferramenta. (b) Impressão 3D da via aérea antes (vermelho) e depois do tratamento (azul).



Fonte: SINGH (2021)

Com a utilização de tecnologias de escaneamento 3D, se torna possível a criação de produtos tais como próteses, aparelhos dentários, implantes e membros artificiais que, com uso de impressão 3D, se parecem muito com membros reais (DAWOOD, 2009). Objetos em

3D podem ser facilmente fabricados através de uma impressora, a qual recebe informações do escâner 3D através de um arquivo digital. O serviço de escaneamento 3D é tão crucial para o campo medicinal quanto o de impressão 3D. Escâner e impressora 3D já foram capazes de, juntas, produzirem células renais que atuam exatamente como células reais (HALEEM, 2019).

As tecnologias de Desenho Assistido por Computador e Manufatura Auxiliada por Computador (em inglês, CAD/CAM) revolucionaram a odontologia, otimizando a etapa de planejamento e melhorando a previsibilidade das cirurgias (CASCÓN, 2019). A estrutura de trabalho do CAD/CAM envolve 3 passos fundamentais: Aquisição de dados, processamento de dados e o processo de manufatura. O escâner de tomografia por feixe de luz (CBCT), o escâner facial e o escâner intraoral podem ser usados para gerar imagens virtuais do paciente através de arquivos STL com programas CAD. A digitalização do paciente em 3D oferece informações das formas tanto dos tecidos rígidos e dos macios, gerando ótimos resultados estéticos, sendo um grande avanço em relação à abordagem tradicional (CASCÓN, 2019).

2.2 Tecnologias de escaneamento 3D

Para se iniciar o estudo sobre qualquer escaneamento 3D, é necessária uma análise comparativa de diferentes tecnologias de escaneamento (HALEEM, 2019). Por exemplo, a diferença entre o escaneamento 3D com Raio-x, Tomografia Computadorizada, Imagem por Ressonância Magnética e Ultrassom e os escaneamentos 3D por fotogrametria e luz estruturada é que estes fornecem informações sobre a superfície externa do corpo, enquanto que aqueles oferecem geometrias de partes internas como tecidos e órgãos. Todas essas tecnologias são utilizadas para diferentes casos em imagiologia médica e hospitalar, fornecendo ajuda na elaboração de diagnósticos de diversos tipos de problemas e doenças (HALEEM, 2019). Por este motivo, este trabalho conta com uma análise comparativa que busca diversos tipos de tecnologias de escaneamento, incluindo aqueles que realizam apenas imagens internas de pacientes, tais como Raio-X e tomografia computadorizada.

Existem duas categorias de escâner para geração de imagens em 3D: passiva e ativa. O método ativo necessita de uma fonte de iluminação própria, já o passivo não necessita de fonte ativa para tal reconstrução em 3D (ZHANG, 2018). Este método utiliza um sistema de visão estéreo, o qual trabalha com a captura imagens através de pelo menos duas perspectivas diferentes e depois as analisa para encontrar pontos correspondentes através de um sistema de triangulações. Já um exemplo de método ativo são os escâneres por luz

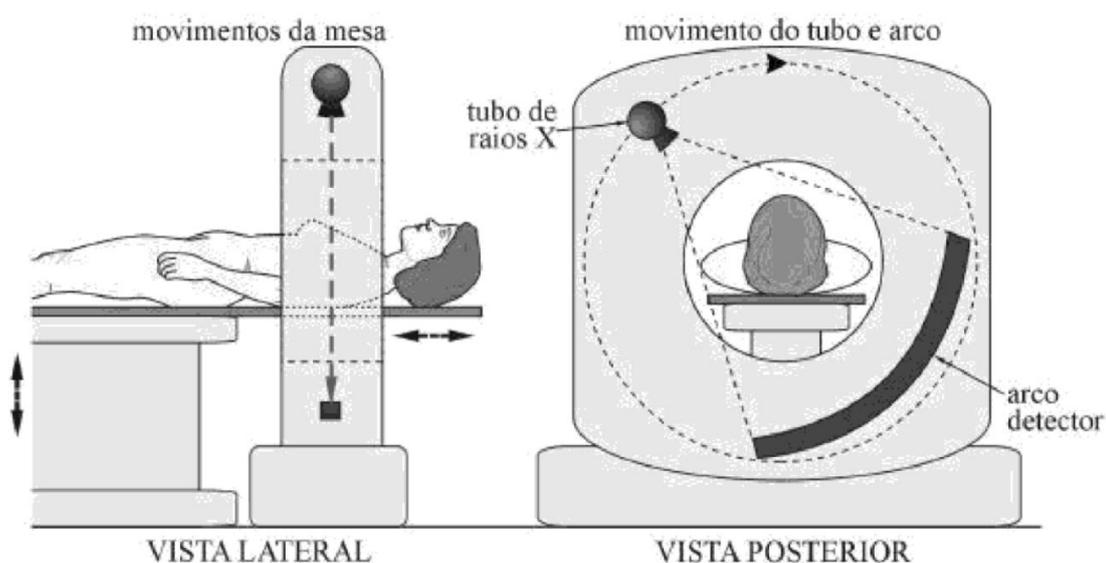
estruturada. Eles são comumente baseados em tecnologias com sensor de profundidade de campo, cujo princípio é a projeção de laser em um ponto, linha ou múltiplas linhas as quais são refletidas no paciente e captadas novamente por um sensor ou câmera.

A fim de realizar um levantamento de requisitos para seleção da tecnologia de escaneamento mais adequada a este projeto, é feita uma lista com as diversas formas de escaneamento que existem e, ao final, uma lista que sintetiza as principais características de cada método.

2.2.1 Tomografia Computadorizada

Um escâner por tomografia computadorizada (CT) emite feixes de raio-x em direção ao paciente. Diversas imagens são geradas enquanto o equipamento se move ao redor do corpo. Escâneres por tomografia computadorizada são capazes de visualizar tecidos dentro de órgãos sólidos e com diversos níveis de densidade. Isso torna possível a geração de informações detalhadas do corpo em regiões tais como o cérebro e seus vasos sanguíneos, ouvido interno, olhos, coração, pescoço, espinha-dorsal, ombros, sistema reprodutor, e outras partes internas do corpo com imagens em alta resolução (HALEEM, 2019). A figura 10 a seguir mostra a configuração de um desses equipamentos e a disposição do paciente durante seu uso.

Figura 10 - Posicionamento de paciente em aparelho de CT



Fonte: MOURÃO, 2018

Como observado na figura anterior, o paciente precisa ingressar em uma máquina com estrutura fechada, dentro da qual um tubo de Raios-X realiza o processo de escaneamento. As principais características e limitações deste método são (HALEEM, 2019):

- Imagens de alta fidelidade e precisão
- Escaneamento somente de partes internas do corpo
- Processo lento
- A pessoa precisa estar deitada
- Pode causar crises de pânico ou claustrofóbicas em alguns pacientes.

Baseado nas limitações desse método de escaneamento, ficam evidentes 5 características que devem ser consideradas no projeto do artefato. São elas: qualidade das imagens, tipo de escaneamento (interno/externo), tempo de escaneamento, posição e conforto do paciente. Tais características vão possibilitar a comparação entre os métodos de escaneamento quanto às suas aplicabilidades.

2.2.2 Ressonância Magnética

O sistema de ressonância magnética utiliza poderosos campos magnéticos e pulsos de rádio frequência para alcançar imagens detalhadas de ossos, tecidos moles, órgãos e outras partes internas do corpo humano. Este tipo de escaneamento se diferencia entre normal e anormal e possui as mesmas características e limitações da tomografia computadorizada, sendo extremamente vantajoso pelo fato de obter diagnósticos precisos (HALEEM, 2019). A ressonância magnética se assemelha à tomografia computadorizada quanto à sua aplicação e limitações, evidenciando a mesma abordagem quanto às 5 características descritas no tópico anterior.

2.2.3 Ultrassom

A tecnologia do ultrassom produz imagens internas do corpo humano utilizando ondas sonoras. Este método ajuda no diagnóstico de causas de inchaços, dores e infecções em órgãos internos. Ele é usado para diagnósticos de condições cardíacas, biópsias e avaliação de sequelas após um ataque cardíaco. O ultrassom é um sistema não invasivo, seguro e não utiliza radiação ionizante. Esta tecnologia é também conhecida como sonografia ou escaneamento por ultrassom (HALEEM, 2019). Suas características principais então são:

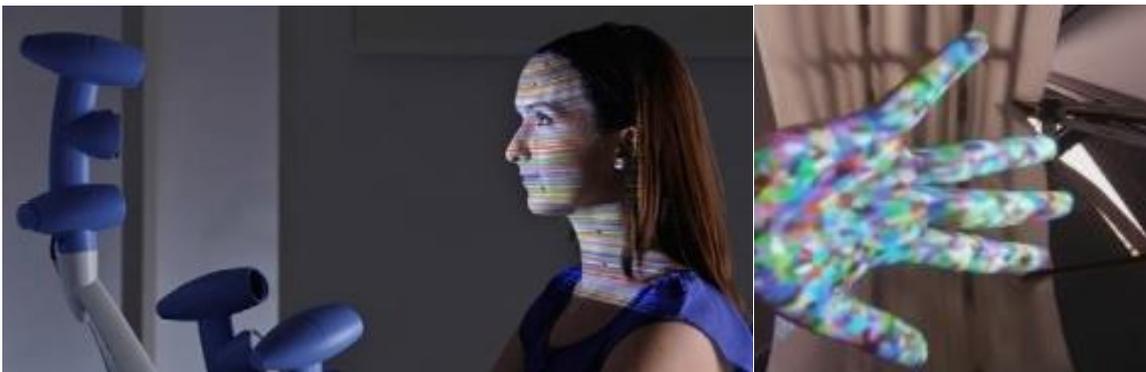
- Não invasivo.
- Avaliação de órgãos e problemas internos.
- Seguro para o paciente.
- Resultados confiáveis.

Da mesma forma, as 4 características levantadas por Haleem (2019) evidenciam 4 tópicos a serem considerados no levantamento de requisitos do artefato a ser proposto neste trabalho, respectivamente: Conforto, aplicabilidade quanto aos tipos de procedimentos cirúrgicos, segurança e qualidade das imagens.

2.2.4 Escaneamento por Luz Estruturada

Este método é conhecido por criar uma forma tridimensional a partir de uma nuvem de pontos ou uma malha de triângulos. Cada captura de imagem é formatada para um sistema padrão de referência, sendo então processada para se gerar um modelo 3D completo de capturas denominado “alinhamento”. Para este processo acontecer, um projetor é utilizado para iluminar o objeto a partir de uma série de luzes com padrões determinados. A partir disso, a câmera então captura a imagem do objeto e a transforma em um modelo tridimensional (HALEEM, 2019).

Figura 11 - Exemplo de fonte induzida em processo de escaneamento por luz estruturada.



Fonte: Axis Three *apud* TZOU e FREY, 2011; WEISS, 2017

Algumas características deste método de escaneamento são os seguintes:

- Condições de iluminação externa possuem baixa influência na qualidade das imagens.

- Escaneamento em até 1 segundo e processamento de imagens em até 2 minutos (TZOU *et al*, 2013).
- Tecnologia já muito utilizada para confecção de implantes para cirurgias faciais (como é o caso do equipamento mostrado na Figura 11).

Novamente, estas características evidenciam os requisitos do produto quanto à qualidade, tempo de escaneamento e aplicabilidade para procedimentos cirúrgicos.

2.2.5 Raios-X

A técnica de raios-x é utilizada de forma que tecidos moles como pele e órgãos internos não consigam absorver tamanha energia. Assim, estruturas mais densas tais como o sistema ósseo conseguem absorver a radiação, permitindo a visualização de sua forma. Sua exposição pode ser ajustada, conforme a área a ser escaneada. É uma técnica utilizada também por dentistas para diagnósticos de doenças bucais e também em diversas outras áreas para tratamentos de saúde. O Raio-X é um tipo de raio de luz, de alta energia, se diferenciando da luz visível apenas pelo seu comprimento de onda. (HALEEM *et al.*, 2019).

Por sua vez, é uma técnica que se caracteriza por alta velocidade de captação de imagens, alta aplicabilidade para cirurgias internas e potencial risco à saúde do paciente, dependendo da aplicação. Tais características são itens traduzidos em requisitos de, respectivamente, velocidade do escaneamento, tipos de aplicação e segurança do paciente.

2.2.6 Fotogrametria

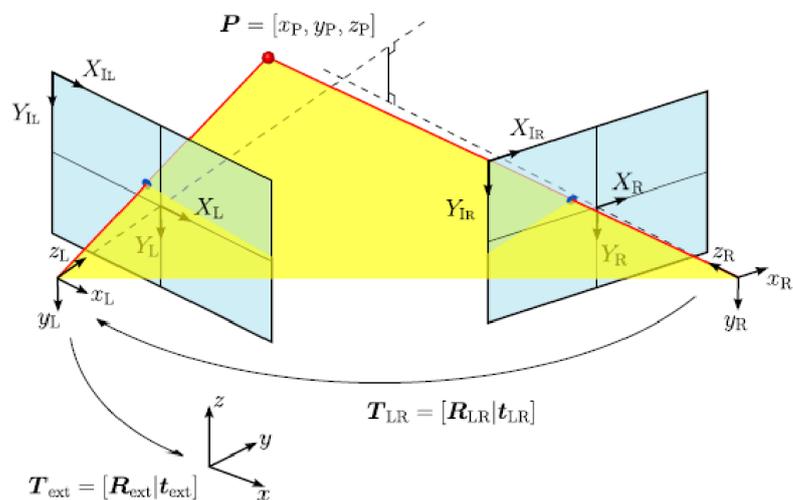
A origem da palavra fotogrametria é grega e significa a medição através da luz. Em 1979, a *American Society of Photogrammetry* definiu, de forma abrangente, a fotogrametria como sendo “a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas, padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes” (TOMMASELLI *et al.*, 1999).

Segundo Tomasselli *et al.* (1999), a fotogrametria médica é também denominada biostereometria e tem sido utilizada com a finalidade de obter medidas de forma, dimensões de corpos inteiros e de parte deles. Na odontologia, trabalhos empregam a fotogrametria para a análise de dismorfismo facial, assimetrias faciais, crescimento facial em pacientes

ortodônticos e/ou que serão submetidos a cirurgias maxilofaciais (FERRARIO, *et al*, 1999). Outra área que atualmente vem utilizando a fotogrametria é a cirurgia plástica, para avaliar o pré e o pós-operatório de rinoplastia (HOCKMAN, CASTILHO E FERREIRA, 2002).

Para uma reconstrução 3D de um determinado objeto, a técnica da fotogrametria requer a captura de uma série de fotos do indivíduo de diversos ângulos (ZHANG, 2018). O método de visão estereo depende apenas de câmeras e pode ser aplicado muito rapidamente, tão breve quanto a câmera consegue capturar imagens. A acurácia do método de fotogrametria varia dependendo do objeto medido e pode ser muito baixa caso o objeto não possua uma superfície texturizada. Para uma reconstrução perfeita, a posição das câmeras precisam ter um distanciamento suficiente entre si, além de boa resolução e nitidez. Especialmente importante é também o número de câmeras utilizado, além de ser um dos itens de maior influência no balanço de custo do projeto. A ideia básica por trás da fotogrametria 3D é a chamada geometria epipolar, formada pela captura de imagens através de pontos diferentes (GRAZIOSO, 2018). Na figura 12 a seguir, ilustra-se tal geometria a partir da visão estereo de um par de câmeras.

Figura 12 – Configuração básica da geometria epipolar de uma visão estereo

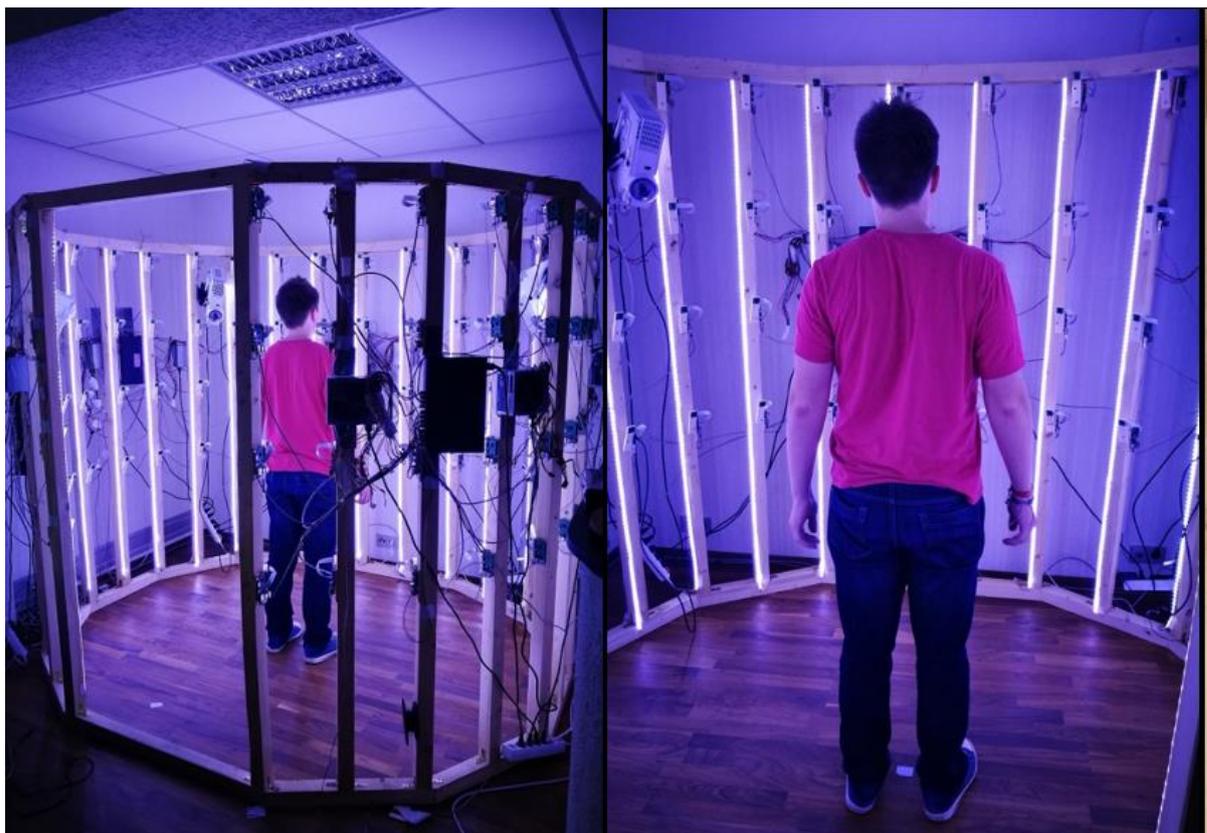


Fonte: GRAZIOSO, 2018

Quando duas câmeras capturam imagens de duas posições diferentes, indicadas pelas coordenadas de referência $x_L y_L z_L$ e $x_R y_R z_R$, existe um número de relações geométricas entre o ponto de 3 coordenadas P e suas projeções nos planos $x_L y_L$ e $x_R y_R$, o que leva a correlações entre os pontos da imagem, os quais são indicados pelos pontos azuis

(GRAZIOSO, 2018). Quando a posição relativa das duas câmeras, indicada pela matriz homogênea Tlr , é conhecida, essas relações geométricas, denominadas relação epipolar, são descritas pela matriz fundamental a qual transforma os pontos em uma imagem estéreo. A figura 13 mostra um exemplo de escaneamento a partir da captura de imagens de diversas câmeras em diferentes posições.

Figura 13 - Visão externa de um escâner com um indivíduo dentro e barras de led acesas



Fonte: GESSLEIN, 2017

O processamento posterior à aquisição das imagens acontece a partir da geração de uma nuvem de pontos. Esta nuvem é então processada a partir de softwares para gerar a imagem virtual e tridimensional do paciente. Tais softwares podem ser como o Meshroom (ALICEVISION, 2022) e o kscan3D (3D MODELING BLOG, 2022), sendo o primeiro muito utilizado por ser gratuito e do tipo *open source*. Este programa é da empresa especializada em visão computacional chamada AliceVision e se encontra disponível para sistemas operacionais Windows e Linux (ALICEVISION, 2022). A figura 14 a seguir mostra como fica uma digitalização de alta definição da face de um paciente.

Figura 14 - Exemplo de escaneamento facial de alta precisão.



Fonte: LANE e HARRELL, 2008

Como se observa na figura anterior, o escaneamento por fotogrametria analisa exclusivamente as estruturas externas do paciente. Ainda assim, consegue trazer ótimo nível de detalhes e informações acerca das formas, contornos e texturas. Com base nos descritivos, a fotogrametria se caracteriza por:

- Ter alta aplicação em planejamentos cirúrgicos.
- Ser seguro ao paciente.
- Depender de fontes de iluminação apropriadas.

Como existem diversos tipos de câmeras disponíveis no mercado, a fotogrametria possui diversas formas de aplicação. Nos itens a seguir são citadas 4 formas para a realização de fotografias, através de câmeras DSLR, módulos de câmera, câmeras de ação e câmeras de *smartphones*.

2.2.6.1 Câmeras DSLR

Uma câmera DSLR (Digital Single Lens Reflex) é uma câmera digital que permite que a luz entre em uma única lente onde atinge um espelho que reflete a luz no visor da câmera (figura 15). Apesar de ser grande em tamanho, suas principais vantagens são (TECNOBLOG, 2022):

- Permite maior versatilidade de resultados – através da troca de lentes, criando efeitos específicos.

- Controles manuais e configurações para resultados mais criativos – ISO, velocidade do obturador e balanço de branco.
- Sensor maior do que em câmeras compactas – permitindo maior entrada de luz, resultando maior definição e melhor qualidade.
- Possibilidade de capturar mais detalhes – resultado mais próximo do real.
- Possibilidade de zoom óptico elevado.

Figura 15 - Câmera DSLR



Fonte: Reprodução/Canon

2.2.6.2 Módulos de Câmera

Um exemplo muito utilizado de módulo de câmera é a câmera da Raspberry, um pequeno módulo capaz de obter fotos de até 8MP (figura 16). Apesar de exigir conhecimento em programação para sua utilização, ainda possui diversas vantagens (RASPBERRY, 2016):

- Extremamente leve e compacta, com cerca de 25x25 mm e pesando cerca de 3g.
- Baixo custo, com preços de mercado a partir de R\$69,00.
- O fato de trabalhar com código aberto possibilita sua comunicação com placas microcontroladoras para acionamento da câmera.

Figura 16 – Câmera Raspberry



Fonte: RASPBERRY, 2016

2.2.6.3 Câmeras de ação

Uma câmera de ação (figura 17) é um tipo de câmera portátil que, dentre as suas vantagens, destacam-se (GOPRO, 2022):

- Versatilidade devido ao seu tamanho, peso e acessórios.
- À prova da água.
- Faz fotos e vídeos em alta resolução.
- Não necessita troca de lentes.
- Alta compatibilidade com controle por aplicativos (Android/IOS).

Figura 17 – Câmera de ação da marca Gopro



Fonte: GOPRO, 2022

2.2.6.4 Câmeras de *Smartphones*

Por fim, outra possibilidade que pode ser usada para captura de imagens são as câmeras de *smartphones*, de marcas tais como Apple, Samsung, Motorola, Xiaomi, entre outros. Cada câmera possui sua própria especificação, sendo mais aconselhada para fotos diurnas ou em alguns casos podendo trabalhar com pouca luminosidade (figura18). Suas principais vantagens são (TECHTUDO, 2015):

- Dispositivo de fácil acesso.
- Compatível com diversos aplicativos para processamento/tratamento automático de imagens.
- Sincronização das imagens com serviços de nuvem.
- Maior display entre as câmeras anteriormente citadas para visualização prévia (preview) das imagens.

Figura 18 – Lentes da câmera do *smartphone* Apple



Fonte: Reprodução/Apple

2.2.7 Comparativo Geral

Como pode ser visto pelos itens anteriores, cada tecnologia de escaneamento possui seus pontos fortes e suas limitações, além de diferentes tipos de aplicação. Por exemplo, em escaneamentos de partes internas do corpo, com digitalização em 3D, a tomografia computadorizada é um ótimo recurso. Já para escaneamentos externos, de alta velocidade e com segurança e conforto ao paciente, a fotogrametria é uma boa opção e conta com variadas tecnologias de captação: das mais sofisticadas como câmeras DSLR até as mais acessíveis como aparelhos *smartphones*. No item 4.3 é apresentado os resultados deste estudo comparativo entre as diferentes tecnologias citadas, como Raio-X, Tomografia Computadorizada, MRI, Ultrassom e Escaneamento 3D.

2.3 Benefícios da digitalização

Os avanços tecnológicos tornam possível a obtenção de dados tridimensionais dos pacientes tão precisos e simples de se obter como qualquer outro produto físico em 3D (LANE; HARRELL, 2008). Fazendo uma análise das cirurgias citadas, pode-se perceber que a digitalização e a impressão 3D são assuntos recorrentes estudados na área do Design Virtual para cirurgia plástica e que existem alguns requisitos percebidos para sua correta aplicação:

- Precisão das medidas.
- Possibilidade de posicionamento e dimensionamento de implantes.

- Visibilidade e previsibilidade dos resultados.
- Escaneamento de partes tais como mandíbula, orelha, cabeça e peito.
- Levantamento automático das medidas.

Em alguns casos, o tempo para a preparação pré-operatória se torna mais longo se comparado com o processo convencional. Entretanto, isso pode significar uma vantagem por aumentar o nível de cuidado que o cirurgião vai ter ao realizar a preparação da cirurgia, fazendo-o analisar mais minuciosamente o procedimento, diminuindo o tempo de operação e melhorando os resultados (HIERL *et al.*, 2013). Dentre as diversas formas de digitalização tridimensional e as suas possíveis aplicações nas cirurgias anteriormente citadas, cada uma possui um benefício que justifique sua aplicação. É visível que os recentes avanços na computação de imagens médicas tridimensionais para cirurgias possibilitaram um grande avanço e permitiram diagnósticos virtuais, planejamentos de tratamento e avaliação de resultados do tratamento de deformidades. Tais avanços necessitam que as tecnologias sejam simples de usar, apresentem segurança ao paciente e estejam disponíveis a um custo relativamente baixo.

2.4 Procedimentos cirúrgicos abordados

Com enfoque na utilização do planejamento cirúrgico virtual, esta parte do trabalho apresenta os procedimentos cirúrgicos estudados para serem beneficiados quanto à utilização do escaneamento 3D. Segundo o trabalho de Carpes (2020), busca-se uma evolução ao utilizar a digitalização por fotogrametria no planejamento destas cirurgias. No laboratório VID utilizado por este autor, atualmente é adotado um escâner de luz branca. Porém, técnicas mais novas, como a fotogrametria, facilitam a aplicação por cirurgiões por não necessitarem um escâner de alto custo ou de softwares pagos. Esta busca citada por Carpes (2020) aborda 4 tipos de procedimentos cirúrgicos, os quais também são a base para este trabalho e estão descritos nos itens a seguir.

2.4.1 Reconstrução Auricular

A cirurgia para reconstrução auricular é um fator que promove não apenas a reconstituição das características físicas do paciente, como também psicológicas (AVELAR, 1986). O indivíduo, ao perceber certa anormalidade em seu corpo na região auricular, costuma se sentir insatisfeito com sua aparência física, tendendo a ter danos psicológicos. Além das questões

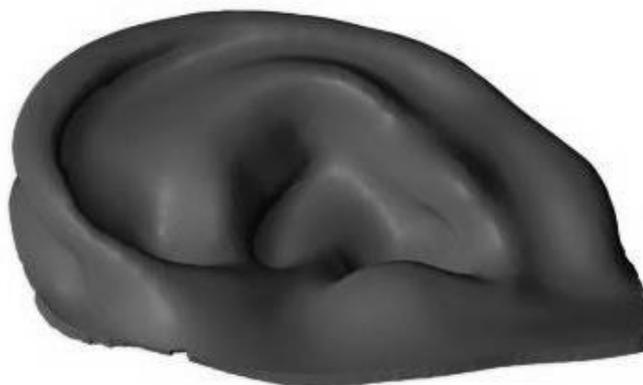
funcionais relacionadas à audição, as orelhas são órgãos importantes para o equilíbrio estético da composição facial (CARPES, 2020).

Segundo o trabalho deste mesmo autor (CARPES, 2020), foram definidos alguns pontos para serem aprimorados no processo cirúrgico tradicional de reconstrução auricular. Dentre eles destacam-se os seguintes para esta pesquisa:

- Aumentar a precisão na construção do implante com relação à forma e ao posicionamento dos seus elementos constituintes;
- Aprimorar o posicionamento da nova orelha, considerando a harmonia do rosto, simetria e contorno capilar.
- A partir do modelo 3D virtual da orelha a ser reconstituída são projetados também os dispositivos para auxiliar a cirurgia, os quais são descritos individualmente a seguir.

Com os avanços na digitalização 3D e das técnicas de VSP, é possível a construção de modelos físicos que servem como referência para orientar os médicos que irão aplicar a cirurgia. O modelo pode ser impresso em 3D (Figura 19) e serve, neste caso, para orientar a finalização dos formatos da orelha, como o lóbulo e o quão afastada ficará do crânio (CARPES, 2020).

Figura 19. Modelo da orelha espelhada para impressão 3D



FONTE: Carpes, 2020

2.4.2 Sequência de Pierre Robin

A Sequência de Pierre Robin (SPR) é uma condição congênita descrita pela primeira vez pelo médico francês Pierre Robin, em 1923. A SPR pode resultar na obstrução mecânica do trato respiratório superior e uma consequente dificuldade na alimentação. Esses problemas iniciais podem levar a sintomas secundários, como distúrbios respiratórios e do sono, desnutrição,

crescimento lento ou, mesmo, perda de peso corporal e, em casos graves, morte precoce (COLLARES *et al.*, 2016; MAO; ZHANG; CUI, 2019). A figura 20 mostra um paciente em tratamento com SPR.

Figura 20. Exemplo de paciente bebê com Pierre Robin.



Fonte: SCOTT; TIBESAR; SIDMAN 2012

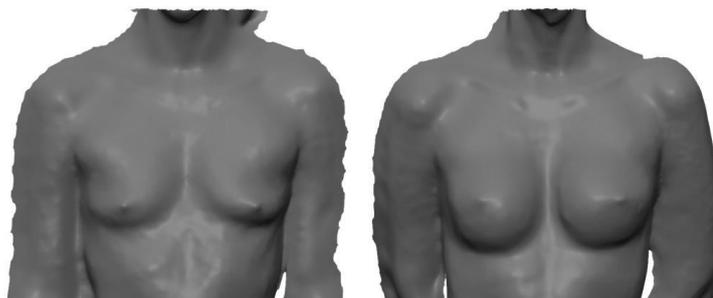
Alguns dos pontos críticos nas cirurgias para correção da Sequência de Pierre Robin são intraoperatórios reduzidos e tempo de operação curto. Isso significa que é necessário que o planejamento cirúrgico seja muito bem executado, o qual atualmente conta com a ajuda de radiografias bidimensionais ou tomografias computadorizadas (CT). Estas, porém, são limitadas por suas incapacidades de servirem como verdadeiros guias intraoperatórios (DOSCHER *et al.*, 2014), uma vez que a maioria dos guias cirúrgicos usados para a distração mandibular são feitos à mão e podem resultar em baixa precisão dimensional (MAO; ZHANG; CUI, 2019). Nos bebês, o pequeno tamanho da mandíbula requer procedimentos e técnicas operacionais altamente precisas, em que qualquer erro pode levar a complicações graves (MAO; ZHANG; CUI, 2019).

2.4.3 Mamoplastia de Aumento

Ainda que as cirurgias para mamoplastia de aumento tenham avançado de forma significativa, tais cirurgias ainda possuem um fator limitante quanto à dificuldade na determinação do volume e da simetria das mamas. Para a preparação do procedimento, o cirurgião plástico adota estimativas de tamanho visuais e medidas lineares no corpo do paciente, possibilitando

certa variabilidade nos cálculos e resultando em maus resultados estéticos ou significativos procedimentos de revisão posteriores (TEPPER *et al.*, 2006). Através do uso de técnicas do Design Virtual, além de possibilitar medições mais precisas, possibilita também a análise da quantidade de enxerto de gordura posicionada acima da prótese, de forma a deixar os contornos da mama mais naturais. A figura 21 mostra um exemplo de pré e pós-operatório de uma cirurgia de aumento de mama.

Figura 21. Exemplo de pré e pós-operatório de mamoplastia.

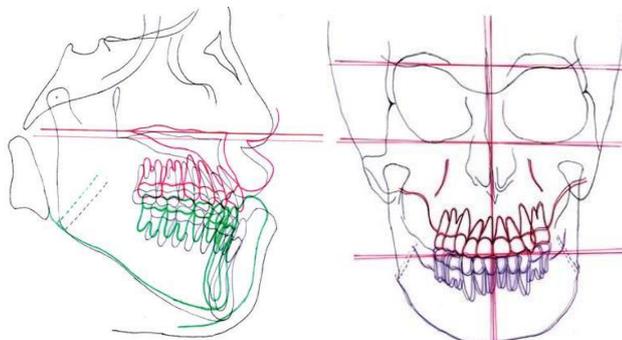


Fonte: CARPES, 2020

2.4.4 Cirurgia Ortognática

A cirurgia ortognática consiste no reposicionamento da maxila, mandíbula e seus segmentos ósseos, com três objetivos: ortodôntico, funcional e estético (PASCAL *et al.*, 2018). Seu planejamento envolve exames físicos, radiografias, fotos, cefalometrias - laterais e frontais - bidimensionais (Figura 22), moldes dentários, arco facial e articuladores. Porém, um procedimento tradicional de planejamento não consegue levar em conta algumas informações anatômicas do crânio, as quais, em pacientes com deformidades graves, podem levar a problemas significativos (CHIN *et al.*, 2017).

Figura 22. Exemplo de planejamento cirúrgico 2D.



FONTE: GANDEDKAR; CHNG; YEOW, 2016

Neste caso, o planejamento cirúrgico virtual permite a realização de previsões que envolvem ossos, tecidos moles e medições mais precisas. Com o VSP, também é possível utilizar gabaritos e ferramentas produzidas a partir de processos de fabricação como impressão 3D, permitindo assim maior precisão e visibilidade para o trabalho do cirurgião (PASCAL *et al.*, 2018; QIN *et al.*, 2019).

2.5 Metodologia de Projeto

O desenvolvimento do projeto pode ser dividido em 5 fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção do produto e lançamento do produto. De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), cada fase tem as suas especificidades. O projeto informacional tem foco no cliente, é neste momento que são identificados os interesses dos clientes para chegar às especificações do produto a ser desenvolvido.

Enquanto isso, o projeto conceitual é voltado para a busca, criação, representação de seleção de soluções para o problema do projeto. É neste momento que as ideias começam a ganhar forma, surgindo características do produto que podem se tornar definitivas ao final do desenvolvimento. Na fase do projeto conceitual, as informações das concepções são geralmente abstratas e esquemáticas, dificultando a comparação das soluções (BACK, 2008). Assim, recomenda-se adotar critérios generalizados e qualitativos em menor número, para separar as concepções viáveis das inviáveis. Esses critérios devem ser claramente definidos, independentes, não ambíguos, redigidos positivamente, igualmente aplicáveis a todas as concepções e que avaliam um único atributo de qualidade (BACK, 2008).

Na etapa seguinte, no projeto detalhado, o produto ganha as suas características específicas. É no projeto detalhado que o produto começa a ser concebido, ganhando forma, componentes e a sua construção. A fase de preparação da produção do produto fica responsável pela definição do processo produtivo, é nesta fase que se inicia produção de lote piloto, com definições de processos de produção e de manutenção. A fase de lançamento do produto está voltada às companhias de marketing para mostrar ao cliente o produto. Neste momento, volta o contato com os consumidores, dando início ao processo de vendas, distribuição, atendimento a clientes e assistência técnica (ROZENFELD *et al.* 2006). Como este trabalho não visa a etapa de fabricação do produto, a metodologia descrita por Rozenfeld (2006) é contemplada somente até as etapas de Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para desenvolver as etapas seguintes da pesquisa, neste capítulo consta a metodologia de pesquisa adotada para se chegar ao objetivo deste trabalho. Por se tratar de uma abordagem que visa orientar pesquisas que objetivam o projeto ou o desenvolvimento de novidades (criação de artefatos, geração de soluções para problemas existentes), a *Design Science Research* é o método escolhido para ser adotado. Esta sistematização foi formulada por Lacerda *et al.* (2013) para a condução de pesquisas científicas em que se pretende criar e avaliar novos artefatos que conduzam a soluções satisfatórias de problemas práticos na área de design, podendo ainda ter aplicabilidade em diferentes áreas desde que objetivem projetar (ou construir) artefatos ou propor soluções.

3.1 Delineamento da pesquisa

Devido ao seu caráter prático, conforme definição de Dresch *et al.* (2014), o principal interesse neste tipo de trabalho é que seus resultados auxiliem os profissionais na solução de problemas do dia a dia. Primeiramente, com o problema de pesquisa definido: “Como a fotogrametria pode contribuir como um processo rápido, pouco invasivo e de baixo custo utilizando digitalização de pacientes e auxiliando no planejamento de cirurgias”, uma forma de encontrar a resposta para tal problema é através da construção de artefatos. Os artefatos, como explica Simon (1996), são o ponto de encontro entre o ambiente interno (a organização do artefato por si só) e o ambiente externo, caracterizado pelos arredores dentro dos quais o mesmo opera. As Classes de Problemas são instrumentos que permitem que os artefatos não somente gerem respostas para problemas pontuais, mas sim para toda uma classe de problemas que pode abranger outras aplicações. Conforme os autores Dresch *et al.* (2014), essas classes, quando generalizadas, permitem que o conhecimento gerado em um contexto específico possa ser acessado e adotado por pesquisadores e organizações que tenham problemas similares.

O trabalho faz uso de pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, entrevista com pesquisadores da área de planejamento cirúrgico virtual e validação por meio de testes em campo. Para isso, é construído um artefato e comparado seus resultados com os gerados por outros equipamentos disponíveis no mercado.

3.2 Procedimentos para o levantamento e análise de dados

Para levantamento dos dados que servem de requisitos para o projeto do artefato, são realizadas entrevistas com pesquisadores da área. Tais pesquisadores contemplam um professor doutor membro do laboratório LDSM do curso de Design da UFRGS e um aluno doutorando do curso de Design membro do laboratório VID da UFRGS. Ambos possuem experiência com estudos de escaneamento de objetos e pessoas e responderam a perguntas tais como:

- O que precisa haver em um escâner por fotogrametria para funcionar da melhor maneira?
- O que não pode haver em um escâner por fotogrametria?
- Qual a forma você usa para escanear pessoas/objetos hoje?

Tais perguntas foram utilizadas para embasar as etapas de identificação do problema e dos artefatos da DSR. Além disso, foi aplicado um questionário junto ao pesquisador do VID sobre detalhamentos técnicos desejados para o escâner. O resultado deste questionário se encontra no item 4.3.

Para o projeto do artefato, é aplicada a Metodologia de Projeto conforme descrita no item 2.4. Dessa forma, inicialmente é aplicada a técnica de *brainstorming* para levantar todas possibilidades de construção do escâner. Após, se inicia a aplicação de tabelas de pontuação de alternativas para encontrar a configuração que melhor atende aos requisitos deste trabalho. Tais tabelas são capazes de comparar todas as possibilidades e gerar pontuações que permitem a seleção da melhor alternativa.

Após o projeto e desenvolvimento do artefato, seus resultados são apresentados e são comparados a outros métodos de escaneamento existentes para aplicações similares, como luz estruturada ou fotogrametria manual com uso de smartphone. Além desses, também são comparados os resultados com aqueles gerados por sistemas de medição manuais tradicionais, como réguas e paquímetros.

Após coletar e analisar os dados, é feita a síntese das informações levantadas. Essa síntese faz referência à manipulação dos dados que foram obtidos e analisados, possibilitando a estruturação da contribuição que o presente trabalho propõe. Esta etapa é feita através de um quadro que mensura diferentes fatores, como tempo de aquisição, custo médio por aquisição, custo do equipamento, precisão das medidas, nível de expertise do operador,

segurança do paciente e operador da máquina, aplicação para planejamento cirúrgicos e índice de privacidade do paciente escaneado (quadro 2).

Quadro 2 - Comparação dos resultados

	Artefato construído	Fotogrametria Smartphone	Luz estruturada	Métodos manuais
Tempo de aquisição	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5
Custo médio por aquisição	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5
Custo do equipamento	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5
Precisão das medidas	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5
Nível de expertise do operador	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5
Segurança do paciente e operador da máquina	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5
Aplicação para planejamento cirúrgico	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5
Índice de privacidade	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5	Escala de 1 a 5

Fonte: do autor (2022)

A partir do quadro 2, é adotado o método da matriz de decisão ponderada, com pesos específicos em cada critério, para a pontuação final de cada forma de medição avaliada. A matriz de decisão é uma lista de informações e valores agrupados por linhas e colunas (MAZAK, 2014) capazes de sugerir a melhor alternativa a ser seguida.

Algumas avaliações aqui propostas são feitas de forma qualitativa, devido às implicações em tempo e custo que avaliações puramente quantitativas acarretariam. Ainda, as pontuações da matriz do quadro 2 não necessariamente validam ou invalidam qualquer um dos 4 modelos avaliados, mas apenas sugerem qual é o mais adequado para o foco deste estudo: o planejamento cirúrgico virtual. Os dados são inseridos na matriz de acordo com a versão atual do artefato construído, o que não necessariamente significa que seja um equipamento que não possa evoluir e apresentar resultados melhores em trabalhos futuros.

Por fim, nesta etapa ainda é apresentada a proposição em design, que é a generalização de conceitos para uma classe de problemas, em acordo com Lacerda *et al.* (2013). Adicionalmente, a conclusão aborda questões sobre as limitações do artefato assim como possíveis desdobramentos para a sua continuidade.

3.3 Design Science Research

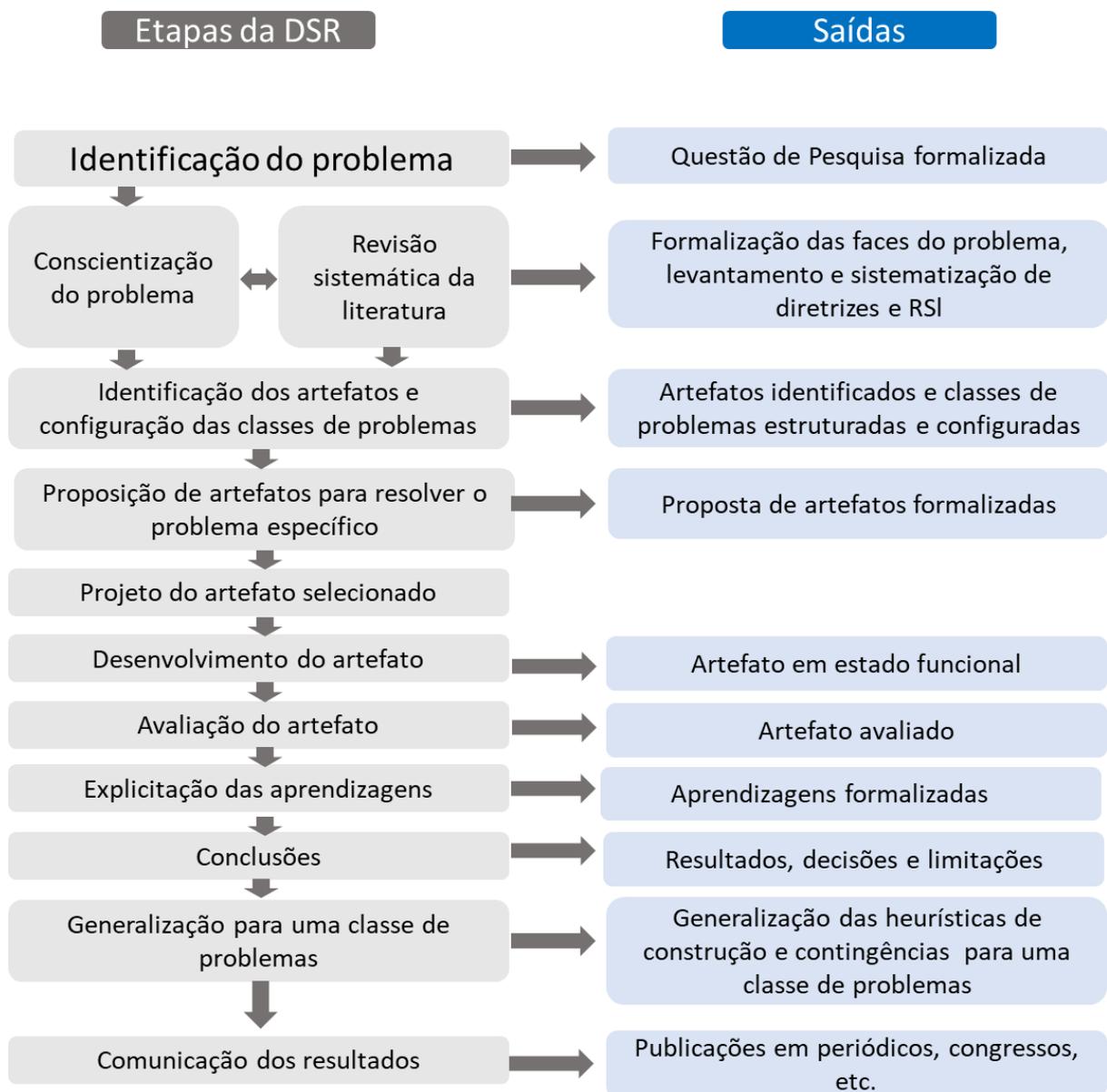
Para desenvolver o artefato que permita a realização do planejamento cirúrgico virtual mais assertivamente, esta pesquisa utiliza a sistematização proposta por Lacerda *et al.* (2013). Esta sistematização é composta por 12 passos (DRESCH *et al.*, 2014). Tais etapas foram adotadas para o delineamento da pesquisa (Figura 23) e são discutidas em maior profundidade nas subseções a seguir.

A *Design Science Research* (DSR) é uma abordagem epistemo-metodológica que detalha as formas de se fazer ciência a partir da construção de artefatos. Tal abordagem trabalha com 2 objetivos principais. Diferentemente das metodologias tradicionais, que se concentram em explorar, descrever e explicar os fenômenos naturais ou sociais, a *Design Science Research* tem objetivo de prescrever e de desenvolver conhecimentos para a concepção e elaboração de sistemas com foco em solucionar problemas (DRESCH *et al.*, 2014). Primeiro, desenvolver um artefato para resolver um problema prático em um contexto específico. Segundo, gerar novos conhecimentos técnicos e científicos para toda uma classe de problemas. Para sua aplicação, é preciso ter conhecimento sobre o problema, especialmente suas causas e consequências, para se pensar em possíveis soluções. Esse conhecimento pode ser obtido através de uma revisão de literatura, de estudos empíricos anteriores, de estudos exploratórios ou de especialistas no domínio (PIMENTEL, 2020).

Dentro da Design Science existem 4 métodos tradicionais de pesquisa científica: indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo e abduutivo. Tais métodos são premissas sobre como o conhecimento é construído, sendo que este último, o abduutivo, é o método adotado neste trabalho. O método abduutivo consiste em estudar fatos e propor teorias para explicar eles. Assim, a abdução é um processo de criação de hipóteses explanatórias para um determinado fenômeno ou situação. É considerado um processo, acima de tudo, criativo. Por causa disso, é o mais indicado para compreender uma situação ou problema, exatamente devido ao processo criativo intrínseco desse método de solução. Além do mais, é um método científico que tem como característica a possibilidade de permitir a introdução de uma nova ideia (FISCHER AND GREGOR, 2011).

A partir do entendimento do problema, a *Design Science Research* busca construir e analisar artefatos que permitam transformar situações, alterando suas condições para estados mais desejáveis. Seu uso nas pesquisas tende a diminuir o distanciamento entre teoria e prática. Como síntese, os autores Dresch, Lacerda e Júnior (2014) propõem 12 etapas principais (Figura 23). Segundo os autores, para atingir o rigor da pesquisa fundamentada no método da *Design Science Research*, é importante que o pesquisador complete cada uma das etapas que são propostas pelo método, observando suas respectivas saídas.

Figura 23: Etapas da metodologia Design Science Research



Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015)

A Figura 23 traz etapas referentes ao desenvolvimento de um artefato, porém é necessário destacar o fato de que este trabalho objetiva definição de requisitos de projeto (conforme apresentado no item 1.4 da Introdução).

3.4 Detalhamento das etapas

Para a condução de pesquisas científicas cuja intenção envolve a criação e avaliação de novos artefatos, Lacerda *et al.* (2013) propõe uma sistematização que será seguida ao longo deste trabalho e detalhada ao longo deste capítulo. Tais artefatos devem conduzir a soluções satisfatórias de problemas práticos na área de design.

3.4.1 Identificação do Problema

A primeira etapa desta pesquisa é resultado da revisão sistemática da literatura. Conforme Lacerda *et al.* (2013), deve haver uma etapa de conscientização sobre uma determinada problemática para que a pesquisa seja conduzida para um problema específico. Com a aplicação da RSL, foi possível descobrir o que há de mais moderno na pesquisa relacionado a escaneamentos para planejamento cirúrgico. Para isso, foi buscado em uma base cujo filtro trazia apenas trabalhos com até 5 anos de publicação, já que novas tecnologias podem surgir durante este período. Também, foi possível verificar as limitações e melhorias que ainda precisam ser desenvolvidas para que mais pessoas possam ter acesso a este tipo de inovação.

3.4.2 Conscientização do Problema

Nesta etapa, o pesquisador deve compreender as categorias, causas e contexto do problema. Além disso, devem ser consideradas as funcionalidades do artefato, seus requisitos e a performance esperada. Algumas abordagens possíveis são a estrutura sistêmica e a teoria das restrições. A saída desta etapa é a formalização das faces do problema, considerando suas fronteiras (ambiente externo) e os requisitos necessários para que o artefato seja capaz de solucionar o problema (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). O objetivo é a transferência de conhecimento do âmbito técnico de escaneamento 3D para o âmbito de design de produtos. Espera-se conseguir um artefato acessível, versátil e eficaz.

3.4.3 Revisão Sistemática da Literatura

A revisão sistemática da literatura (RSL) possibilita que o trabalho leve em consideração as mais atualizadas pesquisas relacionadas ao assunto em questão, estabelecendo uma base ampla para o desenvolvimento do artefato do estudo. Também, permite identificar os estudos com foco no mesmo problema ou em problemas similares ao do identificado pelo pesquisador, gerando o conhecimento necessário para o desenvolvimento do artefato e a consequente resolução do problema (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014). A RSL permitiu que fossem encontradas as principais comparações entre as formas de escaneamento existente hoje, traçando as vantagens e limitações de cada uma.

A principal base utilizada foi a Google Scholar, a qual conseguiu trazer resultados de outras bases tais como *Reasearchgate*, *Springer*, *Scielo*, entre outras. A *string* que trouxe melhores resultados foi: "3D body scanning" AND ("surgical planning" OR "plastic surgery") AND "design". Ainda, para contemplar os trabalhos em língua portuguesa, foi utilizada a seguinte *string*: "escaneamento 3d" AND ("planejamento cirúrgico" OR "cirurgia plástica") AND "design". Antes de avaliá-los, todos ainda passaram pelos filtros dos critérios de inclusão e de exclusão, como seguem:

A) Critérios de Inclusão:

- Artigos de acesso livre (*Open Access*)
- Datas de publicação a partir do ano de 2016 (5 anos à contar do início da pesquisa deste trabalho).
- Trabalhos que se vinculam às áreas foco desta pesquisa (Prototipagem, Design, Engenharia)
- A disponibilidade dos trabalhos em língua portuguesa (para contemplar os pesquisadores brasileiros) ou inglesa (língua universalmente aceita nesta área).

B) Critérios de exclusão:

- Patentes e Citações.
- A indisponibilidade do trabalho em sua íntegra.
- Artigos que não adotem modelos ou formas práticas de aplicação.
- Artigos repetidos (devido a utilização de mais de uma base de consulta) e trabalhos de um mesmo autor com conteúdo igual.

Com base nestes critérios, strings e repositórios, os artigos resultantes permitem o encontro de referências mais assertivas e discussões mais corretamente relacionadas ao tema.

3.4.4 Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas

A partir da revisão sistemática da literatura, é possível evidenciar artefatos semelhantes (constructos, modelos, métodos, instanciações ou *design propositions*) ao que se está buscando na pesquisa. Isso permite que o pesquisador faça uso de lições adquiridas e construídas por outros estudiosos. Também assegura que a pesquisa que está sendo desenvolvida ofereça uma contribuição relevante (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). Neste trabalho foram encontradas tabelas que identificam artefatos de escaneamento 3D assim como suas classes de problemas subsequentes. Essas tabelas foram buscadas no trabalho de Haleem (2019) e, logo após, foram adaptadas a fim de identificar as principais limitações e aplicações de cada classe de artefatos.

3.4.5 Proposição de artefatos para resolução do problema

É um processo essencialmente criativo e o raciocínio abduutivo mostra-se adequado para o desenvolvimento desta etapa. A proposição do artefato deve levar em consideração a adaptação à realidade, o contexto de atuação e a sua viabilidade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). Nesta etapa, é necessário consolidar os requisitos de projeto e realizar a descrição das características desejadas no desempenho do artefato-método e do artefato-instanciação. Para isso, foi necessária a realização de entrevistas com pesquisadores da área para levantamento de informações, requisitos e análise do problema, detalhados no item 4.3. Tais requisitos foram inseridos em uma tabela para que, juntamente com requisitos já levantados por outros trabalhos tais como Singh (2021) e Watson (1998) entre outros, permitissem o início do projeto conceitual do artefato. Tal etapa de entrevistas para projeto informacional de produto segue a metodologia de Back (2008) e possibilita a proposição de artefatos como respostas viáveis ao problema desta pesquisa.

3.4.6 Projeto do Artefato

Antes de iniciar o projeto e a partir da proposta formalizada do artefato, deve-se validar se a solução é satisfatória para o problema de pesquisa. O projeto do artefato deve considerar as características internas e o contexto em que irá operar, além de seus componentes, relações internas de funcionamento, limites e relações com ambiente externo. Também, é necessário descrever os procedimentos para construção e avaliação do artefato, (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

O projeto do artefato seguiu as etapas descritas por Back (2008), observando as etapas de projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. Através das duas

primeiras etapas desta metodologia, buscou-se encontrar a melhor versão possível para o artefato que respeite as delimitações tais como tempo de desenvolvimento, custo do equipamento e aplicação para as cirurgias citadas no item 2.4. Por fim, o projeto detalhado incluiu o levantamento de materiais, componentes e seus respectivos custos para que se pudesse iniciar a próxima etapa: desenvolvimento do artefato.

3.4.6.1 Requisitos do produto para aplicações cirúrgicas

O planejamento cirúrgico virtual (VSP) aborda procedimentos operatórios utilizando dados digitais. Durante o escaneamento, os dados incluem informações de forma e tamanho dos tecidos, que podem ser influenciados pela posição do paciente durante a captura. Portanto, devido a esta aquisição de dados ser parte crítica do VSP, a padronização da captura de imagens é fortemente sugerida para a geração de medições consistentes (SINGH, 2021).

Os requisitos específicos para aplicações das cirurgias abordadas neste trabalho foram gerados a partir de pesquisa da literatura e entrevistas com pesquisadores citadas no item 3.2 e detalhados no item 4.3.

3.4.7 Desenvolvimento do Artefato

Segundo Dresch *et al.* (2014), a etapa de desenvolvimento do artefato consiste na elaboração de algoritmos computacionais, representações gráficas, protótipos ou outras formas de modelagem. O autor ainda cita a importância da geração de conhecimento aplicável para a classe de problemas, melhoria de sistemas existentes e/ou criação de novas soluções, não apenas limitando-se ao desenvolvimento do produto em si (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

No caso deste trabalho, foi construído um protótipo funcional de um escâner 3D, a fim de gerar conhecimento no contexto de VSP e possibilitar a criação de novos produtos e soluções para a área de Design Virtual (VD). Para tanto, utilizou-se metodologias e ferramentas de Design de Produto, demonstradas e esquematizadas ao longo deste capítulo.

3.4.8 Avaliação do Artefato

Conforme Dresch, Lacerda e Junior (2015) a avaliação de um artefato para o design pode ser realizada através da instanciação, que é a aplicação dos artefatos anteriormente elaborados (constructos, modelos e métodos) em um ambiente real de uso. Eilouti (2009) utiliza um

estudo empírico complementado por uma pesquisa de percepção para avaliar o desempenho de um artefato de design (modelo de análise e síntese para o conhecimento precedente de design). De acordo com Eilouti (2009), o estudo empírico permite identificar as fraquezas e as qualidades de uma determinada proposta, enquanto a pesquisa de percepção permite a discussão sobre tópicos importantes identificados.

Para a avaliação do protótipo de escâner 3D para planejamento cirúrgico desenvolvido neste trabalho, foram realizados escaneamentos com diferentes quantidades totais de imagens, amplitudes de movimento e ângulo entre fotos. Os resultados destes testes permitiram com que pudesse ser levantada uma tabela de pontuações segundo critérios de: Tempo de aquisição; Custo do equipamento; Precisão das medidas; Nível de expertise do operador; Segurança do paciente; Aplicação para planejamento cirúrgico e Índice de privacidade (conforme requisitos levantados no projeto informacional). Esta tabela de pontuações fez uma análise qualitativa que compara a tecnologia construída com outras possibilidades de mercado, como fotos manuais de *smartphones*, equipamentos de luz estruturada e métodos manuais tais como réguas e trenas.

3.4.9 Explicitação das Aprendizagens

Após os resultados obtidos, é necessário declarar os pontos de sucesso e insucesso da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). Neste trabalho, explicou e descreveu-se os meios para se desenvolver o artefato. Nas explicitações, instruiu-se sobre o funcionamento e aplicação do artefato-instanciação, mostrando também algumas dificuldades técnicas e como elas foram superadas. Sugestões são feitas nesta etapa para trabalhos futuros que possam usar como base este desenvolvimento.

3.4.10 Conclusão

Nas conclusões, o pesquisador discute sobre os resultados alcançados, assim como mostra as decisões tomadas durante a execução da pesquisa. Também são descritas as limitações da pesquisa que podem direcionar futuros trabalhos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). As saídas foram a apresentação dos resultados da pesquisa, principais decisões tomadas e limitações da pesquisa.

3.4.11 Generalização para uma classe de problemas

É necessário o raciocínio indutivo nesta etapa. Ou seja, busca-se a generalização da solução encontrada para uma classe de problemas, concluindo-se uma verdade geral a partir de um número suficiente de testes com casos particulares. Desta forma, o conhecimento gerado em uma situação específica pode ser aplicado por outras pessoas e pesquisadores em situações similares (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014).

3.4.12 Comunicação dos Resultados

A última etapa da DSR diz respeito à publicação dos resultados em jornais, revistas, seminários, congressos e afins, contribuindo para a disseminação e avanço do conhecimento do tema da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). A forma com que o presente trabalho é divulgado é através da divulgação no site da universidade, divulgação do programa de pós-graduação e na possível publicação de artigos a partir desta pesquisa.

3.5 Softwares e processamentos

O programa utilizado foi o “Meshroom”, o qual permite a construção de modelos 3D a partir de um conjunto de fotos, exportá-los e então analisá-los. A interface do Meshroom é relativamente simples e dispõe de diversas ferramentas. Para iniciar, o usuário precisa arrastar as imagens que irão produzir o modelo tridimensional para a área de trabalho do programa. A partir disso, o Meshroom oferece diversas maneiras de interagir e de visualizar o modelo resultante. Tal modelo pode ser exportado com liberdade em diversos formatos, para que possa ser visualizado em outros aplicativos ou até replicado em softwares que gerem arquivos para impressão 3D (MESHROOM, 2022). O processamento das imagens foi realizado em um computador com processador Intel(R) Core (TM) i5-4690 CPU @ 3.50GHz, memória RAM de 16,0 GB, 64-bit, placa de vídeo NVIDIA Quadro K620, GPU Cores: 384, Memória: 2 GB GDDR3.

4. RESULTADOS

A partir da pesquisa realizada e em conformidade com a DSR, este trabalho obteve resultados quanto à análise de produtos similares e lista de pré-requisitos dos produtos de acordo com cada tipo de cirurgia. Com essas informações, também foram realizadas as etapas de projeto do artefato, desenvolvimento do artefato e por fim a aplicação do artefato. Os detalhes se encontram nos itens 4.1 a 4.7 que seguem.

4.1 Revisão Sistemática da Literatura

A partir da primeira *string*, citada no item 3.4.3, 182 trabalhos foram apresentados. Com a busca de trabalhos em português, foi gerado um total de 40 resultados, o que soma um acumulado de 222 artigos em ambas as línguas. Antes de avaliá-los, todos ainda passaram pelos filtros dos critérios de inclusão e de exclusão também citados no capítulo 3.

Com estes novos filtros de inclusão e de exclusão, foram contemplados 59 trabalhos em língua inglesa e 20 em língua portuguesa, totalizando 79 trabalhos. Foram então selecionados os artigos mais relevantes de acordo com a proposta desta pesquisa e suas referências foram analisadas.

4.2 Identificação de similares e conscientização do problema

Através da RSL, foram identificados os artefatos similares ao deste estudo e as limitações aplicadas ao campo medicinal. Dentro da área clínica, mesmo a respiração pode afetar os resultados da medição corporal (GRAZIOSO, 2018). Devido a isso, a aquisição rápida de dados e medições não invasivas tornam-se requisitos importantes para a construção de tais equipamentos.

O resultado do escaneamento com fotogrametria, de modo geral, depende da qualidade das imagens adquiridas. Iluminação, estabilização, tamanho e especificações do sensor são alguns dos fatores que influem na qualidade das imagens e, conseqüentemente, na reconstrução tridimensional do objeto de interesse. Sabe-se que um sensor com maior número de megapixels permite a aquisição de mais detalhes dentro da fotogrametria digital, enquanto que, por outro lado, também aumenta o tempo de processamento (DANTAS, 2016). A resolução de digitalização possível de ser atingida vai depender do número de megapixels

disponíveis, da distância focal e da distância entre objeto e câmera. Imagens com maior aproveitamento da área do sensor, com o objeto ou a área de interesse bem enquadrados, resultarão na aquisição de maiores detalhes da superfície (DANTAS, 2016).

A seguir, de forma a auxiliar na identificação do problema, são mostrados alguns escâneres que já existem no mercado. Para iniciar, os escâneres a laser por luz estruturada são os mais comuns devido à sua grande portabilidade. Por serem pequenos, compactos e leves, são ótimos para aplicações que exijam fazer escaneamento em lugares remotos e com precisão. A figura 24 mostra um destes equipamentos da marca Artec.

Figura 24 - Escâner artec Handheld



Fonte: Artec 3D scanner, 2014

Porém, tais equipamentos demandam tempo para escanear todas partes do corpo, além de precisarem que o operador esteja próximo da pessoa (não respeitando sua privacidade). Para finalizar, são equipamentos de custo elevado, podendo custar entre 10.800 (dez mil e oitocentos) e 46.000 (quarenta e seis mil) euros no mercado.

O equipamento da figura 25 a seguir utiliza o princípio da fotogrametria, sendo um procedimento mais rápido e efetivo. Também possui um custo elevado, porém pode ser operado à distância e trazer resultados ótimos e rápidos (Figura 25).

Figura 25 - Escâner instantâneo de fotogrametria corporal em 3D chamado *Inbody*.



Fonte: GRAZIOSO, 2018

A fotogrametria possui vantagem pelo fato de poder ser usada juntamente com dispositivos comuns que sejam capazes de realizar fotografias, tais como *smartphones*, tablets ou câmeras semi-profissionais DSLR. Para melhorar a qualidade, empresas criam acessórios para estes dispositivos, tais como o acessório chamado *Structure Sensor*, desenvolvido pela empresa Occipital, capaz de auxiliar no trackeamento de pontos, conseqüentemente melhorando a qualidade do escaneamento (OCCIPITAL, 2014). Um acessório com luz de led também auxilia na iluminação e na qualidade das imagens (figura 26).

Figura 26 - Acessórios para tablet para escaneamento 3D.



Fonte: OCCIPITAL INC. (2014)

Para escaneamento completos, ainda existem bases que realizam a revolução automática em 360 graus da pessoa, como este da empresa Pre-motion (figura 27)

Figura 27 - Base giratória para escaneamento 3D por fotogrametria



Fonte: Pre-motion

Bases giratórias, apesar de permitirem que o operador da câmera se movimente muito pouco durante o escaneamento, podem fazer com que o paciente se desequilibre e se movimente durante o processo. Isso, além de prejudicar a qualidade das imagens, pode ser perigoso à pessoa que passa por tal processo, podendo se desequilibrar e cair da plataforma, ou ainda ficar com mal-estar.

Equipamentos portáteis profissionais de fotogrametria estão à disposição no mercado, embora difíceis de encontrar no mercado nacional. Um exemplo é a MaxSHOT 3D (Figura 28) da Creaform (CREAFORM, 2022), um equipamento portátil capaz de escanear objetos de 2 a 10 metros, com acurácia abaixo de 1mm. Ele ainda é capaz de verificar instantaneamente se as fotografias ficaram boas o suficiente para digitalização em 3D posterior.

Figura 28 - MaxShot 3D, escâner portátil por fotogrametria



Fonte: CREAFORM (2022).

4.3 Identificação e proposição do artefato

Como forma de identificação dos artefatos, é mostrada nos quadros 3 e 4 uma análise comparativa entre as limitações e aplicações das tecnologias adotadas hoje no campo medicinal, tais como Raio-X, CT, MRI, Ultrassom e Escaneamentos 3D externos.

Quadro 3 - Comparativo entre diferentes tecnologias de escaneamento

Número	Tecnologia	Limitações	Aplicações
1	Raio-x	<ul style="list-style-type: none"> Com exposição prolongada, existe risco de câncer Consegue alterar o DNA, causando mutação Causa danos às células Não pode ser usado para escaneamento da pele 	<ul style="list-style-type: none"> Usado para tratamento de tumores malignos Ajuda radiologistas a identificar rachaduras, machucados e infecções anormais em ossos Ajuda a detectar câncer de osso.
2	CT	<ul style="list-style-type: none"> Aplica uma grande quantidade de radiação ao paciente, aumentando risco de câncer 	<ul style="list-style-type: none"> Fornecer informação interna detalhada sobre o corpo, o que é ótimo para o médico. Bastante preciso, médicos podem obter uma imagem clara de onde o problema está localizado e rapidamente planejar a cirurgia, radiação e vários tratamentos de forma precisa
3	MRI	<ul style="list-style-type: none"> É realizado em um ambiente confinado, causando medo ao paciente pelo espaço e pelo alto ruído. Enquanto processa, emite ruídos elevados É um processo caro 	<ul style="list-style-type: none"> Detecta anormalidades da estrutura de tecidos macios do corpo, como tecidos de cartilagem e órgãos macios como o coração e o cérebro.
4	Ultrassom	<ul style="list-style-type: none"> Possui restrições quanto ao tamanho da imagem Consegue mostrar apenas a superfície externa dos ossos. 	<ul style="list-style-type: none"> Mostra o movimento dos órgãos internos e o fluxo sanguíneo ao longo das veias. Auxilia médicos a avaliar sintomas de dor, infecção e inchaços.
5	Escaneamentos 3D externos	<ul style="list-style-type: none"> Não mostra informações sobre as partes internas Apenas inclui informações das superfícies externas dos corpos ou objetos. 	<ul style="list-style-type: none"> Usado para obter o tamanho de qualquer objeto físico Garante que partes irão se encaixar de primeira.

Fonte: Adaptado de HALEEM (2019) e traduzido pelo autor

Quadro 4 - Continuação do comparativo entre diferentes tecnologias de escaneamento

Número	Tecnologia	Pontos fortes
1	Raio-x	<ul style="list-style-type: none"> Raios-x passam por qualquer objeto não metálico, como órgãos e tecidos humanos É como uma câmera gigante que ajuda os médicos a obter informações sem ter que realizar uma cirurgia para isso. Tecidos macios como órgãos e a pele não podem absorver os raios de alta energia, já materiais densos como os ossos podem absorver esses raios
2	CT	<ul style="list-style-type: none"> A tomografia computadorizada grava facilmente a imagem de um osso, vasos sanguíneos e tecidos macios. Sem realizar nenhuma angiografia, o cardiologista pode ver imagens 3D claras.
3	MRI	<ul style="list-style-type: none"> Ondas magnéticas criam imagens de órgãos, tecidos e outras estruturas internas do corpo humano. Fornecer informações sobre a circulação do sangue no corpo e detecta problemas relacionados ao sangue.
4	Ultrassom	<ul style="list-style-type: none"> Fornecer imagens do corpo usando ondas sonoras sem causar dor e de forma segura.
5	Escaneamentos 3D externos	<ul style="list-style-type: none"> Pode demorar poucos segundos Mede e analisa rapidamente as partes Usado para projetos de implantes médicos de alta precisão Seguro para ser usado com humanos

Fonte: Adaptado de HALEEM (2019) e traduzido pelo autor

Como pode ser observado, os quadros anteriores traçam de forma geral os potenciais de cada aplicação de escaneamento. Apesar de obter informações apenas da parte externa do paciente, o escaneamento 3D externo, tal como a fotogrametria, possui o grande diferencial de ser mais seguro para ser usado com seres humanos. Diferentemente do Raio-X, por exemplo, este tipo de tecnologia não emite qualquer forma de radiação ao corpo do paciente, mas sim o contrário: absorve a radiação naturalmente emitida em forma de luz visível. O quadro também evidencia outras vantagens da fotogrametria se comparada com outros métodos: segurança, alta velocidade, ausência de ambiente confinado ou de ruídos elevados e aplicação para doenças de pele.

Para proposição do artefato, são levantados inicialmente os requisitos do produto a partir de pesquisa com trabalhos anteriores e pesquisadores da área. Como resultado, os quadros 5 e 6 a seguir apresentam as respostas sobre as perguntas feitas aos pesquisadores do VID e do LDSM com as configurações desejadas do escâner.

Quadro 5 – Projeto informacional com requisitos gerais do escâner.

O que precisa haver em um escâner por fotogrametria para funcionar da melhor maneira?	O que não pode haver em um escâner por fotogrametria?	Qual a forma você usa hoje para escanear pessoas/objetos hoje?
Pontos de referência para criação da malha	Fotos tremidas	Suporte portátil e manual para 4 celulares para escaneamento à mão.
Iluminação forte e de qualidade		Digitalizador eletrônico portátil infravermelho
Velocidade na captura de imagens		

Fonte: do autor (2022)

Quadro 6 – Projeto informacional com requisitos técnicos do escâner.

Perguntas	Respostas
Altura pessoa máxima	Estaturas médias para pessoas entre 12 e 80 anos
Altura pessoa mínima	Estaturas médias para pessoas entre 12 e 80 anos
Número de fotos (mín/máx)	Mínimo: 176 Máximo: 300
Ângulo mín/máx (pan) entre fotos	Máximo: entre 10 e 15º
Diferença mín/máx altura entre fotos	mín 5 fotos para o rosto
Amplitude total altura fotos	Pouco mais alto que a pessoa
Amplitude total ângulo (pan) fotos	360º
Distância mín/máx entre câmera e escaneado	De 15 cm a 30 cm
Precisa inclinação da câmera (tilt)?	Sim
De 0 a 10, importância de ter um fundo para as imagens	9
Se sim, qual cor?	Branco
Iluminação? (Importância de 0 a 10)	10
Local de escaneamento	Diversos
Mais de um tipo de câmera?	Essencialmente câmera Raspberry pi v2
Cadeirantes ou outro tipo de PCDs? (0-10)	Paralisia cerebral. Cadeirante não é necessário
Escaner precisa ser móvel? (0-10)	Estático
Imagem precisa ser vista em tempo real? (Importância de 0 a 10)	0
Limitações de material (higiene)?	Ambiente de laboratório

Fonte: do autor (2022)

Ainda, foram levantados outros cuidados com base em trabalhos anteriores. Segundo Claman, Patton e Rashid (1990), Bishara *et al.* (1995) e Watson e Macdonncha (2000), devem ser obedecidos os seguintes critérios para se obter um escâner capaz de gerar resultados de qualidade:

- Evitar usar zoom ou lentes de aumento que podem reproduzir imagens com curvas convexas ou côncavas.
- Algumas partes do corpo podem ampliar-se em relação a outras. Este tipo de distorção pode ser eliminado se a máquina estiver paralela ao sujeito e completamente alinhada na vertical
- Posicionar bem os pés do sujeito de modo que nenhum lado do corpo fique mais anterior para evitar distorções, pois se o corpo é fotografado com o lado esquerdo mais à frente, o pé esquerdo é reproduzido na fotografia maior que o direito (WATSON, 1998).
- A distorção devido ao erro de paralaxe pode ser minimizada se a distância entre sujeito e máquina for aumentada, com isso aumentando o comprimento focal da máquina. A câmera deve ser sempre posicionada na horizontal e direcionada em frente ao centro do corpo do sujeito (WATSON, 1998).
- Trabalhar com apenas um pesquisador fotografando para aumentar a probabilidade de se obter um padrão de fotografias comparativas
- Utilizar sempre a mesma câmera para um mesmo escaneamento.
- Posicionar a câmera sempre na mesma distância do paciente e usar marcas.

Ainda, para cirurgias crânio-maxilo-facial, como é o caso das cirurgias ortognáticas, os seguintes parâmetros são sugeridos (SINGH, 2021) no momento da captura de imagens para escaneamento:

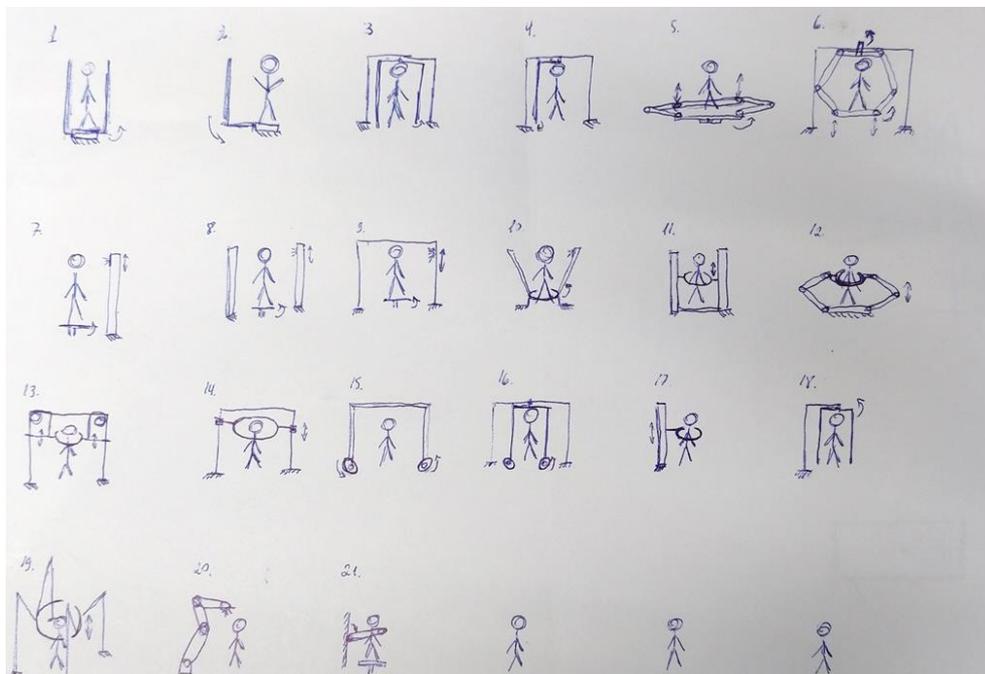
- As fotografias devem possuir cores.
- As fotografias devem incluir imagens em lateral, de ambos os lados, a 45°, além de imagens frontais.
- As fotografias devem ser feitas com a posição natural da cabeça.

4.4 Projeto do Artefato

Seguindo a metodologia de projeto, após a análise de similares e da lista de pré-requisitos de produto, é realizada a etapa de Projeto Conceitual onde foi realizado um *Brainstorming* para

apresentar o máximo de configurações possíveis para o novo escâner 3D. Este levantamento trouxe um total de 21 alternativas e ficou como mostra a Figura 29.

Figura 29 - Brainstorming das possíveis configurações do Escâner



Fonte: do Autor (2022)

Cada uma das 21 alternativas geradas possuem um princípio diferente de funcionamento, diferenciando-se conforme o tipo da base, do movimento da câmera e da estrutura de fundo.

A base, espaço sobre o qual o paciente fica posicionado, pode ser estática, móvel ou inexistente. As alternativas com base estática significam que o paciente fica imóvel ao longo do escaneamento. Enquanto isso, as alternativas com base móvel implicam em um sistema motorizado que rotaciona o paciente. Por fim, as alternativas com base inexistente significam que o paciente fica posicionado diretamente sobre o piso.

Em relação ao movimento da câmera, este pode ser vertical, rotacional e vertical, ou diverso. No primeiro, a câmera apenas se movimenta em um eixo perpendicular à base. No segundo, a câmera ainda pode rotacionar ao redor do paciente, aplicado a aquelas alternativas que possuem base estática ou inexistente. Por último, o movimento da câmera diverso significa que a câmera possui mais de 2 graus de liberdade e possibilita fotografias de diversos ângulos, como é o caso da alternativa 20 (Figura 29).

O escâner pode ou não conter estrutura de fundo, dependendo da alternativa. As opções com o fundo são mais caras e complexas, porém exigem menor tempo de

processamento do escâner e melhoram o contraste das imagens. De forma oposta, as opções sem fundo são mais baratas e simples, porém exigem mais tempo de processamento e trazem menos contraste às imagens. O quadro 7 detalha qual o princípio de funcionamento de cada uma das alternativas mostradas na Figura 29.

Quadro 7 – Princípios de funcionamento das alternativas geradas no Brainstorming

Nº	Base	Movimento da Câmera	Estrutura de Fundo	Princípio de funcionamento
1	Estática	Rotacional e vertical	Sim	Estrutura rotativa anexada diretamente a uma base fixa
2	Estática	Rotacional e vertical	Não	Estrutura rotativa anexada diretamente a uma base fixa
3	S/ base	Rotacional e vertical	Sim	Estrutura rotativa anexada a uma estrutura fixa pela parte superior
4	S/ base	Rotacional e vertical	Não	Estrutura rotativa anexada a uma estrutura fixa pela parte superior
5	Estática	Rotacional e vertical	Não	Estrutura rotativa fixada à base com movimentação vertical através de braços articulados
6	S/ base	Rotacional e vertical	Não	Estrutura rotativa com movimentação vertical através de braços articulados anexada a uma estrutura fixa pela parte superior
7	Móvel	Vertical	Não	Base rotativa próxima a um módulo torre com movimentação vertical de câmera
8	Móvel	Vertical	Sim	Base rotativa próxima a um módulo torre com movimentação vertical de câmera e a um módulo de fundo
9	Móvel	Vertical	Sim	Base rotativa próxima a um módulo torre com movimentação vertical de câmera com estrutura de fundo
10	Estática	Rotacional e vertical	Sim	Estrutura rotativa, em ângulo, anexada diretamente a uma base fixa
11	Estática	Rotacional e vertical	Sim	Guia rotacional da câmera em formato de anel com movimentação vertical através de duas torres fixas
12	Estática	Rotacional e vertical	Não	Guia rotacional da câmera em formato de anel com movimentação vertical através de sistema de braços articulados
13	S/ base	Rotacional e vertical	Não	Guia rotacional da câmera em formato de anel com movimentação vertical através de sistema içamento por cabos
14	S/ base	Rotacional e vertical	Não	Guia rotacional da câmera em formato de anel com movimentação vertical através de duas torres fixas. Sem base
15	S/ base	Rotacional e vertical	Sim	Torres rotativas com motor nas rodas inferiores e com movimentação vertical da câmera
16	S/ base	Rotacional e vertical	Sim	Estrutura rotativa anexada a uma estrutura fixa pela parte superior e motor nas rodas inferiores
17	S/ base	Rotacional e vertical	Não	Guia rotacional da câmera em formato de anel com movimentação vertical através de uma torre fixa
18	S/ base	Rotacional e vertical	Sim	Estrutura rotativa anexada a uma estrutura fixa pela parte superior
19	S/ base	Diversos	Não	Movimentação da câmera através do controle de comprimento de 4 cabos acionados independentemente
20	S/ base	Diversos	Não	Braço robótico com 5 graus de liberdade
21	Móvel	Rotacional e vertical	Não	Base rotativa anexada a um módulo com braço rotativo com suporte de câmera

Fonte: do Autor (2022)

Para selecionar as melhores versões, foi então aplicada uma tabela de pontuações de alternativas de forma a comparar cada uma com base nos requisitos do projeto (Quadro 7). Foram colocados pesos para cada um dos critérios de 1 a 3, onde 1 foi colocado para os critérios menos importantes e 3 para os mais importantes. Para a avaliação, foram utilizados pontos de 1 a 5, onde 1 significa que atende mais negativamente ao critério e 5 atende mais positivamente ao critério.

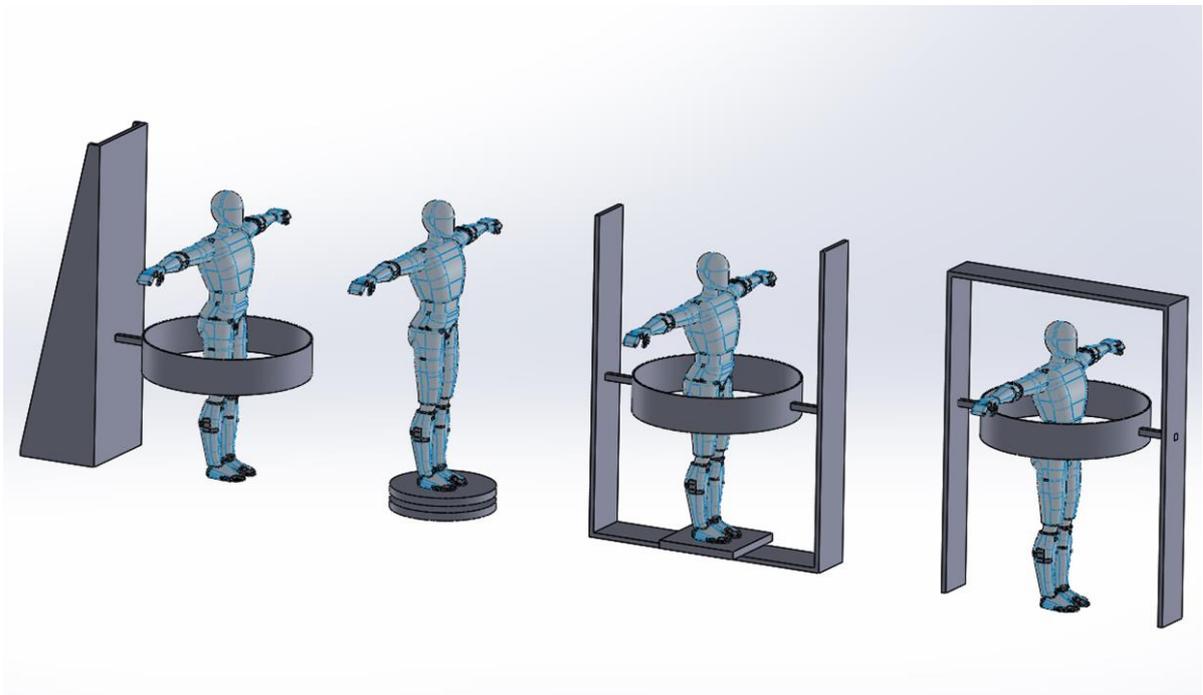
Quadro 8 – Pontuações e classificação de alternativas

Alternativa	Quesito	Cobre a altura e circunferência total	Possibilidade de fundo na foto	Custo	Velocidade de escaneamento	Segurança no escaneamento	Praticidade/estabilidade do escaneamento	Mobilidade/portabilidade e do equipamento	Escaneamento de cadeirante	Tamanho/peso	Tempo para prototipar	Possibilidade de expansão para mais câmeras	TOTAL
	Peso	3	3	3	2	3	3	1	1	2	3	1	
1	5	5	4	5	4	5	3	5	1	5	4	5	106
2	5	1	5	5	4	3	5	1	5	5	3	5	98
3	5	5	3	5	4	5	3	4	3	2	4	5	99
4	5	1	4	5	4	5	3	4	4	3	3	4	94
5	5	5	2	4	3	4	5	4	1	1	1	1	80
6	5	5	3	5	4	5	3	4	1	5	1	1	83
7	5	1	5	5	5	5	2	5	1	5	5	3	98
8	5	5	5	5	5	5	2	4	1	5	5	4	110
9	5	5	4	5	5	5	2	3	1	4	5	4	104
10	5	5	3	5	3	3	5	1	4	3	3	3	93
11	5	5	4	5	3	4	4	1	3	4	5	5	101
12	5	5	2	4	3	5	5	1	1	1	1	5	84
13	5	5	3	5	3	5	3	1	3	4	5	5	100
14	5	5	3	5	3	5	3	1	3	4	5	5	100
15	5	5	4	4	1	5	5	5	4	4	4	4	102
16	5	5	3	5	3	5	4	4	3	4	4	4	100
17	5	4	5	5	3	5	5	1	4	4	5	5	110
18	5	5	3	5	4	5	4	4	3	4	5	4	102
19	5	5	3	3	2	5	1	1	1	3	5	5	84
20	3	2	1	5	2	5	5	5	5	3	1	1	73
21	5	5	3	5	5	5	2	5	1	5	4	4	102

Fonte: do Autor (2022)

A soma final das pontuações de cada uma das alternativas ficou entre 73 (mais baixa) até 110 (mais alta). Alternativas que foram pontuadas muito negativamente para critérios importantes foram marcadas em vermelho e filtradas para não serem consideradas. Com isso, restaram 6 alternativas, onde as mais pontuadas passaram pela elaboração de um projeto-conceito e ganharam um desenho em 3D de suas configurações (Figura 30). O resultado da tabela de pontuações de alternativas completa e da tabela filtrada de alternativas pode ser encontrado com mais detalhes no Apêndice II.

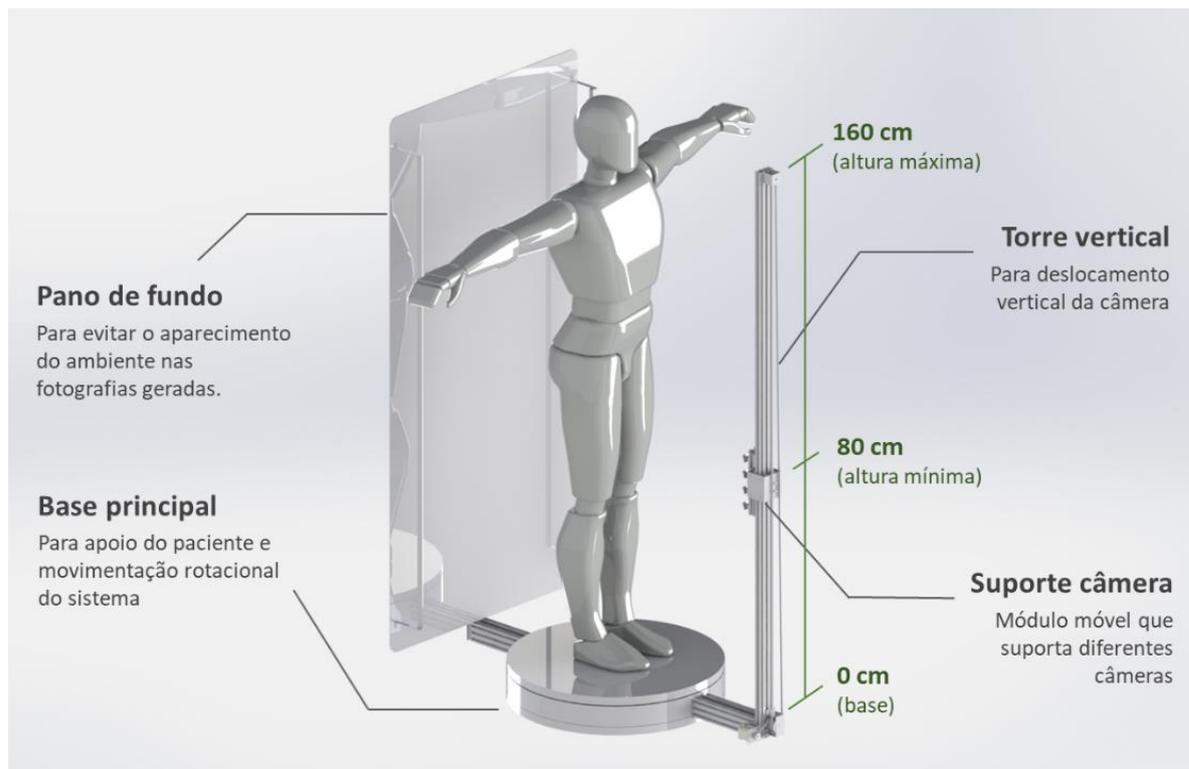
Figura 30 - Modelagem em 3D das 4 formas mais pontuadas para construção do escâner (alternativas 1, 11, 14 e 17).



Fonte: do Autor (2022)

Como apenas uma opção precisa ser escolhida, foi realizada uma segunda matriz de comparação para chegar-se à configuração ideal. Com isso, a alternativa selecionada foi a de número 1 da Figura 29. Esta alternativa passou então para a próxima etapa, chegando ao Projeto Detalhado. O resultado do modelo em 3D, com *layout* esquemático e dimensões gerais, ficou conforme a figura 31 a seguir:

Figura 31 - Resultado do projeto detalhado do artefato



Fonte: do Autor (2022)

Como mostra a figura, o projeto é composto por uma base principal circular sobre a qual o paciente fica de pé. Uma torre vertical (por onde a câmera se desloca) e um pano de fundo ainda compõem o sistema móvel do escâner, o qual pode girar 360 graus em torno do paciente durante a operação.

4.5 Desenvolvimento do artefato

Para se cumprir o objetivo deste estudo, desenvolveu-se um protótipo de equipamento de escaneamento 3D com suporte modular de câmeras. Seu desenvolvimento passou por diversas etapas de construção, iniciando-se pela base, pelo suporte modular da câmera e pelo sistema de iluminação. Com essas partes construídas, o equipamento se torna viável para realização de testes, podendo movimentar a câmera ao redor do paciente e ter imagens bem iluminadas. Desta forma, a primeira versão do escâner ligado ficou como mostrado na figura 32 a seguir.

Figura 32 – Protótipo de equipamento de escaneamento



Fonte: do Autor (2022).

O equipamento dispõe de um acoplamento universal para alternância de câmeras conforme necessidade e orçamento do projeto. Fazendo a análise de requisitos do produto, o modelo ideal de captura é através de módulos de câmera como a Câmera *Raspberry* apresentada no item 2.2.6.2, devido à sua portabilidade, velocidade na captura, custo e qualidade. Porém, devido às delimitações envolvidas neste projeto, principalmente a delimitação técnica e delimitação de prazo, foi utilizado um suporte capaz de acoplar 2 *smartphones* simultaneamente. Esta alternativa elimina o tempo de aprendizado do autor para utilização de placas de processamento que são necessários para utilização destes tipos de módulos. Para os primeiros escaneamentos, portanto, foram utilizadas as câmeras dos smartphones Motorola Moto G100 e Samsung S20 para aquisição estereo das imagens (figura 33).

Figura 33 – Smartphones inicialmente utilizados para captação de imagens.



Fonte: Samsung/Motorola (2022)

As configurações de ambas as câmeras podem ser encontradas no quadro a seguir:

Quadro 9 – Configurações técnicas das câmeras utilizadas no equipamento.

	Samsung S20	Motorola Moto G100
Tamanho do sensor	1/1,72"	1/2,0"
Resolução máxima de foto	64MP	64MP
Resolução máxima de vídeo	8K@24FPS	6K@30FPS
Tamanho pixel	0,8µm	0,7µm
Distância focal	29mm	25mm
Relação focal (F-Stop)	f/2.0	f/1.7

Fonte: Samsung/Motorola (2022)

O sistema permite que a câmera se movimente com 3 graus de liberdade, sendo um de forma manual e dois através de acionamento eletrônico. A movimentação vertical é uma destas movimentações automáticas, possibilitando que o escâner capture imagens desde a altura de 0,80 metros até 1,60 metros de altura a contar da sua base (figura 34). Esta movimentação ocorre através de um acionamento eletrônico, controlado pelo operador com 2 botões, um para subir e outro para baixar o sistema de câmeras. Outra forma de deslocamento da câmera é a rotação em torno do paciente escaneado (figura 35), que é acionada remotamente pelo operador. Isso permite a captura de imagens com 360° de rotação em torno da pessoa. Ainda, de forma manual e pré-configurada antes do início do escaneamento, existe a possibilidade de realizar o movimento de *tilt* da câmera (figura 36), rotacionando a câmera de forma a direcioná-la mais para cima ou mais para baixo, com amplitude de até 45°. Todas essas 3 formas de movimentação estão explícitas nas figuras 34, 35 e 36 na sequência.

Figura 34 – Movimentação vertical do escâner, com amplitude de até 0,80m.



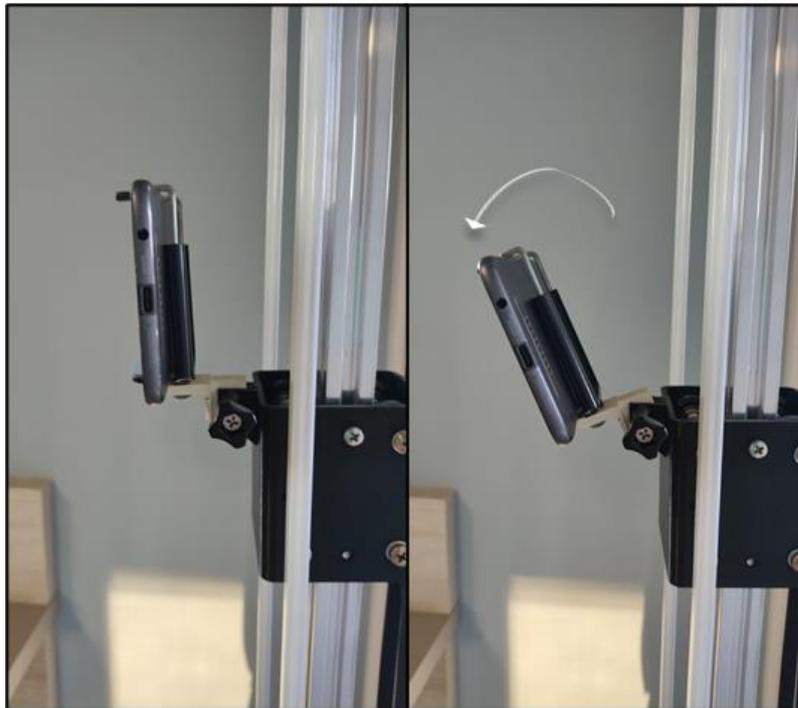
Fonte: do autor (2022)

Figura 35 – Movimentação rotacional do escâner de até 360°.



Fonte: do autor (2022)

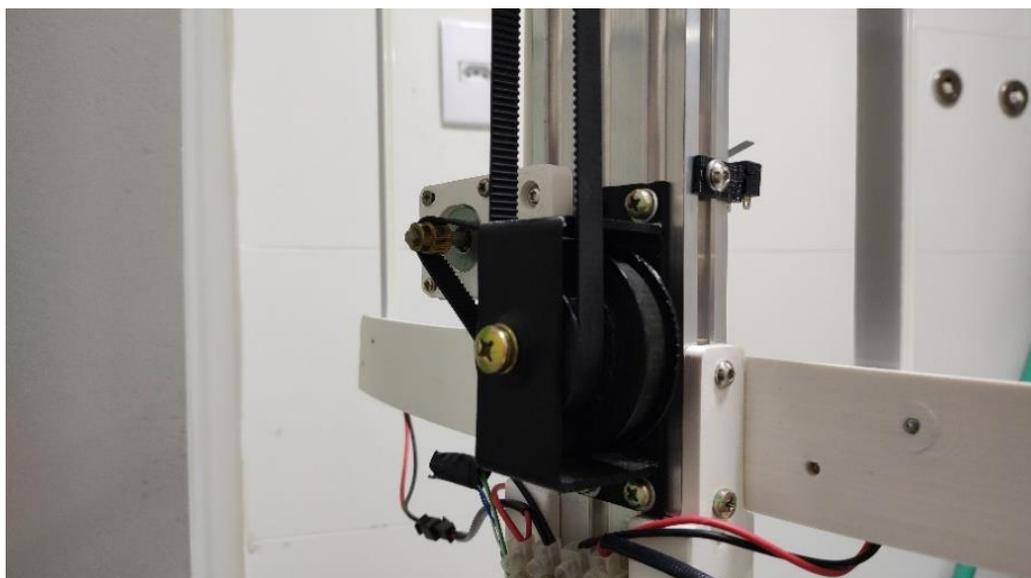
Figura 36 – Ajuste de inclinação (*tilt*) da câmera do escâner de até 45°



Fonte: do autor (2022)

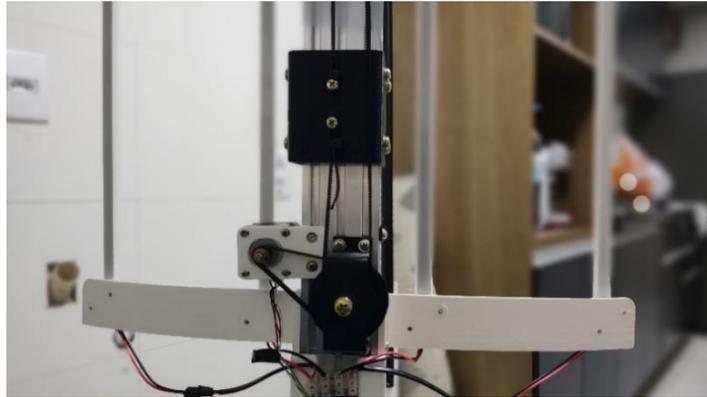
A movimentação vertical do carro é acionada por um conjunto de polias e correias dentadas além de um motor do tipo de passo. Este sistema é mostrado nas imagens da figura 37 e 38 que seguem.

Figura 37 – Sistema de movimentação vertical (foto 1).



Fonte: do Autor (2022)

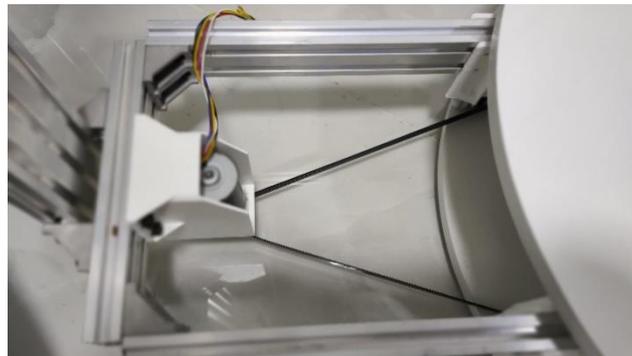
Figura 38 – Sistema de movimentação vertical (foto 2).



Fonte: do Autor (2022)

A movimentação rotacional em torno da pessoa é acionada através de um conjunto também composto por polia e correia dentada, além de um motor *brushless* e um grande disco de rolamento. Este sistema é apresentado nas figuras 39, 40 e 41 a seguir.

Figura 39 – Sistema de movimentação rotacional (foto 1)



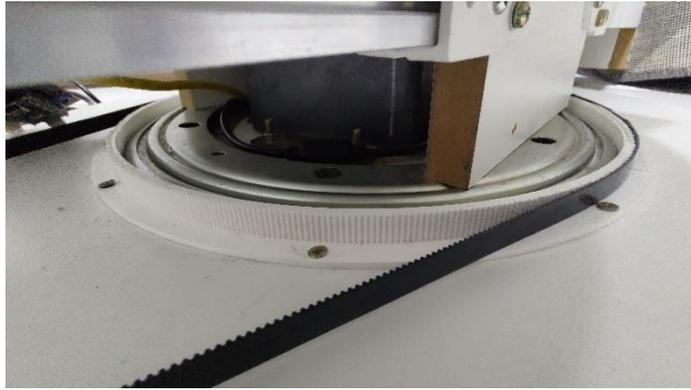
Fonte: do Autor (2022)

Figura 40 – Sistema de movimentação rotacional (foto 2)



Fonte: do Autor (2022)

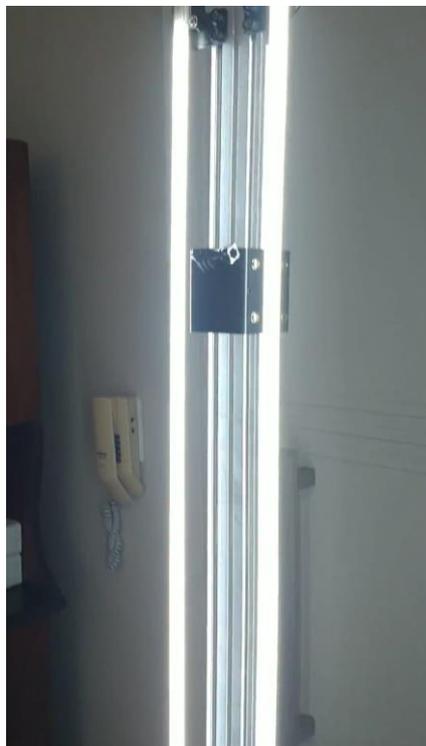
Figura 41 – Sistema de movimentação rotacional (foto 3)



Fonte: do Autor (2022)

Dois fatores essenciais para um bom funcionamento de um escâner por fotogrametria são a iluminação e pontos de referência para o *tracking* das imagens. Esses sistemas devem ser bem posicionados e a iluminação deve ser uniforme e bem distribuída. Portanto, foram construídos dois suportes, um de cada lado da torre principal da câmera, de forma a carregar as fontes de iluminação (figura 42). Tais fontes são compostas por duas barras de 1m de led branco frio de 12V e 18W cada.

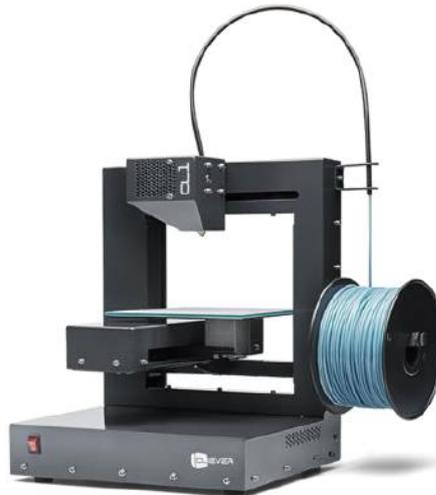
Figura 42 – Estrutura com fontes de iluminação



Fonte: do autor (2022)

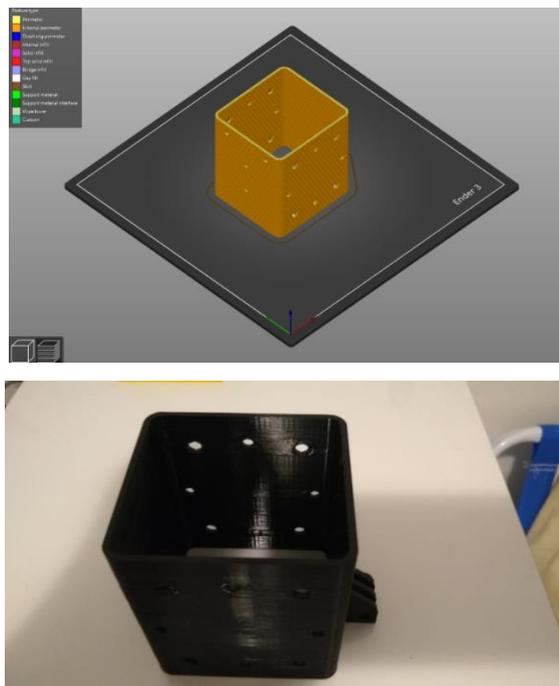
Para a fabricação de algumas peças, tais como o carro que se desloca na torre vertical para locomover a câmera, foi utilizada uma impressora 3D similar ao da Figura 43. O projeto foi realizado em CAD (ferramenta Solidworks), exportado para um fatiador (fatiador da Ender 3) e então enviado para a impressora 3D. O projeto e a peça final já impressa ficaram como mostrado na Figura 44.

Figura 43 - Impressora FDM usada



Fonte: do autor (2022)

Figura 44 - Projeto da Peça em 3D (imagem superior) e peça acabada (imagem inferior).



Fonte: Do Autor (2022)

4.6 Avaliação do artefato

O primeiro teste do equipamento foi realizado com o objetivo de digitalizar o rosto de uma pessoa. Para tanto, o sistema de movimentação da câmera foi desativado e substituído por uma operação totalmente manual, realizada por uma segunda pessoa (Figura 45).

Figura 45 - Primeiro teste com o equipamento



Fonte: do autor (2022)

O experimento foi realizado com intuito de verificar a qualidade de alguns acessórios do equipamento, tais como:

- Câmeras: Foram testadas câmeras de 3 telefones celulares de especificações e marcas diferentes. São eles: Motorola Moto G100, Motorola Moto G6 e Samsung Galaxy S20 FE.
- Iluminação: Foram feitos escaneamentos com iluminação de fundo e sem iluminação de fundo.
- Pano de fundo: Todos os escaneamentos foram feitos com um fundo bicolor liso, para conferir se haveriam sombras ou outros efeitos indesejados.

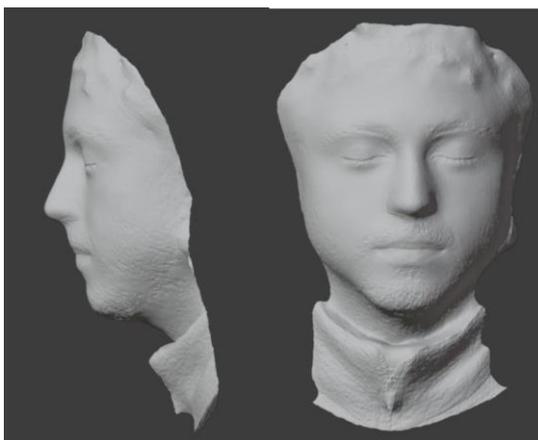
Os resultados deste primeiro experimento, já exportados pelo software Meshroom, são mostrados nas imagens 46, 47 e 48 a seguir.

Figura 46 - Escaneamento 1. Câmera: Celular Moto G6.



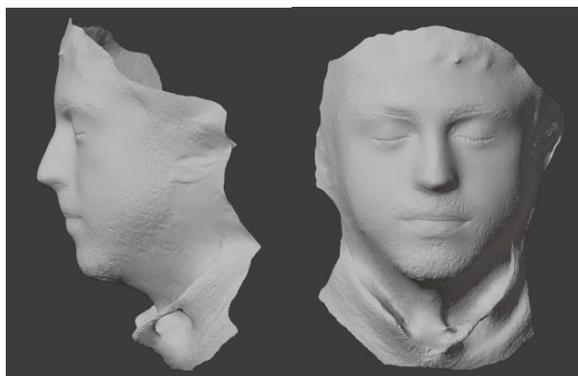
Fonte: do autor (2022)

Figura 47 - Escaneamento 2. Câmera: Celular Moto G100



Fonte: do autor (2022)

Figura 48 - Escaneamento 3. Câmera: Celular Galaxy S20.



Fonte: do autor (2022)

A partir destes resultados parciais, buscaram-se entender os pontos positivos e negativos de cada escaneamento a fim de levantar dados de melhor qualidade na próxima etapa. Com isso, após algumas melhorias na estrutura e na iluminação, foi possível realizar uma segunda etapa de escaneamento. Cada imagem final processada pelo dispositivo descrito no item 3.6 levou em torno de 5 minutos para gerar o arquivo em 3D. As figuras 49 e 50 a seguir mostram uma imagem durante o escaneamento e o seu resultado a partir da malha gerada.

Figura 49 - Segundo teste com o equipamento de escaneamento 3D



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 50 – Resultados do segundo teste com o equipamento. Câmera: Celular S20 FE.



Fonte: Do Autor (2022)

Conforme apresentado no capítulo de metodologia, o quadro 2 traz a possibilidade de comparação quantitativa entre os diferentes métodos de escaneamento e o escâner por fotogrametria aqui proposto. Após aplicação do escâner em laboratório, foi levantado o tempo de aquisição, custo médio por aquisição e demais quesitos para serem comparados com outros equipamentos na etapa seguinte. A descrição de cada um destes tópicos é realizada a seguir e sintetizadas no quadro 9.

- **Tempo de aquisição:** Este tempo conta a partir do instante em que ocorre o acionamento da máquina até seu desligamento. Conforme quadro 9, os tempos de aquisição variou entre 1 minuto e 10 segundos 3 minutos e 50 segundos e a média de tempo por fotografia ficou entre 5 e 7 segundos.

Quadro 10 – Resultado de tempo de aquisição do equipamento por fotogrametria

ESCANEAMENTO	1	2	3	4
Distância de altura entre fotos (deslocamento vertical)	15 cm	10 cm	8 cm	8 cm
Amplitude máxima total do escaneamento (vertical)	30 cm	20 cm	24 cm	16 cm
Ângulo entre fotos	45°	45°	45°	22,5°
Amplitude total do escaneamento	90°	180°	180°	270°
Quantidade total de fotografias	9	15	20	36
Tempo total do escaneamento	01:10	01:39	01:49	03:50
Tempo médio por fotografia	00:07	00:06	00:05	00:06

Fonte: do autor (2022)

- **Custo do equipamento:** O custo do equipamento considera apenas o preço de custo de cada uma das peças utilizadas na construção do equipamento. Processos internos de montagem, assim como gastos com energia ou desgaste de máquinas, são desconsiderados neste cálculo. Para tanto, o resultado com custos item a item, e a soma total dos mesmos, é mostrado no Apêndice I deste trabalho. Nesta tabela, é mostrado que o custo total das peças, somando-se custos com fretes, é de aproximadamente R\$1.786,37.
- **Precisão das medidas:** O índice de precisão das medidas avalia a performance dos resultados gerados em 3D no Meshroom. Aqui a análise é feita apenas de forma relativa, comparando se os resultados apresentam qualidade pior ou melhor se comparado a outros métodos.
- **Nível de expertise do operador da máquina:** A expertise do operador necessária para o equipamento é avaliada conforme a necessidade de treinamento para aplicação do escaneamento de forma inversamente

proporcional. Ou seja, quanto maior o índice, menor é o tempo de treinamento que o operador precisa ter para utilizar o equipamento.

- **Segurança do paciente:** Aqui é realizada a avaliação conforme os riscos diretos e indiretos ao paciente. Isto inclui risco de queda, grau de desconforto ao utilizar o escâner, risco de exposição à radiação, desconforto térmico, desconforto aos olhos devido a luzes intensas, entre outros.
- **Aplicação para planejamento cirúrgico:** Este item pontua a aplicabilidade de tal equipamento para os planejamentos cirúrgicos citados neste trabalho. Por exemplo, uma máquina que não seja capaz de gerar imagens da região do peito receberá baixa pontuação neste quesito, pois impedirá de ser aplicado para planejamentos de mamoplastias. Quanto maior o índice, mais indicado este equipamento é para a realização dos planejamentos das cirurgias, pois cumpre com os requisitos técnicos para isso.
- **Índice de privacidade:** Por fim, para que haja uma comparação de usabilidade do equipamento e de satisfação do usuário (paciente), este índice avalia de forma subjetiva a interação que o mesmo tem com o operador. Quanto mais íntimo ou próximo esse contato for, menor é este índice. Quanto mais distante o operador puder realizar o escaneamento, maior é o índice.

Quadro 11 – Resultado comparativo

	Artefato construído	Fotos <i>Smartphone</i>	Luz estruturada	Métodos manuais
Tempo de aquisição	4	4	3	1
Custo do equipamento	2	4	1	5
Precisão das medidas	4	3	5	2
Nível de expertise do operador	4	4	3	2
Segurança do paciente	5	5	4	4
Aplicação para planejamento cirúrgico	4	5	5	3
Índice de privacidade	5	3	3	1
SOMA	28	28	24	18

Fonte: do Autor (2022)

Os resultados comparativos sugerem que, para esta aplicação, o equipamento modular de fotogrametria apresenta desempenho superior se comparado a equipamentos de luz estruturada e métodos manuais tradicionais. Entretanto, apresenta desempenho semelhante se comparado com *smartphones* utilizados como escâneres individuais. Isso ocorreu porque os *smartphones* obtiveram maior pontuação em relação ao seu custo e aplicação para planejamentos cirúrgicos, enquanto que o artefato construído ganhou mais pontos em precisão e em índice de privacidade. Tal resultado mostra que a opção entre ambos equipamentos é válida e deve ser feita conforme as prioridades do planejamento cirúrgico em questão.

4.7 Explicação das aprendizagens

Seguindo as etapas da DSR, aqui são apresentados os pontos de sucesso e insucesso do projeto de pesquisa. A explicação destas informações e do processo de desenvolvimento servem de referência para novos estudos tanto no âmbito teórico quanto no prático (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2014).

As informações de projeto geradas no decorrer deste estudo sugerem que o equipamento de fotogrametria atende a requisitos necessários para escaneamentos para determinados tipos de cirurgias. O suporte modular permite com que diferentes tipos de câmeras pudessem ser acoplados, o que traz maior amplitude para aplicações com diferentes orçamentos. Como o objetivo deste trabalho inclui um projeto de baixo custo, foram utilizadas câmeras de *smartphones*. Entretanto, câmeras DSLR profissionais podem entregar um nível ainda maior de qualidade nos detalhes das imagens. Enquanto isso, câmeras modulares podem entregar baixo custo aliado a velocidade e câmeras de ação podem entregar imagens em alta resolução aliadas a portabilidade. Devido às limitações de tempo e custo do projeto, foram utilizadas câmeras de *smartphones* no escâner, entretanto para trabalhos futuros aconselha-se explorar outros dispositivos.

O projeto inicialmente contava com duas barras de led, porém percebeu-se que deveria haver mais e foram adquiridas mais duas. Em projetos futuros pode-se acrescentar ainda mais barras de led, diminuindo o tempo de abertura do obturador das câmeras e proporcionando menos ruído e maior foco das imagens. Também se iniciou o trabalho com peças em material de madeira. À medida que o foram feitos testes, percebeu-se que o material

possui rigidez muito inferior ao alumínio, o que tornava a movimentação da câmera instável e reduzia a qualidade das imagens. Com a substituição por perfis de alumínio, a movimentação ficou mais estável e com menor balanço. Ainda, como parte do aprendizado, sugere-se para trabalhos futuros a utilização de rolamentos mais reforçados, visto que o atual ainda permite pequenas vibrações durante o processo de escaneamento.

Como parte da explicitação das aprendizagens, as metodologias de projeto adotadas foram essenciais para o desenvolvimento do produto. Ao desenvolver um equipamento totalmente novo, existem inúmeras configurações possíveis para serem escolhidas. O atraso desta escolha prejudica o projeto, assim como, caso fosse optada uma configuração que mais tarde se mostrasse inviável, poderia inviabilizar todo o projeto. Por este motivo, a aplicação da metodologia baseada em Back (2008) aliada à aplicação da tabela de pontuações tornou possível a escolha das melhores alternativas, diminuindo o tempo do trabalho e seus riscos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada para este trabalho buscou mostrar a viabilidade do uso de um equipamento de fotogrametria quanto à sua aplicação para planejamento cirúrgico virtual. Tal estudo trouxe diversos apontamentos sobre a aplicação deste modelo de escaneamento 3D como técnica do Design Virtual. Dentre estes apontamentos, destacam-se as vantagens e desvantagens de cada tipo de tecnologia de escaneamento que foram encontrados na literatura.

Buscando a validação da hipótese, propôs-se o objetivo de desenvolver um sistema de escaneamento 3D de baixo custo e com acoplamento modular de câmera. Isso foi possível através da aplicação da DSR, que proporcionou formas de adquirir a maior quantidade de informações possíveis durante a primeira etapa do desenvolvimento de projeto. Após esta etapa inicial, a identificação do problema, a conscientização do problema e a aplicação da RSL proporcionaram fontes que mostrassem os reais problemas encontrados hoje em equipamentos de mercado, como problemas de segurança, de custo e de qualidade. A RSL trouxe 79 trabalhos atuais e pertinentes à condução da pesquisa do escâner 3D para embasar estes problemas. Ainda dentro da DSR, o projeto de desenvolvimento do artefato, seguido pelo desenvolvimento do artefato e sua subsequente avaliação, tornou possível chegar-se às conclusões e resultados deste trabalho.

Um dos resultados foi o Quadro 10, o qual mostra que as aplicações de fotogrametria possuem vantagens de medir e analisar rapidamente o paciente, além de serem seguros para serem usados com seres humanos e serem mais viáveis economicamente. Como a hipótese sugere que o desenvolvimento de um artefato traz benefícios em termos de custo, tempo e precisão, ela foi validada visto que percebeu-se tais benefícios. Entretanto, vistos de forma individuais, pode-se perceber que usando métodos manuais tradicionais não houve melhoras no custo das medições. Porém, ao analisar a pontuação final, o artefato construído trouxe diversos benefícios para aplicações cirúrgicas, como precisão, tempo de aquisição e índice de privacidade. Por fim, tais benefícios e suas possíveis limitações foram redigidos nas etapas finais da DSR, como na etapa de explicitação das aprendizagens e comunicação dos resultados.

O estudo mostrou alguns exemplos de aparelhos existentes no mercado que podem ser adquiridos para escaneamentos em 3D por fotogrametria, além de acessórios que podem contribuir para resultados de melhor qualidade. No caso de futuros trabalhos que considerem o desenvolvimento de um escâner desde sua concepção até sua fabricação/prototipagem, ainda foram elencadas dificuldades de produto (velocidade, iluminação, estrutura do equipamento) e de projeto (tempo, custo, etc.) e formas de superá-las. Através da aplicação

de um suporte modular e da apresentação de 4 possíveis diferentes modelos de câmeras para serem usadas em fotogrametria, o trabalho contribuiu para facilitar novos desenvolvimentos de escâneres 3D. Além disso, a construção de um protótipo físico e funcional trouxe a possibilidade do uso do equipamento por parte da UFRGS e sua comunidade em estudos que envolvam escaneamento de pessoas.

Trabalhos futuros ainda podem explorar formas de permitir com que pessoas com necessidades especiais possam usar o escâner 3D, tais como cadeirantes ou pessoas com dificuldades motoras. Pode-se também buscar formas de escaneamento de crianças pequenas ou bebês, para que também possam ser incluídos dentro de estudos do Design Virtual.

A presente pesquisa conclui que através do desenvolvimento de um artefato com tecnologia de baixo custo e utilizando técnicas de fotogrametria, o processo de digitalização de pacientes pode se tornar mais acessível e ainda assim contar com precisão adequada para planejamentos cirúrgicos mais assertivos.

REFERÊNCIAS

- 3D MODELING BLOG, 2022. **Welcome to 3D Modelling Blog**. Disponível em: <<http://kscan3d.com/>>. Acesso em: 15 de novembro de 2022.
- ADAMS, J. e William, P. **Capsular contracture: what is it? What causes it? How can it be prevented and managed?**. Clinics in plastic surgery, v. 36, n. 1, p. 119-126, 2009.
- ALICEVISION. **Meshroom**. Disponível em: <<https://alicevision.org/#meshroom>>. Acesso em 15 de novembro de 2022.
- BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. 2008.
- BAS, O. *et al.* **An integrated design, material, and fabrication platform for engineering biomechanically and biologically functional soft tissues**. ACS applied materials & interfaces, v. 9, n. 35, p. 29430-29437, 2017.
- BISHARA, S. E. et al. **A computer assisted photogrammetric analysis of soft tissue changes after orthodontic I treatment. Part I: methodology and reliability**. Am J. Orthod. Dentofacial Orthop., St. Louis, v. 107, n 6, p. 633-639, 1995.
- BRENDLER, C. **Método para levantamento de parâmetros antropométricos utilizando um digitalizador 3D de baixo custo**. 2013.
- CARPES, R. **Design & Cirurgia Plástica: Framework Para Planejamento Cirúrgico Virtual**. 2020.
- CASCÓN, W; DE GOPEGUI, J e REVILLA-LEÓN, M. **Facially generated and additively manufactured baseplate and occlusion rim for treatment planning a complete-arch rehabilitation: a dental technique**. The Journal of prosthetic dentistry, v. 121, n. 5, p. 741-745, 2019.
- CHIN, S. et al. **Accuracy of virtual surgical planning of orthognathic surgery with aid of CAD/CAM fabricated surgical splint—A novel 3D analyzing algorithm**. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 2017. v. 45, n. 12, p. 1962–1970.
- CLAMAN, L; PATTON, D. e RASHID, R. **Standardized portraid photography for dental patients**. Am.J.Orthod. Dentofac. Orthop., Weston, v.98, n. 3, p. 197-205, 1990.
- COLLARES, M. et al. **Neonatal Mandibular Distraction Osteogenesis Reduces Cleft Palate Width and Lengthens Soft Palate, Influencing Palatoplasty in Patients With Pierre Robin Sequence**. Journal of Craniofacial Surgery, jul. 2016. v. 27, n. 5, p. 1267–1272.
- CREAFORM. **MaxSHOT 3D: Sistema óptico de medição de coordenadas**. Disponível em: <<https://www.creaform3d.com/pt/solucoes-em-metrologia/sistema-de-medicao-por-coordenadas-opticas-maxshot-3d>>. Acesso em 2022.
- DANTAS, P. et al. **Protótipo de dispositivo facilitador para digitalização 3D por fotogrametria com smartphones**. Blucher Design Proceedings. Blucher. 2016.
- DAWOOD, A; PATEL, S. e BROWN, J. **Cone beam CT in dental practice**. Br Dent J. 2009.

DOSCHER, M. E. et al. **Neonatal mandibular distraction osteogenesis: Converting virtual surgical planning into an operative reality.** International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology. v. 78, n. 2, p. 381–384. 2014.

DRESCH, A; LACERDA, D e ANTUNES J. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement.** New York: Springer. 2014.

EZE, S; IJOMAH, W e WONG, T. **Remanufacturing: a potential sustainable solution for increasing medical equipment availability.** Journal of Remanufacturing, v. 10, n. 2, p. 141-159, 2020.

FERRARIO, V. et al. **Soft-tissue facial morphometry from 6 years to adulthood a three-dimensional growth study using a new modeling.** Plast. Reconstr. Surg., Philadelphia, v. 103, n 3, p. 768-778, 1999.

FISCHER, C. e GREGOR, S. **Forms of reasoning in the design science research process.** In H. Jain, A. P. Sinha, & P. Vitharana (Eds.), Service-Oriented Perspectives in Design Science Research—6th International Conference, DESRIST 2011 (pp. 17–31). Milwaukee: Springer. 2011.

FORSTER, N; KÜNZI, W. e GIOVANOLI, P. **The reoperation cascade after breast augmentation with implants: What the patient needs to know.** Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery. v. 66, n. 3, p. 313–322. 2013

GAJIC, D. et al. **Simulation of photogrammetry-based 3d data acquisition.** International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM), v. 18, n. 1, 2019.

GANDEDKAR, N; CHNG, C. e YEOW, V. **Orthodontic-orthognathic interventions in orthognathic surgical cases: paper surgery and model surgery concepts in surgical orthodontics.** Contemporary Clinical Dentistry. v. 7, n. 3, p. 386–390. 2016

GESSLEIN, T; SCHERER, D. e GRUBERT, J. **BodyDigitizer: An Open Source Photogrammetry-based 3D Body Scanner.** arXiv preprint arXiv:1710.01370, 2017.

GOPRO Inc., 2022. **Câmeras.** Disponível em: <<https://gopro.com/pt/br/shop/cameras>>. Acesso em 2022.

GOTO, L. et al. **Traditional and 3D scan extracted measurements of the heads and faces of Dutch children.** International Journal of Industrial Ergonomics, v. 73, p. 102828, 2019.

GRAZIOSO, S; SELVAGGIO, M. e DI GIRONIMO, G. **Design and development of a novel body scanning system for healthcare applications.** International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), v. 12, n. 2, p. 611-620, 2018.

HALEEM, A. e; JAVAID, M. **3D scanning applications in medical field: a literature-based review.** Clinical Epidemiology and Global Health, v. 7, n. 2, p. 199-210, 2019.

HARTLEY, R; ZISSERMAN, A. **Multiple view geometry in computer vision.** Cambridge university press, 2003.

HIERL, T. et al. **CAD-CAM-assisted esthetic facial surgery**. Journal of oral and maxillofacial surgery: official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, v. 71, n. 1, p. e15-23, jan. 2013.

HOBSON, D.; MOLENBROEK, J. **Anthropometry and design for the disabled: Experiences with seating design for the cerebral palsy population**. Applied Ergonomics, v. 21, n.1, p. 43-54, 1990.

HOBSON, D. e MOLENBROEK, J. **Anthropometry and design for the disabled: Experiences with seating design for the cerebral palsy population**. Applied ergonomics, v. 21, n. 1, p. 43-54, 1990.

HOCKMAN, B; CASTILHO, H. e FERREIRA, L. **Padronização fotográfica e morfométrica na fotogrametria computadorizada do nariz**. Acta Cir. Bras., São Paulo, v.12, n.4, p.258-66, 2002.

ISAAC, K. et al. **The Reliability of Anthropometric Measurements Used Preoperatively in Aesthetic Breast Surgery**. Aesthetic Surgery Journal, 2016. v. 36, n. 4, p. 431–437.

IUNES, D. **Análise da confiabilidade inter e intra-examinador na avaliação postural pela fotogrametria computadorizada**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2004.

Javaid, M. et al. **Product design and development using polyjet Rapid prototyping technology**. Int J Control Theory Inform. 2015.

JONES, P; RIOUX, M. **Three-dimensional surface anthropometry: applications to the human body**. Optics and Lasers in Engineering, v. 28, n. 2, p. 89-117, 1997.

KANDASAMY, G. **Development and evaluation of a low cost, 3D imaging mobile surface topography system (MSTS) for measuring posture and back shape in clinical settings**. 2018.

LACERDA, D. et al. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. Gestão & Produção, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LANE, C. e HARRELL, W. **Completing the 3-dimensional picture**. p. 612-620, 2008.

LI, W. et al. **Accurate and efficient 3D reconstruction system for the human body with color texture based on DIC**. Optics and Lasers in Engineering, v. 127, p. 105946, 2020.

LU, J. e WANG, M. **Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners**. Expert Systems with Applications, v. 35, n. 1-2, p. 407–414, 2008.

LUXIMON, Y; BALL, R. e JUSTICE, L. **The 3D Chinese head and face modeling**. Computer-Aided Design, v. 44, p. 40–47, 2012.

MAO, Z; ZHANG, N e CUI, Y. **Three-dimensional printing of surgical guides for mandibular distraction osteogenesis in infancy**. Medicine. v. 98, n. 10, p. e14754. 2019.

MAXIMILIANO, J. et al. **Breast augmentation: correlation between surgical planning and complication rates after surgery**. Revista Brasileira de Cirurgia Plástica (RBCP) – Brazilian Journal of Plastic Surgery. v. 32, n. 3, p. 332–338. 2017.

MAZAK, A. e KRATZWALD, B. **The Weighted Decision Matrix: Tracking Design Decisions in Service Compositions**. In: 2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications. IEEE. p. 169-174. 2014

MENDRICKY, R. e MALY, V. **Draft design solution for automated 3D scanning of persons**. Mod. Mach. Sci. J, p. 3418-3425, 2019.

MOURÃO, A. **Tomografia computadorizada: tecnologias e aplicações**. Difusão Editora, 2018.

OCCIPITAL INC. (2014). **Structure Sensor Depth Precision**. Disponível em: <http://io.structure.assets.s3.amazonaws.com/structure_sensor_precision.pdf> (2014)

ORTS-ESCOLANO, S. et al. **Holoportation: Virtual 3d teleportation in real-time**. In: Proceedings of the 29th annual symposium on user interface software and technology. p. 741-754. 2016.

OTTO, K. e WOOD, K. **Product design: techniques in reverse engineering and new product development**. New York, Prentice-Hall, 2001.

PASCAL, E. et al. **Current status of surgical planning and transfer methods in orthognathic surgery**. Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery. v. 119, n. 3, p. 245–248. 2018.

PESCE, M. et al. **A low-cost multi camera 3D scanning system for quality measurement of non-static subjects**. Procedia CIRP. v. 28, p. 88–93. 2015.

PIMENTEL, M; FILIPPO, D e SANTOS, T. **Design Science Research: pesquisa científica atrelada ao design de artefatos**. RE@ D-Revista de Educação a Distância e eLearning, v. 3, n. 1, p. 37-61, 2020.

PINHEIRO, R. **Design virtual na reconstrução auricular com material autógeno**. Dissertação de Mestrado. 2015.

PINHEIRO, R. et al. **Método de design virtual para cirurgias de reconstrução auricular**. Educação gráfica. v. 23, n. 2 (ago. 2019), p. 254-273, 2019.

RASPBERRY Inc., 2016. **Raspberry Pi Camera Module 2**. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.com/products/camera-module-v2/>>. Acesso em 2021.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produto: uma referência para a melhoria do processo**. 1º ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

SCOTT, A; TIBESAR, R. e SIDMAN, J. **Pierre Robin Sequence. Evaluation, Management, Indications for Surgery, and Pitfalls**. Otolaryngologic Clinics of North America. v. 45, n. 3, p. 695–710. 2012.

SIMMONS, K. **Body measurement techniques: a comparison of three-dimensional body scanning and physical anthropometric methods**. Raleigh: NCSU. Tese de Doutorado. North Carolina State University. 2001.

SINGH, G. e SINGH, M. **Virtual Surgical Planning: Modeling from the Present to the Future**. Journal of Clinical Medicine, v. 10, n. 23, p. 5655, 2021.

SOUZA, D. e ROSA, R. **Compras nacionais e internacionais em um hospital de capacidade extra. Gestão em saúde no Rio Grande do Sul: casos, análises e práticas** (v. 2). p. 253-279, 2017.

SPORLEDER, M. **A Comparison of Methodologies for 3D Scanning of Objects**. Indianapolis: [s.n.], 2016.

SYKES, J. M. et al. **3D Analysis of Dentofacial Deformities: A New Model for Clinical Application**. Facial Plastic Surgery Clinics of NA. v. 19, n. 4, p. 767–771, 2011.

TECHTUDO, 2015. **Comprar uma câmera ou tirar fotos com celular? Descubra o que é melhor**. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2015/06/comprar-uma-camera-ou-tirar-fotos-com-celular-descubra-o-que-e-melhor.ghtml>>. Acesso em 2022

TECNOBLOG, 2022. **O que é uma câmera DSLR?** Disponível em: <<https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-uma-camera-dslr/>>. Acesso em 10 de Julho de 2022.

TEIXEIRA, F. et al. **Virtual design: Concepts**. SAE Technical Papers. n. October. 2008.

TEPPER, O. et al. **Virtual 3-dimensional modeling as a valuable adjunct to aesthetic and reconstructive breast surgery**. v. 192, p. 548–551. 2006.

TOMKINSON, G. e SHAW, L. **Quantification of the postural and technical errors in asymptomatic adults using direct 3D whole body scan measurements of standing posture**. Gait & Posture, v. 3, p. 172–177, 2013.

TOMMASELLI, A. et al. **Fotogrametria: aplicações a curta distância**. FCT 40 anos Perfil Científico Educacional. Presidente: Meneguetti Jr e Alves, p. 147-159, 1999.

TRELEAVEN, P. e WELLS, J. **3D body scanning and healthcare applications**. Computer, v. 40, n. 7, p. 28-34, 2007.

TZOU, C. e FREY, M. Evolution of 3D surface imaging systems in facial plastic surgery. Facial plastic surgery clinics of North America, nov. v. 19, n. 4, p. 591–602, vii. 2011.

WATSON, A. e MACDONNCHA, C. **A reliable technique for the assessment of posture; assessment criteria for aspects of posture**. J. Sports Med Phys. Fitness, Turin, v.40, n. 3, p. 260-70, 2000.

WEISS, A. **A 3D scanner for the hand**. TU Delft. n. April. 2017.

XIA, L. et al. **A mobilized automatic human body measure system using neural network**. Multimedia Tools and Applications, v. 78, n. 9, p. 11291-11311, 2019.

ZERAATKAR, M. e KHALILI, K. **A Fast and Low-Cost Human Body 3D Scanner Using 100 Cameras**. Journal of Imaging, v. 6, n. 4, p. 21, 2020.

ZHANG, S. **High-speed 3D shape measurement with structured light methods: A review**. Optics and Lasers in Engineering, v. 106, p. 119-131, 2018.

APÊNDICE I

Tabela de custos do escâner

Tipo	Nome	Quantidade	Preço	Frete	Total
Movimentos	Polia V-slot	8	R\$ 115,00	R\$ -	R\$ 115,00
Estrutura	Perfil alumínio v-slot 2060	1	R\$ 65,00	R\$ 26,90	R\$ 91,90
Movimentos	Prato giratório com rolamento	1	R\$ 79,80	R\$ 25,80	R\$ 105,60
Estrutura	Pezinho borracha	10	R\$ 16,90	R\$ 17,90	R\$ 34,80
Ferramentas	Serra	1	R\$ 24,50	R\$ -	R\$ 24,50
Estrutura	Parafusos para carro móvel	12	R\$ 8,00	R\$ -	R\$ 8,00
Movimentos	Correia 10mm + polia rolamento	1	R\$ 42,00	R\$ 14,90	R\$ 56,90
Eletrônica	37mm Diameter Gear Box BLDC Motor	2	R\$ 139,89	R\$ 54,15	R\$ 333,93
Eletrônica	Driver A4988 motor de passo	1	R\$ 15,00	R\$ -	R\$ 15,00
Estrutura	cantoneiras alumínio	4	R\$ 12,00	R\$ -	R\$ 12,00
Eletrônica	Arduino Nano	1	R\$ 39,00	R\$ -	R\$ 39,00
Estrutura	Parafusos para carro móvel	30	R\$ 4,00	R\$ -	R\$ 4,00
Impressão 3D	Chapa PETG porta polia rolamentada	3,1 m	R\$ 1,35	R\$ -	R\$ 1,35
Impressão 3D	Base chapa eletronica	5,68 m	R\$ 2,47	R\$ -	R\$ 2,47
Impressão 3D	Engrenagem teste	1,5 m	R\$ 0,65	R\$ -	R\$ 0,65
Estrutura	2x Parafusos 6mm para engrenagem dupla	2	R\$ 1,00	R\$ -	R\$ 1,00
Impressão 3D	Engrenagem dupla	9,8m	R\$ 4,27	R\$ -	R\$ 4,27
Ferramentas	Nozzle 0.2mm	1	R\$ 8,45	R\$ -	R\$ 8,45
Estrutura	Kit 10x porcas martelo	2	R\$ 11,45	R\$ 10,00	R\$ 32,90
Eletrônica	Sensor fim de curso	1	R\$ 8,05	R\$ -	R\$ 8,05
Iluminação	1m perfil fita led cob	2	R\$ 49,50	R\$ 8,90	R\$ 107,90
Impressão 3D	Suportes para fitas led	90 m	R\$ 39,19	R\$ -	R\$ 39,19
Estrutura	Suporte rodinhas	1	R\$ 1,80	R\$ -	R\$ 1,80
Iluminação	Suporte para fitas led	4	R\$ 1,22	R\$ -	R\$ 4,88
Estrutura	Conexão base/torre	4	R\$ 1,70	R\$ -	R\$ 6,79
Impressão 3D	Engrenagem simples	2,2 m	R\$ 0,96	R\$ -	R\$ 0,96
Impressão 3D	Suporte motor de passo da torre	8,0 m	R\$ 3,48	R\$ -	R\$ 3,48
Eletrônica	Case fonte alimentação	1,5	R\$ 0,65	R\$ -	R\$ 0,65
Movimentos	Rodinhas	4	R\$ 7,84	R\$ -	R\$ 31,35
Eletrônica	Fonte alimentação principal 60W	1	R\$ 21,90	R\$ 11,90	R\$ 33,80
Iluminação	Fita led Cob 1m	2	R\$ 49,48	R\$ 15,00	R\$ 113,95
Estrutura	Perfil De Alumínio Estrutural V-slot 20x60	1	R\$ 235,00	R\$ -	R\$ 235,00
Eletrônica	Fonte 120w	1	R\$ 55,99	R\$ 24,20	R\$ 80,19
Acessórios	Pano de fundo bege/cinza	1	R\$ 39,50	R\$ 18,99	R\$ 58,49
Estrutura	Kit 10 Porca Martelo T M5 - Serie 20 P/ Perfil 2020	10	R\$ 1,15	R\$ 18,05	R\$ 29,50
Impressão 3D	Suporte rodinhas	48,5 m	R\$ 21,12	R\$ -	R\$ 21,12
Movimentos	1 Polia Gt2 20 Dentes Furo 6,35mm P/ Correia 10mm	1	R\$ 17,95	R\$ -	R\$ 17,95
Movimentos	2 Metros Correia Gt2 10mm Impressora 3d Cnc - Alma De Aço	2	R\$ 18,88	R\$ -	R\$ 37,75
Impressão 3D	Tampa proteção base	58 m	R\$ 25,26	R\$ -	R\$ 25,26
Estrutura	Parafusos diversos	42	R\$ 0,20	R\$ -	R\$ 8,40
Estrutura	Fita isolante	1	R\$ 7,85	R\$ -	R\$ 7,85
Impressão 3D	Impressões diversas	25 m	R\$ 10,89	R\$ -	R\$ 10,89
Acessórios	Adesivo graduação de ângulo	1	R\$ 9,45	R\$ -	R\$ 9,45
TOTAL			R\$ 1.219,72	R\$ 246,69	R\$ 1.786,37

APÊNDICE II

Tabela de pontuação de alternativas completa

Alternativa	Quesito	Cobre a altura e circunferência total	Possibilidade de fundo na foto	Custo	Velocidade de escaneamento	Segurança no escaneamento	Praticidade/estabilidade do escaneado	Mobilidade/portabilidade e do equipamento	Escaneamento de caderante	Tamanho/peso	Tempo para prototipar	Possibilidade de expansão para mais câmeras	TOTAL
	Peso	3	3	3	2	3	3	1	1	2	3	1	TOTAL
1		5	5	4	5	4	3	5	1	5	4	5	106
2		5	1	5	5	4	3	5	1	5	5	3	98
3		5	5	3	5	4	5	3	4	3	2	4	99
4		5	1	4	5	4	5	3	4	4	3	3	94
5		5	5	2	4	3	4	5	4	1	1	1	80
6		5	5	1	5	4	5	3	4	1	1	1	83
7		5	1	5	5	5	2	5	1	5	5	3	98
8		5	5	5	5	5	2	4	1	5	5	4	110
9		5	5	4	5	5	2	3	1	4	5	4	104
10		5	5	3	5	3	4	5	1	4	3	3	93
11		5	5	4	5	3	4	4	1	3	4	5	101
12		5	5	2	4	3	5	5	1	1	1	5	84
13		5	5	3	5	3	5	3	1	3	4	5	100
14		5	5	3	5	3	5	3	1	3	4	5	100
15		5	5	3	4	1	5	5	5	4	4	4	102
16		5	5	3	5	2	5	4	4	3	4	4	100
17		5	4	5	5	3	5	5	1	4	5	5	110
18		5	5	3	5	4	5	4	4	4	2	4	102
19		5	5	3	3	2	5	1	1	1	3	5	84
20		3	2	1	5	2	5	5	5	5	1	1	73
21		5	5	3	5	5	2	5	1	5	4	4	102

Tabela de pontuação de alternativas com filtro de alternativas

Alternativa	Quesito	Cobre a altura e circunferência total	Possibilidade de fundo na foto	Custo	Velocidade de escaneamento	Segurança no escaneamento	Praticidade/estabilidade do escaneado	Mobilidade/portabilidade e do equipamento	Escaneamento de caderante	Tamanho/peso	Tempo para prototipar	Possibilidade de expansão para mais câmeras	TOTAL
	Peso	3	3	3	2	3	3	1	1	2	3	1	TOTAL
1		5	5	4	5	4	3	5	1	5	4	5	106
10		5	5	3	5	3	3	5	1	4	3	3	93
11		5	5	4	5	3	4	4	1	3	4	5	101
13		5	5	3	5	3	5	3	1	3	4	5	100
14		5	5	3	5	3	5	3	1	3	4	5	100
17		5	4	5	5	3	5	5	1	4	5	5	110